

historisch
**METSEL
WERK**

INSTANDHOUDING, HERSTEL EN CONSERVERING

historisch
**METSEL
WERK**

Eindredactie
Michiel van Hunen

historisch
METSEL
WERK

INSTANDHOUDING, HERSTEL EN CONSERVERING

WBOOKS
RIJKSDIENST VOOR HET CULTUREEL ERFGOED

Voorwoord	6
<i>Cees van 't Veen</i>	
Inleiding	8
<i>Michiel van Hunen</i>	
1 Vroeg metselwerk in Nederland	14
Volop regionale verschillen	
<i>Jan van der Hoeve</i>	
2 Jongere baksteen 1850-1965	26
Textuurschommelingen	
<i>Ronald Stenvert</i>	
3 Kalkzandsteen 1890-1960	40
Meer dan wit alleen	
<i>Tijn Coppens & Michiel Nieuwenhuys</i>	
4 Terracotta gevelversieringen in de 19^e en 20^e eeuw	56
‘Voortbrengsels, die zeer goed den invloed van lucht en regen kunnen weerstaan’	
<i>Meindert Stokroos</i>	
5 Glazen bouwstenen	68
Licht in historisch metselwerk	
<i>Taco Hermans</i>	
6 Kleur- en beschermingslagen op baksteen en voeg	80
Een goede gevel siert het huis	
<i>Paula van der Heiden</i>	
7 Baksteenproductie en -eigenschappen	94
Van klei tot baksteen	
<i>Hans van Wijck</i>	
8 Van bindmiddel en zand tot mortel	108
Samenstelling en gedrag	
<i>Rob van Hees & Barbara Lubelli</i>	
9 Mortel van de centrale	118
Constance samenstelling in bulk	
<i>Jan Blaakmeer</i>	
10 Vochttransport tussen steen en mortel	128
Het grijze gebied tussen de stenen	
<i>Harold Brocken</i>	
11 Schade door vocht, vorst en zouten	140
Fenomenen verklaard	
<i>Rob van Hees & Barbara Lubelli</i>	
12 Vochtabsorptie en droging in massief metselwerk	150
Ontstaan en voorkomen van lekkage	
<i>Caspar Groot & Jos Gunneweg</i>	

13 Bouwfysisch vooronderzoek: twee voorbeelden	160
Analyse van vochttransport en zoutbelasting <i>Hilde De Clercq & Roel Hendrickx</i>	
14 Wijs worden uit schade	172
Diagnose van scheuren, vervormingen en scheefstanden <i>Ilse de Vent</i>	
15 Steen- en metselmortelkeuze bij herstel	186
Regenbelast massief metselwerk onderzocht <i>Caspar Groot & Jos Gunneweg</i>	
16 Herstel en bijkleuren van stootvoegjes en baksteen	196
Ervaringen uit de praktijk <i>Robert Frank Houbaer</i>	
17 Voegherstelmortels voor zoutbelast metselwerk	206
Aanbevelingen op basis van onderzoek <i>Caspar Groot & Jos Gunneweg</i>	
18 Uitvoeren van constructief herstel	218
Balanceren tussen consolideren en vernieuwen <i>Erik Jan Brans</i>	
19 Oppervlaktebehandeling van historisch metselwerk	236
Mogelijkheden en beperkingen <i>Barbara Lubelli, Rob van Hees & Timo Nijland</i>	
20 Bestrijding van optrekkend vocht	252
Middelen en technieken <i>Anke Hacquebord</i>	
21 Oplossen vochtproblemen: drie voorbeelden	262
Van afsluitend naar ademend <i>Jos Gunneweg & Caspar Groot</i>	
22 Het geveloppervlak van dichtbij bekeken	274
Eigenschappen en waarde van de huid <i>Michiel van Hunen</i>	
23 Metselwerk op waarde geschat	288
De waardering van metselwerk en het effect van ingrepen <i>Harry Boekwijt, Jacqueline von Santen & Danielle Takens</i>	
24 Het restauratieproces	308
Het herstel van historisch metselwerk in stappen <i>Cor Bouwstra & Paul Broekema</i>	
Referentiehoofdstuk	320
Begrippenlijst	338
Auteurs	356
Colofon	360



Voorwoord

Een karakteristiek element van historisch gebouwd Nederland is het metselwerk. De toepassing van metselwerk, bakstenen bijeengehouden met mortel, is even simpel als geniaal. Maar metselwerk behoeft onderhoud en reparatie. De keuze van het materiaal en de techniek van de uitvoering lijken eenvoudig, maar vragen specialistische kennis en vakmanschap.

In het decentrale stelsel van erfgoedzorg in ons land is het van groot belang dat kennis en ervaring bij de instandhouding van ons gebouwde erfgoed op een gecoördineerde wijze wordt ontwikkeld en verspreid. De Rijksdienst voor het Cultureel Erfgoed beschouwt dit als één van haar kerntaken: de vele partijen in de monumenten- en restauratiewereld regelmatig bijeen brengen en ze informeren over belangrijke ontwikkelingen op het gebied van behoud en beheer van monumenten.

In dit boek wordt het thema *historisch metselwerk* van alle kanten belicht door deskundigen uit binnen- en buitenland. Zij informeren u over de laatste stand van zaken op het gebied van onderzoek naar de oorzaak van schade, de samenstelling van reparatiemortels en de kwaliteitseisen van baksteen.

Dit boek is bedoeld voor iedereen die werkzaam is in de monumentenzorg, in de architectuur, in de metsel- en voegbranche, en in de wetenschappelijke advisering. En ook voor alle monumentenambtenaren die adviseren over de zorg voor ons erfgoed.

Rijksdienst voor het Cultureel Erfgoed

Cees van 't Veen
directeur



Inleiding

In de tijd dat men voor nieuwbouw dezelfde materialen en technieken gebruikte als voor herstel van historische gebouwen, was restaureren nog redelijk overzichtelijk. De benodigde kennis en het vereiste vakmanschap waren vaak aanwezig bij de ‘aannemer om de hoek’. Dat was zeker voor metselwerk het geval. In de huidige tijd is dat compleet anders.

Het verschil tussen nieuwbouw en traditionele bouw is groot, niet alleen architectonisch, maar juist ook qua materiaaltoepassing en wijze van uitvoering. Daarbij komt dat herstel van het historische gebouw vaak hand in hand gaat met verhogen van de functionaliteit, het prestatieniveau of een uitbreiding; een ingreep kan een complexe en multidisciplinaire aangelegenheid zijn.

De bouwstenen van modern metselwerk zijn in principe niet veel anders dan vroeger, al heeft het bindmiddel kalk plaatsgemaakt voor cement. Echter, door een andere bouwwijze is de functie van metselwerk wezenlijk veranderd. Metselwerk is geen constructief bouw materiaal meer, maar een decoratieve buitenschil. Ook bouwfysisch is het verschil groot: door toepassing van een geïsoleerde spouw staat het metselwerk niet meer in contact met het binnenoppervlak.

Metselwerk van historische gebouwen heeft doorgaans geen spouw. Vocht wordt via verschillende wegen opgenomen door het materiaal. Vervolgens beweegt het zich vrij door het materiaal en tussen het binnen- en



Afbeelding 1 (links)

Abdijkerk in Rolduc, bouwplaats rond 1900 (foto RCE).

Afbeelding 2 (rechts)

St. Lambertuskerk in Maastricht, bouwplaats rond 2010 (foto Limburgs Dagblad, Harry Heuts).

buitenoppervlak. In historisch metselwerk is vocht een erg belangrijke factor. Niet alleen bepaalt het in hoge mate de verwerking van de gevel, maar ook de conditie van de binnenafwerking, de gebruiksmogelijkheden en het leefcomfort.

De specifieke kenmerken van historisch metselwerk zijn bepalend voor het onderhoud en herstel ervan. Ze vereisen andere materialen, oplossingen en uitvoeringstechnieken dan bij modern metselwerk. Vakmanschap en uitvoeringskwaliteit zijn ook belangrijker. Bovendien spelen naast technische en esthetische aspecten natuurlijk ook cultuurhistorische aspecten een rol.

Cultuurhistorische aspecten bepalen niet zelden hoe met het metselwerk wordt omgegaan. Het gaat daarbij niet per se alleen om de waardering van het materiaal zelf. Ook datgene wat het heeft ondergaan kan van waarde zijn: sporen die op en in het metselwerk zijn achtergebleven en een herinnering vormen aan een bijzondere gebeurtenis uit het verleden.

Als het metselwerk gewaardeerd wordt om z'n zeldzaamheid, dan zijn de mogelijkheden voor ingrijpen vaak beperkt. Dan wordt alles op alles gezet om het zeldzame werk te behouden. Het vernieuwen van metselwerk heeft altijd invloed op de authenticiteit en gaafheid van het monument. Bij restauraties moet die ouderdomswaarde dus altijd worden afgewogen tegen wat technisch mogelijk of wenselijk is.

RESTAURATIEKWALITEIT

Het nieuwe beleid binnen de monumentenzorg is onder andere gericht op vermindering van de regeldruk. Bij de regelgeving voor monumenten wordt uitgegaan van een hoge mate van eigen verantwoordelijkheid van een eigenaar. Onderdeel daarvan is goed opdrachtgeverschap. Het is daarom van belang het bewustzijn van monumenteigenaren te vergroten.

Ook wordt ingezet op een verschuiving van een objectgerichte benadering naar een meer gebiedsgerichte benadering. Voor de waardering en het behoud van historisch metselwerk leidt dit echter niet tot een wezenlijke verandering.

Het respect voor het oorspronkelijke materiaal is niet verminderd. Bewijs daarvoor is ook de aandacht vanuit de politiek voor de uitvoeringskwaliteit.

In het kader van de modernisering van de monumentenzorg is een programma Restauratiekwaliteit gestart, dat een eigenaar in zijn rol kan ondersteunen. Binnen dit programma worden onder andere uitvoeringsnormen voor goed restauratiewerk ontwikkeld. Dit kan monumenteigenaren helpen om de juiste

kwaliteit te vragen bij bijvoorbeeld het aanvragen van offertes en het verlenen van opdrachten. Natuurlijk is het uiteindelijke doel van dit programma de kwaliteit van ingrepen in monumenten te verbeteren.

Volgens het programma Restauratiekwaliteit is sprake van restauratiekwaliteit als bij een ingreep cultuurhistorische waarden worden behouden of versterkt, en deze ingreep technisch gezien functioneel en degelijk wordt uitgevoerd. Essentieel daarbij is een bij het monument passende balans tussen het technisch op orde brengen en behoud van monumentwaarden. De kennis in deze publicatie draagt bij aan het stellen van bij het monumenten passende kwaliteitseisen.

AANLEIDING VOOR DEZE PUBLICATIE

In de afgelopen tien jaar is door de TU Delft veel onderzoek gedaan naar vochtproblematiek bij stenen molens.¹ Interessant en leerzaam, want stenen molens zijn vaak zeer vochtbelast door hun positie in het open veld en hun conische vorm. Bovendien zijn het dynamisch belaste constructies waardoor het metselwerk extra te lijden heeft. Met de kennis die voortvloeit uit dit onderzoek kunnen problemen worden opgelost bij metselwerk in molens, maar deze kennis is ook zeer informatief voor andere typen monumenten. Diverse partijen hechtten veel belang aan het onderzoek en hebben de uitvoering ervan gesponsord.²

De afronding van dit onderzoek vormde de eerste aanleiding voor het organiseren van een symposium over herstel van historisch metselwerk door de Rijksdienst voor het Cultureel Erfgoed. Deze publicatie werd uitgebracht bij gelegenheid van dat symposium.³ Dit boek is daardoor in belangrijke mate een weerslag van de huidige stand van zaken rond onderzoek rond vochtgerelateerde processen in metselwerk, met veel aandacht voor het begrijpen en verhelpen van vochtoverlast.

Twee andere belangrijke kennisbronnen voor deze publicatie zijn het team van TNO dat is gespecialiseerd in cultureel erfgoed en de leerstoel Conserveringstechniek van de TU Delft afdeling RMIT.⁴ De hier jarenlang opgebouwde kennis op het terrein van materiaaltechnische conservering vormen samen met het eerder genoemde onderzoek een solide basis voor dit boek.

LITERATUUR OVER METSELWERK

Over metselwerk zijn al veel publicaties verschenen, met name op het gebied van architectuur. Zo kwam in 2003 het fantastische architectuurboek 'Baksteen' van James Campbell uit, over geschiedenis, architectuur en technieken. Het volgt de geschiedenis van baksteen

Afbeelding 3

Gevelsteen met metselaarsattributen boven de deur in de Waag in Amsterdam, die leidt naar de gildekamer van het Metselaars- of St. Barbaragilde met haar meesterproeven (foto Michiel van Hunen).



Afbeelding 4

Schitterend vroeg zestiende-eeuws metselwerk met touwbandmotief (foto Albert Reinstra).



metselwerk vanaf vijfduizend jaar voor Christus tot in de hedendaagse bouw.

Wat Campbell schrijft over de herwaardering van metselwerk onderschrijven wij: “Tot voor kort was de baksteen het stiefkind van de bouwwereld. Geïntimideerd door de doctrines van het modernisme zochten architecten en critici hun heil bij staal, beton en glas en vergaten de spectaculaire resultaten die als vanaf het verste verleden met baksteen zijn bereikt. Die situatie is nu veranderd. De baksteen is terug en het is hoog tijd voor een herwaardering van zijn verbazingwekkende geschiedenis.”

Een boek met een heel ander karakter – maar voor de restauratiesector zeker zo belangrijk – is het lesboek voor de uitvoerende sector ‘Werken aan Monumenten’, recent uitgegeven door de Vereniging Nederlandse Voegbedrijven. Deze publicatie slaat de zeer noodzakelijke brug tussen de lesstof voor de ‘nieuwbouwmetseelaar’ en die voor de gespecialiseerde voeger en metseelaars voor restauratiewerk.

Over conservering en herstel van historisch metselwerk zijn nog weinig boeken gepubliceerd. Er bestaan

nauwelijks publicaties voor een breder publiek waarin voorkomende schadeprocessen en herstelmogelijkheden worden benoemd en verklaard, en aanbevelingen worden gedaan voor herstel en materiaalkeuze op basis van onderzoek of praktijkervaringen. En zeker was er nog geen boek waarin technische kennis, cultuurhistorische informatie, principes bij waardering van metselwerk en uitgangspunten voor restauratie zo integraal worden behandeld als in dit boek.

OVER DIT BOEK

Deze publicatie over historisch metselwerk heeft een uniek karakter. Het is een (hand)boek over onderhoud en herstel van historisch baksteen metselwerk in Nederland. Het beoogt daarbij een theoretische en een praktische benadering te verenigen: het is toegepast wetenschappelijk, gericht op de instandhouding van historisch metselwerk. Deskundigen uit vele wetenschappelijke disciplines én vakmensen uit het veld leverden daarbij een bijdrage.

Het zwaartepunt van die bijdragen ligt op het gedrag en het herstel van baksteen metselwerk en dan met

name vochtgerelateerde problematiek (aantasting of vochtoverlast). In verschillende hoofdstukken worden via een bouw fysieke invalshoek processen verklaard of materiaalkeuzen onderbouwd.

Het is geen architectuurhistorisch boek, maar wel worden diverse belangrijke en interessante cultuurhistorisch interessante onderwerpen belicht, zoals kalkzandsteen, terracotta en glazen bouwstenen.

Het uitgangspunt voor de informatie en adviezen in deze publicatie is steeds technische en esthetische compatibiliteit. Met andere woorden: dat de reparaties zo goed voegen in het oorspronkelijke materiaal. En dat het risico minimaal is dat herstel op korte of lange termijn tot nieuwe schade leidt.

Compleet kunnen we in dit boek niet zijn. Zo komen de constructieve aspecten van historisch metselwerk slechts aan de orde in één hoofdstuk, dat daardoor niet meer kan zijn dan een goede aanzet. Want over constructieve aspecten en mechanische gedrag van metselwerk in relatie tot bijvoorbeeld funderingsproblemen, is veel meer te vertellen. Dat blijft over voor een volgend boek.

VOOR WIE EN WAAROM

Het boek heeft tot doel informatie te geven over de stand van de techniek op het gebied van herstel en conservering van metselwerk. Het beoogt een inhoudelijke basis te bieden bij de keuzen waarvoor de eigenaar, restauratiearchitect en monumentenzorger staan bij de instandhouding van historisch metselwerk.

Uitgelegd wordt bijvoorbeeld hoe vocht zich door stenen en mortel beweegt en wat de effecten daarvan zijn, wat zowel deskundigen als leken op dit gebied meer inzicht geeft bij materiaalkeuzen en uitvoerings-eisen. Waarom ontstaat er bij sommige gebouwen vochtoverlast en bij andere niet? En waardoor kan die overlast juist toenemen na een gevelrenovatie? Wat is het effect van een waterwerende behandeling?

Ook andere uitvoeringsaspecten worden behandeld. Waarom is het zo belangrijk dat de voegmortel naadloos aansluit op de baksteen en de achterliggende metsel-mortel? En waarom kan een bepaalde mortelsamenstelling in combinatie met de ene baksteen vorstbestendig zijn en met een andere steen niet? Waarom kalk als bindmiddel? En wanneer cement toevoegen? En wat gebeurt er met de grote vervormingcapaciteit zodra wat cement wordt toegevoegd om te uitharding te versnellen? En welke technische kwaliteitseisen moet je stellen aan een nieuwe baksteen?

Op deze en andere praktische vragen geven de auteurs antwoord. Daarmee is dit boek een naslagwerk

Afbeelding 5 (rechts)

Sierlijk hol metselwerk van de watertoren in Stadskanaal, gebouwd in 1936 (foto RCE).

en inspiratiebron voor iedere historicus, architect, adviseur en metselaar.

TOT SLOT

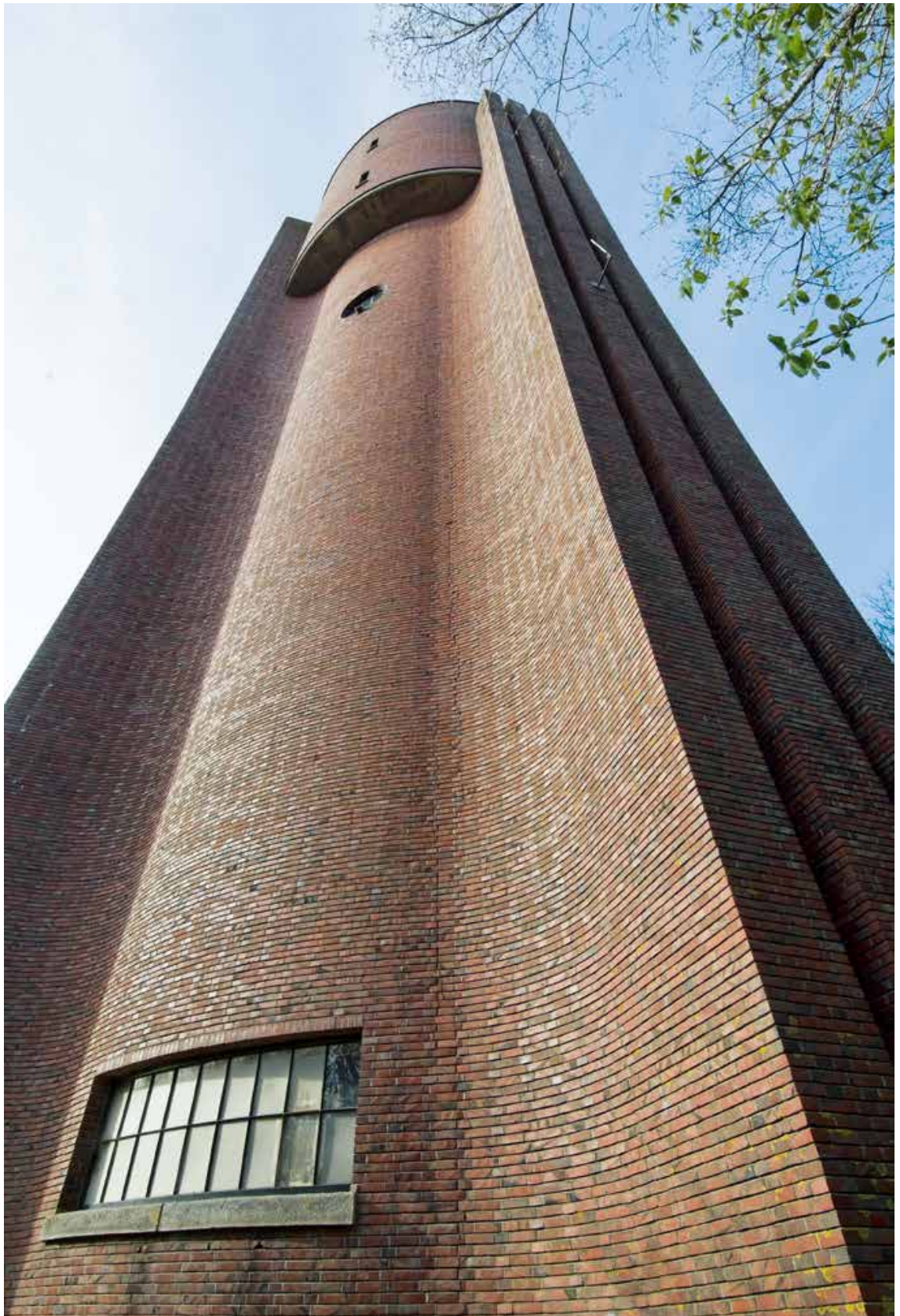
Achterin dit boek staan een referentiehoofdstuk en een verklarende woordenlijst. Het referentiehoofdstuk bevat beschrijvingen van nuttige en veel gebruikte onderzoeksmethoden en een verzameling referentiegegevens die als achtergrondinformatie kan dienen. Zo zijn kwantitatieve gegevens opgenomen over het mechanische gedrag van mortels, over vocht en over zouten. Deze gegevens vormen een referentiekader voor de lezer; ze kunnen helpen om waarden die men in de praktijk tegenkomt te duiden.

In de begrippenlijst zijn relevante begrippen nader toegelicht. Via de daarachter vermelde paginanummers kunnen lezers informatie over een bepaald onderwerp snel terugvinden. Zo kan het boek ook worden gebruikt als naslagwerk.

En tot besluit past ons een woord van dank. Dit boek heeft vorm kunnen krijgen dankzij de deskundige inbreng van 26 auteurs. Dankzij hun zeer uiteenlopende achtergrond en kennis ligt dit bijzondere en veelzijdige boek nu voor u.

Noten

- 1 Dit onderzoek was in eerste instantie gericht op vochtproblemen bij stenen molens. Na de eerste fase is het verbreed naar al het massief vochtbelaste metselwerk en kreeg het de lange naam: 'totaalonderzoeksproject aanpak vochtproblematiek massief metselwerk'. Het onderzoek is uitgevoerd door Caspar Groot en Jos Gunneweg TU Delft CiTG en inhoudelijk begeleid door een begeleidingscommissie onder voorzitterschap van Arnold van der Ree.
- 2 Het onderzoek is gesponsord door VSB-fonds, provincie Zuid-Holland, Rijksdienst voor het Cultureel Erfgoed, KNB en de TU Delft CiTG. Ook hebben geparticipeerd Monumentenwacht Nederland, gemeente Leiden en Hoogheemraadschap van de Alblasserwaard en de Vijfheerenlanden.
- 3 Deze publicatie verschijnt ter gelegenheid van het gelijknamig symposium op 10-10-2012 in de Philharmonie in Haarlem.
- 4 Hoogleraar Rob van Hees is zowel werkzaam bij TNO als bij de TU Delft RMIT en vormt zo de verbindende schakel. Hij is verantwoordelijk voor of betrokken bij veel (Europees) onderzoek op het gebied van materiaaltechnische conservering.



1



Vroeg metselwerk in Nederland

Volop regionale verschillen

Na een hernieuwde introductie omstreeks 1200 werd baksteen in Nederland spoedig één van de meest gebruikte bouwmaterialen. Het modulaire karakter geeft oneindige toepassings- en decoratiemogelijkheden, mede dankzij verschillen in kleur, bewerking en afwerking. Indien zorgvuldig behandeld, is baksteen ook een van de best houdbare bouwmaterialen. Daarom zijn veel van onze monumenten geheel of deels opgetrokken uit baksteen. Dit hoofdstuk gaat over de geschiedenis van productie, maatvoering, metselverbanden, decoraties en voegwerk in de periode tot circa 1850.

Tot midden negentiende eeuw veranderde er nauwelijks iets in de baksteenproductie in Nederland, afgezien van geografische concentratie en schaalvergroting. Winning van klei en leem geschiedde voornamelijk in dagbouw. Het afsteken vond voornamelijk in de herfst plaats, omdat seizoensarbeid dan goedkoop was. 's Winters werd de klei vaak in hopen opgeslagen om te 'rotten', waarbij de structuur verbetert en plantaardige resten verteren of uitgestoten worden.

Na het overwinteren homogeniseerden de arbeiders de klei met de voeten, onder toevoeging van water en eventueel zand. Daarna maakte een vorm de stenen, bijgestaan door een assistent en enkele afdragers. De assistent zorgde ervoor dat er steeds afgepaste hoeveelheden klei beschikbaar waren, eventueel van te voren door los zand gerold ('bezanden'). Bezanden kon ook geschieden door zand in de vormbak te strooien. De vorm sloeg vervolgens de geprepareerde klei met geweld in een vormbak, waarna hij de overtollige klei met een strijkhout of plaan afschraapte. De afdragers brachten vervolgens de vormbakken naar de droogplaats of 'baan', waar de 'groenlingen' plat werden

neergelegd. Na enige tijd zetten de arbeiders de groenlingen rechtop, om ook de onderkant te laten drogen. Het draaien gaf kans op vingerafdrukken, zoals nog op talloze handvormbakstenen zichtbaar is.

Het drogen duurde tien tot veertien dagen, afhankelijk van de weersomstandigheden. Bij regen of felle zon trok men rietmatten over de droogbaan. Bij grootschaliger productie werd wel gebruik gemaakt van droogloodsen of haaghutten, eenvoudige langgerekte houten overkappingen, al dan niet voorzien van afsluitbare zijwanden.

TRADITIONELE OVENS

De volgende stap is het bakken van de steen. De meest eenvoudige ovens zijn veldbrand-, loegen- of meilerovens, die per keer werden opgebouwd en afgebroken. Op kleine schaal bleven deze ovens tot in begin van de twintigste eeuw in gebruik, vooral in Oost-Nederland en Zuid-Limburg. De gedroogde groenlingen werden op een stenen vloer gestapeld, alle op hun kant en met tussenruimten. Onderin liet men stookgangen open voor de brandstof, voornamelijk turf. De steenstapel werd afgedicht met baksteen (misbaksels), plaggen en klei, waarbij slechts de stookopeningen en rookgaten openbleven. Het proces van langzaam opwarmen, stoken en afkoelen duurde ongeveer vier weken. De ongelijkmatige warmtespreiding in deze ovens zorgde voor grote

Afbeelding 1

De bakstenen kerk van Marsum (1306). Door middel van dendrochronologisch onderzoek is deze kerk gedateerd omstreeks 1306 (foto RCE).

*De Tichgellaar.
DeGodsdienstmaakt ons vry, VanSaats slaaverny.*



*Gelyk als Jsrl van te vooren,
Den tichel boude in dienstbaarcheid,
Soo word de Mens oock slaafs gebooren,
En wuend in't leem van deesen tyd:
Maar al die't lust, die word van Goode,
Genaade en vryheid aan geboden.*

kwaliteitsverschillen, zodat de gebakken steen moest worden uitgesorteerd in partijen van gelijke kwaliteit.

Vanaf de dertiende eeuw werd ook gebruik gemaakt van veldovens, bestaande uit een stenen vloer en drie muren in een U-vorm. Soms waren deze ovens overwelfd of afgedekt door een houten overkapping. Het in- en uitladen gebeurde via het hondsgat; de open zijde van de oven. In beide langswanden bevonden zich stookopeningen. De groenlingen werden op soortgelijke wijze gestapeld als bij een veldbrandoven, eveneens met stookgangen. De afgeladen oven werd afgedicht met stenen, klei en zand. De oudste veldovens waren tamelijk klein, maar in de zeventiende eeuw bestonden er al ovens met een capaciteit van een half miljoen stenen en meer. Hoewel het stookproces beter was te regelen dan bij veldbrandovens, moesten de gebakken stenen ook bij veldovens uitgesorteerd worden op kwaliteit.

Baksteenproductie vindt uitsluitend plaats in gebieden waar klei wordt gewonnen. De kleur van baksteen is afhankelijk van de samenstelling van de klei, daarmee dus ook van de vindplaats (zie ook het hoofdstuk over baksteenproductie). Brandstof voerde men vaak aan. Aanvankelijk werden ovens vaak opgericht bij grote

Afbeelding 2

De Tichgellaar, prent uit '100 Verbeeldingen van Ambachten' van Jan en Caspar Luyken (1694). Midden achter de vormtafel staat de vormer, geflankeerd door twee assistenten. De klei wordt in afgestapelde porties overhandigd aan de vormer. Op de vormtafel ligt een enkelvoudige vormbak, waarnaast een spaan. Links liggen gekantelde groenlingen op de droogplaats.

bouwprojecten, zoals kastelen, kloosters en steden. Bij de toenemende vraag in de middeleeuwen was dat niet meer mogelijk. Toen ontstonden grotere, gespecialiseerde productiecentra in de kleigebieden aan de Hollandse IJssel, Friesland, Groningen, de Vechtstreek en het Rivierengebied.

VOORGESCHIEDENIS

In het nabije Oosten worden leem en klei al vele millennia gebruikt als bouw materiaal, aanvankelijk als ongebakken, zongedroogde blokken.¹ De vormbak was een belangrijke uitvinding in het zesde millennium voor Christus, een houten mal voor gestandaardiseerde blokvormige stenen. De oudste gebakken stenen zijn in Mesopotamië aangetroffen, omstreeks 5000 tot 4500 voor Christus. Grieken en Etrusken maakten slechts incidenteel gebruik van baksteen als bouw materiaal, wel van dakpannen (2600-2000 voor Chr.).²

De Romeinen introduceerden gebakken steen opnieuw omstreeks 50 voor Christus. Baksteen was geschikt voor gebouwen met meerdere verdiepingen, stadsmuren, openbare gebouwen en overwelvingen. Romeinse baksteen komt vooral voor in dunne, relatief grote platen (grote plavuizen).

De Romeinse expansie zorgde ervoor dat baksteen ook in Nederland werd geïntroduceerd. Bij archeologisch onderzoek zijn niet alleen funderingen van bakstenen gebouwen gevonden, maar ook restanten van ovens. Met het terugtrekken van de Romeinen verdween de kunst van het steenbakken.

Tot diep in de Middeleeuwen gebruikte men voor de bouw van stenen gebouwen geïmporteerde natuursteen. Vanaf de vroege elfde eeuw is er een enorme bouwexplosie, waarbij tot in de verste uithoeken van ons land tufstenen kerken zijn gebouwd. De twaalfde en dertiende eeuw kent verdergaande landontginningen, sterke bevolkingsgroei en verstedelijking. De bouw van kerken, kastelen, stadsmuren, stadhuisen en particuliere burgerhuizen vroeg enorme hoeveelheden steen. Gelukkig had zich intussen een alternatief voorgedaan in de vorm van de baksteen.

Afbeelding 3

Detail van het metselwerk van de voorgevel van de Piloersemaborg in Den Ham uit 1633. Op de steen midden boven zijn de vingerafdrukken van een kleine hand te zien, ongetwijfeld een kinderhand. Het keren van stenen op de droogplaats was lange tijd kinderarbeid (foto Jan van der Hoeve).



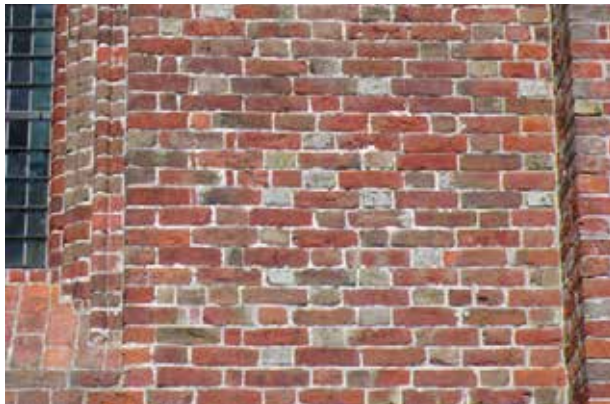
MIDDELEEUWSE BAKSTEEN

De 'plotse' herintroductie van baksteen spreekt sterk tot de verbeelding. Tot voor kort dateerde men deze herintroductie in het midden van de twaalfde eeuw op basis van een baksteenvondst bij de opgraving van het Cisterciënzerklooster van Klaarkamp bij het Friese Rinsumageest (stichting 1163), sindsdien een 'terminus post quem'. Op basis van deze vondst werd een aantal baksteenkerken in het noorden van het land gedateerd in de twaalfde eeuw, mede gebaseerd op grote baksteenformaat en de sobere architectuur. Eén hiervan was de kerk van het Noordwest-Groningse Marsum. Dendrochronologisch onderzoek van de kap van de kerk gaf een ander resultaat: circa 1306.³ Naar aanleiding van dit onverwachte resultaat werden de oudste baksteendateringen opnieuw getoetst. Daarbij bleek het baksteengebruik in het klooster Klaarkamp jonger dan gedacht. Als gevolg daarvan zijn bijna alle daarvan afgeleide twaalfde-eeuwse dateringen vervallen.

Volgens de meest recente onderzoeken zouden de oudste toepassingen van baksteen in de Nederlanden te vinden zijn in het Gravensteen te Leiden en de abdijtoren te Rijsenburg, beide te dateren kort voor 1200.⁴ Opvallend is dat beide gebouwen zijn gebouwd in opdracht van de hoge adel, namelijk de graven van Holland. De snelle verspreiding van baksteen als bouw materiaal is echter vooral te danken aan de kloosters, die een belangrijke rol speelden bij de middeleeuwse landontginningen. Ook de kloostercomplexen zelf werden

Afbeelding 4

Fragment van de zuidgevel van de kerk van Zeerijp (veertiende eeuw). Het metselverband is enigszins onregelmatig, maar vertoont kenmerken van Noords Verband. De passtukjes bij de negge van het venster doen vermoeden dat men per baksteenlaag eerst de hoeken heeft gemetseld, vervolgens de rest van het gevelvlak (foto Jan van der Hoeve).



in baksteen gebouwd, zoals het Cisterciënzerklooster te Aduard (circa 1200) en de Cisterciënzerabdij Ter Duinen bij Koksijde (kort na 1214). In de stad Utrecht is de eerste toepassing al omstreeks 1205 bewezen voor het pand Wed 5-7.⁵ De gevels zijn in een combinatie van tufsteen en baksteen opgetrokken.⁶

In het noorden van Nederland, Vlaanderen, Zeeland en Holland zijn al vroeg in de dertiende eeuw veel bakstenen kerken gebouwd. Ook de oudste bakstenen kastelen stammen uit de dertiende eeuw.⁷ In de loop van die eeuw werden de steden de voornaamste afnemer van baksteen. Dit was niet alleen een gevolg van de bouw van stadsmuren en grote stedelijke gebouwen. Minstens zo belangrijk was de 'verstening van de stad'. Door de toenemende verdichting van de (houten) bebouwing nam het brandgevaar in de steden aanzienlijk toe. Stedelijke overheden deden er daarom alles aan om de verstening van de stad te stimuleren, variërend van subsidies op stenen dakpannen en baksteen tot verboden op gebruik van brandbare materialen zoals riet voor de daken. Veel steden hadden steenbakkerijen in eigen beheer om aan deze vraag te kunnen voldoen. De producten van deze steenbakkerijen waren in de eerste plaats bestemd voor stedelijke projecten, vervolgens voor burgers uit de stad en ten slotte voor de export.⁸

Elders in Nederland begon men waarschijnlijk pas veel later te bouwen met baksteen. Zo geldt voor het zuiden van Limburg een relatief late introductie, omdat natuursteen hier relatief goedkoop te verwerven was.



Men beschouwt hier de ronde toren van kasteel Hoensbroek als eerste bakstenen gebouw; de toren stamt waarschijnlijk uit de vijftiende eeuw.⁹

Niet alleen zijn er dus enorme regionale verschillen in de introductie van de baksteen, maar ook het tempo van de verstening verschilt sterk. In steden werden houten huizen en vakwerkgebouwen veel eerder in steen vervangen dan op het platteland. Vakwerk wordt vanouds ingevuld met latten of takjes, aangesmeerd met leem. Er zijn ook voorbeelden waarbij ongebakken stenen of ‘zonnestenen’ als vulling werden gebruikt, eveneens afgesmeerd met leem of kalk. Dergelijke stenen werden ook wel voor binnenwanden gebruikt.

In Nederland lijkt sprake van een langzame verdringing van tufsteen. Boeiend zijn daarom de gecombineerde toepassingen van baksteen en tufsteen. Zo heeft de tufstenen toren van de kerk van Heiloo uit circa 1200 een fundering van baksteen.¹⁰ Dit heeft geleid tot de gedachte dat baksteen aanvankelijk een lagere status vertegenwoordigde dan de (geïmporteerde) tufsteen. In enkele andere gevallen wordt baksteen aan de binnenzijde van het muurwerk gebruikt, tufsteen

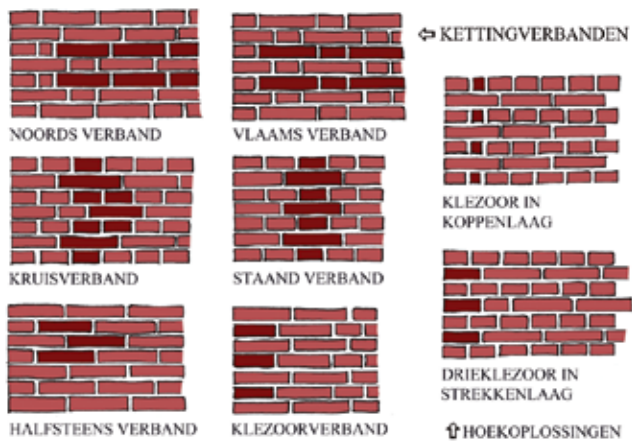
Afbeelding 5

Traditionele veldbrandoven bij Vreden in 1927. De houten stutten op de voorgrond moeten de instorting van een ovenwand voorkomen. Op incidentele basis werden tot in de twintigste eeuw nog in Limburg en Oost-Nederland bakstenen gebakken in veldovens (foto Heimatmuseum Vreden).

aan de buitenzijde. De willekeurige afwisseling van tuf- en baksteen in de dertiende-eeuwse stadsmuur van 's-Hertogenbosch doet vermoeden dat men bij de bouw afhankelijk was van het verkrijgbare materiaal. Aanvankelijk was dat voornamelijk tufsteen, later baksteen.¹¹

MODULAIR SYSTEEM

Tegenwoordig kennen we baksteen als een gestandaardiseerd en geprefabriceerd bouwelement, waarbij lengte, breedte en dikte zich verhouden als 4:2:1, rekening houdend met de voegdikte. De oudste bakstenen hadden deze geoptimaliseerde verhoudingen nog niet. Wel valt op dat de verhouding lengte:breedte al vrijwel



onmiddellijk 4:2 is, wat onder meer goede hoekoplossingen mogelijk maakt.

Bij enkele oude bakstenen kerken in Groningen valt te zien dat men per laag eerst de hoeken van de gevels en de neggen van de deur- en vensteropeningen metselde en vervolgens pas de stukken daartussen invulde. Dat betekent dat de afwijkende stenen (de verhakke stenen) niet op de hoeken voorkomen, maar net naast de hoeken. Gebruik van geprefabriceerde standaardelementen vraagt een andere benadering van het ontwerp van een gebouw dan gebruik van (ter plaatse op maat te hakken) natuursteen. Al snel heeft men de voordelen onderkend van het uitzetten van de maatvoering in veelvouden van de steenlengte, bijvoorbeeld bij penanten tussen de vensters.¹²

De dikte van de baksteen is aanvankelijk nog relatief groot ten opzichte van de andere maten. Rekening houdend met regionale verschillen kan gesteld worden dat in de veertiende of vijftiende eeuw de dikte zover is afgenomen, dat deze ongeveer de helft van de breedte was (4:2:1). Dit is ook de periode waarin meer regelmatige metselverbanden opkomen. Regelmaat in het metselverband blijft ook het streven in latere perioden. Meer en meer maakt men gebruik van opgespannen draden tussen houten stijlen op de hoeken van een gebouw, die het mogelijk maakten om zuiver horizontaal 'langs de draad' te metselen. Venster- en deuropeningen en penanten worden uitgemeten in koppenmaten van de toe te passen baksteen, rekening houdend met het juiste hoekverband.

Opmerkelijk zijn de afwijkende verhoudingen van steenformaten in het midden en noorden van het land van de zeventiende tot de negentiende eeuw.¹³ In veel gevallen zijn de strekken groter dan twee koppen (met voeg), zodat bij kruisverband incidentele toepassing van

Afbeelding 6 (links)

Overzicht van baksteenverbanden (tekening naar Haslinghuis 1997).

Afbeelding 7 (rechts)

Detail van de gevel van pand Havenstraat 2 te Groningen. Door voegen af te smeren met roodgekleurde specie en schijnvoegen met witte specie aan te brengen, suggereerde men een ander metselverband (foto Jan van der Hoeve).

breder 'correctiekoppen' in de koppenlagen nodig zijn. Uit de regelmatige plaatsing van de correctiekoppen valt op te maken dat men van te voren rekening hield met deze afwijkende maatvoering. Een andere oplossing was de herintroductie van het Vlaams verband, waarbij strekken en koppen in dezelfde laag voorkomen.

METSELVERBAND

Tufstenen muren zijn vrijwel zonder uitzondering uitgevoerd in kistwerk, bestaande uit een binnen- en buitenschil met daartussen een mengsel van mortel met puin, grind of keien. Het metselverband voor tufsteen bestaat dan ook uit vele strekken, met een aantal dwarsgerichte stenen voor onderlinge koppelingen van de schillen of verankering van de schil in het vulwerk.

Ook de oudste baksteenmuren in de regio Leiden en het noorden van Nederland zijn uitgevoerd als kistwerk. Elders in Nederland komt kistwerk veel minder vaak voor. Het oudste metselverband is kettingverband. Bij kettingverband worden per laag één of meerdere strekken afgewisseld met een kop. Bij Noords verband zijn dit twee strekken en een kop, bij Vlaams verband één strek en dan een kop, bij Engels verband drie strekken en een kop.



Afbeelding 8 (links)

Open steiger-gaten in de zuidgevel van de St. Petridom in Schleswig. In het metselwerk zijn op regelmatige afstand steiger- of korteling-gaten zichtbaar. Bij de bouw van de muur staken er steigerbalken in deze gaten. Bij onderhoud van de muur konden de steigerbalken opnieuw gebruikt worden voor de plaatsing van een steiger. In Nederland werden deze gaten vanouds dichtgemetseld met een plavuis of baksteen, zodat ze slechts voor een geoeftend oog herkenbaar zijn. Het was mogelijk om de gaten open te slaan voor plaatsing van een steiger (foto Jan van der Hoeve).

Afbeelding 9 (rechts)

Detail van de gevel van de consistorie van de hervormde kerk Haastrecht (1851-'53). De bakstenen hebben een iets tapse vorm, om de stootvoegen te minimaliseren (foto Jan van der Hoeve).

Deze naamgeving duidt op een interpretatie. Metselwerk in Noords verband wordt inderdaad vrijwel uitsluitend in het noorden van Nederland gevonden. De oudste voorbeelden in de regio Leiden zijn een opvallende uitzondering. De benaming Vlaams verband valt niet onmiddellijk te koppelen aan een regio, want dit metselwerkverband komt in het overgrote deel van Nederland voor. In het noorden van Nederland wordt dit verband vooral na het midden van de dertiende eeuw toegepast, zoals bij de kerken van Ten Boer en Garmerwolde.

Gelijktijdig komen allerlei vormen van sierverband voor, voornamelijk in nissen en spaarvelden. In de romanogotiek (dertiende en veertiende eeuw) wist men hiermee boeiende patronen te maken, niet alleen bij kerken maar ook (grote) huizen. Ook gedurende de gotiek en renaissance zijn sierverbanden in nissen, boogvelden en borstweringvelden gebruikelijk.



In West-Nederland raakt het Vlaams verband in de veertiende eeuw in onbruik en gaat men over op (enigszins) onregelmatig staand verband, waarbij per laag alleen strekken of koppen voorkomen. In het noorden en oosten van Nederland gaat het gebruik van Vlaams verband langer door. Daar is er eerst nog een tussenfase van 'wild verband' voordat men overgaat op staand verband. Vanaf de late vijftiende eeuw wordt nog vrijwel uitsluitend kruisverband gebruikt, waarbij per laag ook alleen strekken of koppen voorkomen.

Vanaf de tweede helft van de zeventiende eeuw is het metselverband verder geperfectioneerd door meer gelijkmatige steen en dunne voegen toe te passen. Soms werden de stenen voorgekrast, zodat volledig te lood vermetselen mogelijk was. De gevel wordt zo steeds meer één vlak. Als gelijkmatige steen te duur was, kon men zijn toevlucht nemen tot baksteenkleurige specie. Ongelijkmatigheden werden daarmee gecamoufleerd. In de specie werden dunne voegen uitgekrast om af te voegen met witte specie.

Ook in hoekverbanden is een ontwikkeling waarneembaar. In de middeleeuwen was er nog geen sprake van consequent hoekverband maar van 'pragmatische' oplossingen. In de veertiende eeuw komen voor het eerst hoekverbanden voor met klezortjes in de koppenlagen.¹⁴

Hoekverbanden met klezortjes zijn nadrukkelijk aanwezig. De systematische toepassing ervan in de zestiende en zeventiende eeuw lijkt dan ook voornamelijk gebaseerd op architectonische motieven.

Toen men metselwerk meer als een vlak wilde benadrukken, koos men voor andere hoekoplossingen: klezortjes werden vervangen door drieklezoren. In Holland geschiedde dit al in het midden van de zeventiende



Afbeelding 10 (boven)

Borg Verhildersum te Leens. De gevels zijn uitgevoerd in baksteen in verschillende maatvoering en kleur. Deze verschillen maken het mogelijk diverse bouwfasen te onderscheiden (foto Jan van der Hoeve).

Afbeelding 11 (onder)

Noordgevel van het klooster van Ter Apel (zestiende eeuw). In de gevel is een patroon van kruisen in gesmoorde baksteen te herkennen, waartussen metseltekens. Ook de boogjes boven de vensters vertonen een afwisseling in rode en gesmoorde steen (foto Jan van der Hoeve).



Afbeelding 12 (links)

Metselteken in de veertiende-eeuwse kerktoeren van Ritthem (bij Vlissingen). Het metselwerk is uitgevoerd in staand verband (foto Jan van der Hoeve).



Afbeelding 13 (rechts)

Metselteken in de St. Gangulphuskerk te St. Truiden (vermoedelijk zeventiende eeuw. Het metselwerk is uitgevoerd in kruisverband. Bij het metselteken zijn aanpassingen in het verband herkenbaar. Het teken heeft een duidelijk christelijk motief (kruis op berg) (foto Jan van der Hoeve).

eeuw, in Den Haag, Oost-Brabant en Limburg pas in de negentiende eeuw. Vanaf de zeventiende eeuw komen klezortjes (of klisklezortjes) voor als onderdeel van venster- en deurneggen. Opmerkelijk is de toepassing in combinatie met strekse bogen van lichtgekleurde, geslepen baksteen. Hiervan zijn in de stad Utrecht diverse voorbeelden uit de zeventiende eeuw te vinden.¹⁵ In de stad Groningen lijken klezortjes in vensterneggen kenmerkend voor baksteengevels uit de tweede helft van de achttiende eeuw en vroege negentiende eeuw.

VOEGWERK

Metselwerk bestaat bij gratie van specie of mortel, die de bakstenen aan elkaar verbindt. Specie bestond van oudsher meestal uit een mengsel van schelpkalk en zand. Toevoeging van gemalen tufsteen zorgt voor waterdichte specie (trasspecie). De metselaar bracht de specie in een keer overmatig ('vol en zat') aan op

de steen, waarna hij een volgende steen neerlegde. De overvloedige hoeveelheid specie streek hij af. Kalkspecie hardt dusdanig langzaam, dat de metselaar de voegen achteraf kon nabewerken. In de achttiende en negentiende eeuw probeerde men de voegen te minimaliseren, waarvoor soms iets taps toelopende stenen werden gebruikt.

De oudste voorbeelden van navoegen met aparte voegspecie zijn te vinden in de achttiende eeuw. Bij het metselen krabt de metselaar een gedeelte van de specie uit de voegen. Wanneer het metselwerk klaar is, vult een voeger de open voegen met een afwijkende specie. Na de introductie van portlandcement in de tweede helft van de negentiende eeuw werd navoegen algemeen, omdat de metselspecie te snel hardt voor nabewerking.

Leem werd ook wel als metselspecie gebruikt, bij buitenmuren in combinatie met voegen van kalkspecie. In brandmuren (van bijvoorbeeld boerderijen) komt leemspecie voor om roetdoorslag te verminderen.

BAKSTEENFORMATEN

Baksteenformaten geven een indicatie van de ouderdom van het metselwerk, want deze formaten zijn geleidelijk veranderd. De oudste bakstenen hebben forse maten, vermoedelijk afgeleid van de voetmaat (30 x 15 x 10 cm en groter). Opvallend zijn de zorgvuldige afwerking en kantigheid van deze stenen. In de loop van de dertiende eeuw komen grotere bakstenen voor, die echter minder zorgvuldig zijn gevormd. Vermoedelijk markeert dit het begin van massaproductie. Daarna namen de baksteenformaten geleidelijk af, echter niet

gelijkmatig en verschillend per regio. De snelste terugloop van de baksteenformaten vond plaats in Holland, de Utrechtse Vecht, de zuidrand van het IJsselmeer en West- en Midden-Brabant.¹⁶

Redenen voor de verkleining van de baksteen liggen voor de hand. Bij kleinere producten nemen de droogtijd en baktijd af, neemt de kwaliteit van de baksteen toe en kan de metselaar deze makkelijker verwerken. Een ander voordeel is dat kleinere steen ook geschikt is voor eenvoudige woonhuizen met relatief dunne muren.¹⁷

In de loop der tijd zijn verordeningen uitgevaardigd om de minimale maatvoering van de baksteen te handhaven. Veel bouwverordeningen waren gestoeld op een maatvoering in veelvouden van het baksteenformaat (steens-, anderhalfsteens- en tweesteensmuren), die bij verkleining van de baksteen natuurlijk aan betekenis verliezen. Al in 1342 verordonneerde een Utrechts keur minimale steenmaten, met verwijzing naar 'der stat vorme'. In diverse steden hingen modellen met standaardmaten aan het stadhuis. In Delft hingen in het stadhuis zelfs standaardvormen van ongebakken en gebakken steen (1420).

Opvallend is verder het gelijktijdig gebruik van baksteen van verschillende maatvoering. Zo onderscheidt het tweede keurboek van Zwolle uit circa 1400 grote steen (lengte: 28 cm), middelsteen (25 cm) en kleine steen (23 cm).¹⁸ Instructief zijn ook de plakaten van de Staten van de provincie Friesland, waarin de maten van bakstenen en pannen worden vastgelegd. In 1610 werd grote steen voorgeschreven voor kerken, poorten en andere zware werken, gewone steen voor gevels en zijwanden van huizen en kleine steen voor dakkapellen, tussenmuren en 'glaspuien'.¹⁹

BIJZONDERE PRODUCTEN

De introductie van baksteen was niet direct aanleiding voor vernieuwing in de architectuur. Wel maakte men van meet af aan gebruik van de specifieke mogelijkheden bij het vormen, bewerken en bakken van de steen. Zo konden profielen in vensterneggen, nissen en lijsten worden samengesteld uit 'profielstenen', gevormd in speciale vormbakken.

Gebakken stenen kunnen ook relatief eenvoudig worden bijgehakt, niet alleen tot drieklezoren, klezootjes en klisklezootjes ten behoeve van hoekverbanden. Bijhakken gebeurde ook bijvoorbeeld bij toepassing van gebakken profielstenen met te grote onderlinge maatverschillen. In de dertiende eeuw werd ook al gebruikgemaakt van in de zachte klei gesneden

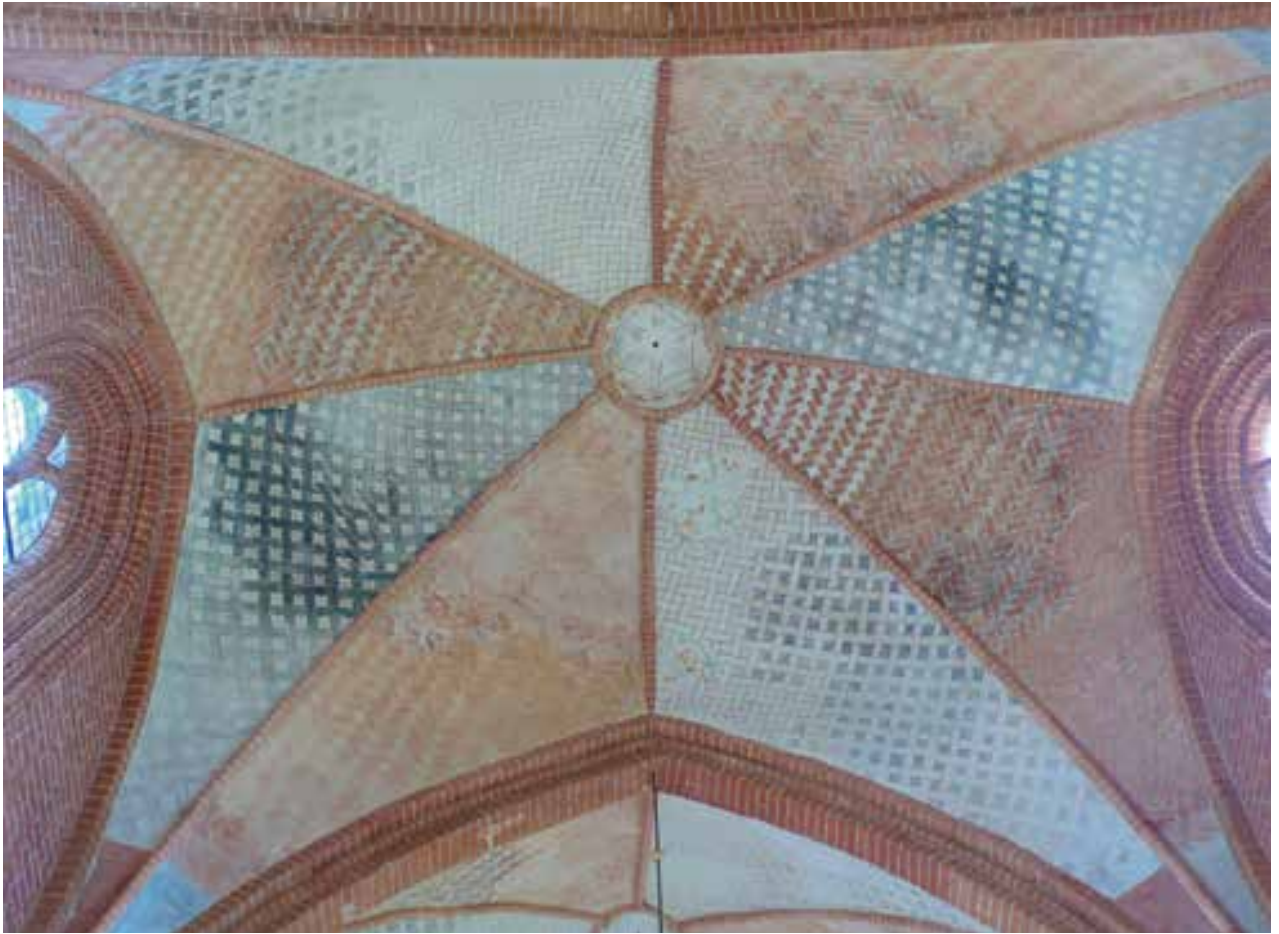
decoraties, zoals kapiteeltjes (kerk van Noorddijk) en de consoles met gezichts- en dierenmaskers (kerken van Ee en Kantens).

Incidenteel werd gebruikgemaakt van gescharreerde baksteen, voornamelijk uit de zestiende en zeventiende eeuw. Voorbeelden zijn het Martenahuis in Franeker (circa 1505) en het Paushuize in Utrecht (circa 1517). Bakstenen zijn ook bij te slijpen door ze als beschuiten tegen elkaar aan te schuren. Voorwaarde is wel het gebruik van relatief zachte stenen. In de zestiende en zeventiende eeuw werden geslepen stenen toegepast in bogen en strekse bogen boven vensters en deuren. In de zeventiende en achttiende eeuw sleep men bakstenen 'arm' om dünnere voegen te realiseren. Een bijzonder voorbeeld is de gebogen voorgevel van het Van der Perrehuis in Middelburg.²⁰

Decoraties zijn ook te verkrijgen door afwisselingen in kleurgebruik. Daarbij kan men klei gebruiken van verschillende herkomst (rode en gele steen), gesinterde steen, gesmoorde steen (grauw of zwart), verglaasde of geglaazuurde steen. In Friesland zijn rode bakstenen gevels wel versierd met banden, hoekkettingen en decoraties van gele baksteen (vijftiende en zestiende eeuw). Vermoedelijk is dit een goedkope versie van decoraties in natuursteen, zoals in Brabant en Holland zijn te vinden.

Verglaasde steen ontstaat tijdens het bakken vooral door de aanwezigheid van zouten in de (zee)klei en gebruik van zouthoudende turf als brandstof. Deze stenen werd aanvankelijk op willekeurige wijze in het metselwerk opgenomen, zoals ook het geval is voor gesmoorde en licht gesinterde stenen. Al in de dertiende eeuw werden deze stenen gebruikt voor decoratiemotieven. Een voorbeeld hiervan is de toepassing van kruisen in verglaasde baksteen in het vroeg-dertiende-eeuwse deel van de toren van de St. Salvatoriekathedraal in Brugge. Bij de Nobelpoort in Zierikzee zijn alle koppen in het Vlaamse verband in een soort verglaasde steen uitgevoerd (vroeg-veertiende eeuw). Vermoedelijk zijn deze koppen bestreken met een kleipap met zout en loodoxide.²¹ Venster- en deuromrandingen in verglaasde baksteen zijn te vinden in romanogotische kerken in Friesland en Groningen.²²

Glazuren is een kostbaar proces. Vermoedelijk werd de steen eerst gebakken, vervolgens geglaazuurd en dan opnieuw verhit om het glazuur te verharderen. Een eenmalig voorbeeld was het dertiende-eeuwse huis Fresenburg aan de Oude Gracht te Utrecht, waarvan de voorgevel was versierd met strekkenlagen van groenbruine geglaazuurde baksteen en randen langs de



vensters in heldergroene en geel geglazuurde baksteen. Vermoedelijk was de steen geïmporteerd uit Noord-Duitsland.²³

Eenvoudiger zijn de ‘metseltekens’ in de vorm van bijvoorbeeld ruiten, harten en kruisen in een contrastrend kleur. Religieuze symbolen op kerken en kloosters verwijzen overduidelijk naar de functie. Maar zijn de ‘runetekens’, davidsterren en kruisen op andere gebouwen daadwerkelijk afweertekens voor onheil en brand? In elk geval lijkt het onwaarschijnlijk dat er sprake is van tekens van metselaars. Toen metselwerk vanaf de tweede helft van de zeventiende eeuw meer en meer als een abstract vlak werd beschouwd, paste men dergelijke tekens niet langer toe.

TOT SLOT

Metselwerk is een belangrijke informatiebron voor het aflezen van de bouwgeschiedenis van een gebouw. Niet alleen bouwsporen in het metselwerk geven informatie, maar ook de maatvoering van de baksteen, de opper-

Afbeelding 14

Gewelf in de kerk van Leermens (veertiende eeuw). Het gewelf is beschilderd met siermotieven, ontleend aan siermetselwerkverband. Bij onderzoek worden vaak sporen van een geschilderde afwerking gevonden, zowel in het interieur als het exterieur (foto Jan van der Hoeve).

vlaktebewerking, het metsel- en hoekverband, de decoraties en het voegwerk. Ondanks het reeds verrichte onderzoek blijven er nog veel vragen over de introductie, verspreiding, handel en toepassing van baksteen. Het blijft daarom noodzakelijk om systematisch bouwhistorisch onderzoek te verrichten. Bij herstel en restauratie is het van belang om de karakteristieke kenmerken van het metselwerk, baksteen, voegwerk en eventuele restanten van beschilderde afwerkingen zo goed mogelijk te behouden, zodat de bouwgeschiedenis en historische gelaagdheid afleesbaar blijven.

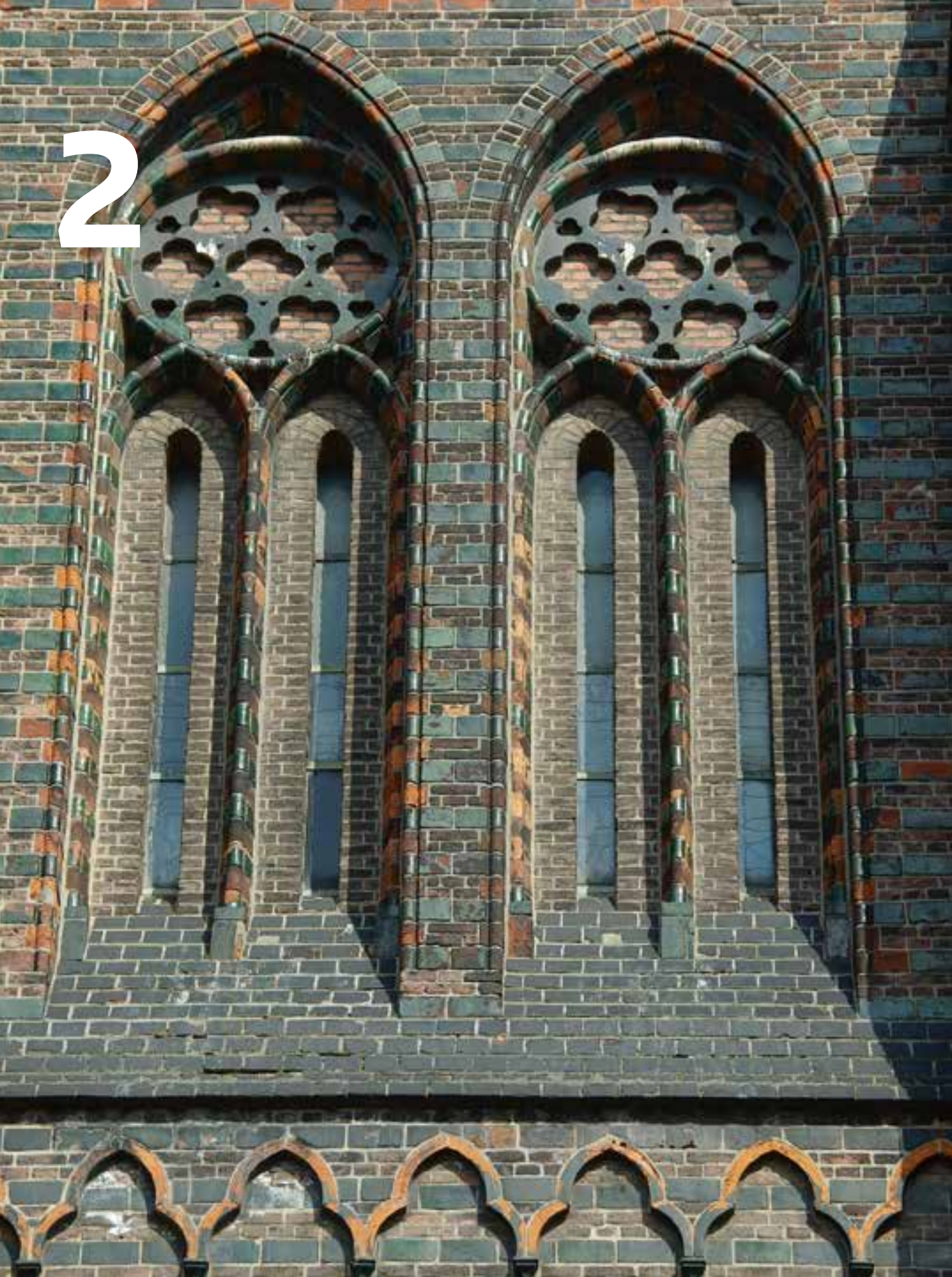
Literatuur

- Arntz, W.J.A. 1954, 'Tijdstip en plaats van ontstaan van onze middeleeuwse baksteen', in: *Bulletin KNOB*, pp. 23-28.
- Berends, G., 1989, 'Baksteen in Nederland in de Middeleeuwen', in: *Restauratievademecum*, Rvblad 02-1 t/m 19 (UDC 691.421).
- Bruin, M.W.J. de, 1994, *Husinghe ende Hofstede*, Utrecht.
- Campbell, J. en W. Price, 2003, *Baksteen, geschiedenis, architectuur, technieken*, London/ Bussum.
- Emmens, K., 2008, 'De oudste Friese baksteen. Een heroriëntatie op de introductie en vroege toepassing van baksteen in Friesland en Groningen', in: *Medieval Brick Architecture in Flanders and Northern Europe: The Question of Cistercian Origin*, Jaarboek Abdijmuseum Ten Duinen 1138, Koksijde, pp. 73-114.
- Hartog, E. den, 2002, *De oudste kerken van Holland*, Utrecht.
- Haslinghuis, E.J. en H. Janse, 1997, *Bouwkundige termen*, Leiden.
- Hoeve, J., van der, 2005, Backstein in den Niederlanden, in: B. Perlich en G. van Tussenbroek (red.), *Technik des Backsteinbaus im Europa des Mittelalters*, Petersberg, pp.125-138.
- Hollestelle, J., 1976, *De steenbakkerij in de Nederlanden tot omstreeks 1560*, Arnhem (tweede druk).
- Hollestelle, J., 1982, 'De Nederlandse steenbakkerij in de zeventiende en achttiende eeuw', in: *Economisch- en Sociaal-historisch Jaarboek*, Amsterdam, pp. 11-21.
- Hoornaert, G., 1997, *Metseltekens in West-Vlaanderen en Noord-Frankrijk*, Kortrijk.
- Hundertmark, H., 2000, 'De primitieve stadsmuur', in: H. Willems e.a., *De onderste steen boven, 25 jaar bouwhistorie in 's-Hertogenbosch*, Utrecht, pp. 104-123.
- Immenkamp, A., 2001, *Ziegelei Lage, museumsführer*, Dortmund.
- Janssen, H.L., 1995, 'Kastelenbouw in het graafschap Holland circa 1150-1300', in: M.B. de Roever (red.), *Het "kasteel van Amstel", Burcht of bruggehoofd?*, Amsterdam, pp. 59-75.
- Klück, B.J.M., 'Oude Gracht 113 (Fresenburg)', in: T.J. Hoekstra en A.F.E. Kipp, *Archeologische en bouwhistorische Kroniek van de Gemeente Utrecht 1985*, Utrecht 1986.
- Luiken, Johannes en Caspaares, 1694, *100 Verbeeldingen van Ambachten*, Amsterdam (ongedateerde reprint).
- Meischke, R., 1975, 'Huizen en keuren', in: J.G.N. Renaud (red.), *Rotterdam Papers II*, Rotterdam, pp. 89-116.
- Meyer, G.M. de & E.W.F. van den Elzen, 1982, *De verstening van Deventer: Huizen en mensen in de 14e eeuw*, Groningen.
- Orsel, E., 2011, 'Stenen van de Graaf, Vroege baksteen in Leiden en Rijnsburg', in: *Westerheem*, nr 4, pp. 184-192.
- Schwabach, Th., 2003, *Die Entwicklung des Ziegeltgewerbes in Zons, Stadt Dormagen, Rhein-Kreis Neuss (15.-20. Jahrhundert) mit ausführlicher Darstellung der allgemeinen Entwicklung des Gewerbezweiges*, z.p.
- Stafleu, M. (red.), z.j., *Archeologische en Bouwhistorische Kroniek van de Gemeente Utrecht 1926-1972*, Utrecht.
- Stenvert, R., e.a., (red), 1998, *Monumenten in Nederland: Groningen, Zeist/Zwolle*.
- Strijbos, H.H.M., 1993, 'Metseltekens', in: *Restauratievademecum*, Rvblad 01-1 t/m 18.
- Vermeer, G., 1999, *Kloosters van baksteen, de architectuur van de hervormingsorden in Nederland tot omstreeks 1300*, Amsterdam.
- Voskuil, J.J., 1979, *Van vlechtwerk tot baksteen, geschiedenis van de wanden van het boerenhuis in Nederland*, Zutphen.
- Vries, D.J. de, 1994, *Bouwen in de late Middeleeuwen; stedelijke architectuur in het voormalige Over- en Nedersticht*, Utrecht.
- Vries, D.J. de, 2000, 'Vergelijkend natuurwetenschappelijk dateringsonderzoek', in: *Bulletin KNOB*, nr. 3, 81.

Noten

- 1 Interessant is dat 'zonnesteen' in Nederland tot in de negentiende en twintigste eeuw werd gebruikt in vakwerkwanden en binnenwanden.
- 2 Ook China kan wijzen op een oude baksteentraditie vanaf de periode van de Strijdende Staten (475-221 v. Chr.). Deze blijft hier buiten beschouwing, evenals de verdere ontwikkelingen in het Verre Oosten.
- 3 Stenvert e.a. 1998, p. 158; De Vries 2000, p. 83.
- 4 Orsel 2011, p. 187.
- 5 De Bruin 1994, p. 148.
- 6 Stafleu zj, pp. 259-267. Vriendelijke mededeling B.J.M. Klück en A.F.E. Kipp.
- 7 Janssen 1995, p. 64.
- 8 De Vries 1994, p. 69.
- 9 Vriendelijke mededeling A. Viersen.
- 10 Vriendelijke mededeling H. Hundertmark.
- 11 Hundertmark 2000, pp. 104-123.
- 12 Vriendelijke mededeling A. Reinstra.
- 13 Intussen zijn diverse voorbeelden gedocumenteerd vanaf de zeventiende eeuw (Wierickerschans: sortie west, 1687) tot het midden van de negentiende eeuw (Utrecht, Donkere Gaard 4). Dit verschijnsel doet zich niet alleen voor in het midden van het land, maar ook in Groningen (Groningen, Turftorenstraat 38, circa 1830).
- 14 Vriendelijke mededeling E. Orsel.
- 15 Voorbeelden zijn Keistraat 5 en Oudegracht 319-321, beide te Utrecht.
- 16 Berends 1989, pp. 2-4.
- 17 Hollestelle 1976, p. 82.
- 18 Berends 1989, pp. 2-4.
- 19 Veenstra, pp. 114 en 115.
- 20 Mogelijk zijn verbanden te leggen met het siermetselwerk met geschuurde en gemodelleerde baksteen in Engeland vanaf de zeventiende eeuw. Hier werden stenen gebakken van gezeefde klei. Alle steen werd na het bakken op maat en arm geschuurd, zodat minimale voegen mogelijk werden. Alle vlakke werk werd nageschuurd. Profielen, siermotieven en decoraties werden gehakt, gezaagd, geraspt en geschuurd. Campbell 2003, p. 190.
- 21 Vriendelijke mededeling R. Stenvert.
- 22 Vriendelijke mededeling A. Reinstra.
- 23 Hoekstra 1985, pp. 197-204.

2



Jongere baksteen 1850-1965

Textuurschommelingen

Na 1850 raakte de traditionele baksteenproductie in een stroomversnelling door nieuwe wijzen van bakken en vormen. Mode en technische mogelijkheden bepalen sindsdien het uiterlijk van het eindproduct. Ook metselwerk was in deze periode aan verandering onderhevig. Dankzij ijzer en gewapend beton in draagconstructies werden dunnere muren mogelijk en verschenen decoratieve metselverbanden. Na de Tweede Wereldoorlog ontwikkelde de baksteenindustrie zich tot een moderne procesindustrie met kleiprodukten op bestelling.¹

Baksteen is een homogeen en duurzaam bouw materiaal, dat echter veel variaties kent wat betreft herkomst, samenstelling, kwaliteit, structuur en formaat. De klei waarvan de baksteen wordt gemaakt, is een mengsel van verweringsproducten van natuurlijke gesteenten met als belangrijk bestanddeel kaoliniet, dat in zuivere vorm wit bakkend is. Daarnaast moet de kleisubstantie tenminste een kwart zeer fijne korrels bevatten.

Elke kleisubstantie absorbeert gemakkelijk verontreinigingen. Mede daardoor verschilt de klei per vindplaats. IJzeroxide is verantwoordelijk voor de bruine kleur. De verhouding van ijzeroxide en kalk in de klei bepaalt in hoge mate de uiteindelijke kleur (zie ook het hoofdstuk over baksteenproductie).

Zand is een belangrijk onderdeel van ieder kleimengsel. Vette of lange klei bevat weinig zand en is plastisch en magere of korte klei stug en zandhoudend. Door te bakken in een zuurstofarme omgeving (smoren) krijgt de baksteen een blauwzwarte kleur.

Rood, geel en blauwzwart zijn de belangrijkste ‘natuurlijke’ verschijningsvormen (afb. 2). Door te gla-

zuren zijn ook andere kleuren mogelijk. Daarbij worden stenen met een kleipapje met metaaloxiden bestreken en ondergaan ze in een aparte moffeloven een tweede bakgang (afb. 3).

CLUSTERS STEENFABRIEKEN

Bruikbare klei voor baksteen komt op verschillende plekken in ons land voor. Midden negentiende eeuw hanteerde men een indeling in vier regio's. Friesland is het oudste productiegebied. Een tweede regio ligt in Zuid-Holland rond Leiden, langs de Hollandse IJssel en de Oude Rijn. In deze beide gebieden werden naast rode ook gele bakstenen geproduceerd die gewild waren als decoratie (afb. 4). In Holland bakte men bovendien kleinere stenen, de IJsselsteentjes.

Rond Utrecht en langs de Vecht produceerde men eveneens bakstenen. De vierde regio, die van de Lek en Waal – later het gehele gebied van de grote rivieren omvattend – werd in de loop van de negentiende eeuw het meest belangrijk en het daar gebruikte formaat, het waalformaat van 21,5 x 10,5 x 5,5 cm, werd leidend.

De Groningse en Limburgse kleigebieden kregen pas na circa 1870 bovenregionale betekenis.² Het belang van de steenbakkerijen in Friesland nam in deze periode sterk af en speelde na de Eerste Wereldoorlog slechts een zeer bescheiden rol.³ Holland en Utrecht verloren

Afbeelding 1

Muurwerk met Duitse profielsteen aan de Rotterdamse Redemptoristenkerk van de Allerheiligste Verlosser aan de Goudse Rijnweg uit 1882-1884 (foto auteur).



Afbeelding 2 (linksboven)

Boogvulling met metselwerkmozaïek van vormbaksteen in rode, gele en blauwgesmoorde baksteen aan het voormalig Ministerie van Justitie te Den Haag uit 1876-1883 (foto auteur).

Afbeelding 3 (rechtsboven)

Gevel van geglaazuurde steen aan het café Maria Hoef te Belfeld (L.) uit circa 1910 (foto auteur).



Afbeelding 4 (rechts)

Vensterboog van de Onze Lieve Vrouwe van Altijd Durende Bijstand te Roosendaal uit 1872 met gevelgrauwe handvormsteen gedecoreerd met vermoedelijk uit Friesland afkomstige onbezande gele baksteen (Wasserstrich) (foto auteur).



na de Tweede Wereldoorlog hun belang, ten koste van Midden-Limburg en bovenal Gelderland.

De schattingen over het aantal steenfabrieken lopen nogal uiteen. In zijn studie over Nederlandse handel en nijverheid stelde de chef van de afdeling handel van het Ministerie van Landbouw, Nijverheid en Handel J.C.A. Everwijn dat er in 1858 313 steenbakkerijen waren en in 1906 585 fabrieken (afb. 5).⁴ Maar deze telling bleek nogal geflatteerd. Een betrouwbare schatting gaf voor 1887 circa 225 fabrieken.⁵ Dit aantal daalde tot 189 in 1908 om te stijgen tot 285 fabrieken in 1934.⁶ Dat aantal fabrieken nam na de Tweede Wereldoorlog af tot 207 in 1962. Door ingrijpende saneringen waren er in 1969 nog 158 fabrieken, in 1978 108, en rond 1980 nog maar 80.

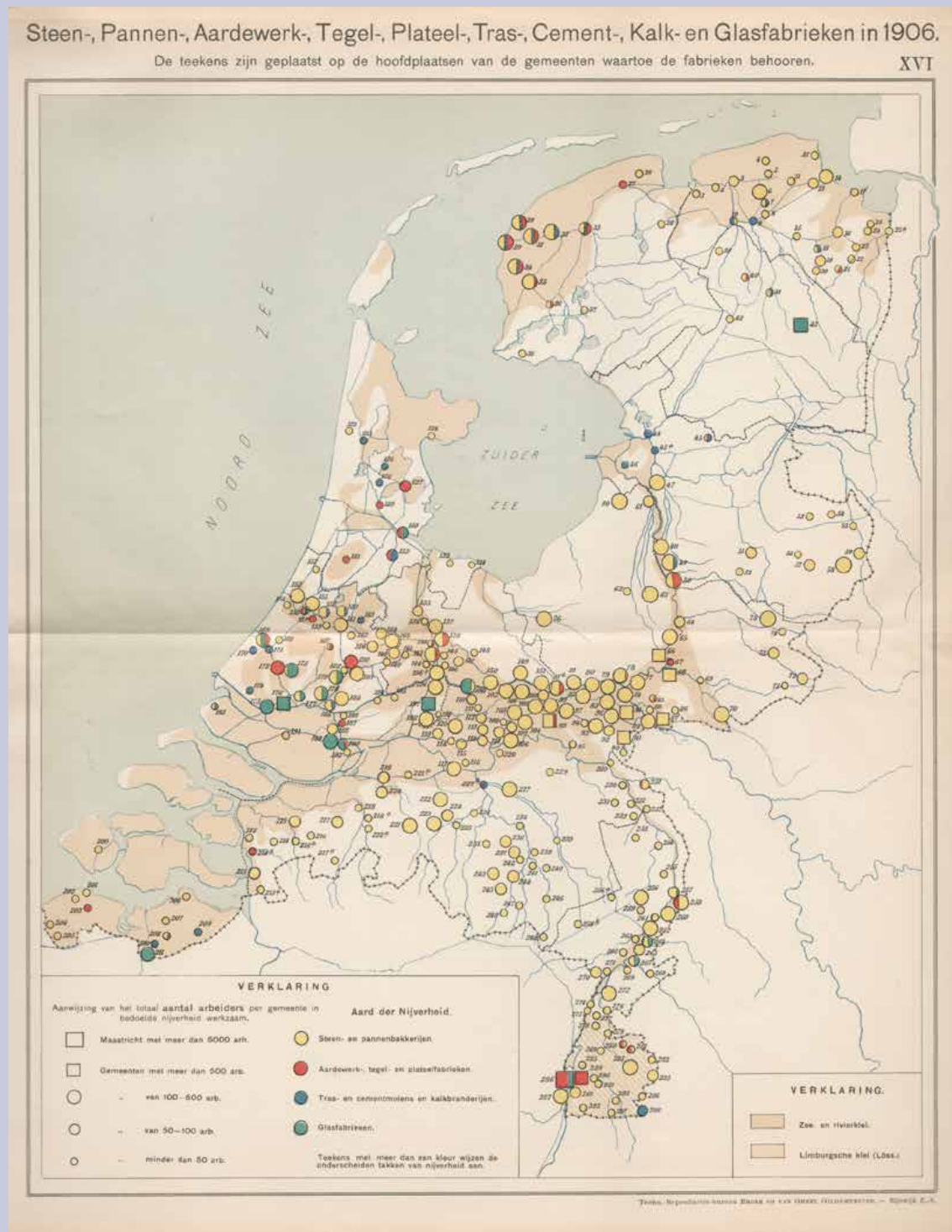
BAKKEN EN SORTEREN

Het bakproces leidde stevast tot een scala aan kwaliteiten steen, variërend van zacht gebakken boven in de oven tot hard gebakken onderin. Iedere oveninhoud werd op de tasplaats uitgesorteerd. De bovensteen was doorgaans onvoldoende gaar. Op de grens met de mid-

delste zone bevond zich de rode steen, waarvan men de bovenste lagen voor binnenmuren benutte. De daar onderliggende lagen werden vanwege hun sprekende rode kleur 'best rood' of 'appelbloesem' genoemd en waren gewild als gevelsteen. Stenen lager uit de oven heten grauwe stenen, omdat de toenemende baktemperatuur een donkerder steenkleur geeft. 'Boerengrauw' en 'hardgrauw' zijn de bekendste kwaliteiten.

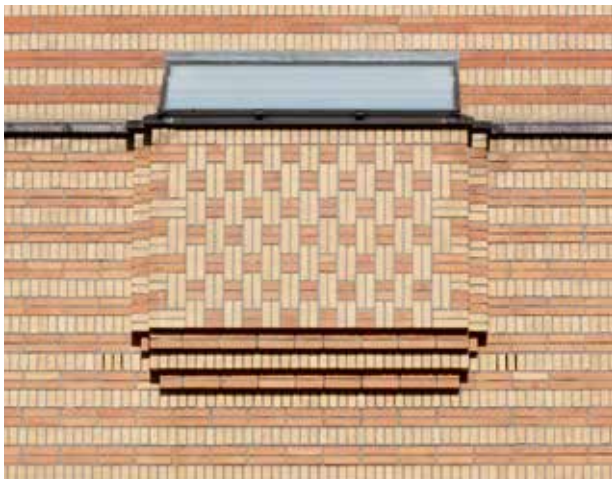
De stenen uit de onderste zone heten klinkers, naar de heldere klank wanneer twee stenen tegen elkaar geslagen worden. Naast 'gevelklinkers' en 'trasraamklinkers' waren 'regenbakklinkers' gezocht vanwege hun licht gesinterde, en daardoor waterdichte, karakter. Ook werden de stenen uitgesorteerd op gelijkmatigheid, vlakheid en egale kleur. Niet egaal heet 'miskleurig' of 'genuanceerd' en dat was in bepaalde perioden gewild of juist niet.

Handvormsteen is altijd de standaard geweest, waarbij een vormer een klomp klei in een houten vormbak drukt en vervolgens de overvloedige klei afstrijkt. Tegen het kleven werd de vorm vooraf met zand bestrooid, resulterend in een 'bezande handvormsteen'. Op plaatsen



Afbeelding 6 (links)

Blokverband en ander sierverband ter hoogte van een vitrinekast aan de binnenvaart van het Haags Gemeentemuseum uit 1933 (foto RCE).



Afbeelding 7 (rechts)

Deel van een blinde muur in Utrecht van vormbaksteen in kruisverband waarbij zichtbaar is dat de meeste stenen op hun kop vermitseld zijn. Ook zijn schuine aftekeningen zichtbaar van de wijze van opstapelen in de oven (foto auteur).



Afbeelding 8 (onder)

Deel van een blinde muur met siermetselwerk aan het Noordeinde 202 in Den Haag uit circa 1890 (foto RCE).



met vettere klei gebruikte men geen zand, maar maakte men de vorm nat. Deze door het water 'gestreken' steen heet in Duitsland dan ook 'Wasserstrich' en is herkenbaar aan zijn gladde, onbezande, oppervlak.

Omdat de stugge klei nooit volledig in de vormbak gedrukt kan worden, ontstaan er kenmerkende plooien of nerven aan de buitenzijde. Ook heeft de steen aan de onderzijde licht afgeronde hoeken. Dit heet de 'arme zijde'. De scherp afgestreken bovenzijde is de 'rijke zijde'. Doorgaans wordt gemetseld met de rijke zijde naar onder.

ROBUUSTE METSELWERKEN

Het stapelen van de stenen geschiedt in een metselverband, waarbij stootvoegen nooit boven elkaar mogen liggen en ze 'vol en zat' gemetseld dienen te worden om regendoorslag te voorkomen. Voor constructief werk werd gemetseld in een afwisseling van koppen- en strekkenlagen. Als de strekken in de strekkenlagen recht boven elkaar liggen, spreekt men van staand verband en als ze een halve steen verschoven zijn van kruisverband. Ketting- en Vlaams verband, waarin geen onderscheid bestaat tussen koppen- en strekkenlagen, werd in de negentiende eeuw als ouderwets beschouwd.

De muurdikte was afhankelijk van de hoogte van het gebouw. Volgens de Amsterdamse bouwverordening uit circa 1918 was voor een gebouw met drie vloeren een tweesteens-dikke muur nodig.⁷ Bij een dikkere muur gebruikte de metselaar de betere steen aan de zichtzijde. Deze stenen worden voorwerkers genoemd. Stenen die niet in het zicht komen, heten achterwerkers. Doorgaans benutte men daartoe minder harde, slechtere of krommere steen. In het laatste kwart van de negentiende eeuw werden bewust aan de buitenzijde mooiere stenen toegepast, die bekledings- of blindeersteen heten – of naar het Duits verblendsteen.

Vanaf het moment dat in Nederland staal en beton de draagconstructie van een gebouw gingen bepalen en muurwerk een vullend karakter kreeg, nam de aandacht voor een zo sterk mogelijk metselverband af. Dunne muren werden doorgaans in halfsteensverband opgetrokken. Om een saai aanzien te voorkomen, benutte men klezorverband, waarbij de strekken in de opeenvolgende lagen een klezor verspringen. Wanneer de stenen recht boven elkaar geplaatst worden en dus ook de stootvoegen boven elkaar liggen, spreekt men over regelverband. Een variant hierop is het blokverband, waarbij twee koppen of strekken paarsgewijs boven elkaar geplaatst worden (afb. 6). Esthetisch gewild is in een bepaalde periode het rechtopstaand verband waarbij de lintvoegen niet horizontaal, maar verticaal lopen.

VORMBAKKEN

Twee innovaties veranderden de traditionele productiewijze ingrijpend. Een vinding uit 1852 werd in 1867 door Joh. Aberson uit Olst als 'Canadeese Vormbakpers' op de Nederlandse markt gebracht. Met stoomkracht werd klei uit een kleimolen onder grote druk in een vormraam geperst, die bestond uit een bak met vijf (of zes) vooraf bezande houten vormen. Na het persen schoof het vormraam naar voren waarbij het aan de bovenzijde werd afgestreken. Juist de stugge zandhoudende klei van het rivierengebied bleek hiervoor uitermate geschikt.

Vanaf 1870 kwamen de nieuwe machinale bezande bakstenen (vormbakstenen) op de markt (afb. 7). Een duidelijke karakteristiek van de nieuwe steen was dat de voor handvormsteen kenmerkende plooien of nerven ontbraken, doordat de klei krachtiger in de vorm gedrukt kon worden dan een handvormer ooit kon. Niet iedereen was even enthousiast over het eindproduct. Een belangrijk esthetisch bezwaar was dat 'de machinale stenen aan de gevels een doodsch aanzien zouden geven'.⁸

In 1858 verwierf F.E. Hoffmann een patent op een oven waarin in een continu proces stenen gebakken konden worden tegen een derde van de gebruikelijke hoeveelheid brandstof. Deze ringoven bestaat uit drie concentrische ringen, waarvan de binnenste ring de schoorsteen zelf is, die door enkele openingen in verbinding staat met de middelste ring of het rookkanaal. Dit rookkanaal heeft verbinding met de veel grotere buitenste ring, het stookkanaal, met openingen aan de buitenzijde. Door een slim ontwerp was het mogelijk een 'lopend vuur' door dit stookkanaal te leiden, waarbij men aan de ene zijde de gebakken steen kon afvoeren en daarnaast de ongebakken steen kon opstapelen, terwijl aan de andere zijde het bakken plaatsvond. In 1869 kwamen in Nederland de eerste twee ringovens in gebruik, maar het duurde nog een klein decennium voor alle kinderziekten overwonnen waren, waarna de ringoven ook zijn kenmerkende ovale vorm kreeg.

De moderne baksteen bleek goed bruikbaar voor de toen populaire neorenaissance-architectuur met schilderachtige trap- en topgevels en siermetselwerk in de nuances van de drie basis-baksteenkleuren: rood, geel en blauwgesmoord. Ook blinde wanden werden op decoratieve wijze voorzien van een 'tricolore van baksteen' (afb. 8). Vooral polychrome decoratieve boogtrommelvullingen kenden een opmerkelijke populariteit. Er vond al snel prefabricage plaats, onder meer door de Rotterdamse Cementsteenfabriek Van Waning & Co. Deze fabriek verwerkte daarin overigens ook de door henzelf geproduceerde grijze cementstenen.

GEPROFILEERDE RANDEN

Hoewel vormbaksteen als een verbetering gold, kwam er vraag naar kwalitatief nog betere baksteen voor gevelwerk. In 1854 patenteerde de Duitse machinefabrikant Carl Schlickeysen een 'Schraube für plastische Körper' die klei door een persmond stuwde. Nadat een goede manier was gevonden voor het op maat afsnijden van de kleimassa, werd vanaf circa 1870 in Nederland maatvast gladde strengperssteen geproduceerd. Vettere klei bleek hiervoor het best geschikt. Hoewel enkele Gelderse fabrieken meededen, vond productie overwegend in Groningen, Friesland en Limburg plaats. Door in de persmond metalen naalden te monteren was het mogelijk holle bakstenen te produceren, wat tot dertig procent materiaal bespaarde. Met een persmond van een afwijkende vorm konden ook profielstenen worden gemaakt.

De eerste strengpers- en profielstenen werden nog uit Duitsland geïmporteerd (afb. 1). Bij het Centraal Station in Amsterdam (1882-1889) naar ontwerp van Pierre Cuypers verwerkte de Duitse aannemer Philip Holzmann & Co. strengpersstenen uit zijn eigen fabriek. Enkele jaren daarvoor, in 1877, leidde het aanbesteden

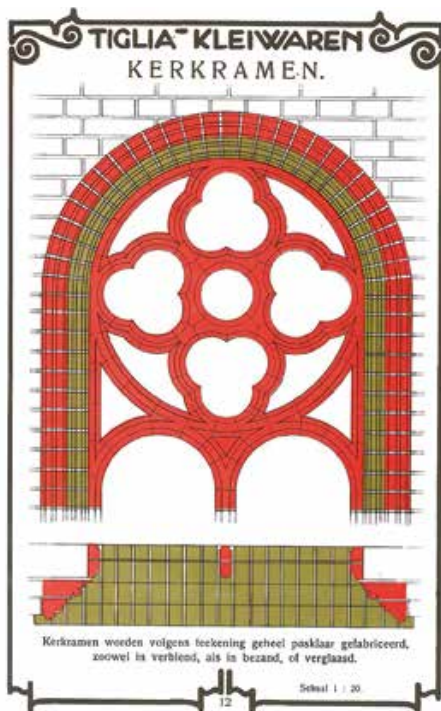
van 8,4 miljoen stenen voor het Rijksmuseum tot een storm van protest, toen bleek dat dit werk aan een Duitse fabriek zou worden gegund. De herbesteding van 8 miljoen stenen ging naar een Nederlandse fabriek, maar het verschil – profielstenen – werd door twee Duitse firma's geleverd. De bakstenen van dit forse gebouw kregen het grotere Duitse baksteenformaat van 25,5 x 12,5 x 6,5 cm.

In 1884 werd de Vereniging van Nederlandsche Steenfabrikanten opgericht, maar het ging – zoals architect Isaäk Gosschalk fijntjes opmerkte – de vereniging vooral om kwantiteit en minder om kwaliteit. Toen Gosschalk de Amsterdamse Westergasfabriek (1883-1885) ontwierp, schreef hij uitdrukkelijk Duitse stenen voor. Bij de aanbesteding in 1893 van het Groninger station kon hij inmiddels echter goede rode steen uit het Groningse Onderdendam gebruiken in het lokale formaat van 22 x 11 x 5,3 cm.⁹

Profielstenen werden vooral populair in de neogotiek, waar ze benut werden voor onder meer vensteromlijstingen (afb. 9 en 10). Met name in het Midden-Limborgse Venlo en Tegelen legde men zich toe op de

Afbeelding 9

Voorbeeld van profielstenen voor een kerkraam in een catalogus van Tiglia Kleiwaren uit Tegelen uit circa 1925 (collectie auteur).



Afbeelding 10

Bovendeel van een kerkraam van de St. Barbarakerk te Nieuwegein uit 1909-1910 (foto auteur).



productie van deze stenen, die ook veel toegepast werden in postkantoren, stations en overheidsgebouwen.

'HYGIËNISCHE' GEVELS

Rond 1900 steeg de vraag naar een gladde bekledingssteen of blindeersteen. Deze 'verblendsteen', een duurere variant van de strengperssteen, zorgde voor een strikter onderscheid tussen de voorwerkers en achterwerkers in het metselwerk.¹⁰ A. Augustin wordt gezien als uitvinder van de verblendsteen.¹¹ In zijn fabriek in Nedersilezië (Polen; oprichting 1854) produceerde hij holle hele, driekwart-, halve en kwartstenen. De eerste verblendstenen waren rood, maar doordat in de omgeving witbakkende klei voorkomt, bracht hij spoedig gele, witte en lederkleurige baksteen in de handel die in heel Europa zeer populair werd.

Volgens Van der Kloes brachten Dericks & Geldens uit Druken rond 1880 als eersten in Nederland holle verblendstenen op de markt,¹² gevolgd door enkele andere firma's waaronder Van Heukelum in Nijmegen, Canoy Herfkens & Co. in Venlo en de firma F. van de Loo Sr. te Bingerden bij Dieren. Laatstgenoemde firma schuwde

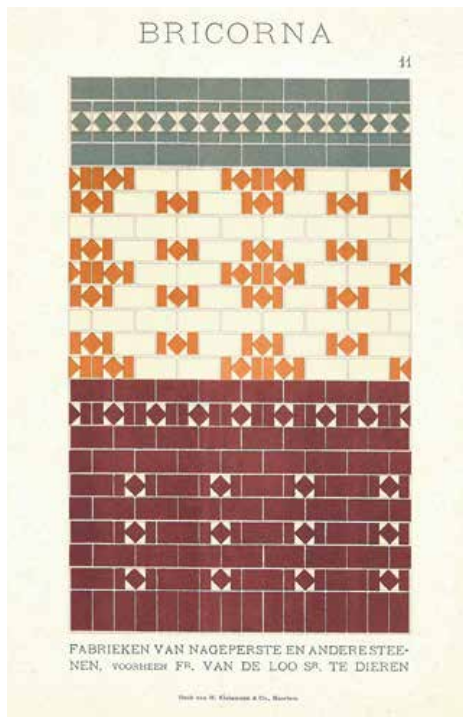
de publiciteit niet en vroeg architect A.W. Weissman een boek over baksteen te schrijven met de nodige aandacht voor haar eigen producten.¹³

Een belangrijk middel om kleuraccent in baksteenwerk aan te brengen, was geglazuurde steen. In een catalogus van Tiglia werden tien kleuren glazuur aangeboden, onderverdeeld in 'lopende of doorzichtige' en 'dekkende of ondoorzichtige' glazuren.¹⁴ Het Witte Huis in Rotterdam, een kantoorgebouw uit 1898, werd bekleed met wit geglazuurde baksteen en ook elders steeg de vraag naar licht gekleurde gevels. De Jugendstil stimuleerde het gebruik van deze 'hygiënische' gevels met name bij apotheken, slagers- en melkwinkels.

De firma Van de Loo benutte voor hun witte stenen een witbakkende klei uit het Westerwald. De firma toonde haar producten op de Wereldtentoonstelling in Luik in 1905. Teneinde een nog beter pallet aan gevelstenen te produceren, bedekte ze haar kantige nageperste steen met een patroonschildering in engobe: een waterig mengsel van klei en kleurmiddel plus een brandpuntverlagende toeslagstof. Om dit product met de naam *Bricorna* – een samentrekking van 'bri(que)'

Afbeelding 11

Plaat 11 uit een Bricorna-brochure van de Firma Van de Loo uit circa 1907 met voorbeeld van een baksteenlambrisering (collectie auteur).



Afbeelding 12

Baksteenpaneel opgebouwd uit speciaal voor dit ontwerp gemaakte bricornastenen aan het station te Zandvoort uit 1908 (foto auteur).





Afbeelding 13

Deel van de gevelwand van het Amsterdamse Scheepvaarthuis uit 1911-1916 met baksteendecoraties, vormstenen en opvallend lange bakstenen (foto RCE).

en 'orna(ta)' – ingang te laten vinden, schreef de firma in 1906 en 1907 prijsvragen uit en bracht ze een fraaie brochure op de markt (afb. 11). Vooral als decoratief onderdeel voor puin en lijsten kreeg de steen toepassing door het hele land. Ook in de vorm van grotere samenhangende decoraties, zoals het tegeltableau op station Zandvoort uit 1908 (afb. 12).

Hoewel Berlage in de jury van de Bricornaprijsvraag zat, sprak hij zich later uit tégen verblendsteen als een 'zeer harden, geheel gladden en volkomen éénkleurigen maar daardoor onnatuurlijken steen'. Voor zijn *Beurs* benutte hij vormbaksteen, maar voor zijn Algemeene Nederlandsche Diamantwerkersbond (ANDB) in Amsterdam (1899-1900) paste hij een forse handvormsteen van



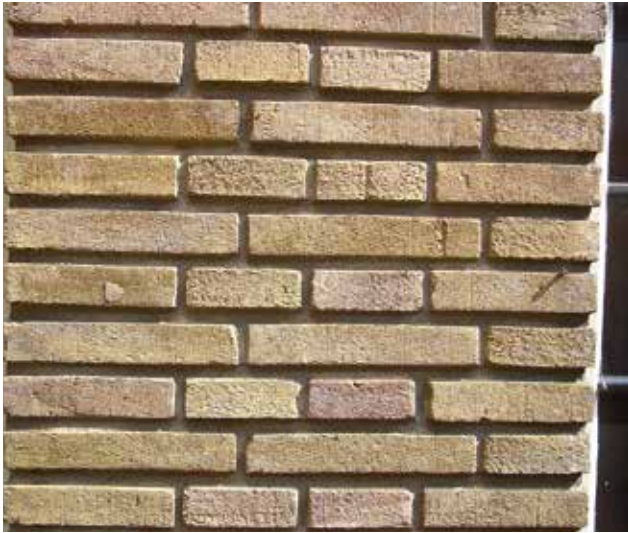
Afbeelding 14

Deel van de gevelwand van het 'Derde Blok' aan het Spaarnedammerplantsoen in Amsterdam uit 1917-1920 met rechtopstaand vermetselde paarsblauwe gevelklinkers (foto auteur).

29 x 14 x 8 cm toe, afkomstig van de firma Ouderzorg in Leiderdorp. Deze firma bakte in 1908 ook de reuzenmoppen voor de buitengevels van het Haagse Vredespaleis.

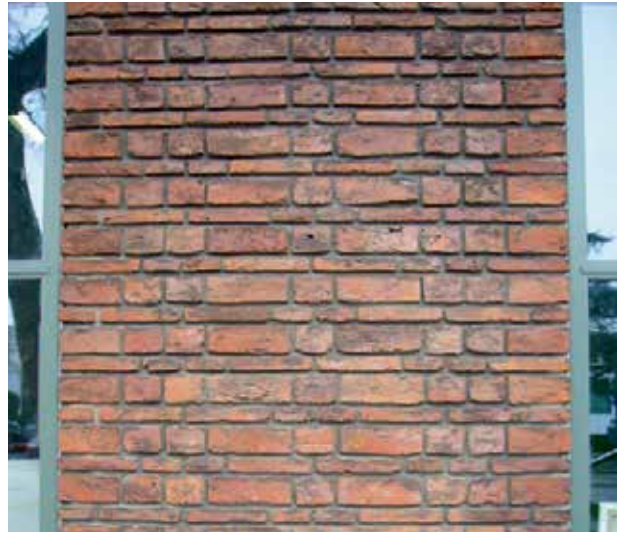
TEXTUUR EN VERBAND

Met de Eerste Wereldoorlog kwam een (voorlopig) einde aan de vraag naar gladde en lichtgekleurde baksteen. Door verminderde vraag nam de baksteenproductie als geheel sterk af, waardoor de prijzen scherp stegen, met een hoogtepunt in 1920. Daarna daalden de prijzen tot een vooroorlogs dieptepunt in 1935. In deze moeilijke tijden nam de Nederlandsche Spoorwegen het heft in handen door in 1916 een Brabantse steenfabriek te ko-



Afbeelding 15

Detail van nageruwde strengperssteen verwerkt aan de KRO-studio in Hilversum uit 1936-1939 (foto auteur).



Afbeelding 16

Details van de oudbouw van het Rotterdamse Museum Boijmans Van Beuningen uit 1931, met een afwisseling van grote en kleine bakstenen, in wat heden ten dage polymeetrisch verband wordt genoemd (foto auteur).

pen om daar de 21 miljoen stenen te bakken die nodig waren voor haar nieuwe Hoofdgebouw III in Utrecht.

Architecten verkozen inmiddels een baksteen met meer textuur om een plastische architectuur te kunnen realiseren. Handvormstenen bepaalden opnieuw de gevels en een klein gebrek of niet geheel egale (miskleurige) steen werd geen bezwaar geacht. Dit paste goed bij het expressionisme van de Amsterdamse School, waarvan het Scheepvaarthuis (1911-1916) een belangrijk voorbeeld is. Hier werd een opvallend lange en smalle steen van 26 x 13 x 3,5 cm toegepast, vervaardigd bij de Opijnensche Steenfabriek (afb. 13).¹⁵ De befaamde Amsterdamse woningbouw aan het Spaarndammerplantsoen werd uitgevoerd met gele Friese steen dan wel rode Groninger steen, op een plint van paarsblauwe klinkers (afb. 14). Ook elders in het land, en vooral in de provincie Groningen, vierde het baksteenexpressionisme hoogtij.¹⁶

Met de komst van betonconstructies schikte baksteen zich in de rol van bekledingsmateriaal. Dit werd aangegrepen om voor niet dragende muren met afwijkende metselverbanden te experimenteren, wat resulteerde in rechtopstaand of blokverband.

Door het toenemende verkeer (en daardoor de aanleg van verharde wegen) gingen veel steenfabrieken over op het bakken van hardere straatklinkers, waardoor minder rode stenen voor de bouw beschikbaar

waren. Dit gat werd moeiteloos gevuld door goedkope Belgische baksteen en kalkzandsteen. Dat laatste materiaal noopte de Vereniging van Nederlandsche Steenfabrikanten in 1907 om het laatste deel van hun naam in 'Baksteenfabrikanten' te veranderen.

Sommige steenfabrikanten poogden door specialisatie nieuwe marktsegmenten aan te boren. Zo gingen strengperssteenfabrikanten ertoe over om na het persen de steen alsnog te bezanden dan wel door rollers een structuur te geven. Deze steen met een ingeperste nerf kreeg de naam boomschorssteen. Ook werd de steen na het persen natgemaakt en met een rubberen rol van een gerilde structuur voorzien, zoals toegepast aan de KRO-studio in 1936-1939 (afb. 15).

Toch bleven gladde gele strengpersstenen populair bij strakker vormgegeven gebouwen, zoals het Hilversumse Raadhuis of de flatgebouwen van de Nieuwe Bouwers. Meer traditionalistische architecten kozen echter juist voor handvormsteen met veel structuur, al dan niet verwerkt in een fantasieverband, waaraan de reuzemoppen van Ouderzorg extra cachet gaven, zoals bij Museum Boijmans in Rotterdam (1931) (afb. 16).

INHAALVRAAG EN INNOVATIE

De Tweede Wereldoorlog berokkende forse schade aan zowel gebouwen als steenfabrieken. In 1949 werd het vooroorlogse peil van baksteenproductie weer bereikt.



Afbeelding 17 (boven)

Gladde rode vacuümstrengperssteen toegepast aan de zogeheten Gherzi-Weefhal van de Textielfabriek Van Heek in Enschede uit 1957 (foto auteur).



Afbeelding 18 (onder)

Detail van het metselwerk in patijtsverband van licht geglaazuurde vormbakstenen aan de Tomado-fabriek te Etten-Leur uit 1953-1955 (foto auteur).



Afbeelding 19

Reclamefolder voor Poriso-Steen uit circa 1941 met daarop afgebeeld het Rotterdamse Erasmushuis (Hollandse Bank Unie) uit 1938-1940 (collectie auteur).

De nadruk op productie leidde tot productiviteitsverhoging, maar vooralsnog niet tot innovatie. Zo bleef alle handvormsteen nog tot circa 1975 letterlijk met de hand gevormd en daarna pas gemechaniseerd tot wat machinale handvormsteen ging heten. De al in 1933 in Nederland geïntroduceerde gladde vacuümstrengperssteen werd populair in wanden van gladde steen in de woning- en fabrieksbouw (afb. 17). Vanaf 1950 werden bakstenen populair met een kleurige glazuurlaag waarbij toch de textuur van de baksteen zichtbaar bleef. Dit glazuren vond plaats op zowel handvormsteen als vormbaksteen (afb. 18). Pogingen tot innovatie leidden tot lichtere en uiteindelijk ook grotere stenen met meer gaten. Door toevoeging van toeslagstoffen aan de klei als zaagsel of vliegas ontstonden stenen met betere geluid- en isolatiewaarden, zoals de Porisosteent (afb. 19).



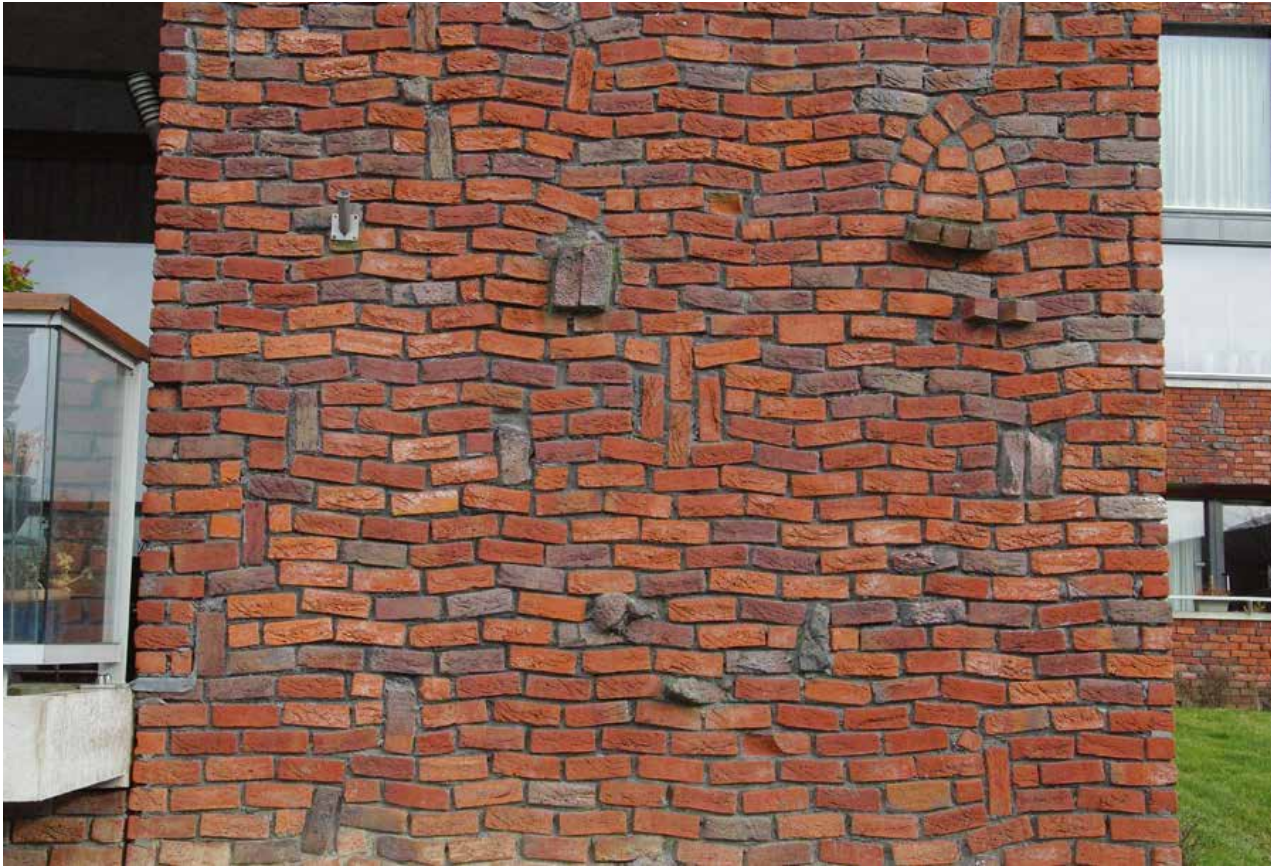
Afbeelding 20

Brokstukken van een Nehobo-vloer tijdens de afbraak van een jarenvijftigflat aan de Constant Erzeijstraat te Utrecht (foto auteur).

Voor de schaarste aan hout in de oorlog stimuleerde de ontwikkeling van de holle baksteenvloeren, bestaande uit gemetselde holle baksteenelementen met wapening ertussen en een dekvloer erop. In 1941 werd de Perfora-steen geïntroduceerd, kort daarop gevolgd door de Nehobo (Nederlandsche holle bouwsteen) die beide in meerdere fabrieken met strengpersen werden geproduceerd (afb. 20).¹⁷ Met de opkomst van niet-traditionele woningbouwmethoden na 1965, waaronder vooral de betongietbouwssystemen, nam het belang van de holle baksteenvloeren af. Hierdoor was ook per woning steeds minder baksteen nodig en deze verminderte vraag leidde tot overproductie en dalende prijzen.

NA 1965: VERANDERENDE PARAMETERS

Overproductie in combinatie met hogere energieprijzen en plaatselijk kleigebrek noopten tot saneringsgolven



in 1969, 1974 en 1983, waardoor er in Nederland in 2012 nog 36 steenfabrieken waren. Door zijn gereduceerd belang als enkel bekledingsmateriaal leek de rol van baksteen rond 1970 te zijn uitgespeeld. Met de toenemende afkeer van de architectonische ontwikkelingen in de jaren zeventig, waarvoor de betonnen flats van de Bijlmer model stonden, kwam er een baksteenrenaissance op gang. In eerste instantie kreeg dit vorm als bekledingsmateriaal van antroposofische architectuur, zoals het hoofdkantoor van de NMB-bank Amsterdam Zuid-Oost (1983-1986).

Eind jaren tachtig van de vorige eeuw kwam er ook aandacht voor innovatie van het product zelf en groepeerden de fabrikanten hun bestaande producten in assortimenten. Daarnaast ontwikkelde de baksteenindustrie zich tot een moderne procesindustrie waar de afnemer de vraag bepaalt en de producent op bestelling bakt. Dat bakken gebeurt in hedendaagse tunnelovens waarin het bakproces dermate goed gestuurd kan worden dat elke gewenste kwaliteit geproduceerd kan worden en het naderhand uitsorteren geheel overbodig is.

Afbeelding 21

Modern wild verband aan het woningbouwproject Vondelparc te Utrecht uit 2001 waar niet meer aan de draad is gemetseld (foto auteur).

Waar vroeger op kleur gesorteerd werd, maakt de fabrikant inmiddels zelf de kleur, met kleurtrends waarvan de donkere mangaansteen een belangrijke representant is. Dat werd als één van de eersten door H. Kollhoff en C. Rapp toegepast aan het woongebouw Piraeus op het KNSM-eiland (1989-1993). De staalkaart van bakstenen en metselverbanden van 'De Muur' in Arnhem is te beschouwen als teken van deze nieuwe zelfbewustheid. Deze verrees in 2001 als ruggengraat van het HollandRama bij het Nederlands Openluchtmuseum in Arnhem, naar ontwerp van F. Houben van Mecanoo Architecten. Sindsdien zijn er onder meer onder de naam bricksolutions nieuwe producten op de markt gekomen, waarvan sommige op het grensvlak met keramische platen.

Het nieuwe 'stenen gewaad' van onze gebouwen toont zich in de twee laatste decennia dan wel als

vanouds, maar heeft bij nadere beschouwing nog maar weinig van doen met de vooroorlogse baksteen. Zowel de klei, de vindplaats en samenstelling daarvan, als het vormen, drogen en bakken van de steen is door industrialisering en internationalisering dermate anders geworden dat voor oud werk een passende baksteen nog maar moeilijk gevonden kan worden.

Ook het metselen onderging een metamorfose waarbij de halfsteens 'baksteenjurk' in ieder gewenst verband gemetseld, maar inmiddels ook gelijmd of zonder voeg geklikt kan worden. Zelfs voegloos metselwerk is en vogue. Tekenend voor de ontwikkeling van robuust constructief naar behagend tektonisch is het metselwerk van het Utrechtse Vondelparc waar niet eens meer aan de draad werd gemetseld (afb. 21).

Literatuur

- Arntz, W.J.A., 1953, 'De baksteenindustrie in Friesland', *Klei* N.R., nr. 3, pp. 40-49.
- Droogh, Theo C., 1966, *25 jaar Nehobo NV, Den Haag*, Arnhem.
- Everwijn, J.A.C., 1912, *Beschrijving van handel en nijverheid in Nederland*, 's-Gravenhage.
- Gosschalk, I., 1899, 'Bij de platen betreffende het nieuwe station te Groningen', in: *Bouwkundig Tijdschrift*, nr. 17, pp. 57-73.
- Janssen, G.B., 1987, *Baksteenfabricage in Nederland: Van nijverheid tot industrie 1850-1920*, Zutphen, p. 528.
- Janssen, G.B. & H.J. Timmers, 1984, *100 jaar georganiseerde baksteenindustrie 1884-1984*, De Steeg, p. 123.
- Kloes, J.A. van der, 1893, *Onze bouwmaterialen*, Maassluis.
- Mey, J.M. van der, 1915, 'Een en ander over het Scheepvaarthuis als proeve van monumentaal gebruik van baksteen en beeldhouwwerk', in: *De Ingenieur*, nr. 24, pp. 501-507.
- Reenders, A., 2007, *Versteende Welvaart: Amsterdamse School op het Groninger Hoogeland*, Noordbroek.
- Stenvert, R., 2012, *Biografie van de baksteen: 1850-2000*, Zwolle.
- Tiglia Kleiwaren, z.j. (circa 1925), *Verblendsteen, profielsteen, verglaasd in alle formaten, handvorm, verglaasd op bezand*, Tegelen.
- Weissman, A.W., 1906, *De gebakken steen*, Amsterdam.
- Z.a., 1909, *Klei*, nr. 1, p. 238.
- Zwiers, L. & J.P. Mieras, 1916/1918, *Steenconstructies*, Amsterdam.

Noten

- 1 Deze bijdrage is een sterk verkorte bewerking van het boek *Biografie van de baksteen: 1850-2000* van dezelfde auteur, dat gelijktijdig met deze bundel is verschenen en waarin een uitgebreid literatuuroverzicht is opgenomen.
- 2 Dat geldt ten dele ook voor andere jongere productiecentra in Zeeland, (Westelijk) Noord-Brabant, Twente en de Achterhoek.
- 3 Arntz 1953.

- 4 Everwijn 1912.
- 5 Janssen 1987, p. 528.
- 6 Janssen & Timmers 1984, p. 123.
- 7 Zwiers & Mieras, 1916/1918, p. 75.
- 8 Weissman 1906, p. 107.
- 9 Gosschalk 1899.
- 10 Overigens is ook nu nog slechts een kleine fractie van alle baksteen (inclusief die voor grof werk en voor wegverharding) strengperssteen.
- 11 Klei 1909, p. 238.
- 12 Van der Kloes 1893, p. 215.
- 13 Weissman 1906.
- 14 Tiglia Kleiwaren z.j., p. 21.
- 15 Van der Mey 1915.
- 16 Reenders 2007.
- 17 Droogh 1966.

3



Kalkzandsteen 1890-1960

Meer dan wit alleen

Kalkzandsteen: wie het materiaal beter kent, zal de toepassingen bij historische gebouwen herkennen. In dit hoofdstuk wordt de opkomst van dit bouw materiaal beschreven. Ook de strijd van de industrie om dit product te verankeren in de bouwtraditie komt aan de orde.

Kalkzandsteen is sinds 1898 in Nederland in productie. Dit bouw materiaal werd in de tweede helft van de negentiende eeuw stapsgewijs ontwikkeld.

In 1854 startte Anton Bernardi bij Leipzig met kalkzandstenen die aan de lucht verhardden. En in 1877 verwierf O. Zernikow patent op een door stoom verhitte, draaiende ketel met een kalkzandmengsel. De doorbraak kwam echter in 1880, toen Wilhelm Michaelis met stoom van hoge temperatuur chemische verharding tot stand bracht (Kunstsandstein). De firma Becker & Klee in Keulen slaagde er uiteindelijk ook in met hoge druk (tot 10 atmosfeer) een volledige verharding van de stenen tot stand te brengen. In 1894 startte de productie hiervan in Duitsland. De ontwikkeling van kalkzandsteen als product is waarschijnlijk mede te danken aan de industriële ontwikkeling van de negentiende eeuw, de sterkere verstedelijking en groei van de bevolkingen met daaraan verbonden bouwproductie.

VERSCIJNINGSVORM

In verschijningsvorm was kalkzandsteen aanvankelijk een imitatie van de traditionele baksteen, maar met

eigen kenmerken. In ieder land werden de gangbare formaten gefabriceerd in de bijna witte basiskleur. Het oppervlak van de stenen was glad en strak, de stenen vol en de vorm zeer gelijkmatig – een echt industriële uitstraling. Met verschillende pigmenten zijn allerlei pastelkleurige kalkzandstenen geproduceerd en zeker in de begintijd waren er ook vorm- of profielstenen voor bijvoorbeeld raam- en deuromlijstingen.

In Nederland voerde de Waalvorm de boventoon met de afmetingen 214 x 104 x 55 mm (in de jaren vijftig werd de breedtemaat teruggebracht tot 102 mm). Later kwamen daarbij het Schelde- (65 mm dik), Amstel- (72 mm) en Maasformaat (82 mm). Incidenteel is het Vechtformaat van 40 mm dik geproduceerd en de 'Rijnvorm in Waaldikte' (179 x 87 x 55 mm). In Duitsland voerden men de formaten 'Normalformat' (240 x 115 x 71 mm) en 'Dünformat' (52 mm dik).

De Waalvorm (Wv) en Rijnvorm in Waaldikte (RvW) werden in Nederland als standaardmaten (waalformaat en rijnformaat) opgenomen in de norm voor kalkzandsteen.

KLEUR

Op beperkte schaal werden gekleurde stenen geproduceerd, met name door de uiteindelijk bescheiden rol die het materiaal vervult als gevelmateriaal (zie verderop). Al direct in de beginperiode rond 1900 werd gepoogd

Afbeelding 1

Aan de Ring-Oost van Amersfoort staan drie woonhuizen uit circa 1910, opgetrokken in een combinatie van rode baksteen en witte kalkzandsteen (foto VNK).



Afbeelding 2

In verschijningsvorm was kalkzandsteen aanvankelijk een imitatie van baksteen. Dit is goed zichtbaar bij dit woonhuis uit 1905 aan de Tramweg in Smilde (foto VNK).

de stenen een rood of donkergrijs uiterlijk te geven. De roodkleuring ontstond door dompeling in ijzer-vitriool, donkergrijs/antraciet door bijmenging van steenkool-, turf- en dergelijke. Vanwege het productieproces in een autoclaaf is een behoorlijk gehalte aan bijmenging nodig om een bestendige kleur te kunnen krijgen.

Na de oorlog brachten vier fabrieken in Nederland met synthetische pigmenten gekleurde gevelstenen op de markt in formaten tot 326 x 102 x 102 mm: in geel, grijs, paars, antraciet, rood en crème. Dit hield mede verband met de verwerking van de oorspronkelijk witte steen die vaak minder fraai verouderd, waarvoor men een alternatief zocht. In het buitenland (Denemarken) is de witte gevelsteen zelfs verder verbeterd.

TOEPASSING DOOR DE JAREN HEEN

Kalkzandsteen werd aanvankelijk toegepast in gemetselde, massieve binnen- en buitenmuren, funderingen

PRODUCTIE VAN KALKZANDSTEEN

Kalkzandsteen bestaat uit zand (>90%), kalk (circa 8%) en water (dat de kalk blust). De fabriek perst de specie tot vormelingen, stapelt die op karren en verhardt ze in 8 tot 10 uur in stoomketels (autoclaven) door de vorming van calciumsilicaathydraten. Tegenwoordig is dat een volautomatisch gemechaniseerd proces, waarbij blokken en elementen worden gezaagd. Na verpakking volgt opslag en transport naar de bouwplaats voor verwerking.

en schoorstenen; dus onder meer als gevelmateriaal. We treffen kalkzandsteen aan in woningen en woongebouwen, in agrarische gebouwen, in openbare gebouwen als scholen en ziekenhuizen, maar ook in kerken en bedrijfsgebouwen. Omdat het echt wandmateriaal is, zien we het vrijwel niet in civiele werken zoals brughoofden en tunnels.

Na de introductie van de spouwmuur vanaf de jaren twintig in de twintigste eeuw verschoof de toepassing van kalkzandsteen steeds meer naar de binnenmuren (dragend en niet-dragend), vooral sinds eind jaren vijftig. In 1957 deed een nieuwe generatie persen zijn intrede die steeds grotere blokken (tot 16 keer waalformaat) konden produceren. Bovendien werd het productieproces verder gemechaniseerd, waardoor het handmatig stapelen in de fabrieken verdween.

Begin jaren zeventig – toen stijgende arbeidskosten en mechanisatie op de bouwplaats steeds meer een rol gingen spelen – volgde de introductie van mechanisch verwerkte elementen (120 keer waalformaat) waarmee in één dag een verdiepingshoge wand kan worden gezet. De maatzuivere producten maakten verlijmen met dunne voeg mogelijk.

In de jaren zestig en zeventig beleefde kalkzandsteen nog een opleving als gevelmateriaal, al dan niet in kleur



Afbeelding 3

Dit pand uit 1882 op de hoek Amsteldijk/ze Jan van der Heidestraat in Amsterdam is grotendeels opgetrokken in een groot formaat kalkzandsteen (foto VNK).



Afbeelding 4

Detail van de gevel van afbeelding 3 met het dikformaat steen. (foto VNK).

(synthetische pigmenten), en met als bijzondere uitvoering de klis- of splijtstenen met een breuksteenoppervlak.

Daarna werd kalkzandsteen steeds meer toegepast als constructief materiaal voor dragende wanden. Ontwerpen worden daarbij digitaal omgezet in wanduitslagen en de steen wordt vervolgens volautomatisch gezaagd in elementen en genummerd. Kalkzandsteen werd steeds meer toegepast vanwege een hoge mechanische sterkte, goede geluidwering en brandveiligheid, een hoge volumieke massa (stabiliserende rol in opwarming en afkoeling) en vochtregulerende werking (dankzij de poriënstructuur).

Kalkzandsteen werd (en wordt) vaak als 'vuil werk' toegepast om daarna glad af te werken, maar onder meer in utiliteitsbouw nog steeds vaak als 'schoon werk', bijvoorbeeld in de vorm van zogeheten vellingblokken.

PRODUCTIE IN NEDERLAND

Productie in Nederland startte in Oldenzaal in de Twentsche Kalkzandsteenfabriek (1898) en in de periode tot 1911 ontstonden nog vijftien fabrieken op andere locaties. De aanvankelijk belangrijkste vestigingsfactor was de mogelijkheid tot zandwinning zo dicht mogelijk bij de afzetmarkt. De productie in Oldenzaal kreeg snel navolging in Den Haag (1899), Rhenen (1900), Groningen, Bussum, Vuren, Rijswijk, Woerden, Doetinchem, Naarden, Wageningen (1903), Hillegom, Gorinchem,

Hoogersmilde (1904), Beekbergen (1906) en Vreeswijk (1911). In 1911 produceerden deze zestien fabrieken circa 250 miljoen stenen in waalformaat.

Alle vestigingen waren particulier initiatief, waarbij twee namen van stichters eruit springen: Rudolf Roelfsema, die als vennoot van een houthandel in Groningen de fabriek in Hoogersmilde bouwde (goed voor 400.000 stenen per jaar) en Arnoud baron van Hardenbroek van Ammerstol van Kunstzandsteenfabriek Arnoud in Hillegom. Beide vestigingen zijn, inmiddels volledig gemoderniseerd, nog steeds in bedrijf. Deze ondernemers drukten decennialang hun stempel op de sector. Ze richtten (hoewel concurrent) op 5 mei 1906 de Vereniging van Nederlandsche Kalkzandsteen-fabrikanten (VNK) op. Bij de oprichting waren acht fabrieken lid.

Doel van de vereniging was: *"de belangen der Nederlandsche kalkzandsteenindustrie te bevorderen, door het houden van vergaderingen, het zich wenden tot autoriteiten, het schrijven van artikelen en brochures, het houden van tentoonstellingen en voordrachten, het uitschrijven van prijsvragen, en verder door alle andere wettige middelen, die aan het doel bevorderlijk kunnen zijn."*

In de periode tussen beide wereldoorlogen kwamen er vijf fabrieken bij, waarvan die in Huizen nog in bedrijf is. De vooroorlogse productie bereikte een hoogtepunt in 1938 met 570 miljoen stenen tegenover 1.400 miljoen gebakken steen. Na de Tweede Wereldoorlog zijn zes fabrieken gesticht, waarvan twee (Liessel en Harderwijk) nog operationeel zijn. De kalkzandsteenproductie steeg



in volume via 1 miljard equivalenten waalformatsteen in 1957 tot een piek van 1,9 miljard in 1978.

Geografisch gezien was er de afgelopen ruim honderd jaar in Nederland een grote spreiding van kalkzandsteenfabrieken. Alleen in Zeeland en Flevoland kwamen ze niet voor. Aanvankelijk lagen de fabrieken soms dichtbij steden (met een zwaartepunt in de Randstad) vanwege de korte transportafstand. Na de Tweede Wereldoorlog vond verdergaande schaalvergroting, industrialisatie en functiescheiding plaats en verschoof de productie meer naar dunner bevolkte gebieden. Dit ook vanwege het waarborgen van grootschalige zandwinning op langere termijn en de zorgvuldigheid (dus tijd) die gemoeid is met ontgrondingsvergunningen. Dankzij de huidige infrastructuur is de grotere afstand naar de bouwplaats ook minder bezwaarlijk.

DATERING EN TRACERING

Door de uniformiteit in maatvoering en kleur is traceren van kalkzandsteen in bouwwerken vrijwel onmogelijk. De stenen hebben geen ingeperste merktekens, laat staan een productiejaartal. Een aanknopingspunt is eventueel het bouwjaar van het gebouw, waarbij documentatie van het bouwproject naar de herkomst kan

leiden. Een bewaard bestek beschrijft mogelijk wel het materiaal, maar veelal niet de fabriek die geleverd heeft (bij oudere gebouwen ligt wel voor de hand dat een nabijgelegen fabriek het materiaal heeft geleverd).

KALKZANDSTEEN VERSUS BAKSTEEN

De komst van het nieuwe materiaal liet begin twintigste eeuw de bouwsector niet onbekommerd. De baksteenindustrie zag een geduchte concurrent opkomen en veranderde de naam van de eigen Vereniging van Nederlandsche Steenfabrikanten in die van Baksteenfabrikanten. Ook gaf ze opdracht tot drukproeven, waarover prof. J.A. van der Kloes in 1907 publiceert in *De Bouwwereld*.¹ De drukweerstand van kalkzandsteen blijkt 194 kg/cm². Die van waalboerengrauw steekt daar ogenschijnlijk schraal bij af met 104 kg/cm².

Er ontstond een hevige polemiek waarbij de emoties soms hoog oplopen. Het weekblad *De Nederlandsche Klei-Industrie* (het lijfblad van de baksteenindustrie) doet hiervan uitgebreid verslag en publiceert daarnaast ook over onderzoek. Ook de Maatschappij tot Bevordering der Bouwkunst laat zich verlokken tot uitspraken: *“Hier te lande vervaardigde kalkzandsteen van goede kwaliteit kan o.i. in het algemeen zonder eenig voorbehoud voor binnenmuren*

gebezigd worden.” Voor buitenwerk wordt voorbehoud gemaakt (beschermd), bij vorst alleen als proef, drukvastheid voldoende, geen ‘ondervinding’ van brandgedrag. De Mij heeft zelf onderzoek opgedragen aan L. Bienfait en P. Heyn, waarvan het Bouwkundig Weekblad verslag doet.² Er worden met name kritische kanttekeningen geplaatst bij de buitentoepassing van de steen en de gemeente Amsterdam beperkt dan ook de toepassing aanvankelijk tot binnenmuren boven het trasraam.

PRIJSVRAAG

De kalkzandsteenindustrie verweert zich. Eind 1907 brengen de fabrikanten een groot album uit, samengesteld door de VNK. Het bevat *“reproducties van foto’s van gebouwen en ontwerpen van woningen”*. De 28 ontwerpen zijn het resultaat van een prijsvraag, met als jury P.H. Cuypers, Ed. Cuypers, H. Evers en J.F. Klinkhamer (beiden Technische Hogeschool Delft) en ten slotte C. Louis Rieber, secretaris Mij. ter Bevordering der Bouwkunst. De aanmoediging hoeft niet te verbazen: *“Wij nemen dan ook aan, dat de moeite en kosten, die onze vereeniging heeft getroost, om deze naar onze meening doelmatige verzameling bijeen*

te brengen door velen gewaardeerd zal worden en het gebruik van ons materiaal kalkzandsteen in de hand zal werken.”

Er wordt ingegaan op de scepsis over het nieuwe materiaal en verwezen wordt naar onderzoek en ervaring in met name Duitsland. Het gemis aan technische normen en gezaghebbend onderzoek doet zich wel voelen. De getoonde voorbeelden zijn veelal (half)vrijstaande villa’s, stads- en plattelandswoningen, alsmede utiliteitsgebouwen in de gangbare stijlen. Klassieke architectuur met neo-renaïssancistische kenmerken en de veelvoorkomende chaletstijl met rijke detaillering. De ontwerpen – anoniem in de goede traditie van een prijsvraag – ademen dezelfde tijdgeest: klassieke neo-renaïssance overheerst volledig. Voor Art Nouveau is het nog te vroeg. De hand van Berlage en (vroeg) Van Loghem is waarneembaar.

De plattegronden van de woningen zijn traditioneel. Eigenlijk speelt het gevelmateriaal in de prijsvraag geen prominente rol, het had net zo goed baksteen of

Afbeelding 6

Laan van Meerdervoort 213 (Den Haag), rond 1900 geheel opgetrokken in witte kalkzandsteen van de fabriek ‘Kranenburg’ (foto VNK).





Afbeelding 7

Topgevel van een pand aan de Korreweg in Groningen met een afwisseling van rode en witte kalkzandsteen (foto VNK).

pleisterwerk als kalkzandsteen zijn. In dat opzicht kan niet gesproken worden van baanbrekende ontwerpen, maar wel van zeer bruikbare en marktconforme ontwerpen. En dat blijkt uit de regelmatige toepassing in de bouw van woonhuizen tot ongeveer 1920.

COMMISSIE TOT ONDERZOEK VAN KALKZANDSTEEN

De voortgaande 'kalkzandsteenkwestie' leidt in februari 1908 tot: *"Bij beschikking van den minister van Landbouw, Nijverheid & Handel is ingesteld eene commissie, met opdracht de eigenschappen van de hier te lande voortgebrachte kalkzandsteen aan een onderzoek te onderwerpen, en zich uit te spreken over de vraag, voor welke toepassingen dit materiaal wel, en voor welke het niet geschikt is, etc"*. Deze kent een illustere samenstelling: voorzitter ir. J. van Hasselt en zeven leden, waaronder de hoogleraren Itz, Kley en Ter Meulen en J. Tellegen van gemeente Amsterdam, met de eerder genoemde Van der Kloes als adviseur en A.J. Kloos als secretaris.

Op 9 juli 1910 brengt de Commissie tot onderzoek van kalkzandsteen een lijvig rapport uit.³ De Slotbeschouwingen vermeldt *"dat kalkzandsteen onder de bouwmaterialen eene belangrijke plaats kan innemen"*; kanteekeningen worden geplaatst bij de vorstbestandheid en de zuurbestendigheid waar het materiaal het aflegt tegen baksteen. Voor funderingen en keldermuren wordt een definitief oordeel nog niet uitgesproken. Voor bestratingen en waterwerken zoals kademuuren wordt nader onderzoek aanbevolen. Voor huizenbouw wordt het materiaal geschikt bevonden, als trasraam krijgt het zelfs een aanbeveling en voor vorstschade wordt geen grote vrees uitgesproken.

De commissie wijst op de noodzaak van keuring van het product en formuleert voor het eerst de eisen die eraan gesteld zouden moeten worden.

De eerste kalkzandsteennorm is geboren:

1. *"De steen moet op de breuk eene gelijkmatige en niet losse structuur vertoonen;*
2. *In drogen toestand moet de steen hebben den volgende weerstand tegen druk:*
 - a. *Voor 1^e kwaliteit steen, bij een monster van 10 steenen gemiddeld niet minder dan 200 k.G per c.M2. Met een minimum voor een enkelen steen van 180 K.G. per c.M2.*
 - b. *Voor 2^e kwaliteit steen, als boven gemiddeld 150 K.G. per c.M2. met een minimum van 135 K.G. per c.M2.*
3. *De steen mag na voorafgaande droging bij verzadiging met water geen grootere hoeveelheid water opnemen dan 15 pCt. van het gewicht."*

De Rijkscommissie voegt als laatste opmerking wel een relativerende kanteekening toe over het architectonisch gebruik: *"meent zij met het oog op het stadsschoon, dat toch zeker een algemeen belang raakt, hiertegen waarschuwend hare stem te moeten verheffen."*

NORMERING

De eerste formele normbladen voor kalkzandsteen N 466 en N 468 (van het Centraal Normalisatie Bureau) verschenen in 1927 en sloten aan op de aanbevelingen van de Rijkscommissie. N 466 is de productnorm, die het begrip 'klinker' definieert (k) met de drukvastheid van de eerdere 1^e kwaliteit en een 'indruk' in één platte zijde. Voor de 2^e kwaliteit wordt de aanduiding 'gewoon' geïntroduceerd (g). Verder opvallend: *"De vastheid moet zoodanig zijn, dat de ribben door krachtig wrijven met den duim niet afbrokkelen"* en een aantal opmerkingen over de verwerking (vooraf tot inwendig bevochtigen van de steenen, nat houden van vers metselwerk). N 468 beschrijft de proeven voor de drukvastheid en de wateropneming.

Een volgend onderzoek betrof kalkzandsteenklinders, door de 'Commissie voor het onderzoek van den kalkzandsteenklinker' aan de 'Stichting voor Materiaalonderzoek'. In 1934 (Mededeling No. 4) stelt ze: *"Uit de genomen proeven is gebleken dat de kalkzandsteenklinker eigenschappen bezit, waardoor deze speciaal voor toepassing in trasramen geschikt is."* Daarop volgt na verder onderzoek de conclusie in Mededeling no. 12: *"De aanwijzingen uit de practijk wettigen de conclusie dat de kalkzandsteenklinker voor trasramen en kelders een geschikt materiaal is"*.

Op grond van deze onderzoeken werden in 1938 de normbladen vervangen door N 522 en N 523. Pas in 1978



Afbeelding 8 (linksboven)

Bij dit huis uit circa 1910 aan de Moerhuisstraat in Dedemsvaart zijn de accenten uitgevoerd in rode kalkzandsteen (foto VNK).

Afbeelding 9 (rechtsboven)

Plint van het pand Moerhuisstraat 62 in Dedemsvaart met rode, witte en zwarte kalkzandsteen met elk hun eigen kleur voeg (foto VNK).

Afbeelding 10 (rechtsonder)

Woonhuis uit circa 1910 aan de Dorpsstraat in Bergen (NH) met een plint van zwarte en details in rode kalkzandsteen (foto VNK).

Afbeelding 11 (linksonder)

Plint van het pand Dorpsstraat 29 in Bergen (NH) met witte en zwarte kalkzandsteen. De witte steen bevat twee kleuren voeg om een extra horizontaal accent in de gevel aan te brengen (foto VNK).

verscheen een opvolger in NEN 3836, later vervangen door een Europese norm (EN 771-2). In N 522 werd de eis voor wateropneming beperkt tot klinkers, maar de eisen voor de herkenbaarheid van klinkers werden uitgebreid: door de tint ('door en door') ofwel vorm (ribbels aan de kop naast de mogelijkheid van een uitsparing in een platte zijde). Als bijzondere eis voor *'klinkers bestemd voor tras- of cementraam en kelders'* met eigen handelsaanduiding (kc) gold een extra eis voor capillaire stijghoogte. Opvallend: géén eis aan de vorstbestandheid. Enigszins verscholen staat een aanbeveling om voor geveltoepassingen een 'gewone' kalkzandsteen te gebruiken (voor drukvastheid), maar wel een met de wateropneming van een klinker.

Onderzoeken in de jaren zestig betroffen de geschiktheid voor gevels (door Stichting Ratiobouw) en diverse onderzoeken naar vooral de muurdruksterkte voor de geschiktheid als materiaal voor hoogbouw (Stevin Laboratorium TH Delft, TNO voor bouwmaterialen), die onder meer hebben geleid tot kalkzandsteen met hogere dichtheid en dus grotere druksterkte.

BESCHIEDEN ROL IN DE ARCHITECTUUR

Na de eerder omschreven aanvankelijk brede toepassing van kalkzandsteen werd het materiaal vooral toegepast in binnenmuren. In de expressionistische architectuur van de jaren twintig (zoals de Amsterdamse en Haagse School) en de moderne architectuur van het Nieuwe Bouwen speelde het materiaal in het beeld dan ook geen grote rol.

Na de Tweede Wereldoorlog kende de toepassing van kalkzandsteen een bescheiden revival als gevelmateriaal. Met name in Scandinavië (Denemarken en Finland), maar ook in Duitsland en Nederland lieten architecten zich inspireren door het strakke uiterlijk en de lichte kleur in projecten van zowel (serie)woningbouw als bijvoorbeeld scholen en ziekenhuizen, in onmiskenbare moderne architectuur (zoals functionalisme en structuralisme). Deze architectuur kent een vormgeving met vaak strakke en minimalistische detaillering. Men koos daarbij onder meer voor kalkzandsteen om het beoogde visuele effect tot uitdrukking te brengen.

UNIFORME TECHNISCHE EIGENSCHAPPEN

De eigenschappen van Nederlandse kalkzandsteen zijn in de periode tot aan 1960 weinig aan verandering onderhevig geweest en ze verschillen ook nauwelijks per productielocatie. Dit is het gevolg van overeenkomsten in grondstoffen en fabricagemethoden. Weliswaar waren er bepaalde variaties in de gebruikte zanden en

kalksoorten, maar voor het product heeft dit niet tot duidelijke verschillen geleid.

Bepalend in deze periode waren de verregaand gestandaardiseerde procesomstandigheden in alle fabrieken bij de menging van grondstoffen, het persen van de stenen en het verharden in autoclaven. Dit heeft geleid tot een zeer homogeen product. Eventuele verschillen in het korrelskelet en de bindmiddelmatrix zijn alleen microscopisch vast te stellen. Visueel zijn soms verschillen zichtbaar in textuur (samenhangend met de korrelgrootte van de zanden) en kleurnuances (verschillend per fabriek). Binnen een partij die geleverd is voor een bepaald bouwproject zijn normaliter geen verschillen waarneembaar.

DUURZAAMHEID

De eerste formele eisen aan kalkzandsteen dateren zoals gemeld van 1910 en de fabrikanten waren gehouden aan een welomschreven maatvastheid, een bepaalde druksterkte en wateropneming. Uiteraard telde daarnaast het goede uiterlijk van de stenen, waaronder gave, gladde en haakse vlakken en het ontbreken van verontreinigingen. Het was voor de fabrieken van groot belang om voor de productie van gevelstenen en binnenmuurstenen in 'schoon werk' zeer zuivere zanden te selecteren of beschikbare zanden te ontdoen van leem- of humusdelen door wassen.

Van de huidige toestand van de gebouwen uit de jaren 1900-1920 mag worden afgeleid dat de gevelsteen uit die periode over het algemeen duurzaam is gebleven. Dat wil zeggen: dat de steen bestand blijft tegen verwerking en aantasting door natuurlijke atmosferische invloeden (zon, regen, vorst) en luchtverontreiniging en tegen mechanische slijtage.

In de eerste helft van de twintigste eeuw konden werkelijkheidsgetrouwe langeduurproeven zoals wij die nu kennen nog niet goed worden uitgevoerd. Later verrichte men wel onderzoek met gaandeweg beschikbare nauwkeurige en stabiele laboratoriumapparaten, zoals circulatieovens en klimaatkamers.

Naar vorstbestendigheid deden sinds de jaren vijftig Duitse en Engelse instituten onderzoek, zoals Welwyn Hall, CERAM en het Bundesverband Kalksandstein; In Nederland verrichte TNO Bouw veel onderzoek.⁴ Dit heeft in de jaren zeventig geleid tot aanvullende eisen voor gevelsteen, zwaarder zelfs dan eerder voor klinkerkwaliteit. Er werden onder meer eisen gesteld aan wateropneming, poriëngrootteverdeling en vrije-kalkgehalte.

Inwerking van algen en mossen is onderzocht door TNO Bouw in een breed opgezet onderzoek op destijds

(eind jaren 90) geproduceerde gevelstenen, waaraan zowel KNB/TCKI (baksteen) als RCK (kalkzandsteen) deelnamen.⁵

VISUELE AANTASTING

Efflorescentie, de directe uitbloei van zouten (witte verkleuring) na het optrekken van de gevel, komt feitelijk niet voor bij kalkzandsteen. De zouten die dit probleem veroorzaken, zijn niet aanwezig in de grondstoffen ervan. Wel kan later – ná het opzuigen van sterk zouthoudend grondwater – een bepaalde vorm van uitbloei optreden. Maar die is op de witgrijze steen vaak nauwelijks zichtbaar, zodat geen sprake is van visuele aantasting.

Zwart patina op kalkzandsteen kan ontstaan nadat bestanddelen van de matrix in oplossing gaan door zure

regen. De buitenste korrellagen kunnen na het opnieuw neerslaan zwarte roetdeeltjes en andere verontreinigingen uit de atmosfeer opnemen.

STRUCTURELE AANTASTING

Van mechanische aantasting kan sprake zijn als de steen in water opgeloste zouten opneemt die een schadelijke werking hebben in de kalkzandsteenmatrix. Optrekend bodemvocht kan hiervan een oorzaak zijn, of geabsorbeerde aerosolen (in industriële gebieden sulfaat, in kustgebieden chloride). In beide gevallen wordt de gecarbonateerde bindmiddelmatrix aangetast. In het blootgestelde (zicht)vlak gaat dan de samenhang van het zandkorrelskelet verloren.

Soms vindt ook gipsafzetting plaats in de buitenste korrellagen. Een gipslaag kan een verstevigende werking hebben in het oppervlak. In dergelijke vaak donkerder gekleurde laagjes – die harder zijn en een dichtere structuur hebben dan de ondergrond – kunnen vervolgens wel hogere thermische spanningen optreden die leiden tot schade. Als dergelijke processen

Afbeelding 12

Twee woonhuizen in Den Haag aan de Laan van Meerdervoort 229 – 231 (r.) uit circa 1901, naar ontwerp van architect J. Olthuis. Een rijke ornamentiek in witte kalkzandsteen (foto VNK).





zich tientallen jaren voordoen, kunnen – soms versterkt door vorst-dooicycli – opeenvolgende korrellagen losraken (afzanding). Dan kan tot op 5 of 10 mm diepte materiaalverlies optreden.

In het grootste deel van ons land leidt zure regen (door zwaveldioxide) overigens al enige decennia nauwelijks meer tot schade; de aantasting door stikstof(di)-oxide is van een andere orde dan die destijds door zwaveldioxide.

HERSTEL EN CONSERVERING

Voor reiniging van kalkzandsteengevels uit de periode tot 1960 – toen klissteen of breuksteen in zogeheten gevelkwaliteit nog niet werden toegepast – is gebruik van straalmiddelen af te raden. Voor het verwijderen van algen en dergelijke zijn dezelfde methoden (zoals stoomreiniging) toepasbaar als voor baksteen.

Bij oppervlakkige aantasting kan een steenversteviger worden gebruikt. Na indringen geeft deze weer samenhang in het zandkorrelskelet en biedt ook een hydrofoberend effect (zie ook het hoofdstuk over oppervlaktebehandeling).

Bij aanzienlijk materiaalverlies op het zichtvlak van de stenen, is het een optie aan te helen met reparatie-/ restauratiemortel. Inkleuring leidt over het algemeen tot goede resultaten, gegeven het kleurbeeld van de oude gevels. Dit geldt zowel voor de witte steen als de rozerode steen uit de jaren tien en twintig.

Inboeten is mogelijk bij de gewone steenformaten in witte kleur. Deze zijn ook nu nog in productie als volle, gladde steen. Vaak is er wel een kleurafwijking ten opzichte van de stenen uit de periode 1900-1960.

Voor herstel van de metsel- en voegmortel geldt dezelfde werkwijze als bij natuursteen en baksteen.

TOT SLOT

Kalkzandsteen kent als gevelmateriaal een relatief korte gebruiksgeschiedenis en het heeft in de architectuur een bescheiden rol gespeeld. Toch is het materiaal bij veel historische gebouwen op een bijzondere of decoratieve manier verwerkt in de gevel. Door karakteristieke materiaalkenmerken zoals textuur, kleur en veroudering, maar ook vanwege toepassingen is kalkzandsteen cultuurhistorisch gezien zeker de moeite waard.

Literatuur

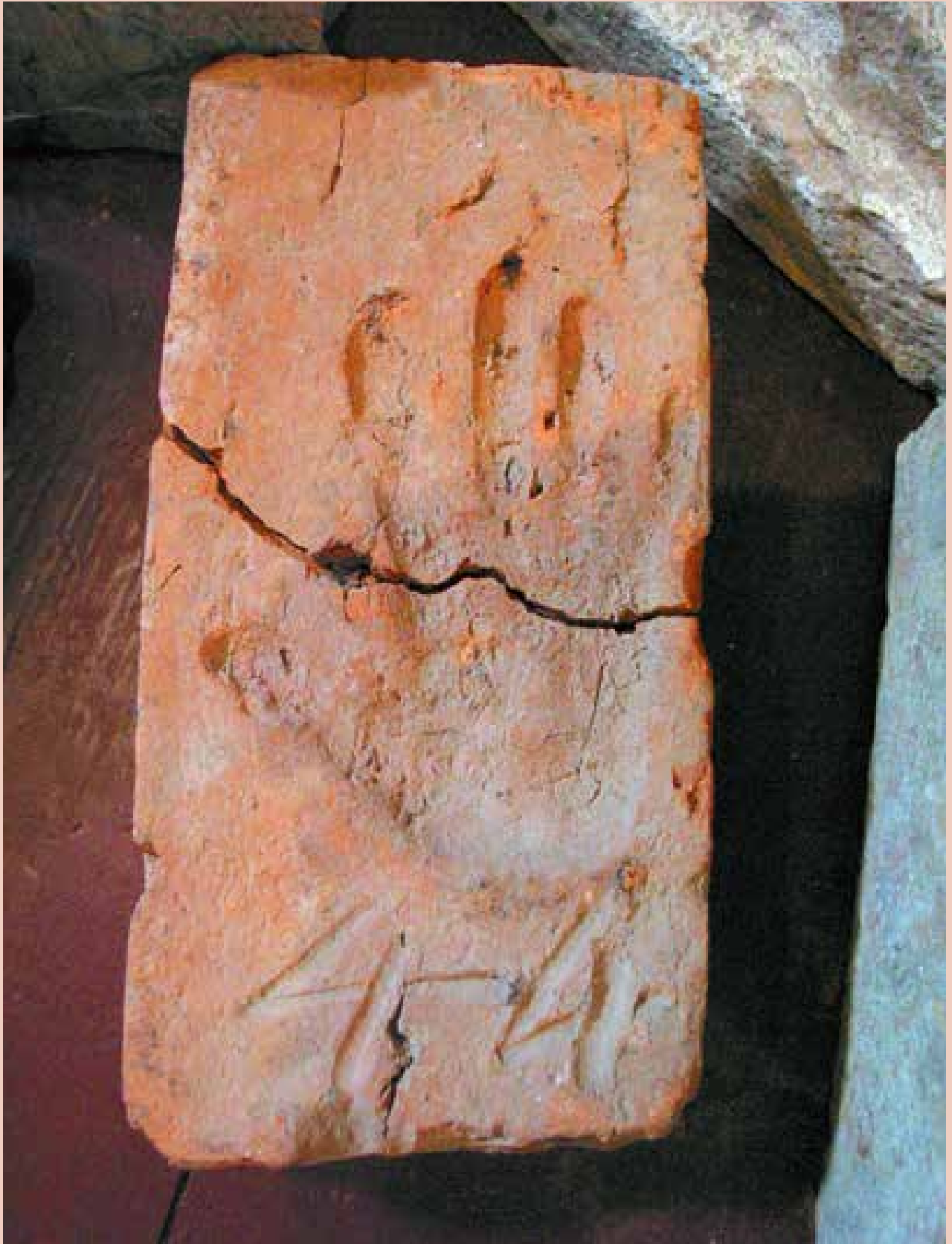
- Adan, O.C.G., 2003, *Bealging van steenachtige materialen*, SBR 410.03, Rotterdam.
- Beenackers-Heeren, B., en T. Roelfsema, 2005, *Huisjes van zand. Het gebruik van gekleurde kalkzandsteen in Noord-Nederland van 1900 tot 1925*, Groningen.
- Klein, A., 1960, *Bouwen in kalkzandsteen*, (1^e ed.), Wageningen.
- Klugt, L.J.A.R. van der, 1989, 'Frost-testing by uni-directional freezing', in: *Ziegelindustrie International* 2/89, pp. 92-96.
- Stockmann, H., 1958, *Der Kalksandstein*, (3. Auflage), Schriftenreihe des Hauptverbandes Kalksandsteinindustrie e.V., Hamburg.
- Ultée, H.A.M., 1997, *De kleur van wit: de geschiedenis van CVK Kalkzandsteen*, Hilversum.
- Z.a., 1907, *De Bouwwereld*, nr. 26.
- Z.a., 1906, *Bouwkundig Weekblad*, oktober.
- Z.a., Jaargang 11, no. 2, Afd. Handel Departement van Landbouw, Nijverheid & Handel.

Noten

- 1 De Bouwwereld 1907.
- 2 Bouwkundig Weekblad 1906.
- 3 Jaargang 11, no. 2, Afd. Handel Departement van Landbouw, Nijverheid & Handel.
- 4 Van der Klugt 1989.
- 5 Zie o.a. Adan 2003.

Afbeelding 13

De Julianatoren te Apeldoorn van architect A. van Driesum uit 1910 in witte kalkzandsteen met versiering in rode kalkzandsteen (foto VNK).



‘HANDWERK’

Oude bakstenen met handafdrukken spreken tot de verbeelding en zijn dan ook geliefd onder verzamelaars. Ze zijn in vele soorten en maten aangetroffen, waarbij opvalt dat onder de vondsten afdrukken met kinderhanden voorkomen. Opvallend, maar ook logisch, vooral wanneer men bedenkt dat kinderen werden ingezet als hulpjes bij het vormen of het kantelen van de bakstenen. Zij hadden daardoor gelegenheid om op het platte vlak, in de klei van de ‘groene’ steen, hun ‘handtekening’ achter te laten. Meestal was dat één hand, waarvan de palm en de vingers in de lengterichting van de steen werden gedrukt. Een enkele keer zijn het er twee, maar dan met de handjes over de korte kant en naast elkaar zoals in een steen in de kerk van Niekerk (gem. De Marne). Deze kerk bezit voor zover bekend de grootste en fraaiste collectie ‘handstenen’. In 2005 werden hier namelijk bij de restauratie minimaal 14 bakstenen met handafdrukken gevonden in de bakstenen zoldervloer uit 1629 (beneden en pagina 54, foto’s auteur).

De plaats – namelijk zichtbaar – en de hoeveelheid stenen geven te denken over de betekenis. In dit geval lijkt toeval dan ook uitgesloten en een meer symbolische achtergrond voor de hand te liggen. Misschien een vorm van een eerste steenlegging, vergelijkbaar met de

torenvloer uit 1991 in Uitwierde, die ter gelegenheid van de afgeronde restauratie van nieuwe bakstenen met inscripties werd voorzien. Dat er ook ‘handstenen’ zijn met een meer specifieke betekenis blijkt uit de bakstenen voorzien van een hand en een nummer in Arabische of Romeinse cijfers. Voorbeelden hiervan zijn bekend uit de collecties van de RCE (pagina 55, foto auteur), het kloostermuseum St. Bernardushof te Aduard (links, foto auteur) en uit Duitsland. Deze exemplaren hebben een functie gehad bij partijen steen en mogelijk ook de afrekening daarvan.

Interessant in dit kader is een vermelding van de Leeuwarder jurist en eigenaar van een steenfabriek Jacob Dirks. Hij reageert in 1874 op een artikelje over een romeinse tegel gevonden bij Nijmegen, met daarop een voetafdruk en de inscriptie KALIVNIS QVARTVS LATER-CLOS NCCXIIII. In de Navorscher van 18 april 1874 schrijft hij hierover het volgende: *‘Och! Er is toch niets nieuws onder de zon. Als op mijne steenfabriek de laatste steenen van den rekendag gevormd op ‘de plaats’ lagen, drukten de vier ‘afdragers’, jongens, en de ‘opstecker’, even als Quartus voor 1800 jaren deed, hunne handen in de natte steenen en menigwerf heb ik zulke gebakken ‘handsteen’ gezien.’*

Albert Reinstra







4



Terracotta gevelversieringen in de 19^e en 20^e eeuw

‘Voortbrengsels, die zeer goed den invloed van lucht en regen kunnen weerstaan.’

Het verfraaien van gebouwen met ornamenten van gebakken klei (terracotta) gebeurt al sinds de oudheid. In Nederland ontstond in de negentiende eeuw onder invloed van ontwikkelingen in het buitenland een bescheiden terracotta-industrie die kwalitatief goede bouwornamenten produceerde. Bij talrijke gebouwen zijn deze ‘voortbrengsels’ nog te zien. Veelal nog in goede staat, maar vaak ook heeft men als gevolg van schade deze ornamenten verwijderd, wat een verarming van de gevel betekent. Vandaar dat bij instandhouding en restauratie het materiaal bijzondere aandacht vraagt.

Veel toeristen kennen het fraaie Benedictijnerklooster Stift Melk in Oostenrijk. Veel minder bekend is de mooie terracotta arcade vijf kilometer verderop in Schloss Schallaburg, een van de mooiste kastelen boven de Alpen. Deze bogen van Jacob Bernecker uit 1570-1573 zijn van een rijkdom die wij in ons land niet kennen. In die tijd werden bij ons de bogen van de galerij op de binnenplaats van het hoofdgebouw van het voormalige kasteel te Breda (de huidige Koninklijke Militaire Academie) ‘slechts’ voorzien van 36 terracotta medaillons. In vergelijking met de overdaad op de Schallaburg is dit Hollandse soberheid op zijn best.

ORNAMENTEN VAN GEBAKKEN KLEI

Ornamenten van gebakken klei worden aangeduid met de term terracotta. Sinds het begin van de twintigste eeuw wordt echter steeds vaker de term bouwaardewerk gebruikt. Dit leidt soms tot verwarring.¹ In principe gaat het in alle gevallen om terracotta, zowel geglaazuurd als ongeglaazuurd. De term ‘bouwaardewerk’ lijkt door J.P. Mieras te zijn geïntroduceerd in zijn beschrijving van

het werk van Willem C. Brouwer in 1922: ‘beeldhouw-
werk, in zijn geval van aardewerk, bouwaardewerk’.²

Terracotta wordt door de relatief lage baktemperatuur van circa 800 tot 1.100 graden Celsius gerekend tot de grove keramiek. In Nederland zijn de kleien meestal sterk ijzerhoudend en daardoor roodbakkend. Hoge baktemperaturen zijn bij ijzerhoudende kleien niet mogelijk; de momenten waarop het materiaal sintert en smelt, liggen dicht bij elkaar, daardoor heeft het een vrij zachte en poreuze scherf.

Het materiaal is daarom vrij kwetsbaar en vorstgevoelig. Er bestaan echter kwaliteitsverschillen. De weersbestendigheid is onder meer afhankelijk van de productietechniek en het al dan niet schilderen van het ornament. Het zogeheten ‘bouwaardewerk’ dat eind negentiende eeuw opkwam, werd zowel geglaazuurd als ongeglaazuurd geleverd. Geglaazuurde elementen zijn vanzelfsprekend meer weerbestendig dan ongeglaazuurde.

Terracotta was aantrekkelijk als alternatief voor vergankelijke materialen als hout en kostbare materialen als natuursteen. Terracotta heeft voortdurend concurrentie ondervonden van kunststeen ornamenten, met name van portlandcementsteen. Kunststenen ornamenten waren sterker, maar de keramische producten konden kleurrijk worden geglaazuurd. Door de concurrentie met kunststeen werd er nogal eens geknoeid met

Afbeelding 1

De fraaie in terracotta uitgevoerde arcade in Schloss Schallaburg dateert uit de tweede helft van de zestiende eeuw (foto Meindert Stokroos).



Afbeelding 2 (boven)

Plaat 6 uit het modelboek van de Utrechtse Terracotta fabriek (part. coll).

Afbeelding 3 (onder)

Terracotta versieringen van de Arnhemse fabriek Twiss en Co aan het voormalig woonhuis van de bankier Fuld, Keizersgracht 452, Amsterdam. De rijkelijk uitgevoerde decoratie werd bij een verbouwing in 1860 aangebracht (foto Meindert Stokroos).

Afbeelding 4

In het begin van de jaren dertig van de twintigste eeuw werd in Zeist aan de Karpervijver een kantoorgebouw gebouwd voor Gerritsen & Van Kempen. Boven de ingang is een uit drie delen bestaande terracotta plaquette aangebracht. Uit de onderlinge kleurverschillen valt op te maken dat zij onder verschillende omstandigheden zijn gebakken (foto Meindert Stokroos).

de kwaliteit door de klei te vermengen met stukken baksteen of het gebruik van schrale klei. Doordat in het begin ook de wijze van mengen en het stoken nog niet optimaal waren, was ook om die reden de kwaliteit niet altijd even goed. Hierdoor kreeg de terracotta een slechte reputatie. Daarbij kwam ook nog dat sommige architecten het een gruwel vonden dat de ornamenten moesten worden bevestigd met schroeven en ankers.

OPKOMST TERRACOTTA-INDUSTRIE

De introductie van terracotta ornamenten danken we aan producenten als Ernst March en Tobias Feilner uit Berlijn, die in de jaren veertig van de negentiende eeuw de grondslag legden voor de moderne terracotta-industrie.³ Het is 1838 wanneer J.A.J. baron Sloet tot Olthuis in het Tijdschrift ter Bevordering van Nijverheid opmerkt dat wij in ons land achterlopen bij Duitsland, waar men in de architectuur *'bijna uitsluitend uit aarde gebakkenen lijsten en andere ornamenten bezigt. Goedkoopte en duurzaamheid prijzen dit zeer aan'*.⁴

De Rotterdamse architect en latere Rijksbouwmeester W.N. Rose speelde uiteindelijk een belangrijke rol bij de introductie en toepassing van dit bouw materiaal in Nederland. Rose was uitgesproken voorstander van eigentijdse bouwkunst waarbij uiteraard werd gebruikgemaakt van nieuwe materialen en technieken. Wat betreft zijn kennismaking met terracotta moet een bezoek aan muntmeester Surmondt in Utrecht van belang zijn geweest.

Uit een brief van Rose aan zijn vrouw, die op dat moment in Maastricht verbleef, lezen we namelijk dat hij begin 1838 een ontmoeting met hem had *'om na een werk te zoeken ten einde te weten hoe de fabrikant Feilner te Berlijn zijne kunstornamenten maakt. Gij hebt mij daar meer over hooren spreken, dit is mij gelukt. Ik zal een calque van de tekening en een copie of vertaling van de tekst maken.'* Dat Feilner veel waarde hechtte aan de toepassing van terracotta blijkt wel uit het feit dat hij in 1829 op zijn eigen fabrieksterrein een woonhuis naar ontwerp van Karl Friedrich Schinkel liet bouwen waarin veel van deze bouwornamenten waren verwerkt.⁵ Nederlandse bakstenen – en



Rose kon dat als eigenaar van een steenoven weten – waren van goede kwaliteit *'maar in uitwendig aanzien en zuiverheid van vorm, en vooral in een meer algeheele toepassing op architectonische onderdelen en details, ... voor grootere verbetering vatbaar'*. Dit citaat uit het Tijdschrift ter Bevordering van Nijverheid uit 1844 verwijst naar de vorderingen die men in Duitsland en in het bijzonder in Pruisen en Beieren maakte *'tot het vervaardigen van raam/en deur/architraven, cordon en gevellijsten, versierde band en paneelwerken, kolom en boogstukken'*. Dit alles deed volgens het tijdschrift de wens ontstaan deze bouwwijze ook meer en meer in Nederland te zien ingevoerd, *'ten einde het vergankelijke hout en het kostbare buitenlandse hardsteen zoveel mogelijk te vervangen'*.⁶

De opkomst van terracotta bouw elementen in Nederland hing dus kennelijk in de lucht. Maar hoe precies het contact tussen Ernst Christoph Martin, producent van de Zeister tegelkachels, en architect Rose tot stand kwam, laat zich slechts gissen. In het begin van de jaren vijftig van de negentiende eeuw was het wel de fabriek van Martin in Zeist die *'op aanraden en naar aanwijzing van den Heer architect Rose'* de vervaardiging van terracotta in Nederland ter hand nam.⁷

Op zich is het niet vreemd dat Martin hier het spits afbeet, want evenals March en Feilner had hij een grote reputatie als fabrikant van zogenoemde Kachelofen. De resultaten waren bevredigend: *'Het werk uit zijne fabriek bezit een aangename losheid en breedheid van behandeling, die het oog des kunstkenner bevredegden, en bewijzen dat hij zijne zaak volkomen meester is.'*⁸ Er bleek veel vraag naar bouwkundige ornamenten en tuinsieraden en er werden ettelijke fabrieken opgericht: Twiss & Co te Arnhem,⁹ de Utrechtse terracottafabriek te Utrecht en H.F. Hamelberg en Co. en L.J. Grolleman, beide gevestigd in Deventer.

FABRICAGE

De klei voor de terracotta-industrie werd grotendeels uit het buitenland aangevoerd. Martin haalde het uit Koblenz. Stoeller werkte met *'bergleem van den Boven-Rijn en kei of leem aan de rivier de Vecht te Utrecht, ook aan den Rijn bij Alphen gebaggerd'*.¹⁰ Van der Kloes wees er aan het einde van de negentiende eeuw op dat een zekere Fak Brouwer uit Middelburg met goed gevolg terracotta voorwerpen uit *'Zeeuwse steenklei'* maakte.¹¹

Gezien de fijnheid van de terracotta producten in vergelijking met 'gewone' baksteen, moest de klei gelijkmatiger en zorgvuldiger dooreen worden gewerkt en gezuiverd. Ook moest de vochtigheid groter zijn.

Eenmalige werkstukken zoals bijvoorbeeld een in de gevel te plaatsen herinneringsplaquette werden uit de hand gemodelleerd en daarna gebakken. Bij seriematige vervaardiging maakte men gebruik van holle gipsen vormen waarin met de hand de toe bereide klei werd gestreken. Bij het invleien van de klei moest erop worden gelet dat de wanden een gelijkmatige dikte verkregen om later bij het drogen problemen te voorkomen. De werkstukken werden in principe hol vervaardigd (afb 5.). Voor het merendeel van de bouwornamenten was dat niet bezwaarlijk, aangezien deze met de holle zijde tegen het achterliggende werk werden aangebracht.

De afgevormde werkstukken bleven kortere of langere tijd in de gipsvorm. Het gips nam het vocht op, waardoor het werkstuk enigszins los in de vorm kwam te liggen; daarna werd het eruit genomen om verder te drogen. Wanneer de klei een zekere punt had verkregen, kon het droogproces worden versneld in een droogkamer. De klei had inmiddels de hardheid van leer gekregen. Dat was het moment waarop de werkstukken *'bijgeholpen'* werden, door vormnaden weg te werken en het werkstuk eventueel op te werken glad te maken. Tijdens het drogen kromp het werkstuk zo'n tien procent; vandaar

Afbeelding 5 (boven)

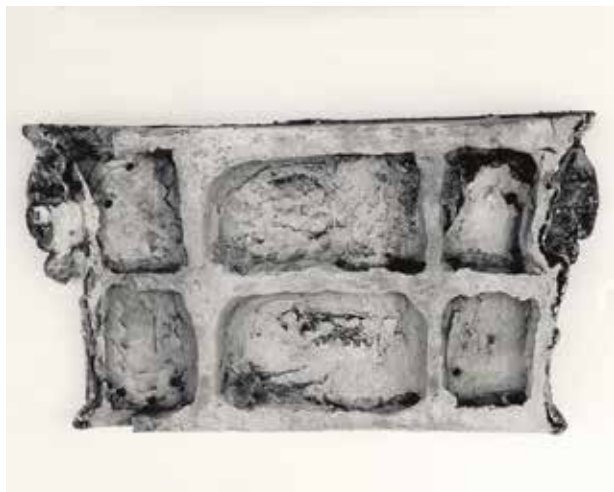
Open achterzijde van een terracotta kapiteel (foto Meindert Stokroos).

Afbeelding 6 (midden)

Ingekiste vorm (mal) voor de kapitelen van het Oude Vrouwenhuis aan de Papestraat te Delft. De vorm werd op zolder bewaard om bij de voorgenomen uitbreiding van de voorgevel de terracotta kapitelen te kunnen afvormen (foto Meindert Stokroos).

Afbeelding 7 (onder)

Terracotta kapiteel uit 1865 in de voorgevel van het Oude Vrouwenhuis aan de Papestraat te Delft (foto Wim Weve).



dat de tekeningen die door de architect op ware grootte waren geleverd, op de fabriek altijd werden vergroot.

Na het drogen volgde het bakken. Van groot belang was dat de terracotta werkstukken gelijkmatig werden doorbakken en een zuivere kleur kregen. Dat wil zeggen: liefst egaal rood of rozerood. Daartoe was gelijkmatige verwarming noodzakelijk, wat met eenvoudige ovens moeilijk kon.

DE TERRACOTTAFABRIEK VAN MARTIN

De geschiedenis van de Zeister terracottafabriek gaat terug tot 1835, toen de Deen E.L. Nörgaard daar een werkplaats inrichtte om tegelkachels te maken. Na zijn dood nam Ernst Christoph Martin in 1840 de zaak over. Hij zou het bedrijf tot grote bloei brengen. Zoals gezegd begon hij op verzoek van architect Rose met het produceren van terracotta bouwornamenten en tuinsieraden. Onder de naam *'Fayence-kaghels- en Ornamenten-Fabriek'* werd de onderneming van toonaangevende betekenis. Men nam vaak deel aan nijverheidstentoonstellingen in zowel binnen- als buitenland. De fabriek sleepte talrijke bekroningen in de wacht. Vlak na de Eerste Wereldoorlog ging het bedrijf failliet, mede als gevolg van onvoldoende reserveringen.

Aan de Lageweg 35/43 te Zeist staat nog steeds het prachtige woonhuis annex fabriek van Martin (afb. 8).

Het woonhuis moet omstreeks 1850 zijn gebouwd, want in 1853 werd melding gemaakt van *'gebakken aarden ornamenten'* in de gevel. Het gaf de leden van de Maatschappij tot bevordering der Bouwkunst het gevoel *'dat gebouwen met gebakken aarden ornamenten versierd, zoo als het zijne, de hoofdstad des rijks niet zouden ontsieren'*.¹²

De versiering met terracotta ornamenten doet qua overdaad niet onder voor het huis dat Tobias Feilner in 1829 voor zich liet bouwen. In hoeverre Martin zich door dat gebouw heeft laten inspireren is onbekend, maar het is een aanlokkelijke gedachte ervan uit te gaan dat beide heren graag elke mogelijkheid aangrepen reclame te maken voor hun producten.

Over de gang van zaken op de fabriek van Martin vlak voor de Eerste Wereldoorlog weten we iets, dankzij de levensherinneringen die de in 1900 geboren Oscar Martin in de jaren veertig op papier zette. Uit de bijgeleverde plattegronden blijkt dat de werkplaats rechts van het nog bestaande woonhuis uit twee bouwlagen bestond. Dit gebouw bestond uit onder meer een 'werkplaats', 'draaischijf' en een 'ovenhuis' met 'lange oven',

Afbeelding 8

De voorgevel van de Terracottafabriek Martin in Zeist na de restauratie (foto Meindert Stokroos).



‘proefoven’ en ‘koepeloven’. Uit de aanwezigheid van een ‘dynamokamer’ mogen we opmaken dat men zelf elektrische energie opwekte. In het woonhuis bevonden zich het ‘magazijn van de kachels’, een ‘glazuurmagazijn’, een ‘boekerei’ met vakliteratuur en een tekenkamer. Onder het woonhuis was ook de ‘kleikelder’ waar de klei werd bewaard. In de fabriek maakte men hoofdzakelijk stenen kachels, in faience (wit) en majolica (gekleurd). Ook zijn er beelden en vazen gemaakt, en ‘consoles in allerlei vormen en maten, die toen zeer in de mode waren’. Daarnaast werd een ‘metselarij’ en ‘schoorsteenvegerei’ gedreven.

Oscar heeft nog herinneringen aan het bakken van (geglazuurde) terracotta. *‘Hoe vaak heb ik als jongen toegekeken, als de oven werd gestookt met hout, dat door een Austerlitszer boer werd geleverd. Soms mocht ik dat gaan betalen en dan werd ik op een groote boerensigaar onthaald. Tusschen de momenten van hout-opleggen maakte ik praatjes met den stoker; af en toe kwam mijn vader eens kijken naar de “spiegel” d.w.z. een monster glazuur, aan de achterwand van den oven opgesteld, dat door een door het kijkgat gestoken stok met houten blokje verlicht werd, om te zien hoe de glans was. De temperatuur werd voorts*

bepaald door een tegen dienzelfden achterbinnenwand opgestelde “Seger”-kegel van porcelein, die bij een bepaalde temperatuur, b.v. 1200 °C smolt en “flauw viel”. Dan werd er gestopt met stoken, de stookgaten werden gesloten en de oven moest een dag of twee afkoelen, waarna hij werd leeggehaald en alles in de buitenlucht, op de binnenplaats (...) werd neergezet om af te koelen. Ik herinner mij nog zeer goed het fijne tinkelende geluid van het afkoelende aardewerk. Teekenwerk was er voldoende, dit deed mijn vader zelf. Architectenteekeningen op ware grootte moesten vergroot worden in verband met de krimp in den oven ($\pm 1/9$ à $1/10$). Hierbij hielp ik mijn vader wel, zooals met de teekeningen voor het terra-cotta-traceerwerk der ramen in den toren der Willibrorduskerk aan den Amstel te Amsterdam.’¹³

Begin twintigste eeuw wordt nog gewerkt aan terracotta ten behoeve van de Nieuwe Bavo in Haarlem en de Effectenbeurs in Amsterdam. Niet meer de vertrouwde negentiende-eeuwse vormtaal, maar volgens een gemoderniseerd concept: bouwaardewerk.

Afbeelding 9

Personeel van de Terracotta-fabriek van Martin in Zeist, opname eind negentiende eeuw (part. coll.).





BOUWAARDEWERK

Is de naam van Martin exemplarisch voor negentiende-eeuws terracotta, die van Willem Brouwer uit Leiderdorp en De Porceleynse Fles uit Delft staan symbool voor een nieuwe periode in de toepassing van gebakken aarde, namelijk dat van ‘bouwaardewerk’. In tegenstelling tot wat men na alle fundamentele kritiek op de terracotta zou verwachten, ontstaat er aan het eind van de negentiende eeuw namelijk binnen neogotische kringen een hernieuwde belangstelling voor terracotta. Dit wordt wel in verband gebracht met gebeurtenissen in Groot-Brittannië, zoals de ontwikkelingen rond het Victoria and Albert Museum, de Royal Albert Hall en het Natural History Museum in Londen. Het is Cuypers’ zoon Joseph die in Engeland moderne toepassingen van terracotta bestudeert. De kwade reuk rondom de traditionele terracotta lijkt te verdwijnen en een nieuwe generatie keramisten dient zich aan. Brouwer raakte bekend vanwege zijn betrokkenheid bij het Haagse Vredespaleis.

Vermeldenswaard is dan ook de samenwerking tussen rijksbouwmeester Peters en de beeldhouwer Emile Bourgonjon bij de bouw van het postkantoor in Arnhem (1888-1889), waarbij ceramisch beeldhouwwerk werd toegepast. Men beproefde daarbij verschillende procedés: het afvormen van het werkstuk met behulp van gipsvormen, het boetsen van de werkstukken en het behakken

Afbeelding 10

In het tussen 1912 en 1916 gebouwd Scheepvaarthuis in Amsterdam is veel in roodbruine kleur uitgevoerd terracotta verwerkt. Over de precieze betrokkenheid van mannen als W.C. Brouwer, Van den Eynde en Krop bestaat onduidelijkheid. De figuren werden in stukken gebakken en in het werk samengevoegd. De kleurverschillen tonen aan dat de stukken onder verschillende omstandigheden werden gebakken (foto Meindert Stokroos).

van voorgebakken stukken. Opvallende werkstukken werden van gekleurde glazuur voorzien, de overige kregen een transparante glazuur of werden ongeglazuurd gelaten. Overal vermeed men zorgvuldig de schijn dat het om een imitatie van natuursteen zou gaan. De afgewerkte werkstukken werden met veel zorg bouwkundig geïntegreerd in de constructie, zodat men nergens de indruk zou krijgen dat sprake was van plakwerk.¹⁴

Bouwaardewerk was qua kleurstelling een oer-Hollands product en bovendien was het in vergelijking met de in de Eerste Wereldoorlog gestegen prijs van natuursteen verhoudingsgewijs zeer goedkoop.

Lag in de negentiende eeuw het accent op allerlei in serie vervaardigde bouwkundige versierselen, in de twintigste eeuw komt de aandacht meer te liggen bij de unica: speciaal ontworpen terracotta en geen confectiewerk.

Afbeelding 11

Grote terracotta console op kasteel Sterkenburg te Driebergen, waarschijnlijk daterend uit het midden van de negentiende eeuw (foto Meindert Stokroos).



Bouwaardewerk betekende nieuwe mogelijkheden, althans wanneer we mogen afgaan op de ontwikkelingen in de Verenigde Staten en het Verenigd Koninkrijk. Sinds het einde van de jaren tachtig van de negentiende eeuw werden daar de staalconstructies van hoge gebouwen bekleed met terracotta. In hoeverre onze terracottafabrieken in Zeist en Utrecht kansen in Amerika hebben laten liggen is onduidelijk, maar in 1864 werd gewag gemaakt van bestellingen uit Californië! Nederland kon niet bogen op uitgebreide staalskeletgebouwen en de toepassing van terracotta als integrale vorm van gevelafwerking heeft mede daardoor hier geen hoge vlucht kunnen nemen. Met enige trots kunnen wij bogen op de winkel van Citroen of het bioscooptheater van Tuschinski, beide in Amsterdam.

INSTANDHOUDING, SCHADE EN HERSTEL

Fabrikanten boden een keur aan producten, waarvan architecten dankbaar gebruikmaakten. De praktijk bleek echter weerbarstig en de waardering ervoor bepaald niet universeel, want na oplevering van een gebouw haastte de schilder zich veelal om alle consoles, lijstwerken, kapitelen en sluitstenen qua kleur weer in overeenstemming te brengen met de omgeving. Schilderen was overigens vaak bittere noodzaak, wilde je tenminste plezier hebben van je aanschaf. Terracotta nam (indien ongeverfd en ongeglazuurd) vocht op met alle gevolgen van dien: bij vriezend weer schilferde het af. Een echt

grote toekomst voor het product was alleen al om die reden in ons land niet weggelegd.

Toch kun je niet stellen dat terracotta een inferieur materiaal is. Wie de moeite neemt in ons land echt te kijken hoe de terracotta versieringen erbij staan, komt tot de conclusie dat het materiaal – mits goed toegepast – best lang kan meegaan en dat er met de vaak zo gewraakte vormgeving doorgaans niets mis is.

Niets is eeuwig en dat zal op den duur ook gelden voor terracotta. In veel gevallen is het echter de mens die tijdens de productie de oorzaken voor toekomstig verval zelf heeft ingebouwd. Bijvoorbeeld: wanneer de klei niet goed is aangedrukt in de gipsvorm, loopt men de kans dat in de klei holle ruimten ontstaan, wat het object buitengewoon kwetsbaar maakt voor vorst. Ook de toegepaste baktechniek is van invloed op de weersbestendigheid. Onvoldoende bakken, te kort of bij lage temperatuur leidt tot te lage sintering door-en-door. Daardoor kan het product snel verweren.

Een apart probleem vormt de verankering van de terracotta onderdelen. Daarvoor werden vaak ijzeren ankers gebruikt en roestvorming veroorzaakt dan vaak breuk in de terracotta onderdelen. Ernstige teloorgang ontstaat door kristallisatie van zouten waardoor terracotta afschilfert. Een blik onder balkons doet bijvoorbeeld constateren dat menige terracotta consoles inmiddels het veld hebben moeten ruimen.

RESTAURATIE TUSCHINSKITHEATER

Eind vorige eeuw is het geglazuurde bouwaardewerk van het Amsterdamse Tuschinskitheater gerestaureerd (afb. 12). Dat gebeurde in 1998, ter gelegenheid van de restauratie van het exterieur. De terracotta reliëfstukken zijn waarschijnlijk vervaardigd bij Willem Brouwer in Leiderdorp; de grote sculpturen zijn naar verluidt werkstukken van de 'Plateelaardewerfabriek Delft' in Hilversum.

Ongeveer 75 jaar na de bouwdatum moest er met de keramische bekleding van de bakstenen voorgevel wel iets gebeuren. Tegels zaten los of waren gebroken, glazuurlagen waren afgeschilferd en het voegwerk verkeerde in slechte staat. Door het inwateren als gevolg van breuk of slecht voegwerk was vorstschade ontstaan.

Naar toen bleek waren bij de bevestiging van de elementen behalve specie ook ijzeren doken gebruikt. Het oxiderende ijzer was in volume toegenomen en had de nodige verwoestingen aangericht. Een van de karweien was het uitboren van de restanten ijzer, met als gevolg ronde gaten in de terracotta onderdelen. Deze werden voorzover ze tot de baksteen reikten opgevuld met specie.



De gaten in de bouwkeraamiek zelf werden gerepareerd met een minerale polymeergebonden reparatiemortel. De reparatie van de afgebladderde glazuurlagen gebeurde met zogenaamd koudglazuur dat binnen korte tijd geheel is afgehard.¹⁵ Bij dit werk zijn zeven verschillende pigmenten gebruikt om recht te doen aan het genuanceerde kleurpalet van de glazuurlaag. Het goed waterdicht houden van de gevel is van groot belang voor de toekomst, vandaar dat zeer veel aandacht is besteed aan de vernieuwing van het voegwerk.¹⁶

RESTAURATIE TERRACOTTAFABRIEK MARTIN

Onlangs is de voormalige terracottafabriek annex woonhuis van Martin aan de Lageweg te Zeist in opdracht van de Broedergemeente gerestaureerd. In dat kader werden uiteraard de terracotta versieringen uitgebreid onder handen genomen. Belangrijk daarbij waren de onderdelen in de kroonlijst – zoals eierlijst, sierpanelen en kapitelen – en de kozijnomlijstingen in de voorgevel, waar ook uitbundig gebruikgemaakt was van terracotta (afb. 13).

Alle terracotta ornamenten verkeerden in redelijke tot goede staat. Op enkele plaatsen ontbraken elementen, zoals een deel van de eierlijst. De originele plint aan de voorgevel was grotendeels verdwenen door inwerking van vocht, zouten en vorst.

Afbeelding 12

Uit geglaazuurd bouwaardewerk bestaande voorgevel van theater Tuschinski in Amsterdam (foto Meindert Stokroos).

Na uitgebreid kleuronderzoek werden de terracotta onderdelen van alle verflagen ontdaan, waardoor hun scherpte weer zichtbaar werd en bovendien een goed beeld van de schade ontstond. De ornamenten bleken met smeedijzeren pennen en krammen aan het achterliggend werk te zijn verankerd. De consoles waren met een schroef in het hout bevestigd. Het herstel heeft vooral betrekking gehad op het injecteren van scheuren. Ontbrekende delen werden aangevuld met een terracotta restauratiemortel. Voor de verdwenen onderdelen werden met een krimparme gietbare terracottamortel nieuwe exemplaren gegoten.¹⁷

RESTAURATIE NIEUWE BAVO

In 1893 kreeg de architect Jos Cuypers opdracht een nieuwe kathedraal te bouwen voor het bisdom Haarlem: de kathedrale basiliek Sint Bavo (afb. 14). Omdat aan de Grote Markt in Haarlem al de Grote of Sint Bavo stond, zou deze nieuwe kathedraal aan de Leidse Vaart de geschiedenis ingaan als 'de Nieuwe Bavo'. Het bouwen ervan was een groots project, dat tussen 1895 tot



1930 is uitgevoerd. Zowel in het interieur als in het exterieur is veel geglazuurde terracotta toegepast. Daarbij was een aantal leveranciers betrokken. Zo leverde Martin uit Zeist als bestgeoutilleerde bedrijf *'geel verglaasde terra cotta'* voor het interieur. Deriks en Geldens leverden *'kleurig verglaasde terra-cotta'* voor de gootlijsten. Willem Brouwer uit Leiderdorp leverde *'kleurig verglaasd steengoed, als geornamenteerde goten op de vier koepeltorentjes, uitwendig van Delfts aardewerk (Thoof en Labouchere)'*. Verder blijkt dat de firma Villeroy en Boch uit Mettlach keramiek leverde voor het priesterkoor. Wie wat leverde is niet duidelijk.¹⁸

Wie het exterieur van de Nieuwe Bavo aan nauwgezet onderzoek onderwerpt, zal ontdekken dat veel terracotta elementen die de overgangen van bogen naar kolommen markeren aan vervanging toe zijn. Regen en wind, maar vooral ook vorst, hebben veel schade aangericht.

De mate waarin keramiek is toegepast en de verschijningsvorm is voor Nederland vrij uniek. Bij de huidige restauratie is er veel aandacht voor het herstel van het keramiek. Daarbij wordt een balans gezocht tussen behoud van oorspronkelijke elementen en het aanvullen met nieuw gebakken elementen. Ook worden

Afbeelding 13 (boven)

Terracotta kapitelen van de Terracottafabriek van Martin in Zeist voor en na restauratie (foto Van Hoogevest Architecten).

Afbeelding 14 (onder)

De Nieuwe Bavo te Haarlem (foto RCE, Hans de Witte).

enkele keramische elementen in situ hersteld door een keramiekrestaurateur. Daarvoor wordt op kleur gebrachte kunstthars gebruikt. Het opnieuw aanbrengen van een keramische glazuur is doorgaans niet mogelijk en zeker niet in situ.

TEN SLOTTE

Wie wil weten hoe doorgaans met schade aan terracotta ornamenten wordt omgegaan, doet er goed aan eens in negentiende-eeuwse stadswijken te kijken naar de consoles onder balkons. Wanneer in het verleden reparatie daarvan niet meer mogelijk bleek, werden deze bijvoorbeeld vervangen door een omkasting van plaatmateriaal. Tegenwoordig bieden allerlei nieuwe materialen mogelijkheden voor het vervaardigen van goed gelijkende ornamenten. Vervanging door gebruik te maken van gebakken replica's komt zelden voor. De restauratie van de ornamenten van de Nieuwe Bavo is een mooie gelegenheid om daarmee ervaring op te doen!

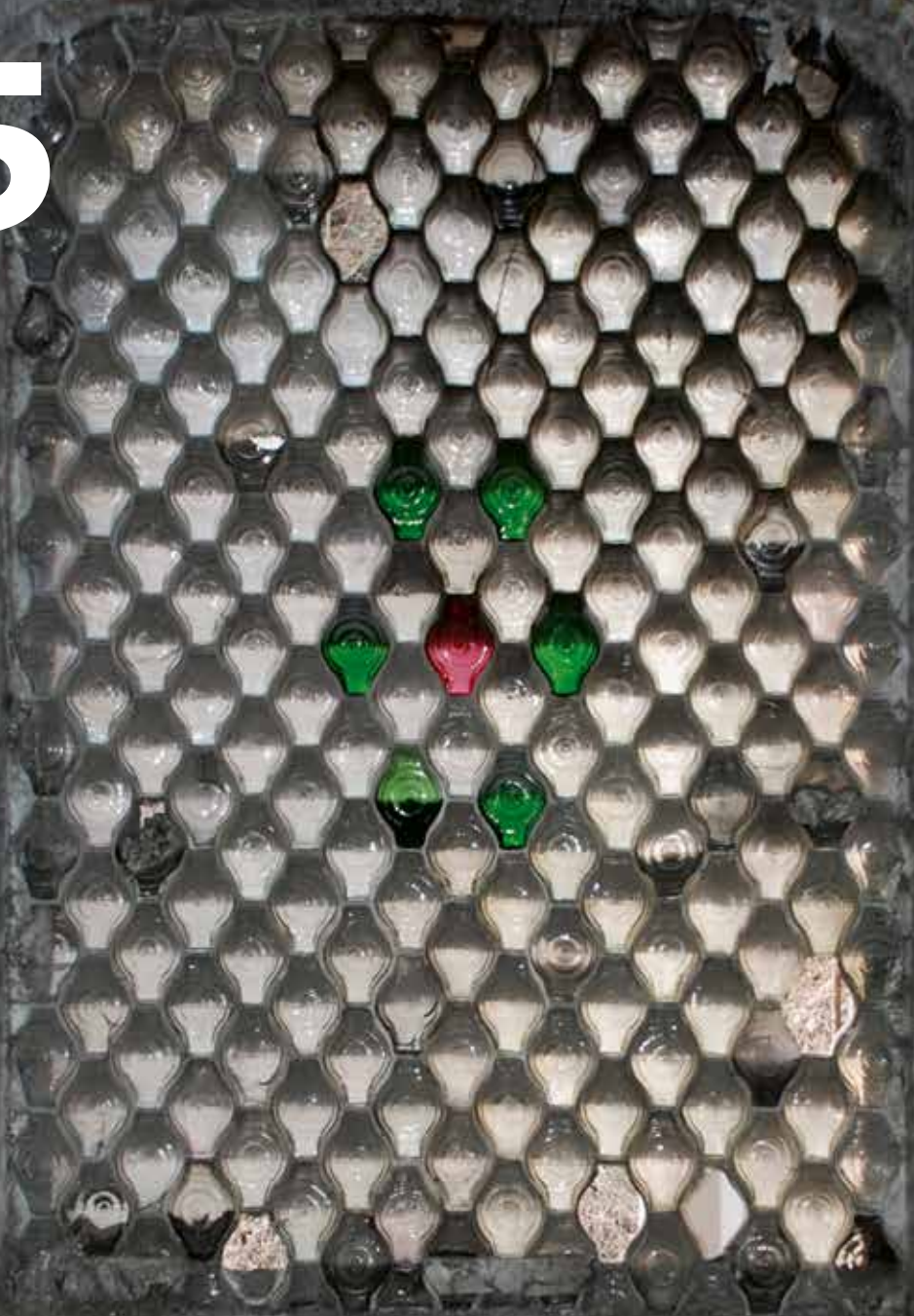
Literatuur

- Berens, H.E.M., 2001, *W.N. Rose 1801-1877. Stedebouw, civiele techniek en architectuur*, Rotterdam.
- Erftemeijer, A., et al., 1997, *Getooïd als een bruid. De nieuwe Sint Bavokathedraal te Haarlem*, Haarlem.
- Fidler, J., 1996, *Architectural Ceramics, their history, manufacture and conservation*, London.
- Hamilton, D., 1978, *Architectural ceramics*, London.
- Van der Kloes, J.A., 1893, *Onze bouwmaterialen*, Maassluis.
- Koopmans, Y., 1997, *Muurvast en gebeiteld, beeldhouwkunst in de bouw 1840-1940*, Rotterdam.
- Lowndes, W.S., 1936/37, *Common brickwork. Architectural Terra Cotta*, Scranton.
- Mieras, J.P., 1922, 'Beeldhouwwerk en bouwaardewerk van Willem C. Brouwer', in: *Bouwkundig Weekblad*, pp. 427-431, pp. 439-444, p. 446.
- Panne, K. (red.), 1998, *Ton – in Form gebracht: Terrakotten, Ofenkacheln, Kachelöfen, Geschirr, Backsteine*, Celle.
- Stokroos, M., 1985, *Terra Cotta in Nederland*, Amsterdam.
- Stokroos, M., 1998, 'Restauratie van Theater Tuschinski in Amsterdam', in: *Monumenten*, nr. 11/12, pp. 18-25.
- Stratton, M., 1993, *The terracotta revival*, London.
- Tunick, S., 1997, *Terra-cotta skyline*, New York.
- Verbrugge, B. D., 1984, 'Keramiek in de Amsterdamse Architectuur 1880-1940, Tegeldecoraties', in: *Amsterdamse Monumenten* 2, nr.1, pp. 2-20.
- Verbrugge, B. D., 1984, 'Keramiek in de Amsterdamse Architectuur 1880-1940, Bouwaardewerk', in: *Amsterdamse Monumenten* 2, nr.12, pp. 22-40.
- Z.a., *Bouwkundige Bijdragen*, edities 1854 en 1863.
- Z.a., *Tijdschrift ter Bevordering van Nijverheid*. Edities 1839, 1844 en 1851.

Noten

- 1 Zie hiervoor ook de opmerking van Verbrugge (Verbrugge 1984(1), p. 2).
- 2 Mieras 1922, p. 439.
- 3 March was van huis uit producent van zogenaamde *Kachelöfen*, (keramische) tegelkachels zoals die in Midden-Europa nog steeds in gebruik zijn. Tobias Feilner (1773-1839) was evenals March fabrikant van kleiwaren, bakstenen, vormstenen en terracotta producten. In 1793 nam hij de Berlijnse Höhlische Tonwarenfabrik over, met 120 werknemers.
- 4 *Tijdschrift ter Bevordering van Nijverheid*, 1839, p. 479.
- 5 Berens 2001, p. 84.
- 6 *Tijdschrift ter Bevordering van Nijverheid*, 1844, pp. 158-159.
- 7 *Tijdschrift ter Bevordering van Nijverheid*, 1851, p. 16.
- 8 *Bouwkundige Bijdragen* 1854, p. 297.
- 9 In 1866 overgenomen door J.C. Stoeller Wzn. en voortgezet onder de naam Arnhemsche Terra-Cotta-Fabriek.
- 10 *Bouwkundige Bijdragen* 1863, p. 175.
- 11 Van der Kloes 1892, p. 143.
- 12 *Bouwkundige Bijdragen* 1854, kolom 298.
- 13 *Biografische Notities P.O. Martin*, pp. 24-25. Met dank aan Edgar de Bruijn, Van Hoogevest Architecten, Amersfoort, voor het beschikbaar stellen van een kopie.
- 14 Koopmans 1997, p. 59-60.
- 15 Koudglazuur is een verzamelnaam voor producten op basis van synthetische hoogglanslak of kunstthars, waarmee beschadigde glazuurlagen kunnen worden hersteld; technisch is het niet te vergelijken met een keramische glazuur.
- 16 Stokroos 1998.
- 17 Met dank aan Edgar de Bruijn, Van Hoogevest Architecten, Amersfoort.
- 18 Erftemeijer 1997, p. 275, noot 14 bij hoofdstuk 7.

5



Glazen bouwstenen

Licht in historisch metselwerk

Sinds de negentiende eeuw is er een nieuwe 'baksteen': de glazen bouwsteen. De stenen zijn aanvankelijk puur bedoeld voor lichttoetreding, maar krijgen gaandeweg steeds meer waardering als architectonisch element. Een overzicht van opkomst en gebruik.

Aan het eind van de negentiende eeuw wordt in de Verenigde Staten de glazen bouwsteen geïntroduceerd. In een octrooi voor glazen bouwstenen uit 1898 staat omschreven wat de specifieke functie van de stenen destijds was: ze werden aangebracht *'in cases where the rules of the local or other authorities or other powers for regulating building do not permit windows to be provided in certain outer walls of buildings, and where, nevertheless, daylight is necessary for illuminating the space behind such walls'*.¹

EERSTE VORMEN

Over de uitvinding en de eerste toepassing van de glazen bouwsteen is niets bekend. Volgens enkele auteurs zou de vinding in verband staan met een prijsvraag van de Amerikaanse regering rond 1880 om lichtdoorlatende muren te ontwerpen, maar concrete gegevens daarover ontbreken. Nieuw waren de bouwstenen niet; ze zouden al gebruikt zijn in de tijd van Ramses II.² Deze bewering kon overigens niet worden geverifieerd.

Een andere opvatting is dat de glazen bouwsteen een opvolger is van de (prismatische) glasblokken in kelderlichten.³ Deze waren op hun beurt een afgeleide

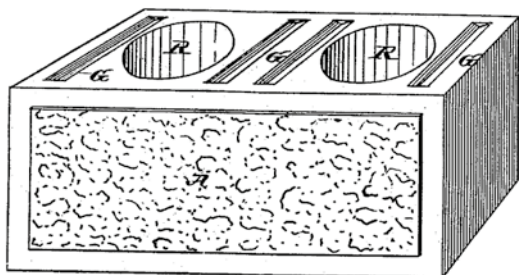
van glazen deklichten op schepen. De vroegst bekende toepassing van glazen deklichten dateert al uit de zeventiende eeuw. Dit als verlichting in schepen beneden-deks, als alternatief voor bijvoorbeeld olielampen, die brandgevaarlijk waren voor zowel schip als lading. Het vroegst bekende patent voor een glazen deklicht dateert uit 1684 en is van Edward Wyndus.⁴

Het oudst bekende patent voor een glazen bouwsteen dateert uit 1881, komt uit de Verenigde Staten en staat op naam van C.W. McLean (afb. 2).⁵ Hij ontwierp een rechthoekige, massieve steen met geruwd oppervlak. In de steen zitten twee ronde gaten om materiaal en gewicht te besparen. De maat en verwerking sloten goed aan op metselwerk, want de *'blocks of glass are used and put together and united by mortar or cement, in the same manner as are bricks or stones'*.⁶

Vanaf 1881 worden er vele glazen bouwstenen ontworpen, in alle soorten en vormen, zowel in de Verenigde Staten als in Europa. Daarbij kregen de stenen een steeds lichter gewicht en zocht men naar manieren om met deze stenen een (stabiele) wand te maken. Uit 1884 dateert al een patent voor een holle steen in de vorm van een rechthoekige bak, die via een messing en groef kon worden gestapeld.⁷ Daarna zijn het variaties op hetzelfde thema tot aan de ontwikkeling van de vierkante glazen bouwsteen zoals we die nu kennen (zie ook verderop).

Afbeelding 1

Eén van de ramen in de inmiddels gesloopte papierfabriek in het Belgische Huy, bezet met gegolfde Briques Falconnier (foto auteur).



Afbeelding 2

Ontwerp voor een glazen bouwsteen uit 1881 van C.W. McLean. Bron: Amerikaans patent nr. US238797A1-1.

Afbeelding 3 (onder)

Overzicht van een deel van de vormen en kleuren van de Briques Falconnier (foto auteur).



BRIQUES FALCONNIER

Tot de meest indrukwekkende glazen bouwstenen behoren de stenen van de Zwitser Gustave Falconnier. In 1886 kreeg Falconnier⁸ in Frankrijk als eerste patent op 'een nieuwe toepassing van geblazen glas voor het verkrijgen van bouwmaterialen van glas', die bekend zou worden onder de naam 'brique Falconnier' (afb. 3).⁹ Dit waren holle geblazen zeshoekige stenen die verkrijgbaar waren in verschillende kleuren. Al snel volgden patenten op andere stenen, waaronder op de veel toegepaste 'gegolfde' steen (afb. 1). Hij verkreeg ook patenten in andere landen, waaronder de Verenigde Staten. Met zijn producten won hij diverse prijzen, waaronder in 1893 op

de Wereldtentoonstelling in Chicago en in 1889 op de Wereldtentoonstelling in Parijs.

Verschillende bedrijven produceerden de stenen in licentie, waaronder de 'AG Glashüttenwerke Adlerhütten' in Penzig¹⁰, 'Albert Gerrard Société Anonyme' in Mulhouse (Haut Rhin) en de 'Société Anonyme des Verrieres de Dornignies'. De stenen waren behalve in blank glas ook leverbaar in verschillende kleuren, waaronder groen, blauw, rood, geel en bruin (afb. 3).

In Nederland zijn de zeshoekige stenen onder meer toegepast in een serre van villa Andre   in Kollum. De serre, gebouwd in 1902, had een verticale doorsnede in de vorm van een halve ellips (afb. 4). Een dergelijke

Afbeelding 4

De serre voor de entree tot de Villa Andreæ te Kollum uit 1902, gebouwd met zeshoekige Briques Falconnier (part. verz).



serre staat ook afgebeeld in een reclamefolder van de glasfabriek in Dorignies. Het blad *La Nature* wijdde een artikel aan de stenen van Falconnier. Hierin zijn drie vormen gepresenteerd en een ontwerp voor een kas die qua vorm ook overeenkomsten vertoont met de serre in Kollum. Blijkbaar was de technische kwaliteit van een dergelijk ontwerp in glazen bakstenen niet al te best. Want de serre in Kollum schijnt al vrij snel na de bouw weer te zijn afgebroken, waarbij de afkomende stenen in de kruipruimte werden gegoooid.¹¹

De zeshoekige stenen zijn ook verwerkt in het pand Cortgene 127 (circa 1915) te Alblasterdam om de kelder te verlichten. En in het Libanon Lyceum (1913) aan de

Afbeelding 5

Het gebruik van zeshoekige Briques Falconnier in de toiletgroep van het Libanon Lyceum te Rotterdam (foto RCE).



Ramlehweg 6 te Rotterdam, waar ze zijn gebruikt voor in pandige ramen in een toiletgroep en in tussenwanden in de kelder (afb. 5). De Rotterdamse gemeentearchitect Walter Dahlen liet de 'gegolfde' stenen verwerken in twee in pandige ramen in een toiletgroep van de voormalige Zeevaartschool (1916) aan de Pieter de Hoochstraat. In deze panden zijn de stenen nog aanwezig.

Berlage schijnt gekleurde Falconnierstenen te hebben gebruikt om een doorgang tussen de Nieuwendijk en het Damrak te Amsterdam 'met goed gevolg' te overwelden.¹² Deze passage bestaat echter niet meer.

MEER FALCONNIER

Ook buiten Nederland was de steen geliefd bij architecten, waaronder Hector Guimard, Auguste Perret en Le Corbusier. De stenen zijn te vinden in een aantal kenmerkende bouwwerken. Zoals in het gebouw van de Algerijnse legatie in Geneve, dat Gaston Falconnier in 1985 ontwierp voor barones d'Outhdooet en haar man Eugene Colgate. Ook in het ontvangstgebouw van het Champagnehuis Mumm in Reims, in 1898 ontworpen door Armand Bègue en Ernest Kalas. Beide architecten ontwierpen ook het 'Palais du Champagne' op de wereldtentoonstelling in Parijs in 1900, waarin eveneens stenen van Falconnier zijn toegepast. Dan nog het Hôtel Bergeret, 24 rue Lionnois in Nancy, een ontwerp uit 1903 van Lucien Weissenburger (1860-1928), voor de drukker Albert Bergeret. Weissenburger schreef in zijn complexe ontwerp van dakvensters kleine vierkante stenen in wit en groen voor, als omranding van de glas-in-loodramen van Joseph Janin (1852-1910). De villa, een 'manifeste de l'Art Nouveau', is nu in gebruik als hoofdgebouw van de universiteit. Wellicht het meest fraaie voorbeeld is Castel Beranger, waarin vrijwel alle vormen en kleuren van de stenen van Falconnier zijn verwerkt.

Tot wanneer de Falconnierstenen zijn gemaakt en gebruikt is niet duidelijk. Ze komen in de prijslijst van Adlerhütten voor tot 1939. Ook niet bekend is wanneer

het patent van Falconnier is afgelopen en of hij het heeft verlengd. In ieder geval zijn de stenen rond 1935 gekopieerd door Etablissements Gaston Blanpain-Massonet uit Brussel onder de naam Neutral.

Naast de holle geblazen stenen heeft Falconnier ook een patent aangevraagd voor een dunne glazen tegel die met behulp van een vlechtwerk van betonstaal werd gestapeld tot een wand.¹³ Niet bekend is of deze tegels daadwerkelijk ergens zijn toegepast.

VERA-LUX

Een belangrijke leverancier voor glazen bouwstenen in Nederland was de 'NV Glasfabriek "Leerdam"', voorheen Jeekel, Mijnsen & Co', de huidige Royal Leerdam. De fabriek produceerde vanaf circa 1920 geperste glazen bouwstenen onder de naam Vera-Lux. Het idee voor de productie van de bouwstenen kwam van de inspirerende directeur in die tijd, Pieter Cochijs. Hij wilde glas, kunst en architectuur samenbrengen, maar probeerde tegelijkertijd in een moeilijke periode met nieuwe producten het hoofd boven water te houden.

Afbeelding 6

Vera-Lux stenen met noppen voor het verkrijgen van een (halfsteens) verband, onder meer toegepast in het Oostelijk Zwembad te Rotterdam (foto Ronald Stenvert).





Afbeelding 7

Rechthoekige Vera-Lux stenen in een tochtportaal in het Comeniusmausoleum te Naarden (foto auteur).

In Nederland zijn veel doosvormige glazen bouwstenen toegepast, in verschillende types. Algemeen wordt aangenomen dat de architect H.P. Berlage hiervan de ontwerper is. Dit is echter niet juist.¹⁴ Dat was architect Jetze Willem Janzen uit Den Haag, die net als Berlage samenwerkte met de Glasfabriek Leerdam.¹⁵ Al kort nadat Janzen patent had aangevraagd droeg hij zijn patenten over aan de Glasfabriek. Eén ontwerp betrof een steen die schakelbaar was middels een groef die in een ribbel tussen twee verhoogde delen paste, vergelijkbaar met de plastic speelgoedbouwstenen van Bambino (afb. 6).¹⁶ Eén variant was zo gemaakt dat een kapotte steen kon worden uitgenomen.¹⁷ Behalve Janzen ontwierp ook Piet Zwart een doosvormige steen.¹⁸

Berlage gebruikte de doosvormige stenen onder meer in de First Church of Christ, Scientist (1925-27) aan de Andries Bickerweg in Den Haag. Doosvormige stenen zijn ook toegepast in een tochtportaal van het Comeniusmuseum te Naarden (afb. 7) en in de gevels van het fysiologisch laboratorium van de Vrije Universiteit uit 1933 naar ontwerp van de architect B.T. Boeyinga aan de De Lairessestraat 174-176 te Amsterdam. Ook zijn ze, in een staande variant, te vinden in het trappenhuis van het kantoorgebouw voor de 'De Nederlanden van 1845' aan het Willemsplein 5-6 te Arnhem (afb. 8), een ontwerp van architect W.M. Dudok uit 1938. De 'Bambinosteen' is onder meer toegepast in het Oostelijk Zwembad in Rotterdam (1932) in blank en bruin glas (afb. 6).

Naast de rechthoekige stenen bestond er ook een ronde glazen bouwsteen die vermoedelijk alleen als een soort glas-in-beton verwerkt kon worden. Hiervan zijn nog geen vooroorlogse voorbeelden in situ bekend. De stenen komen wel voor in de Pniëlkerk (1954) in Amsterdam.

Van een heel ander karakter was de geknikte steen (afb. 10). Dit was een ontwerp uit 1928 van Emile Sanders uit Amsterdam.¹⁹ Deze stenen, eveneens vervaardigd in de Glasfabriek Leerdam, waren er in twee maten. Ze zijn gebruikt om grote gevelvlakken mee te maken, maar we komen ze vooral tegen in portieken en trappenhuisen, zoals aan de Nachtegaalstraat 90 te Utrecht en de Mgr. Prinsenstraat te Den Bosch. In Utrecht zijn ze aan de Van Sijpesteijnkade 19 verwerkt als rand boven een winkelpui. Over het algemeen zijn ze van blank glas. In 's-Hertogenbosch is aan de Visstraat 55 echter een hoog raam in een trappenhuis gemaakt van ten minste drie kleuren glas: oranje, rood en blauw (afb. 9). In Den Haag zijn de stenen in de trappenhuisen van flatgebouwen langs de Dierenselaan en de Apeldoornselaan, gebouwd tussen 1920 en 1940 naar ideeën van architect H.P. Berlage, van 'Annagroen' glas (afb. 11).

Tot wanneer de stenen van Vera-lux zijn toegepast is niet bekend. Vermoedelijk tot kort voor de Tweede Wereldoorlog.

GLAZEN TEGELS

Rond 1930 zijn er ook dunne glazen bouwstenen – of eigenlijk meer tegels – toegepast. Met deze massieve tegels konden hele wanden worden opgetrokken. Hiermee worden niet de prismategels bedoeld die werden gebruikt voor bijvoorbeeld kelderlichten.²⁰ Deze vallen buiten het bestek van dit hoofdstuk.

Deze dunne glazen bouwstenen zijn bijvoorbeeld gebruikt als gevel in de Derde Ambachtsschool uit 1931 van Jan Duiker in Den Haag (afb. 12), in het trappenhuis. Een tweede voorbeeld is het dr. A.F. Philips Observatorium uit 1937 van Louis Kalff in Eindhoven, waar ze ook zijn gebruikt voor verlichting van het trappenhuis. In beide gevallen betreft het het model 'Nevada' van de Franse glasfabriek Saint Gobain. Dit model is wellicht het meest bekend door zijn toepassing in het beroemde Maison de Verre in Parijs uit 1928-1930, naar ontwerp van Chareau, Bijvoet en Dalbet.

DE VIERKANTE GLAZEN BOUWSTEEN

De nu zo bekende vierkante glazen bouwstenen bestaan ook al lang. In het trappenhuis van het voormalige PTT-hoofdkantoor aan de Kortenaarkade in Den Haag uit 1920 zijn vierkante massieve stenen toegepast van acht



centimeter dik. De reden om hier massieve stenen toe te passen terwijl holle stenen volop verkrijgbaar waren, heeft vermoedelijk een constructieve reden. De wand loopt over drie verdiepingen door, en door het enorme gewicht zouden de onderste stenen kapot gedrukt worden.

In 1935 introduceerde de Corning Glass Works te New York een holle, glazen, vierkante bouwsteen die uit twee helften bestond die met een speciaal procedé aan elkaar werden gesmolten. Voor zover bekend was dit een primeur. Deze stenen, die op de markt kwamen onder de naam 'Corben-Steuben', zijn de voorlopers van de huidige glazen bouwstenen. Nog in hetzelfde jaar introduceerde de Owens Illinois Glass Company hún variant, de Insulux. In Nederland was Glasfabriek Leerdam vanaf circa 1936 de producent van de Insulux-bouwstenen. In Groot-Brittannië bracht Pilkington Brothers de steen op de markt onder de naam Insulight.

Deze vierkante holle stenen hebben vrijwel alle andere stenen verdrongen en worden tot op de dag van vandaag gemaakt, ook door andere fabrikanten.

Afbeelding 8

Rechthoekige Vera-Lux(?) stenen staand toegepast in het trappenhuis van het kantoorgebouw voor de 'De Nederlanden van 1845' aan het Willemsplein 5-6 te Arnhem (foto auteur).

Ze worden veelvuldig toegepast in zowel binnen- als buitenmuren.

DE GLAZEN BOUWSTEEN IN DE ARCHITECTUUR

Hiervóór is al het 'Maison de Verre' in Parijs genoemd, een huis waarvan de buitengevels grotendeels zijn opgetrokken uit glazen bouwstenen. De stenen zijn hier nadrukkelijk als uitgangspunt voor het ontwerp genomen. Dat was niet nieuw. Het vroegst bekende en wellicht meest tot de verbeelding sprekende voorbeeld is het paviljoen op de Kölner Werkbundaustellung voor de Duitse glasindustrie van Bruno Taut uit 1914. Dit gebouw was geheel opgetrokken in glazen bouwstenen, gevat in staal. Ook in het interieur waren glazen bouwstenen toegepast, onder andere voor de trap.



Afbeelding 9 (boven)

Driehoekige Vera-Lux stenen in verschillende kleuren (foto's auteur).

Afbeelding 10 (onder)

Ontwerptekening van Emile Sanders voor zijn driehoekige glazen bouwsteen. Bron: Nederlands patent nr. NL18500CC.

In Nederland kenden we tot voor kort vrij weinig gebouwen waarvan totale gevels of hele grote delen waren opgetrokken in glazen bouwstenen. Vaak ging het om kleinere delen zoals in de hiervoor genoemde school van Duiker. Enkele voorbeelden met grotere gevelvlakken zijn de Snelliussschool (1932) in Hilversum, de Volharding in Den Haag (1928) (afb. 13) en de voormalige Technische School te Venlo uit 1961 naar ontwerp van Bijvoet. Een meer recent voorbeeld waar de gevels wel vrijwel volledig uit glazen bouwstenen zijn opgebouwd is de uitbreiding van de Kunstacademie te Maastricht uit 1993 van Wiel Arets.

GLAZEN BOUWSTENEN NU

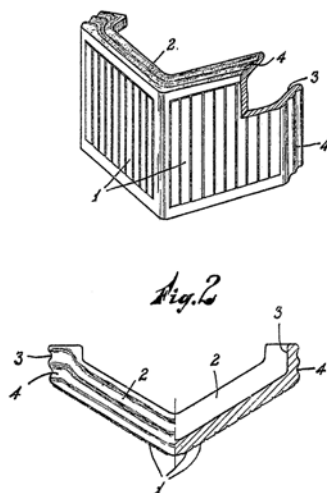
De glazen bouwsteen is niet meer weg te denken in de architectuur, of het nu gaat om binnenwanden of (delen van) buitengevels. Sinds de Tweede Wereldoorlog is echter over het algemeen alleen nog de holle vierkante steen toegepast. De stenen zijn leverbaar in verschillende vormen en kleuren en in aangepaste vormen zoals hoekblokken of halve blokken om in verband te kunnen werken. De meest gebruikte maat is 19 x 19 cm, maar afmetingen van 30 x 30 cm komen ook voor. In het aanbod komen de Insulux en de blokken van Corning nog steeds voor.

Sinds kort zijn er echter ook afwijkende stenen op de markt. Bijvoorbeeld een holle glazen bouwsteen met het formaat van een standaard baksteen. Deze is onder meer toegepast in de gevels van de in 2011 opgeleverde Brockman Hall van de Rice University (Houston, Texas). Ook is er sinds kort weer een massieve baksteen beschikbaar. In zijn folder geeft de fabrikant alleen voorbeelden van gebruik in het interieur. Of de stenen ook al in buitenmuren zijn toegepast, is niet bekend.

CULTUURHISTORISCHE WAARDE

De glazen bouwstenen van vóór de Tweede Wereldoorlog zijn zeldzaam, zeker in Nederland. Het kwetsbare materiaal maakt dat ze vaak zijn gebroken en vervangen. Daarom is ook niet bekend hoeveel er van de vele ontwerpen zijn toegepast. Vooralsnog zijn alleen bekend de stenen van Falconnier, Vera-Lux en Saint Gobain.

De stenen zijn in Nederland vrijwel uitsluitend functioneel toegepast, dat wil zeggen geplaatst op plaatsen waar directe inkijk niet, maar licht wel gewenst was. Het gebruik van gekleurde stenen om er een wand mee te decoreren, zoals dat bijvoorbeeld in Frankrijk is gebeurd, komt niet voor. Zoals gezegd zijn wel gekleurde stenen gebruikt voor trappenhuisen, en bovendien in het kioskje van Berlage op het Buitenhof in Den Haag en in zijn First Church of Christ, Scientist.²¹ De toepassing, de vorm en de kleuren maken dat de stenen een wezenlijk onderdeel vormen van de architectuur van circa 1900 tot nu en dat ze meer aandacht verdienen dan ze nu krijgen, zeker vanuit de monumentenzorg.





Afbeelding 11 (links)

Het gebruik van groene driehoekige Vera-Lux stenen in een portiek aan de Dierenselaan in Den Haag (foto auteur).

Afbeelding 12 (rechts)

Het gebruik van de glastegel Nevada voor de buitengevel van de Derde Ambachtsschool in Den Haag (foto RCE). Inzet: de tegel in detail (foto auteur).

VERWERKING

Glazen bouwstenen zijn vanaf het begin op dezelfde wijze gemetseld als bakstenen: met een kalk- of cementmortel. Om een goede hechting aan het glas te krijgen werden de wanden soms voorzien van ribbels of andere ruwe oppervlakken. De vorm van de stenen was zodanig dat er ook verbanden mee konden worden gemaakt. De beste voorbeelden daarvan zijn wel de Falconnierstenen, maar ook de ‘Dominostenen’ maakten een halfsteens verband mogelijk.

In sommige gevallen werd ter versteviging ijzeren wapening aangebracht, zoals bij de wand in het voormalige PTT-kantoor te Den Haag. Soms bracht men voor deze wapening een sleuf aan in de bovenzijde van de steen. Omdat de stenen kwetsbaar waren en breuk blijkbaar regelmatig voorkwam, zijn er ook stenen zodanig ontworpen dat één steen eenvoudig uitgenomen en vervangen kon worden.

SCHADE EN HERSTEL

Schade aan glazen bouwstenen kent grotendeels vier oorzaken: breuk door interne spanningen in het glas (komt het meest voor bij massieve stenen), breuk door het gewicht van bovenliggende stenen of metselwerk, breuk door roestende wapening en breuk door vandalisme. Voor herstel staan verschillende opties open, variërend van vervanging tot lijmen. Voorwaarde is echter wel dat de oorzaak van de schade wordt weggenomen.

Vrijwel de meeste glazen bouwstenen uit gebouwen uit de periode 1880-1940 worden niet meer gemaakt. Alleen de vierkante holle bouwstenen worden nog steeds geproduceerd. In sommige gevallen bestaat er een alternatief. Zo zijn massieve vierkante bouwstenen van acht centimeter dik niet meer te koop, maar wel van 7,6 cm. En er zijn er stenen van acht centimeter dik die aan één zijde open zijn. Als alternatief voor de dunne bouwstenen kunnen dunne glazen vloertegels worden toegepast. Ook hier geldt echter dat vorm en maat vaak niet overeenkomen.



Tweedehands zijn de bouwstenen nog maar deels verkrijgbaar. Glas is en blijft tenslotte een kwetsbaar materiaal en bij sloop komt breuk veel voor. Doordat de stenen van Falconnier in bijvoorbeeld het MoMA in New York en het Schweizerischen Nationalmuseum in Zürich worden tentoongesteld als glaskunst, is de prijs voor sommige tweedehands bouwstenen echter enorm gestegen. Met name de stenen van Falconnier en de stenen van Veralux die aan Berlage worden toegeschreven worden voor hoge bedragen verkocht op kunstveilingen.

Namaken van glazen bouwstenen is mogelijk. Voor het enorme plafond van het Stadthaus in Zürich, compleet vervaardigd van stenen van Falconnier, zijn in Duitsland replica's gemaakt. De stenen zijn op de oorspronkelijke wijze in een mal geblazen. Het gaat hier dan wel om grote partijen. Voor het vervaardigen van enkele stuks is dit financieel gezien geen optie. Ook kan de steen eventueel in een weer- en uv-bestendige bestendige kunststof worden afgegoten, maar deze techniek is in Nederland voor zover bekend nog niet toegepast.

Als de schade beperkt is gebleven tot breuk, is het in theorie mogelijk de breuk te lijmen, maar in de praktijk blijkt dat moeizaam. Voorwaarde daarbij is wel dat de breuk goed schoon is en nauw aansluit. De breuk moet ook in situ te lijmen zijn, omdat uitnemen veelal geen optie is vanwege risico op vervolgschade. Bij het voormalige PTT-hoofdkantoor in Den Haag is verlijming toegepast, maar dit was niet bij alle stenen mogelijk.²²



TOT SLOT

Behalve in enkele artikelen uit het begin van de twintigste eeuw is er in Nederland door bouw- en architectuurhistorici weinig tot niets gepubliceerd over glazen bouwstenen. Ook internationaal gezien valt de belangstelling tegen. Als er al aandacht voor is, dan gaat het vooral om de nu nog gebruikte vierkant bouwsteen.²³ Door dit gebrek aan interesse wordt de monumentale waarde van glazen bouwstenen niet onderkend en raken zij nogal eens beschadigd tijdens verbouwingen.

Buiten het architectuurhistorische circuit is er wél belangstelling voor de glazen bouwsteen, met name door het onderzoek en de website van Ian Macky en de opname van enkele stenen van Falconnier in de collectie van het Metropolitan Museum of Art in New York en

Afbeelding 13

De Volharding in Den Haag met op de hoek en boven de begane grond de grote gevelpartijen met vierkante glazen bouwstenen (foto RCE).

het Schweizerisches Nationalmuseum in Zürich.²⁴ Die belangstelling heeft er echter toe geleid dat met name de stenen van Falconnier nu een gewild object zijn en massaal uit gebouwen worden gesloopt. Die stenen worden voor veel geld te koop aangeboden. Daarnaast worden, zoals gezegd, ook aan Berlage toegeschreven stenen op veilingen te koop aangeboden.

Het zou goed zijn als ook bij monumentenzorgers de belangstelling zou groeien. Dan blijven er hopelijk meer glazen bouwstenen in situ bewaard.

Literatuur

- Duits, Thimo te, 1991, *Geperst glas uit Leerdam*, Leerdam/Assen.
- Hermans, Taco, 2006, *Bouwglas*, Amersfoort (Brochure Techniek 46).
- Huinck, Henri, 1901, 'Glassteen', in: *Bouwkundig Weekblad*, 21 nr. 42, pp. 393-395.
- Klapheck, Richard, 1938, *Gussglas*, Düsseldorf.
- Kloes, J.A. van der, 1926, 'Glazen bouwstenen', in: *Bouwstoffen*, 11 nr. 10, 137.
- Korn, Arthur, 1999, *Glas im Bau und als Gebrauchsgegenstand*, Berlin. (eerste druk 1929)
- Lockington, W.P., 1893, 'Glass Brick', in: *The Manufacturer and Builder*, 25 nr. 2, 45.
- Louwers, Carlijn, en Pier Terwen, 2004, 'Glas op grote hoogte: onderzoek en behandeling van glazen bouwstenen', in: *Cr* 5 nr. 2, pp. 34-40.
- McGrath, Raymond, and A.C. Frost, 1961, *Glass in Architecture and Decoration*, London (eerste druk 1937).
- Patterson, Elizabeth A., en Neal A. Vogel, 2001, 'The architecture of glass block', in: *Old-House Journal*, 29 nr. 1, pp. 46-51.
- Schoemaker, R.L.A., 1927, 'Glas als bouw materiaal', in: *Het Bouwbedrijf*, 4 nr. 1, pp. 21-22.
- 15 Nederlands patent onder nummer NL23553, 16 december 1930.
- 16 Amerikaans patent onder nummer US1868236, 24 oktober 1929, vergelijk NL24953, 17 juli 1931 van Glasfabriek Leerdam.
- 17 Nederlands patent onder nummer NL23553, 16 december 1930, vergelijk NL 29855, 19 april 1933 van Glasfabriek Leerdam.
- 18 Te Duits 1991, p. 68.
- 19 Nederlands patent onder nummer NL18500, 16 juni 1928.
- 20 Zie hiervoor Hermans 2006.
- 21 In dit gebouw gebruikte Berlage gekleurde stenen om een raam te maken dat om de hoek doorliep. Dit ontlokte Van der Kloes de uitspraak dat hij nu iets had gedaan 'wat de perken van het geoorloofde op bouwkunstig gebied te buitengaats'. Het muurwerk boven de glasstrook leek op het glas te rusten en gewapend beton binnen had volgens Van der Kloes 'dien leugen mogelijk gemaakt'. Zie Van der Kloes 1926, 137.
- 22 Zie hiervoor Louwers en Terwen 2004.
- 23 Zie Patterson en Vogel 2001.
- 24 www.glassian.org.

Noten

- 1 Brits patent onder nummer GB189802142A, 1.
- 2 Lockington 1893, p. 45.
- 3 McCrath en Frost 1961, p. 167. Zie ook Hermans 2006.
- 4 'Glasses and Lamps for ships, mines &c.', British Patent Office, no. 232 (London, 1684).
- 5 Amerikaans patent onder nummer US238797A1-1.
- 6 Brits patent onder nummer GB189802142A, 1.
- 7 Amerikaans patent onder nummer US298418A1.
- 8 Gustave Falconnier is op 6 juli 1845 geboren in het Zwitserse Nyon. Hij studeerde architectuur in Lausanne en München en ten slotte aan de Ecole des Beaux-Arts in Parijs. Terug in 1870 in Nyon opende hij al snel een eigen architectenbureau. In 1874 werd hij lid van de gemeenteraad en in april 1878 werd hij verkozen tot wethouder. Kort na zijn benoeming tot prefect nam hij ontslag, in januari 1879. Falconnier overleed op 10 april 1913.
- 9 Frans patent, nummer FR179595, 11 november 1886.
- 10 Voorheen 'Glashüttenwerke Adlerhütten H. Mayer & Co', in 1896 omgezet in een Aktiengesellschaft.
- 11 Bij de restauratie van de villa in 2004 werden de bouwstenen daar aangetroffen.
- 12 Van der Kloes 1926, 137.
- 13 Zwitsers patent onder nummer CH48, 15 november 1888.
- 14 De verwarring is ontstaan door een reclamefolder van Emile Sanders uit Amsterdam, waarin de tekst voorkwam 'volgens ontwerp van dr. Berlage'. Onderzoek heeft geen ontwerp van Berlage voor een glazen bouwsteen opgeleverd.

6



Een goede gevel siert het huis

Kleur- en beschermingslagen op baksteen en voeg

Door de eeuwen heen zijn baksteengevels bewerkt met verven van allerlei aard en met andere middelen. Dat gebeurde niet alleen ter verfraaiing, maar ook om de gevel te beschermen tegen verwerking. Na een periode van onderwaardering groeit nu het besef dat de restanten van deze bewerkingslagen beschermingswaardig zijn en aandacht verdienen.

Het spreekwoord ‘Wie zijn huis verkopen wil, schildert zijn gevel’ is in de huidige praktijk van huizenverkoop in veel gevallen gereduceerd tot het bekende alles verhullende verkoopverfje op ramen en deuren. De eerbiedwaardige leeftijd van dit spreekwoord in ogen-schouw genomen – het wordt namelijk al in 1726 in een uitgave met Nederlandse spreekwoorden genoemd – doet vermoeden dat de praktijk van het ‘gevelschilderen’ om reden van verkoop al eeuwenoud is.¹

Het begrip gevel beperkt zich overigens niet alleen tot de houten onderdelen die van tijd tot tijd onderhoud behoeven, maar omvat de gehele voorzijde van een gebouw. Het toegepaste bouw materiaal speelt daarbij in de verschijningsvorm van het gebouw een beeldbepalende rol. Om het bouw materiaal en daarmee de gevel te accentueren of te perfectioneren zijn verschillende manieren denkbaar, waaronder schilderen en pleisteren.

In 1934 maakt de architectuurhistoricus E.H. ter Kuile melding van het ontbreken van literatuur op

technisch gebied wat betreft de ‘afwerking van gebouwen in vroeger tijd’.² In de tussenliggende tijd is echter een belangrijk standaardwerk over kleur op historische gebouwen verschenen. Bovendien heeft in het recente verleden onderzoek naar het historisch kleurgebruik



Afbeelding 1

Grote Vleeshuis, Voorstraat 19, Utrecht voor de restauratie (foto RCE).

Afbeelding 2

Grote Vleeshuis na de restauratie met herstel van de geschilderde afwerking op natuur- en baksteen (foto Wikimedia).

in een aantal steden geresulteerd in publicaties.³ In dit hoofdstuk wordt aan de hand van de literatuur een beeld geschetst van de afwerking van baksteen muurwerk in de periode vanaf de middeleeuwen tot het begin van de twintigste eeuw. Het accent ligt hierbij op de afwerking in de eigen kleur en op de toepassing van beschermingsmiddelen als vochtbestrijder.⁴

EEN GOEDE GEVEL SIERT HET HUIS

In de architectuur van ons land speelt baksteen een belangrijke rol. Na het langzamerhand verdwijnen van de houten huizen, bepaalt de baksteen het gevelbeeld in de bebouwing. De kleur van de baksteen in samenhang met het voegwerk is daarbij van invloed op de verschijningsvorm van het gevelvlak.

De kleur van de baksteen is in de zestiende en vroege zeventiende eeuw over het algemeen fris rood tot oranje van toon. De gevels uit die tijd kennen een rijke afwisseling in materialen: behalve baksteen past men natuursteen toe voor het accentueren van onderdelen als waterlijsten, kozijnen, aanzet- en sluitstenen in de korbogen boven vensters en deuren, speklagen en gevelstenen.

Tijdens het classicisme ontwikkelt de gevel zich tot een evenwichtige opbouw waarin de uitstraling van de baksteen een minder prominente rol speelt. De stenen worden donkerder van kleur en de architectuur wordt bepaald door de geprofileerde onderdelen als kroonlijsten, frontons en pilasters. Ook in deze stijl wordt ruim gebruikgemaakt van de lichte natuursteen, als tegenhanger van de donkerder baksteen.

In de achttiende en eerste helft van de negentiende eeuw zijn de bakstenen gevels weer vlakker. Door selectie op kleur en het bijschaven van de baksteen creëert men een vrijwel egale gevel. Gestreefd wordt naar een monochroom vlak door het gebruik van een kleiner formaat basteen en miniem voegwerk, waardoor de gevel qua materiaal uit een stuk lijkt te bestaan. De kleur van de steen varieert van donkerrood tot paarsbruin. In deze gevels zorgt nog altijd natuursteen voor de accentuering van de entree, middenrisaliet en gevelbekroning, of – als de beurs natuursteen niet toelaat – geschilderd hout in de kleur van natuursteen.

In de tweede helft van de negentiende eeuw treedt een revival van de baksteen op als reactie op de ‘pleisterwoede’ van eerder in die eeuw. Vooruitgang in de techniek van bouwmaterialen maakt allerlei nieuwe soorten baksteen mogelijk, waardoor een grote variatie in vorm en kleur ontstaat. Deze stenen worden naast andere materialen als portlandcement, gips, terracotta

en natuursteen veelvuldig toegepast als versiering in de architectuur van de neo-stijlen rond 1900.

Op bovengeschetste ontwikkeling is het spreekwoord ‘Een goede gevel siert het huis’ zeker van toepassing. Maar wat nu als de gevel met de toepassing van baksteen en andere materialen toch net niet zo mooi en scherp en sprankelend is dan zij bij aanvang was of behoorde te zijn? Werd dan ingegrepen om een volmaakt architectonisch beeld te realiseren, om renovaties te verhullen, verval te stoppen of vochtindringing tegen te gaan?

PERFECTIE IN UITSTRALING

In de literatuur wordt algemeen gesteld dat baksteenmuurwerk door de eeuwen heen ‘altijd’ al is geleverd.⁵ De geschilderde bakstenen gevels zijn grofweg in drie categorieën te verdelen. De eerste categorie betreft gevels waarbij de afwerking een esthetisch doel dient. De afwerking maakt hierbij deel uit van het architectonische beeld of versterkt dit beeld. Een afgeleide groep vormen de gevels die vanwege modernisering, uitbreidings- en/of herstelwerkzaamheden een soort camouflageafwerking hebben gekregen. Dit ook om uiteindelijk een ‘perfecte’ gevel te krijgen.

De tweede categorie bestaat uit bakstenen gevels die een afwerking kregen om materiaaltechnische redenen, zoals vocht- en verweringsproblemen. Deze laatste categorie bevindt zich eigenlijk in een schemergebied, omdat de afwerking primair is aangebracht vanwege bescherming. Het gebruikte middel bepaalt door kleur en uitstraling in de meeste gevallen eveneens het beeld.

Bij de derde categorie spelen pragmatische redenen een rol als reflectie en netheid. Denk bijvoorbeeld aan de witte gevelonderdelen in hofjes en stegen en de geschilderde spatranden van bijvoorbeeld boerderijen.

Uit de middeleeuwen is een aantal voorbeelden bekend van kerken, waarbij het metselwerk werd overschilderd met een rode kalkverf waarop wit voegwerk werd aangebracht, dat regelmatig was dan het oorspronkelijke werk. Hetzelfde geldt voor muurwerk dat platvol is gevoegd en waarbij de voegspecie heel dun wordt uitgesmeerd over de gevel om een egaal gevelvlak te krijgen. Het gevolg is een soort grauwsluijer over het muurwerk, zodat het kleuren van deze laag met daarop aangebracht een voegverdeling een logische stap is.

Maar ook bij de renaissancegevels met veel natuursteen – waar dus in principe al sprake is van contrasten tussen de materialen – wordt zowel de natuursteen als het helderrode baksteenwerk in de eigen kleuren opgewerkt, om de materialisering en daardoor de contrastwerking te optimaliseren.



Afbeelding 3

Academiegebouw, Domplein 29, Utrecht. Rood geschilderde baksteen (foto Frans Kipp).



Afbeelding 4

Van Blankenburgstraat 9, Den Haag. Rood geschilderde voeg in staafwerk rond deur en vensters (foto auteur).

Een sprekend voorbeeld daarvan is het Grote Vleeshuis in Utrecht (afb. 1 en 2).⁶ De bakstenen gevel uit 1637 is meerdere malen in rood geschilderd, als contrast met de geschilderde natuurstenen onderdelen. Tijdens een restauratie in 1841 is de hele gevel grondig 'ontverfd'. Het resultaat was een vlakke gevel waarin de verschillen in materialen vrijwel wegvielen. Door onderzoek bleek het mogelijk de originele kleurstelling te herleiden, waardoor de gevel sinds de laatste restauratie van 1989 weer zijn oorspronkelijke uitstraling kreeg.

Bij twee Haagse classicistische bouwwerken met een bakstenen parament en natuurstenen pilasters blijkt niet alleen het natuursteen geverfd, maar ook het metselwerk. Het verven van de zandstenen onderdelen aan de Nieuwe Kerk en het Mauritshuis zou een beschermingsmaatregel kunnen zijn; vaak werd immers zandsteen geschilderd als bescherming tegen donkere verwerking.⁷ Maar er werd destijds ook geverfd om esthetische redenen. Dat lijkt hier meer het geval. Door ook het terugliggende metselwerk in de kleur van

de baksteen te schilderen is hier bewust gestreefd naar maximaal contrast tussen de materialen. Deze twee voorbeelden zijn mogelijk exemplarisch voor een grotere groep bouwwerken uit de zeventiende eeuw.

Op sommige vlakke achttiende-eeuwse gevels, waar kosten noch moeite is gespaard om met geslepen en op kleur geselecteerde stenen en ragfijn voegwerk een 'perfecte' gevel te construeren, komen rode afwerk-lagen voor op steen én voeg. Dit versterkte het ideale architectonische beeld.

Ten slotte komt zelfs in de neo-stijlen van de negentiende eeuw het kleuren van baksteen voor. In een tijd waarin men eigenlijk wars was van geverfde en gepleisterde gevels en het kleurenscale sterk was uitgebreid door allerlei nieuwe producten, worden bakstenen rood gekleurd om het contrast met andere materialen te vergroten. Een goed voorbeeld hiervan is het Academiegebouw in Utrecht (afb. 3). Maar ook in de gewone 'rijtjeshuizen' uit diezelfde tijd zijn bijvoorbeeld de voegen van staafwerk rondom ramen en deuren rood gekleurd om een bepaald effect te bereiken (afb. 4).

COSMETISCH HERSTEL

In veel gevallen kregen gevels na modernisering waarbij venstergrootte, entreepartij en verdiepingshoogte werden gewijzigd een pleisterlaag om alle onregelmatigheden in de gevel te verhullen. Er zijn echter ook – zij het minder frequent – voorbeelden bekend van gevelmodernisering waarbij de gevel-



Afbeelding 5 (boven)

Nieuwegracht 54, Utrecht. De 'ouderwetse' klezoren zijn met behulp van rode reparatiemortel gewijzigd in 'moderne' drieklezoren (foto Frans Kipp).

Afbeelding 6 (rechts)

Entree van het Landshuis te Deventer. De gehele gevel bevat geschilderde bakstenen en voegen. Zelfs de muurankers zijn meegeschilderd om het effect te versterken (foto RCE).



afwerking met verf een corrigerende functie heeft. Aan de Nieuwegracht in Utrecht is een oorspronkelijk zeventiende-eeuwse gevel met klezoren in de koppenlaag uiterst subtiel aangepast aan de nieuwe gevelmode. Een verbouwing van dit pand in de achttiende eeuw – die hoofdzakelijk het interieur betrof – breidde zich uit tot de voorgevel. De als ouderwets ervaren klezortjes werden met behulp van roodgekleurde reparatiemortel omgewerkt tot 'moderne' drieklezoren (afb. 5).⁸

In *De Opmerker* van 1912 wordt verhaald over de gevel van het Pageshuis aan het Lange Voorhout te Den Haag, die voor de 'herstelling' van 1911 'overdekt was met een dikke verflaag, die hier en daar afschilferde, zodat de gebreken des ouderdoms, die men er blijkbaar mede had willen bedekken opnieuw aan het daglicht kwamen. De verver, die destijds de gevels had opgeknapt had er netjes kruisverband op aangebracht. De frisheid dezer decoratie was echter met de jaren merklijk getaand, het gevelvlak had een vaal aanzien gekregen'.⁹

Vermoedelijk is deze verflaag aangebracht in de periode 1730-31, toen er forse verbouwingen plaatsgevonden. De beschreven dikke verflaag duidt er waarschijn-

lijk op dat de verflaag meerdere keren is vernieuwd en/of bijgewerkt. Een foto van vóór de herstelling uit 1911 toont de gevel met uiterst nauwkeurig voegwerk. De tegenwoordige uitstraling van de gevel is er een met een 'eerbiedwaardig' patina, vermoedelijk als gevolg van het weghakken van de verflaag.

Een opmerkelijk voorbeeld is het Landshuis te Deventer. Hier is niet alleen de baksteen en de natuursteen beschilderd, maar zijn de rode baksteenkleur en de witte voegjes zelfs over de muurankers heen geschilderd (afb. 6).

Een minder geslaagde recent uitgevoerde herstelling is aangetroffen op het muurwerk van een opvulling tussen twee panden. Scheuren in het metselwerk en schade aan de baksteen zijn op twee manieren 'cosmetisch' hersteld. De scheur is gevoegd met een mortel die is bijgekleurd, maar waarvan de kleur al gedeeltelijk is weggespoeld. De beschadigde bakstenen zijn eveneens met een mortel of pasta aangevuld, voorzien van reliëf en voegwerk in een nogal afwijkende kleur (afb. 7).¹⁰

Er zijn ook voorbeelden van het perfectioneren van het metselwerk met behulp van rood gekleurde



voegspecie en wit gepenseelde voegen, zoals in de poort van het Heilige Geesthuis te Leiden (afb. 8). Een andere Leidse gevel toont een vlekkerig beeld: bij nadere beschouwing zijn op deze gevel restanten zichtbaar van wit gepenseelde voegen, die dwars over het eigenlijke metselverband zijn aangebracht. Het bijbehorende rode schilderwerk dat onregelmatige metselwerk moest verhullen is echter grotendeels verdwenen (afb. 9).¹¹

Een Utrechts voorbeeld van een dergelijke ‘make-over’ is een zeventiende-eeuwse gevel van hergebruikte moppen, indertijd voorzien van een rode kleur. Om de gevel een ‘eigentijdse’ uitstraling te geven zijn de oorspronkelijke stootvoegen met rode reparatiemortel weggewerkt met een patroon van strakke smalle witgeschilderde schijnvoegen (afb. 10).¹²

Een schildershandleiding uit 1903 geeft aan wat de schilder moet doen om ‘een oude verweerde baksteen-gevel op te knappen en ooglijk te maken. Dit kan met schilderen bereikt worden, als men de ongeschilderde baksteengevel imiteert, en dit is mogelijk door de muur juist te kleuren als de baksteen. Ook de voegen moet men de kleur geven die voegen vertonen en vooral

Afbeelding 7 (links)

Oude Delft 130, Delft. Recent uitgevoerde herstelling aan metselwerk met tegenvallend resultaat (foto auteur).

Afbeelding 8 (rechtsboven)

Heilige Geesthuis, Leiden. Regelmatig metselwerk verkregen door opvulling baksteen met rode mortel en geschilderde voegen (foto auteur).

Afbeelding 9 (rechtsonder)

Salomonsteeg/Nieuwsteeg, Leiden. De rode verf is grotendeels verweerd, maar het geschilderde voegpatroon dat niets met het oorspronkelijke voegwerk te maken heeft, is nog zichtbaar (foto auteur).

de gevel mat schilderen: een matgeschilderde muur springt niet uit bij de aangrenzende gevels’.¹³ Dat deze werkwijze al eeuwenlang werd toegepast, blijkt uit het verbouwingsbestek van kasteel Loenersloot uit 1772. Hierin wordt gesteld dat de metselaar alle voegen moet uithakken, de steen schuren en kleuren en dan opnieuw voegen.¹⁴



VERFRAAIING EN BESCHERMING

Over de gebruikte materialen voor afwerking van metselwerk is niet veel bekend. Veel van de afwerkingslagen zijn verloren gegaan door verwerking, pleistering en ontleistering, gevelreiniging en restauraties. Recepten en werkwijzen werden waarschijnlijk veelal mondeling overgeleverd. In bestekken staat regelmatig de vermelding dat de afwerking in de vorm van verfwerk plaatsvindt naar de bestaande toestand of volgens afspraak op het werk. Oorspronkelijk geschilderd metselwerk kan nog wel eens tevoorschijn komen achter latere aanbouwen. Maar ook in oude rekeningen en bestekken staan soms omschrijvingen van gebruikte materialen. Zo is de gevel van de Grote Zaal (Ridderzaal) op het Binnenhof te Den Haag blijkens drie rekeningen uit 1383 en 1413 geverfd geweest met 'rode aerde'.¹⁵

Afbeelding 10

Buurkerkhof 6, Utrecht. Middeleeuwse muurafwerking bewaard achter aanbouw: rood gesausde baksteen met geschilderde witte voegen (foto Frans Kipp).

Voor het kleuren van de gevels worden verschillende termen gebruikt, zoals verven, kalken, sausen en oliën, die mogelijk verwijzen naar de specifieke methode waarmee men werkte. De algemene term 'verven' kan gebruikt worden voor het opbrengen van olieverf, terwijl 'kalken' aan kalkverf refereert. Bij 'sausen' kan sprake zijn van het aanbrengen van een dunne, al dan niet gekleurde vertin- of slemlaag. Het uit Amsterdam bekende 'oliën van de gevels' heeft te maken met het opgebrachte materiaal lijnolie. Een strikte scheiding

tussen verven en beschermen lijkt echter niet mogelijk: voor het oliën van gevels werden namelijk dikwijls kleurstoffen toegevoegd omdat de olie tamelijk sterk vergeelde of verdonkerde.

De kleuren die zijn aangebracht op baksteenmetselwerk zijn vrijwel altijd gerelateerd aan de kleur of gewenste kleur van het oorspronkelijke werk. Er is zodoende geen sprake van materiaalimitatie, zoals dat bij gepleisterde gevels wel dikwijls het geval is. Voor het kleuren van de verven worden de pigmenten rode aarde, terra sienna, dodekop en diverse ijzeroxiden gebruikt. De Amsterdamse meester-schilder Lambertus Simis geeft in zijn boek als recept voor de kleur van baksteen een mengsel van wit, Engels rood, weinig gele oker en wat omber, soms ook enig zwart, al naar gelang de kleur van de steen. De verf moet met terpentijn worden verdund om de glans te verminderen. De voegen worden gemaakt van dik gemalen loodwit.¹⁶

GEKOOKTE OLYVERF IS SEER GOET

Een oud en welbeproefd middel om de gevels tegen inwateren te beschermen, is het zogenaamde oliën van het muurwerk. Een aantal redenen voor het doorslaan van muurwerk is het gebruik van een inferieure kwaliteit baksteen (poreuze steen) en ondeugdelijk voegwerk. Zoals gezegd is het moeilijk om in deze afwerkingsvorm onderscheid te maken tussen beschermende en verfraaiende doeleinden. Het is daarom interessant om te onderzoeken wie de afwerking van het metselwerk voor zijn rekening neemt: is dat de metselaar voor wie het oliën een laatste fase van het werk is of is het de schilder, die apart wordt aangesteld voor het verfraaien en/of beschermen van de gevel?

In de achttiende eeuw schrijft de bouwkundige Adriaen Bommenee in zijn 'Testament' dat men 'gevels (...) die doorwaateren, wel plagt van buyten te beschieten, maar alsulke mueragien van buyten drie mael over te schilderen met gekookte olyverf is seer goet'.¹⁷ Het is niet bekend of aan deze 'olyverf' kleurstoffen werden toegevoegd.

Simis stelt in het begin van de negentiende eeuw dat vochtige plaatsen in het muurwerk eerst moet worden afgeschuurd, waarna een mengsel van verwarmde gekookte olie met terpentijn en wat menie op de muur wordt gebracht. Een dag later opnieuw bestrijken met hetzelfde, nu koud mengsel, waaraan extra menie is toegevoegd. Een grondlaag en twee tot drie lagen verf of olie completeren de behandeling. Ook vermeldt hij dat een laag goed drogende blanke lijnolie dient als bescherming van het schilderwerk.¹⁸

In het handboek voor metselaars van architect en

leraar G.A. Scholten uit 1902, wordt uitgebreid ingegaan op het oliën van gevels. Hiervoor wordt een mengsel aangeraaden van rauwe, ongekookte en gekookte lijnolie, dat met de kwast goed op het metselwerk moet worden ingewreven en uitgestreken. Voor de eerste laag wordt alleen rauwe olie gebruikt omdat deze beter in de steen dringt; de volgende twee lagen bestaan uit ver-



warmde gekookte olie, met toevoeging van een beetje standolie en hars om zwart worden te voorkomen.¹⁹ De olielaag mag vooral niet te dik worden aangebracht omdat dan het oppervlak gaat glimmen 'hetgeen voor metselwerk zeer oneigenaardig is'.²⁰ Ook Zwiers herhaalt jaren later deze behandeling in zijn *Bouwkundig Woordenboek*.²¹

Opmerkelijk is echter de vermelding in het bestek van de bouw van het pand *Maatschappij tot Nut van 't Algemeen* te Leiden in 1849, met als laatste artikel in het hoofdstuk over metselwerk: 'De buitengevels volgende de bepaling netjes af te snijden of te knippen en twee malen oliën'.²² In het huidige gevelvlak is deze oliebehandeling nog herkenbaar aan de geelgekleurde, van oorsprong witte kalkvoegen, die naast de vele verticale krimpseurtjes zo hier en daar nog de horizontale streek van de oliekwast toont. Dit bestek toont duidelijk aan dat het oliën, als bescherming van de gevel, in dit geval tenminste tot de werkzaamheden van de metselaar behoorde (afb. 11).

Wanneer eenmaal deze gelige kleur van het voegwerk in verband kan worden gebracht met het verkleuren van de kalkvoeg door het opbrengen van olie, is op een groot aantal bouwwerken met eenzelfde verkleuring van de voeg en horizontale veegsporen een dergelijke behandeling van het gevelvlak denkbaar. Als

nadeel van deze bewerking noemt Scholten de relatief snelle verwerking van het materiaal, waardoor de bewerking na enige jaren moet worden herhaald, met als gevolg dat het metselwerk de oorspronkelijke kleur verliest en (te) donker wordt.

Volgens de huis- en decoratieschilder Kippel (1903) moet voor het waterdicht schilderen van een poreuze muur deze eerst 'met olieverf gegrond worden, daarna gegrond en afgeschilderd met loodwitverf, waarin enig was is toegevoegd. De muur zal dan waterdicht en mat zijn en als de voegen er dan met de juiste kalkkleur opgetrokken worden, zal men de muur moeilijk kunnen onderscheiden van ongeschilderde muren'.²³

ONTWIKKELING VAN NIEUWE MIDDELEN

In de bouwkundige tijdschriften uit de periode 1860-1920 wordt regelmatig gepubliceerd over nieuwe materialen op het gebied van afwerking. Daaronder ook over materialen die een mogelijke oplossing bieden voor het belangrijke probleem van vochtig muurwerk als gevolg van doorslaan en inwatering. Deze middelen kunnen voor zover ze kleurloos of wit zijn vaak naar keuze worden voorzien van kleurstoffen, waardoor de toepassing ervan alsnog bepalend is voor de uitstraling van het object.

Een van de bekendste vochtwerende middelen is het waterglas.²⁴ Al in de Middeleeuwen was het waterglas bekend als *liquor silicum*, maar er werden toen nog geen toepassingsmogelijkheden gevonden. In 1818 werd het waterglas 'herontdekt' door de Duitser J.N. von Fuchs. Het gaat om een verbinding van kiezelarde en kali en vormt vermengd met water een glasachtige substantie die ondermeer op muurwerk gestreken kan worden. Dit 'glasvernis' heeft een vuur- en vochtwerende werking.

Vanaf 1858 is het waterglas in Nederland verkrijgbaar en worden proeven genomen om de beloften die in de prospectus van de gebr. Marius te Arnhem als importeurs waren aangegeven, te verifiëren.²⁵ Voor wat betreft de werking op baksteen vallen deze proeven negatief uit: het vernis lost in een aantal maanden geheel op en de toegevoegde verfstoffen zijn zelfs al na een paar uur verdwenen. Volgens Scholten houdt het waterglas langer stand dan olie, maar moet de bestrijking 'na kortere of langere tijd worden herhaald'. Ook voor een behandeling met waterglas geldt dat het niet te dik wordt opgebracht of geen te sterke samenstelling wordt gebruikt, om te voorkomen dat het muurwerk gaat glimmen.

Al voor de introductie van het waterglas in Nederland wordt in 1855 door Van Hooff een soortgelijk product aangeraden. Het betreft de vochtwerende zinkverf van de heer De Ruolz en dient om de 'nadelige

uitwerking der vochtigheid te voorkomen of de voortgang ervan op de gewone gemetselde of bepleisterde muren tegen te gaan'.²⁶ Het middel heeft een bruine kleur. *De Opmerker* noemt in 1866 een medaillewinnende goedkope muurverf, bestaande uit twee lagen van zinkoxide en lijmwater en chlooroxide en lijmwater, wat een harde, glanzende chemische verbinding oplevert. Door toevoeging van kleurstoffen kan men 'alle kleuren' krijgen.²⁷ In *De Opmerker* van 1871 verschijnt een advertentie van het zogenaamde *Petrifying Liquid* of vloeibare steen (een kiezeloplossing), dat als 'onmisbaar middel tegen vochtige muren' wordt aangeprezen.²⁸

In deze tijd komen meerdere silicaatverven op de markt. In advertenties in de vakbladen staan de 'grote voordelen' onuitputtelijk opgesomd: 'deze verfstof houdt uitmuntend stand, laat geen vocht door, droogt spoedig op, billijke prijs'.²⁹ De ontwikkeling van het zinksilicaat wordt op de voet gevolgd in de vakbladen. In 1875 wordt de fabriek Van der Veer te Utrecht genoemd, waar zinksilicaat wordt vervaardigd 'dat minstens even goed is als het buitenlandse'.³⁰ Het steenachtig aanzien van de silicaatbehandeling strekt tot aanbeveling. Voor de vermenging met kleurstoffen wordt aangeraden deze door de fabriek te laten doen. Voor metselwerken van gebakken steen is speciaal een steenrood silicaatpoeder samengesteld.

De vochtwerende verf van Szerelmey wordt in 1877 getest. Deze uit Engeland afkomstige steenbeschermer tegen vocht, zuren en alkaliën wordt al in 1858 bij het Londense Parlement toegepast. Het is een kleurloos middel dat geveerd kan worden. De Nederlandse onderzoeker kan vooralsnog geen positief oordeel geven en wijt dat mogelijk aan de aard der vochtigheid in ons land waardoor een traagheid in de verharding optreedt, in tegenstelling tot buitenlandse bevindingen.³¹

EN NOG MEER MIDDELEN....

Een ander nieuw middel dat een eind aan vochtige muren inluidt is het *Ciment de Porti*. Het gaat om *Asphalt de Travers*, dat in gesmolten toestand met een borstel op de vochtige muren wordt aangebracht 'zodat een innig verband tussen de gebakken steen en het asfalt ontstaat'.³² Advertenties prijzen het product, van een fabriek in Amsterdam, aan als 'zindelijk, vochtwerend, ondoordringbaar en geraaswerend'.

Als afwerking is een bepleistering mogelijk op de nog niet uitgeharde laag asfalt. Vakbladen noemen voor het verven van de asfaltlaag ('geteerde muren') een nieuw product, het *Kalkolith* (afb. 12). Deze bruine verf wordt als grondverf gebruikt en bestaat uit een vermen-

Afbeelding 12

Advertentie voor Kalkolith (foto auteur).



Afbeelding 13

Advertentie van de Nederlandsche Steenbeschermerfabriek (foto auteur).



ging van lijm met loogzout of potas.³³ Het schildersvakblad *De Schilder* keurt het 'door velen als grondlaag voor vochtige muren aangeprezen Kalkolith' niettemin af. Hier geeft men de voorkeur aan een asfaltlak die gemakkelijk smelt en verdunbaar is met terpentijn. Voordeel is dat de lak niet wordt aangetast door de salpeter of andere zouten uit de kalk. Daardoor vormt het 'de beste isoleerlaag die men zich kan bedenken: ze verzeep niet, wordt spoedig hard en kost weinig'.³⁴

Andere middelen als Kesslers fluaten (een Duits/Frans product; zie ook het hoofdstuk over oppervlaktebehandeling) en Protector Petri, een steenbeschermer uit Nijmegen, komen eveneens aan het eind van de negentiende eeuw op de markt (afb. 13).³⁵ Nadelen van Kesslers fluaten zijn onder meer de verkleuring van de steen en korstvorming. Van Protector Petri, een middel bestaande uit twee soorten vloeistof die na elkaar op het muurvlak worden gestreken, wordt echter beweerd dat geheel natte muren er droog door zijn gemaakt.³⁶

De ontwikkeling van vochtwerende middelen werkt in muurverven gaat ook in de twintigste eeuw verder. Scholten noemt muurverven als Gutta-Perchaverv, Bok's Waterverf, Verfcement, Muurvernis en Ingolin. Het is echter niet altijd evident of het hier preparaten voor buitenmuren betreft. Voor ziekenhuizen, scholen, kazernes en bedrijfsgebouwen maakt men reclame

met producten die bestand zijn 'tegen afwassen met water, zeep, lysol, zuren (zout- en zwavelzuur) alsmede tegen hoge temperaturen, tegen gloed en vlammen' en betreft dit dus binnenmuren.³⁷

Ondertussen heeft de schilder en onderzoeker A.W. Keim in 1878 een patent op een door hem ontwikkelde mineraalverf op basis van het oude waterglas genomen. Deze verbeterde silicaatverf bestaat uit een met kiezelzuur verzadigd waterglas waaraan kleurpigmenten zijn toegevoegd. Het resultaat is een duurzame verf voor elke ondergrond van minerale oorsprong, mits poreus en niet eerder met olie- of emulsieverf behandeld (zoals geschuurde kalkmortel, cementmortel, beton, baksteen, zandsteen, asbestcement, ongeschaafd of ruw geschaafd hout). Een vakdeskundige beschrijft in het *Schildersblad* uit 1954 Keims mineraal-schildertechniek uitvoerig en besluit met 'goed keimwerk op een gezonde ondergrond aangebracht is praktisch onverwoestbaar'.³⁸

De vraag is nu of op de gevels nog restanten van de hierboven genoemde producten aanwezig zijn. Voor zover de betreffende gevels niet opnieuw zijn geverfd, gepleisterd of ontverfd en ontleisterd, is bij onderzoek van de afwerkingslagen op historische gebouwen opletendheid geboden. Van de kleurloze middelen is mogelijk weinig te vinden, maar wat te denken van bruine producten als *Kalkolith* en de zinkverf van De Ruolz?

Ook hadden bepaalde ‘vroeger’ silicaatproducten een gelige tot bruine kleur. Zijn dit misschien de gevels waarover de voorzitter van de Maatschappij tot bevordering der Bouwkunst, afd. Amsterdam zich in 1874 druk maakt, als ‘hij hoopt dat de werken van architecten niet in handen van ververs vallen, daar deze zich veelal ten doel stellen de muren met een chocoladetint te bestrijken en daarop met een fijn penseel witte strepen te trekken, om het voegwerk terug te geven’?³⁹ Ook Kippel maakt in 1903 een dergelijke opmerking wanneer hij zegt dat ‘men oude gevels dikwijls zo’n mooi koffiekleurtje ziet geven en goed glanzend, maakt zo’n gevel een effect als een dame, die in groot toilet pas uit het water is gehaald’.⁴⁰

TOT SLOT

De bouwkundige Goeree schrijft in 1681 ‘Om dat den kladschilder de nieuwe bouwwerken niet alleen een bijzonder oog kan geven en veel dingen lang voor water en windknaging kan beschermen, maar ook de verstorven en verlapte huysen een nieuw roktjen kan aan passen’.⁴¹ Veel van het werk van de ‘kladschilder’ is sindsdien verloren gegaan door verwerking, maar vooral ook door gevelreinigingen en zelfs restauraties. Lange tijd werd er aan deze vorm van afwerking van historische architectuur onvoldoende aandacht geschonken. Erger nog, door verwijdering van pleister- en verflagen werd gedacht het monument in zijn eerlijke vorm te presenteren.

De laatste jaren is daarin verandering gekomen. Het besef is groeiende dat de nog aanwezige restanten van de opgebrachte huid beschermingswaardig en alle aandacht verdienen. Om de kennis van deze afwerkklagen te vergroten is onderzoek naar de bronnen en aan de gevels onmisbaar. In de beperking van dit hoofdstuk is het niet mogelijk gebleken het hele onderzoeksveld te behandelen. Zo zijn bijvoorbeeld de witgekalkte en witgeverfde bakstenen bouwwerken bewust buiten beschouwing gelaten.⁴² Ook is dit hoofdstuk bedoeld als een aanmoediging en inspiratiebron om het ‘nieuwe roktjen’ verder te onderzoeken en te beschermen.

Literatuur

- Denslagen, D.F., en A. de Vries, 1984, *Kleur op historische gebouwen; de uitwendige afwerking met pleister en verf tussen 1200 en 1940*, Den Haag.
- Engels-Gerhardt, M.I., en W. Annema (red.), 1988, *Het ‘testament’ van Adriaan Bommenee. Praktijkervaringen van een Veerse Bouw- en Waterbouwkundige uit de 18^e eeuw*, Koninklijk Zeeuws Genootschap der Wetenschappen, deel 4, Middelburg.
- Goeree, W., 1681, *d’Algemeene Bouwkunde volgens d’Antyke en Heden-daagse Manier*, Amsterdam.
- Heiden, P.C. van der, 2010, ‘Portlandcementpleister: geen kleur is ook een kleur’, in: *Stuc. Kunst en techniek*, Zwolle, pp. 392-405.
- Hooff, W.F.G.L. van, 1855, *Handleiding voor het verwen met zinkwit, of raadgevingen aan schilders over het gebruik en de voordeelen der zinkverwen*, Amsterdam.
- Kipp, F., 2007, ‘Kleur op natuursteen – kleur als natuursteen’, in: *Utrecht in steen. Historische bouwstenen in de binnenstad*, Utrecht, pp. 147-148.
- Kipp, F., 2012, *Baksteenafwerking in Utrecht. Een voorbeeldenoverzicht van verschillende afwerkingsvormen van baksteenmetselwerk*, Utrecht.
- Kippel, J.M., 1903, *Handleiding voor het huis-schilderen ten dienste van opzichters en bouwkundigen*, ‘s-Gravenhage.
- Klooster, Olga van der, 2011, *Van Leidse schilders mette groote quast. Historische buitenkleuren in de Sleutelstad*, Leiden.
- Kuile, E.H. ter, 1934, ‘Afwerking van gebouwen in vroeger tijd’, in: *Oudheidkundig Jaarboek NOB*, jrg. 3, pp. 51-57.
- Lijen, N., 2008, *Kleur doet leven. Onderzoek naar het historisch kleurgebruik op de 16^{de} en 17^{de}-eeuwse gevels in Amsterdam*, ongepubliceerde scriptie Universiteit van Utrecht.
- Meere, J.A.P., 1954, ‘De Keim’s mineraal-schildertechniek’ in: *Schildersblad*, p. 373.
- Pellemans, R.A.M., 2007, ‘De kleur van de stad’, in: *Amsterdam Monumenten en Archeologie* 6, Amsterdam, pp. 85-95.
- Rouw, K., & H. Groeneweg, 2011, *Dordtse kleuren. Architectuur ontmoet kleur in de oudste stad van Holland*, Bussum.
- Scharroo, P.W.S., en L.J. Veen, 1946, *Scheikunde der bouwmaterialen*, Amsterdam.
- Schaik, J.W.C. van, 2010, ‘Het kasteel Loernersloot’, in: *Mededelingen Stichting Utrechtse Kastelen*, nr 3+4, p. 9.
- Scholten, G.A., 1902, *De practische metselaar. Handboek voor metselaars, onderbazen, opzichters en aanstaande architecten*, ‘s-Gravenhage.
- Simis, L., bewerkt door Janse, H., 1992, *Schilder- en Verfkunst. Grondig Onderwijs in de Schilderkunst*, RDMZ, ‘s-Gravenhage (KB MBX 644) (Simis, 1829).
- Tuinman, Carolus, 1726, *De oorsprong en uitlegging van dagelyks gebruikte Nederduitsche spreekwoorden, opgeheldert tot grondig verstand der vaderlandsche moedertaal*, deel I, Middelburg.
- Z.a., 1849, Bestek tot het daarstellen van een gebouw binnen de stad Leyden ten dienste van de Maatschappij tot Nut van ‘t Algemeen, 31.05.1849, gelegen aan de Steenschuur te Leiden.
- Z.a., 1889, *De Schilder*, no 39, 16.12.1889.
- Z.a., 1890, *De Schilder*, no 51, 16.06.1890.
- Z.a., 1931, *Schildersblad* (Algemeen vakblad voor het Nederlandsche Schilderspatroons-Centrale).
- Z.a., diverse jaren, *De Opmerker*, edities: 1866; 1871 (28.10.1871); 1872 (17.08.1872); 1875 (12.09.1875); 1877 (28.01.1877); 1874 (06.06.1874); 1887; 1879 (29.10.1879); 1889; 1912.
- Z.a., z.j., *Prospectus Korte beschrijving over de aanwending en het nut van het Waterglas* door gebr. Marius, Arnhem.

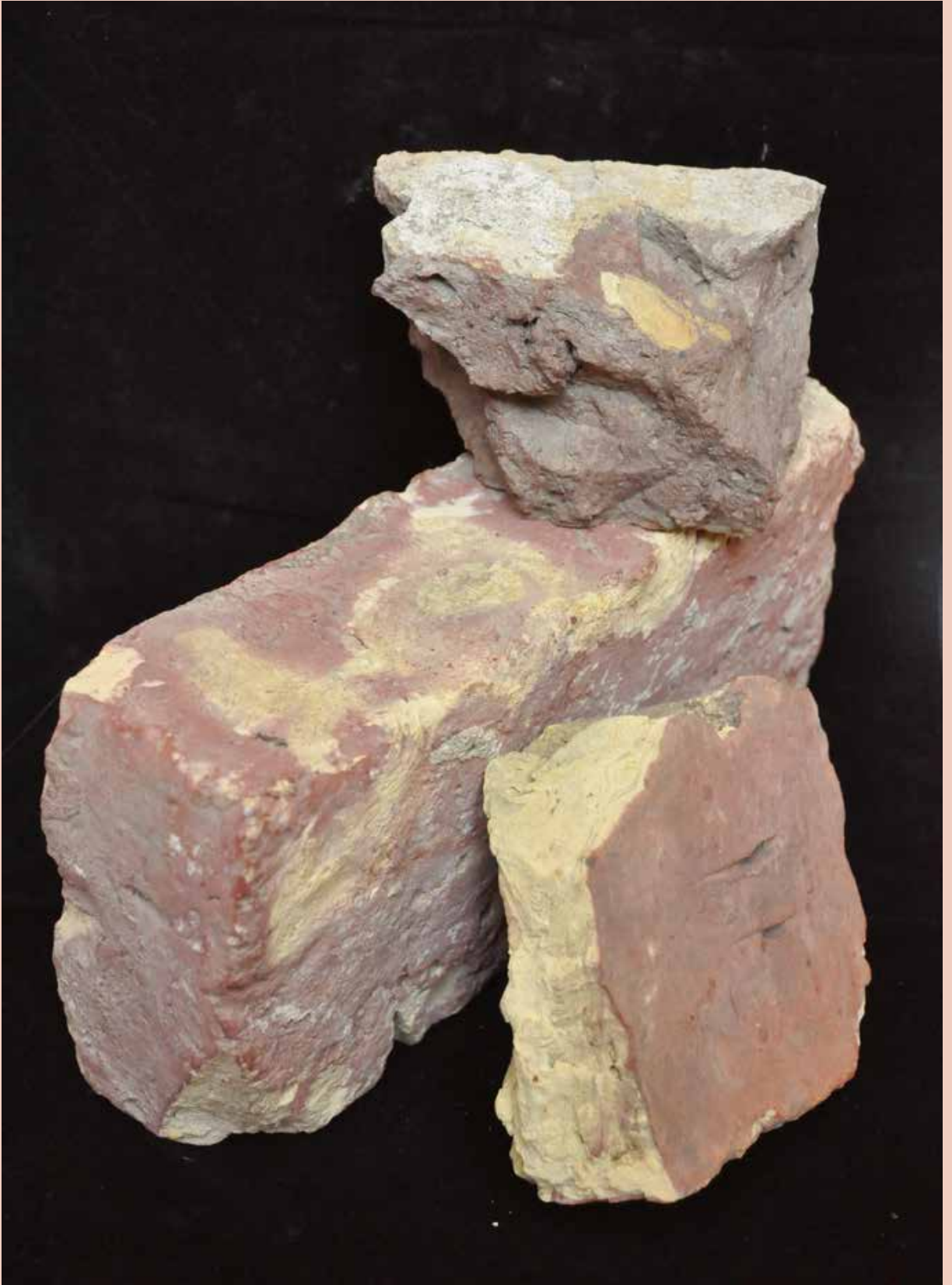
- Zantkuijl, H. J., 1991, 'Het palet van de architect. Het pleisteren, sausen, oliën en verven van gevelementen', in: *Vitrine*, jrg. 4, nr. 5, p. 34.
- Zwiers, L., (hoofred.), 1916-1920, *Bouwkundig woordenboek*, 2 delen, Amsterdam.

Noten

- 1 Tuinman 1726.
- 2 Ter Kuile 1934, pp. 51-57.
- 3 Denslagen en De Vries 1984; Pellemans 2007; Lijen 2008; Rouw & Groeneweg 2011; Van der Klooster 2011; Kipp 2012.
- 4 Voor de kleurige afwerking op pleister zie onder meer Van der Heiden 2010.
- 5 Zie onder meer Denslagen en de Vries, 1984, p. 119; Zantkuijl 1991, p. 34.
- 6 Kipp 2007.
- 7 In 1877 is tijdens de restauratie de gevel 'ontdaan van de vroeger daarop gebragte sillicaten en verwen'. Denslagen en De Vries 1984, p. 115.
- 8 Nieuwegracht 54 te Utrecht. Met dank aan Frans Kipp voor de inspiratie vanuit zijn kennis van de Utrechtse monumenten.
- 9 *De Opmerker*, 1912, p. 185.
- 10 Oude Delft 130, Delft.
- 11 Zijgevel van een pand op de hoek van de Salomonssteeg en de Nieuwsteeg te Leiden. Met dank aan Jan Dröge voor waardevolle voorbeelden uit het Leidse.
- 12 Nieuwegracht 39, Utrecht.
- 13 Kippel 1903, p. 105.
- 14 Van Schaik 2010, p. 9.
- 15 Ter Kuile 1934, p. 56.
- 16 Simis 1829, p. 50.
- 17 Engels-Gerhardt & Annema 1988, p. 97.
- 18 Simis, 1829, p. 50.
- 19 Scharroo & Veen 1946, p. 33: 'Lijnolie bestaat uit glyceriden, scheikundige verbindingen van glycerine en vetzuren. Wanneer lijnolie wordt uitgestreken in een dunne laag, dan droogt deze en gaat zij over in een onoplosbaar, veerkrachtig, lederachtig huidje van linoxyn. In sterk zonlicht gaat de oliefilm kleven en kan de hierop aanwezige verflaag barsten. Een lijnoliefilm is niet bestand tegen hoge temperaturen, vocht, sterke zuren, zwavel, zwavelwaterstof en andere schadelijke gassen. Gekookte lijnolie is dikker vloeibaar en donkerder. De weerstand tegen zonlicht en vocht zijn groter. Standolie is weer dikker en beter tegen weerinvloeden bestand.'
- 20 Scholten 1902, p. 349.
- 21 Zwiers 1916-1920, p. 139, 303.
- 22 Bestek tot het daarstellen van een gebouw binnen de stad Leyden ten dienste van de Maatschappij tot Nut van 't Algemeen, 31.05.1849, gelegen aan de Steenschuur te Leiden.
- 23 Kippel 1903, p. 105.
- 24 Waterglas is de naam voor de stroperige vloeistof die ontstaat

wanneer de chemische verbindingen kaliumsilicaat (K_2SiO_3) of natriumsilicaat (Na_2SiO_3) worden opgelost in water (colloïdale dispersie). Zij reageren met het koolzuur uit de lucht en vormen daarbij kalium- of natriumcarbonaat en een doorzichtige zachte silicagel ($SiO_2 \cdot n \cdot H_2O$). Wanneer gebluste kalk ($Ca(OH)_2$) aanwezig is, vormt kiezelzuur ($SiO_2 \cdot n \cdot H_2O$) hiermee een calciumsilicaat ($CaSiO_3$) dat een hardende werking heeft.

- 25 *Prospectus Korte beschrijving over de aanwending en het nut van het Waterglas* door gebr. Marius, Arnhem.
- 26 Van Hooff 1855, p. 81.
- 27 *De Opmerker*, 1866, p. 3.
- 28 *De Opmerker*, 1871, Advertentie 28.10.1871: Petrifying Liquid of vloeibare steen (eene kiezeloplossing) Een onmisbaar middel tegen vochtige muren. Monsterbussen tegen betaling verkrijgbaar bij de Generaal-Agent der 'Native Silicat Paint company' te Liverpool. J.E. Brugman te Amsterdam.
- 29 *De Opmerker*, 1872, 17.08.1872: advertentie: Selicaat der Verenigten Rheinische Wasserglas-Fabriken Ludwigshafen. Depothouder Van Ilpen & Co, Rotterdam.
- 30 *De Opmerker*, 1875, 12.09.1875.
- 31 *De Opmerker*, 1877, 28.01.1877; *Handbuch der Architektur*, Stuttgart 1906: Szerelmey Steinschützmittel van N.C. Szerelmey & Co, Londen.
- 32 *De Opmerker*, 1879, 29.10.1879.
- 33 *De Opmerker*, 1887, p. 47; *De Opmerker* 1889, p. 5.
- 34 *De Schilder*, no 39, 16.12.1889.
- 35 Fluaten zijn zouten van fluorkiezelzuur (H_2SiF_6). De zouten magnesiumfluorosilicaat ($MgSiF_6$), zinkfluorosilicaat ($ZnSiF_6$) en aluminiumfluorosilicaat ($Al_2(SiF_6)_3$) zijn als oplossing verkrijgbaar. Wanneer kalksteen in contact komt met bijvoorbeeld magnesiumfluaat treedt een reactie op waarbij calciumfluoride (CaF_2), magnesiumfluoride, kiezelzuur en koolzuur wordt gevormd. Fluorosilicaten kunnen in een waterige oplossing echter hydrolyseren waarbij fluorkiezelzuur ontstaat. Dit kan aanleiding geven tot de vorming van onoplosbare carbonaten en indirect tot verkleuringen.
- 36 Scholten 1902, p. 349.
- 37 *De Schilder*, no 51, 16.06.1890: Wallernsche verf, Alpha mineraalverf; *Schildersblad* 1931 (Algemeen vakblad voor het Nederlandsche Schilderspatroons-Centrale): Amstellinmuurverf, Heliosmuurverf, Herkula Mineraalschilderverf.
- 38 *Schildersblad*, 1954, p. 373: J.A.P. Meere, De Keim's mineraal-schildertechniek.
- 39 *De Opmerker*, 1874, 06.06.1874.
- 40 Kippel 1903, p. 105.
- 41 Goeree 1681, p. 146.
- 42 In de geraadpleegde literatuur wordt hoegenaamd geen aandacht gegeven aan deze afwerking. Het vraagt een apart onderzoek om hierover te kunnen schrijven, waardoor het buiten het bereik van dit hoofdstuk ligt.



KLEI EN KLEUR

De kleur van bakstenen wordt door veel factoren bepaald, zoals de baktemperatuur, de wijze van stoken (oxiderend of reducerend) en de samenstelling van de klei. Dat hiermee niet alle baksteenkleuren te verklaren zijn, blijkt wanneer bakstenen uit voornamelijk Noord-Holland en het westelijke deel van Friesland onder de loep worden genomen. Hier treffen we namelijk stenen aan die van buiten rood en van binnen geel zijn. De verklaring hiervoor vinden we in *Onze bouwmaterialen* van J.A. van der Kloes. Hij schrijft: *'Op de ouderwetsche Friesche tichelwerken worden de steenen op de droogplaatsen van den vorm ontdaan en door bestrooing met zoogenaamde 'moude', d.i. een mengsel van fijne gedroogde klei en zand, tegen de snelle uitdroging beschermd; de Friesche steenklei is namelijk zeer vet en loopt door te snelle droging gevaar scheuren te bekomen.'* Het mengsel van klei en zand is zichtbaar als rode toplaag

(links, foto auteur) doordat het relatief veel ijzer bevat. De klei van de steen is rijk aan kalk en daardoor geel van kleur. Het effect van kalk op de kleur is goed te zien bij het juist roodbakende baksteenfragment waar een meegebakken schelp de klei geel heeft gekleurd. Het te heet geworden en kromgetrokken misbaksel uit de veertiende eeuw is van binnen grijs gesinterd en heeft aan de zijde die van het vuur verwijderd was nog een rood randje (onder, foto auteur). De zwartgrijze kleur (van FeO) is ontstaan doordat de ijzerhoudende klei bij hoge temperatuur is gebakken en een grote hoeveelheid in de klei aanwezige organische stof is verbrand en zuurstof heeft onttrokken aan het ijzeroxide. Het gele toplaagje kan zijn ontstaan door chloriden in de ovenatmosfeer die reductie bevorderen.

Albert Reinstra



7



Baksteenproductie en -eigenschappen

Van klei tot baksteen

De productiemethoden van baksteen zijn de laatste 50 jaar sterk gemechaniseerd en geautomatiseerd. Maar het karakter van het product is hiermee niet veranderd. Wel zijn er veel meer productsoorten ontwikkeld en is het, naast een constructiemateriaal, inmiddels ook een decoratief materiaal. In dit hoofdstuk aandacht voor de eigenschappen van klei, de verschillende fasen van het productieproces en de diverse materiaaleigenschappen. Ook wordt de relatie tussen bakproces en het hygrisch gedrag beschreven.

Bij gebrek aan natuursteen is in de lage landen – Nederland, België en ook Noord-Duitsland – een echte baksteencultuur ontstaan. De vroegste toepassing van baksteen in deze regio dateert uit de Romeinse tijd, waarna een ‘herontdekking’ plaatsvond in de middeleeuwen. Men stelde vast dat gedroogde leem en klei als bouw materiaal veel langer meeding als je het op hoge temperatuur ‘in het vuur’ had gebracht; in een klimaat met veel vocht en regelmatig vorst in de winter een noodzakelijke eigenschap.

De productie van baksteen is in de loop der eeuwen in opzet nooit gewijzigd. De basisgrondstof is nog altijd klei. Deze klei wordt voorbereid (gehomogeniseerd, al dan niet onder toevoeging van extra water), gevormd tot een vormeling, gedroogd en gebakken. De afmetingen van de vormeling zijn hierbij altijd wat groter dan de maten van de uiteindelijke baksteen. De natte vormeling zal door verlies van vocht in het droogproces namelijk krimpen, en daarna in de regel ook nog eens tijdens het bakken. Het gedrag van klei, waaronder het krimpen, maakt het productieproces verre van eenvoudig.

WAT IS KLEI?

Klei is aan het aardoppervlak veelvoorkomend zacht gesteente. Kenmerkend zijn het plastische gedrag en het vermogen om andere componenten in zich te binden. Daarnaast heeft het de eigenschap om bij een adequate warmtebehandeling duurzaam vormvast te worden.

In een klei komen verschillende mineralen voor waarvan de *kleimineralen* het meest karakteristiek zijn. Kleimineralen zijn waterhoudende aluminosilicaten (verbindingen van SiO_2 en Al_2O_3) met een plaatvormige geometrie. De lengte en de breedte van een dergelijk mineraal bedraagt maximaal $10\text{ }\mu\text{m}$ (0,01 mm) en de dikte is vaak niet meer dan een fractie daarvan (van 1 tot 100 nm).

Op elkaar gepakte kleimineralen in droge toestand geven samenhang en sterkte. In feite is de ongebakken klei of leem daarmee al een prima bouw materiaal voor klimaten waar vocht en vorst geen wezenlijke rol spelen. Water tussen deze plaatvormige kleimineralen zorgt voor smeerwerking. Hieraan ontleent klei zijn karakteristieke plastische gedrag.

Er zijn diverse soorten kleimineralen; illiet, kaoliniet en montmorilloniet komen het meeste voor. Deze verschillen met name in dikte en daardoor ook wat betreft waterbindend vermogen, vormgevings- en droogeigenschappen. Verschillen in chemische eigenschappen van deze kleimineralen leiden tot verschillen

Afbeelding 1

Gebakken handvormstenen opgesteld voor de ringoven (foto auteur).

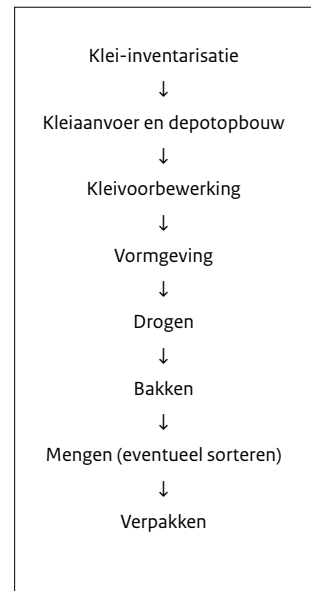
Afbeelding 2

Kleigroeve Brunsumerklei in bedrijf, Zuid-Limburg (foto auteur).



Afbeelding 3 (rechts)

Productieschema van het vervaardigen van baksteen.



in bak- en sintereigenschappen. Zo ontstaan bakstenen met verschillende eigenschappen.

Indien een klei uitsluitend uit kleimineralen zou bestaan, valt er geen steen van te maken. Door het grote waterbindend en watervasthoudend vermogen is het dan niet mogelijk scheurvrije producten te maken. Bijna altijd zijn in natuurlijke kleivoorkomens de kleimineralen vermengd met korrelige mineralen ('zandkorrels'), in een uiteenlopende korrelgrootteverdeling. Het meest voorkomende mineraal in de korrelfractie is kwarts (SiO_2). Vaak is het aandeel kwarts in een klei hoger dan die van kleimineralen. Deze korrelfractie in de kleimassa bindt nauwelijks water, geeft 'skelet' aan de massa, doorbreekt de structuren van opeengepakte kleimineralen en zorgt daardoor voor een goede vochtgeleiding. Dit leidt tot producten die na het drogen minder interne spanningen hebben.

Naast kleimineralen en kwarts komen er nog andere mineralen voor in een klei. Voor de uiteindelijke kleur van de baksteen zijn vooral mineralen belangrijk die ijzer, calcium, titaan of mangaan bevatten (zie kader 'Baksteen en kleur'). Vaak maken deze chemische elementen ook deel uit van de mineralogische structuur van de kleimineralen.

KLEIVOORBEREIDING

Het productieproces begint met de aanvoer van de klei. Om aan de vraag naar specifieke producten en

productkleuren te kunnen voldoen, en om de klei zo goed mogelijk te laten aansluiten bij de productiemogelijkheden van de steenfabriek, worden kleisoorten gemengd. Een kleireceptuur kan wel uit meer dan vijf kleicomponenten bestaan. Voor de Nederlandse situatie kunnen het rivierkleien zijn die langs de Rijn en de Maas worden gewonnen, maar ook zeekleien (bijvoorbeeld uit Groningen), lösslemen (fijnkorrelige windafzettingen uit Zuid-Limburg) en geologisch oudere kleien (uit groeves in Brunssum en Winterswijk of het buitenland). Met name vanuit het Westerwald in Duitsland worden veel kleien aangevoerd. Deze groevekleien zijn vele tientallen miljoenen jaren geleden al gesedimenteerd. In de uiterwaarden van onze rivieren vindt dit sedimentatieproces echter ook nu nog elk jaar plaats. Klei is hiermee een hernieuwbare grondstof (zie kader 'Nederlandse kleien' op p. 105).

De fabrieken slaan de aangevoerde kleien vaak op in grote grondstofdepots. De verschillende componenten worden dan in lagen op elkaar aangebracht, waarna een depot wordt gemengd (gespit) en de klei verder kan 'rijpen'. Dit proces van 'rijpen' is nog steeds een niet volledig begrepen proces. Door inwerking van vocht, maar ook zuurstof uit intredende lucht waardoor oxidatieprocessen en humusomzettingen kunnen plaatsvinden, krijgt de klei betere plastische eigenschappen waardoor de verwerkbaarheid en de materiaalsamenhang

Afbeelding 4 (boven)

De handvormer klopt de net gevormde baksteen uit de vormbak (foto auteur).



Afbeelding 5 (onder)

Bij de machinale handvormsteen wordt de klei via twee lopende bandjes in de vormbak geworpen (foto auteur).





worden verbeterd. Dit ‘rijpen’ wordt ook wel ‘mauken’ genoemd.

De feitelijke productie in een fabriek start dan met de verdere homogenisering van de al voorgemengde klei, met kleivoorbereidingsmachines die in serie staan opgesteld. In deze kleivoorbereidingsstraat wordt eventueel ook nog water toegevoegd aan de klei, zodat deze een juiste consistentie krijgt voor de vormgeving. Ook gaan er dan bijvoorbeeld nog pigmentstoffen (kalk of mangaan) bij of er kan een additionele verschraling met korrelig materiaal plaatsvinden.

VORMGEVING

De voorbereide klei gaat naar de machine die de producten vormt: de pers. In Nederland wordt 99,95% van de geproduceerde baksteen met machines gevormd. Een heel klein deel wordt nog met de hand gemaakt (zie ook het hoofdstuk over vroeg metselwerk). Het betreft dan veelal speciale formaten en heel kleine producties. Bij dit ‘echte’ handvormen wordt de vormbak en ook de bal klei vooraf bezand, opdat de gedroogde klei makkelijk lost uit de bak. De zandinsluitingen die hierbij ontstaan zorgen naderhand (als het zand er weer uit is gevallen) voor de typische nerfstructuur in de baksteen.

Het handwerk is tegenwoordig overgenomen door machines, die echter in feite niets anders met de klei

Afbeelding 6

De net gevormde bakstenen, de groenlingen, liggen te drogen in rekken in grote droogkamers (foto auteur).

doen dan wat de handvormer doet en deed, en stenen produceert die volledig overeenkomen in uiterlijk. Een machine kan 40.000 stenen (waalformaat) per uur produceren, terwijl een handvormer niet veel verder zal komen dan 150 stenen per uur.

Indien de klei niet los in een bak wordt geworpen, maar erin wordt gedrukt met behulp van een persblok, ontstaan stenen met een strak oppervlak. Deze heten vormbakstenen.

Stenen uit mallen zijn aan vijf zijden bezand. In plaats van zand kan ook zaagsel worden ingezet om de klei te ‘bezanden’. Omdat dit zaagsel in het bakproces wegbrandt, ontstaat een meer open oppervlaktestructuur. Als alleen de bodem van de bak wordt bezand en de staande wanden van de bak niet, ontstaat een gladde oppervlaktestructuur. De klei moet dan wel uit de bak worden gedrukt door middel van een bewegende bodem.

Voor deze beide vormgevingsmethodieken is slappe klei nodig. Echter, na de vormgeving mag de klei niet uitzakken onder zijn eigen gewicht. Om het totale

watergehalte in de klei te beperken, is hiervoor een 'schrale' klei nodig, die relatief weinig water bindt en dus weinig kleimineralen en veel korrelige mineralen bevat.

Naast deze producten kennen we ook nog strengpers- of extrusieproducten. Een duidelijk veel meer plastische en compactere klei wordt dan uit een extrusiemond gedreven. De streng klei wordt daarna met draden (met een 'harp') tot een verzameling natte stenen gesneden. De onderlinge afstand van de draden bepaalt de dikte van de baksteen. Door kernen in het mondstuk te plaatsen, ontstaan geperforeerde stenen. Compacter gevormde stenen zijn na het bakproces vaak wat harder en zuigen wat minder water op, hoewel er grote verschillen en ook overlap met handvorm- en vormbakstenen kunnen zijn. In Nederland is de productie van strengpersstenen ongeveer 10% van het totaal. Deze stenen hebben een glad uiterlijk, hoewel allerlei oppervlaktebewerkingen mogelijk zijn om de stenen een ander, minder glad uiterlijk te geven.

DROGEN

Vroeger gebeurde het droogproces in de open lucht. Dat kon alleen in de zomermaanden. Baksteenproductie was seizoensarbeid. Tegenwoordig worden de gevormde producten verzameld in rekken of kooien en direct naar grote droogkamers of droogtunnels

vervoerd. De producten liggen hierbij allemaal los van elkaar op droogplaten. De droging vindt 'kunstmatig' plaats. Afhankelijk van productformaat en kleisoort varieert in moderne fabrieken de droogtijd van een tot drie dagen.

Bij het drogen moet vaak tussen de 20% en 30% water (massapercentage ten opzichte van de droge stof) aan de producten worden onttrokken. Omdat dit met name in de eerste droogfase gepaard gaat met ongelijkmatige krimp, bestaat er een groot risico op het ontstaan van scheuren en spanningen in het product. Om het hele droogproces in enkele dagen te laten voltrekken, moet het zeer goed worden beheerst. Er wordt gestuurd op temperatuur en relatieve luchtvochtigheid. Aanblaasrichting en -snelheid spelen ook een rol.

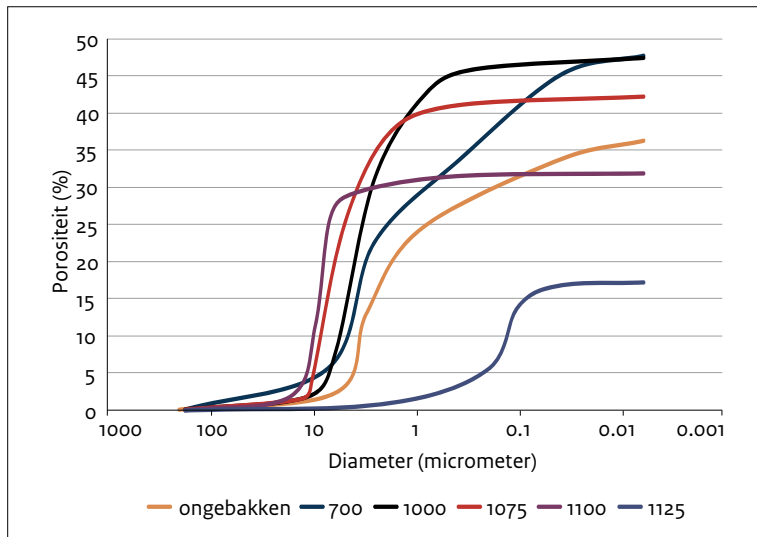
BAKKEN

Als het restvochtgehalte beneden een bepaalde waarde is (1% tot 5%, afhankelijk van het kleitype), kunnen de 'groene' of 'rauwe' stenen worden afgebakken. Dit gebeurt in ovens met een toptemperatuur tussen 1.000 en 1.200 °C, afhankelijk van de kleisoort en het gewenste

Afbeelding 7

Wanneer de baktemperatuur te hoog wordt, wordt de klei te plastisch en zakt de baksteen in elkaar (foto auteur).





Afbeelding 8

Verandering van de poriegrootteverdeling als klei wordt omgezet in een baksteen (curven van één type klei nadat deze op de aangegeven temperatuur (°C) is geweest). Het betreft hier een cumulatieve poriegrootteverdeling waarbij het totaal porievolume op de verticale as is uitgezet en de poriediameter, half logaritmisch, op de horizontale as.¹

eindproduct. In dit bakproces vinden allerlei omzettingen plaats die uiteindelijk zorgen voor de eigenschappen en de kleur van het product:

- In de opwarming tot 200 °C verdampt het nog aanwezige restvocht.
- Vanaf 350 °C tot aan de toptemperatuur verbranden de organische verbindingen in de klei.
- Bij 573 °C verandert het aanwezige kwarts van kristalstructuur. Bij opwarming zet het kwarts uit, en bij afkoeling zal het plotseling weer krimpen. Deze overgang vormt een extra risico op het ontstaan van opwarm- en koelscheuren.
- Vanaf circa 500 °C beginnen kleimineralen te ontleden en valt hun structuur uiteen.
- Indien er kalk (CaCO_3) in de klei zit, zal dit vanaf 750 °C ontleden, waarbij CO_2 -gas ontwijkt.
- Vanaf circa 1.000 °C ontstaan nieuwe minerale verbindingen uit de componenten die zijn vrijgekomen uit de kleimineralen en eventueel ook uit kalk (Al_2O_3 , SiO_2 en CaO). Daarbij zet het materiaal soms uit. Maar door sinterprocessen (die vaak tegelijk plaatsvinden) krimpt en verdicht het materiaal. De verbindingen worden duurzaam vormvast (zie ook kader 'Zouten in baksteen'). Zo ontstaat het uiteindelijke product. In de koelfase daarna vindt alleen nog een ongelijkmatige en onregelmatige krimp plaats, die rustig moet verlopen opdat geen schade ontstaat aan de baksteen.

Voor de transformatie van klei naar baksteen is dus een hoge temperatuur nodig, zo hoog dat het materiaal plastischer wordt en meer vloeibaar. In de atomen en

moleculen ontstaat beweeglijkheid. Ze kunnen zich verplaatsen zonder dat het gehele product in elkaar zakt (wat wel gebeurt als de temperatuur té hoog wordt). De drijvende kracht achter de dan optredende verdichting en krimp is de verlaging van de oppervlaktetenspanning of de oppervlakte-energie van het systeem (verkleining van het oppervlak).

In dit proces treedt een opmerkelijke verandering op in het poriesysteem van de klei. In de klei zitten veel poriën met een relatief kleine poriediameter. Bij het opwarmen van de klei verandert er in eerste instantie niet zo veel. Wel neemt de totale porositeit toe, omdat er diverse componenten worden uitgestookt, zonder dat het product krimpt. Als het product de toptemperatuur nadert, gaan de poriën zich echter herrangschikken. Vele kleine poriën voegen zich samen tot enkele grotere poriën. En het totale porievolume neemt bij verdere temperatuurverhoging af.

Uiteindelijk ontstaat een product waarin de gemiddelde poriediameter is toegenomen. De porositeit is meestal afgenomen (soms is dat niet het geval, wanneer veel componenten zijn uitgestookt). Bij oversintering gaat de verglazing zo ver, dat poriën gaan insnoeren en ogenschijnlijk kleinere poriën ontstaan. De nieuwe poriegrootteverdeling en de samenhang in de massa is bepalend voor de uiteindelijke eigenschappen van het product (afb. 8).

OVENS

Bakstenen worden tegenwoordig bijna allemaal gebakken in goed geïsoleerde tunnelovens. Deze zijn tot 200 meter lang en bevatten pakketten gestapelde stenen

Afbeelding 9 (boven)

Gebakken handvormstenen opgestapeld in een ringoven. Tussen de stenen bevinden zich openingen voor de doorvoer van de hete lucht (foto auteur).



Afbeelding 10 (onder)

Links het achterste deel van de circa 160 meter lange tunneloven, waar de stenen met lucht worden afgekoeld, met rechts de ongebakken stenen die naar de ingang van de oven worden gereden (foto auteur).



van 1 of 1,5 meter hoog. Het product loopt door de oven op met vuurvast materiaal beklede en geïsoleerde ovenwagens, in een cyclus (opwarmen, aanhouden en koelen) van meestal drie tot vijf dagen. Door te ‘spelen’ met de verhouding ingebracht aardgas en lucht op verschillende plaatsen in de oven kan ook een *reducerende* atmosfeer ontstaan. Dit beïnvloedt de productkleur en leidt tot genuanceerde producten.

De kleur(nuancering) van de uiteindelijke producten is een gevolg van de chemische samenstelling van de klei, de toptemperatuur en het spel met gas en lucht (zie kader ‘Baksteen en kleur’ en afb. 7 en 9).

Vroeger bakte men bakstenen in andere typen ovens. Oorspronkelijk waren dat veldovens waarin men stenen stapelde, de stapels afdichtte en stookte met hout of andere brandstoffen. Na uitbranden en afkoelen werd alles ontstapeld en gesorteerd. Later kwamen er zogeheten continu-ovens (ring-, zigzag- en vlamovens) die duidelijk energiezuiniger waren, omdat gebruikgemaakt werd van het warmtewisselprincipe. Het product staat in deze ovens stil, terwijl het hoofdvuur steeds wordt verplaatst. Vanwege de nog relatief grote temperatuurverschillen ontstonden vaak grote kwaliteitsverschillen. Na het bakken deelde men de productie op in verschillende kwaliteiten baksteen.

Afbeelding 11

Proefopstelling voor het bepalen van de initiële wateropzuiging (foto auteur).

In Nederland is nog een beperkt aantal ring- en vlamovens operationeel. Hierin worden producten gestookt die na afloop worden gemengd en gesorteerd. Zij kennen een karakteristieke nuancering. Maar men kan ook in tunnelovens steeds beter deze nuancering creëren. Voor heel kleine charges worden ook periodiek gestookte kamerovens gebruikt. Het betreft dan vooral bakstenen voor de renovatiesector, met specifieke formaten en nuanceringen.

PRODUCTEIGENSCHAPPEN

De combinatie van klei, vormgevingsproces en bakproces leidt tot een product met z’n karakteristieke eigenschappen. Omdat er zo veel kleisoorten, vormgevings- en bakprocessen zijn, is het aantal soorten baksteen bijna onbegrensd. Daardoor heeft baksteen zich in de laatste decennia van de vorige eeuw ook ontwikkeld tot een decoratief ‘architectenproduct’. Kleuren en oppervlaktetexturen zijn erg belangrijk geworden. Fabrikanten spelen hierop in en ontwikkelen ook steeds meer varianten. Voor veel toepassingen in de huidige bouw is ook de maattolerantie, de maatspreiding en de (strakheid van) vorm van groot belang.

De belangrijkste technische eigenschappen van baksteen zijn opgenomen in de Europese productnorm voor metselbaksteen: EN 771-1. Dit betreft de (druk-)sterkte, de dichtheid (of totale porositeit), de vrijwillige wateropneming, het wateropzuiggedrag (‘initiële wateropzuiging’), het gehalte aan bepaalde wateroplosbare zouten en de vorstbestandheid. De wateropneming en



Afbeelding 12

De kleur van de baksteen wordt onder meer bepaald door de baktemperatuur, de hoeveelheid zuurstof, de samenstelling van de klei of het toevoegen van pigmenten (foto auteur).



BAKSTEEN EN KLEUR

De kleur van een kleiprodukt wordt bepaald door de ovenprocessen (temperatuur en 'spel' met over- en ondermaat zuurstof), door de chemische samenstelling van de klei en door effecten van aangebrachte oppervlaktelagen. Tot dit laatste kan men ook de bakkleur van het eventueel aangebrachte bezandingszand rekenen, maar het betreft met name engobes en glazuren. Een engobe is een dun laagje klei van andere samenstelling dan de onderliggende klei, dat op het produkt is aangebracht voordat het in de oven wordt gebakken. Glazuren zijn hiermee te vergelijken, maar hebben een zodanige samenstelling dat zij in het bakproces volledig verglazen en dichtsinteren. Een engobe sintert niet dicht. Aan engobes en glazuren kunnen allerlei keramische pigmenten zijn toegevoegd.

Kleurbeïnvloeding door te stoken met een ondermaat zuurstof leidt tot het onttrekken van zuurstof aan de ijzeroxiden in het gebakken materiaal. De meest voorkomende reactie is het onttrekken van zuurstof aan Fe_2O_3 (ijzeroxide) waarbij Fe_3O_4 (ferroferriet) ontstaat. De kleur rood wordt dan omgezet in meer paars, bruin, zwart en/of grijs.

Ook de samenstelling van de klei heeft effect op de bakkleur. Met name de chemische elementen aluminium, ijzer en calcium hebben in de regel hierop veel invloed. Bij aluminiumarme kleien (dat zijn de meeste Nederlandse kleien) kijken we naar de (massa) verhouding van Fe_2O_3 (ijzeroxide) ten opzichte van CaO (calciumoxide) in de klei. Producten met een verhouding hiervan beneden 0,35 ($\text{Fe}_2\text{O}_3/\text{CaO} \leq 0,35$) bakken geel (bij voldoende hoge toptemperatuur) en boven 0,8 ($\text{Fe}_2\text{O}_3/\text{CaO} \geq 0,8$) is de bakkleur rood, met alle tussenliggende kleuren in de tussenliggende verhoudingen.

Voor een voldoende geelkleuring moet vaak nog kalk (CaCO_3) aan de klei worden toegevoegd. Gele stenen kunnen ook worden gemaakt van een klei zonder kalk. Een voorbeeld hiervan is een Brunssumer klei; een aluminiumrijke klei met een verhouding Fe_2O_3 ten opzichte van Al_2O_3 tussen 0,1 en 0,2 ($0,1 < \text{Fe}_2\text{O}_3/\text{Al}_2\text{O}_3 < 0,2$). Bij nog lagere verhouding ($\text{Fe}_2\text{O}_3/\text{Al}_2\text{O}_3 < 0,1$) wordt de bakkleur crème-wit en daarboven ($\text{Fe}_2\text{O}_3/\text{Al}_2\text{O}_3 > 0,2$) via roze weer rood.

Tot slot is het ook mogelijk pigmenten aan de klei toe te voegen om bepaalde kleuren stenen te produceren. Het meest bekend is het toevoegen van mangaanmineralen om grijs-, bruin- of zwartkleuring te verkrijgen.

het wateropzuiggedrag heten ook wel de hygrische eigenschappen van de baksteen. In feite hoort hierbij ook eventueel de waterdoorlatendheid en het watervasthoudend vermogen bij het opdrogen van de steen.

Druksterkte

Voor heel veel toepassingen is de druksterkte van baksteen ruim voldoende, ook als deze op zich erg laag is. Toch kijken toepassers vaak naar de druksterkte. Dit omdat het een impressie zou geven van de duurzaamheid van het product, zoals de weerstand tegen inwerking van vocht, zouten en vorst. Een relatief lage druksterkte hoeft echter nog niet te betekenen dat het product niet vorstbestand zou zijn. Indien een zekere mate van zoutresistentie gewenst is, zijn producten met een genormaliseerde druksterkte van 10 N/mm² voldoende. Bij sterk zoutbelast metselwerk (bijvoorbeeld dicht bij zee) moet men denken aan een minimale genormaliseerde druksterkte van 15 N/mm². De druksterkte van een getest product wordt omgerekend naar een genormaliseerde druksterkte voor een proefstuk van 10 cm hoog en 10 cm breed.

Vorstbestandheid

De vorstbestandheid is in het Nederlandse klimaat van eminent belang. Vorstschade ontstaat alleen als het product nat is. Bij het bevriezen van water ontstaat ijs dat hierbij 9 volumeprocent uitzet. Ook opwarmend ijs zet sterk uit en kan enorme krachten ontwikkelen. De totale porositeit en de hoeveelheid water in het materiaal voordat het gaat bevriezen zeggen hierbij nog niet zo veel. Of vorstschade ontstaat, hangt er vooral vanaf hoe fijn de poriën zijn waarin zich water bevindt, of deze poriën parallel lopen aan het oppervlak en het intredende vorstfront, en of er sprake is van een geringe massasamenhang (treksterkte in het materiaal op microschaal) in de baksteen. Producten die vanwege hun poriesysteem en/of hun specifieke toepassing en expositie in de praktijk langer nat blijven, lopen daarbij meer risico.

In Nederland testen we de producten volgens de Europese vorstproef CEN/TS 772-22. Daarbij wordt een gemetseld proefmuurtje in een bepaalde vochtconditie gebracht en 100 keer bevroren (-15 °C) en ontdooid (met warme lucht en water van 20 °C). Voor reguliere toepassingen wordt een proefstuk getest na zeven dagen onderdompeling in water op kamertemperatuur. Dit leidt tot een klasse-aanduiding F2C. Geglazuurde producten en producten die in kademuren worden toegepast (producten die in de praktijk dus een extreme vochtbelasting kunnen krijgen) worden getest na onderdompeling in water van 80 °C, wat een hogere vochtbelasting

Tabel 1

Klassen van initiële wateropzuiging.

Aanduiding	Wateropzuiging (kg/m ² .minuut)	Gedrag
IW1	0 – 0,5	Slecht zuigend
IW2	0,5 – 1,5	Matig zuigend
IW3	1,5 – 4,0	Normaal zuigend
IW4	> 4,0	Sterk zuigend

oplevert. Hiermee wordt getest op het niveau voor straatbakstenen. Metselbaksteen kent sommige toepassingen vergelijkbaar met de toepassing van straatsteen (denk aan horizontaal metselwerk), waardoor het testen onder zwaardere omstandigheden ook logisch is. Deze producten krijgen de kwalificatie F2D. Er zijn ook producten met de kwalificatie F1. Deze worden slechts tien cycli getest. Als hierbij geen schade optreedt, krijgen ze de kwalificatie 'matig' vorstbestand mee.

Hygrische eigenschappen

Het meest bepalend voor het metselwerk is het gedrag van de baksteen ten aanzien van vocht bij:

- het opzuigen van specievocht bij de verwerking, maar ook daarna;
- eventuele doorslag van vocht door de steen;
- transport van vocht van de steen naar de mortel en andersom;
- het afspoelen van vocht over het metselwerk;
- het transport van zouten dóór het metselwerk en eventueel naar het oppervlak;
- het opdrogen; en
- het hechten van stof, micro-organismen en algen op het natte productoppervlak.

Het poriesysteem in de baksteen is van invloed op dit alles. Het gaat om de totale porositeit, de poriegrootte of -diameterverdeling, open en gesloten porositeit, de onderlinge capillaire contacten en de 'kronkeligheid' (tortuositeit) van de poriën. Het is niet mogelijk dit alles in één keer te meten en in één kengetal weer te geven. De poriegrootteverdeling is te meten met kwikporosimetrie. De transformatie van klei naar gebakken product is goed in beeld te brengen (afb. 3). De poriegrootteverdelingen van bakstenen zijn verre van uniform. Poriën met een grote diameter kunnen veel en snel water opnemen en weer afstaan. Poriën met een kleine diameter hebben een hoge zuigkracht, maar nemen het water wel minder snel op en staan het

NEDERLANDSE KLEIEN

De oudste kleiafzettingen (uit het zogenaamde Tertiair) vinden wij in Nederland in het uiterste oosten in de Achterhoek en in Brunssum. De Achterhoekse kleien zijn van mariene oorsprong en sterk roodbakkend door hun hoge ijzergehalte. De Brunssumer klei is een riviersediment uit een geologische periode waarin een tropisch vochtig klimaat heerste. Het werd daarmee een kaolinitische klei met heel specifieke (vuurvaste) eigenschappen en een gele bakkleur.

Alle andere kleien zijn in het Pleistoceen (laatste 2 miljoen jaar tot 10.000 jaar geleden) of het Holoceen (laatste 10.000 jaar) gesedimenteerd. In het Pleistoceen afgezet zijn kleien van Tegelen, kleien uit West-Brabant, Limburgse lösslemen, keilemen (ontstaan na afsmelten van gletsjerijs) en zogenaamde 'Brabantse lemen'. De belangrijkste kleivoorkomens die worden en werden gebruikt zijn echter de Holocene zeekleien (Friesland, Zeeland en Zuid-Holland) en rivierkleiafzettingen van de Rijn (en Waal en IJssel), Oude Rijn, Oude IJssel en de Maas. Al deze kleien hebben een eigen specifieke chemische samenstelling en verschillen met name in ijzer- en kalkgehalte. Maaskleien worden daarbij kalkarm afgezet en Rijnkleien kalkrijk. Oudere Rijnsedimenten zijn vaak weer ontkalkt.

ZOUTEN IN BAKSTEEN

In baksteen kunnen – zoals in alle bouwmaterialen – wateroplosbare zouten worden gemeten. Alle Nederlandse bakstenen voor buitentoepassing voldoen aan de hoogste eisen die de Europese productnorm hieraan stelt. Het betreft hier zeer kleine hoeveelheden wateroplosbaar natrium, kalium en magnesium (doorgaans niet meer dan enkele duizendsten van procenten). Daarnaast wordt ook gekeken naar wateroplosbaar sulfaat. Dit is doorgaans beneden 0,1%, maar kan wel wat verschillen; gekoppeld aan de aanwezigheid van de zwavelverbindingen in de klei (meestal pyriet; FeS_2) en aan het bakproces waarbij een deel van deze sulfaten kan worden uitgestookt. Het restant zwavel na het bakproces komt voor als sulfaat (SO_4); een beetje natrium- en kaliumsulfaat, bijna nooit magnesiumsulfaat, en voor het grootste deel vaak calciumsulfaat. Daarnaast kan nog een deel slecht gebonden calcium in wateroplosbare vorm (calciumhydroxide) vrijkomen. Bij het metselen komen hier de zouten die met het speciewater worden ingezogen bij. Ook daarna kunnen wateroplosbare zouten uit mortel naar de baksteen worden getransporteerd. Dit spel op zich kan leiden tot ongewenste ontsierende zoutuitbloeiingen, maar geeft doorgaans geen zoutschade. Alleen als externe bronnen voor een verdere aanrijking kunnen zorgen, kan zoutschade ontstaan. Dit is echter alleen aan de orde bij bakstenen die onderbakken zijn, met een heel fijne poriestructuur. Diezelfde bakstenen zijn dan bovendien onvoldoende vorstbestand.

ook weer heel moeilijk af (zie afb. 11 en ook het hoofdstuk over vochttransport).

Wat betreft de verwerkingseigenschappen van een metselbaksteen wordt vaak gekeken naar de initiële wateropzuiging (Engels: 'initial rate of water absorption').² Gemeten wordt hoeveel water een droge steen in 60 seconden opneemt wanneer de zoel van de steen 5 mm in het water ligt. Nederland kent hierbij vier klassen (IW1 tot en met IW4) volgens Tabel 1 met de aanduidingen slecht zuigend, matig zuigend, normaal zuigend en sterk zuigend. Op basis hiervan kunnen metselmortels worden geselecteerd. Let wel: het betreft hier het zuiggedrag van volledig droge bakstenen.

In de praktijk zijn de bakstenen vaak al voor verwerking nat waardoor ze minder zuigkracht hebben dan de referentiewaarde aangeeft. De actuele initiële water-

opzuiging wordt ook wel het 'Hallergetal' genoemd. Verwarrend is dat dit getal vaak nog wordt uitgedrukt in de oude eenheid gram water/(dm².minuut), in plaats van de nieuwe eenheid kg/(m².minuut). De waarde die dan aan het Hallergetal wordt gekoppeld is dan tien keer zo groot.

Het precies uitvoeren van de proef is niet eenvoudig, omdat steentemperatuur, watertemperatuur, diepte van de steen in het water en het handhaven van het waterniveau tijdens de proef allemaal invloed hebben op het resultaat. Het in de praktijk buiten het laboratorium controleren van de initiële wateropzuiging, is niet eenvoudig. Bij bakstenen met KOMO-keur of met een CE-markering wordt deze informatie echter meegeleverd (als klasse of waarden voor het gemiddelde van de betreffende bakstenen).



De hygrische eigenschappen zijn niet alleen van belang bij het verwerken van de bakstenen, maar ook naderhand voor het gedrag van het metselwerk. De porositeit en de zuigkracht van de steen bepalen ook hoeveel regenwater de steen absorbeert, of dat het water zal afstromen. De referentiewaarde voor vrijwillige wateropneming is een goede indicatie voor de waterbufferende capaciteit van stenen. Een steen die weinig water opneemt, geeft een hogere vochtbelasting aan de mortelvoeg. Voor de vochtbeweging door het metselwerk is ook van belang in welke mate er capillaire overgangen zijn (tussen mortel en steen). Een kleine porie kan vocht uit een grote porie trekken, maar niet andersom. Vochtbeweging en eventueel vochtdoorslag is te beperken door een goede combinatie van porie-opbouw in de baksteen en de mortel, en eventueel ook (bij massief metselwerk) door verschillende steentypen te gebruiken.

De oppervlakte-poriestructuur van de baksteen in het metselwerk kan op den duur veranderen (een 'patina' krijgen) door vervuiling en aantasting. De zuigkracht van de strek neemt daarbij af. Bij restauratie

Afbeelding 13

Bij kortstondige reductie van de ovenatmosfeer en/of verhoging van de temperatuur in de oven (en in dit geval de invloed van kolen) ontstaan er producten met plaatselijk een andere sinteringsgraad en oppervlaktekleur (foto auteur).

van metselwerk en eventuele reiniging is het belangrijk hiermee rekening te houden.

Bij handvorm- en vormbakstenen kan wat betreft het vochttransport door de baksteen geen richtingsafhankelijkheid worden vastgesteld (het materiaal is isotroop). Bij strengpersstenen kunnen de poriën nog wel een richtingsafhankelijkheid hebben die bij de vormgeving al in de klei is geïntroduceerd. De zuigkracht loodrecht op de strek en de kop van de baksteen is dan minder dan loodrecht op het legvlak.

VROEGER EN NU

Men zegt wel dat bakstenen door de huidige productieprocessen tegenwoordig anders zijn dan vroeger en dat de bakstenen zich anders gedragen. In grote lijnen is dat

echter niet het geval. Bakstenen worden tegenwoordig nog steeds gemaakt van dezelfde grondstoffen als in het (verre) verleden. En de productieprocessen zijn weliswaar sterk gemechaniseerd en geautomatiseerd, maar in opzet niet veranderd.

Afhankelijk van de fabriekslocatie zijn de kleien wel beter gehomogeniseerd. En men gebruikt veel meer kleirecepturen, waardoor er nu meer typen producten zijn. De ovenprocessen worden tegenwoordig veel beter beheerst, terwijl men voorheen nagenoeg alle producten vanwege kwaliteitsverschillen moest uitsorteren. In moderne ovenprocessen zijn de doorlooptijden (van klei tot gebakken product) korter, maar een beheerst hogere toptemperatuur leidt ertoe dat de porieopbouw en de materiaalsamenhang (en daarmee het gedrag) van de producten niet wezenlijk anders is dan vroeger.

Beweerd wordt dat bakstenen een 'bakhuid' hebben en dat deze vroeger anders was dan tegenwoordig. Dit is echter een fabel. In de regel hebben bakstenen in het geheel geen 'bakhuid'. Alleen bij kortstondige reductie van de ovenatmosfeer en/of verhoging van de temperatuur in de oven ontstaan er producten met plaatselijk een andere sinteringsgraad en oppervlaktekleur (afb. 13). Dit noemt men 'genuanceerde' producten.

Ook zie je soms op 'oude' bakstenen geel-rode nuanceringen dicht aan het oppervlak van de baksteen. Ook dit is een soort van reductie-oxidatiespel dat werd gespeeld met de chloridedampen in het product, omdat er keukenzout aan de klei werd toegevoegd. Dit deed men om te voorkomen dat in de winterdag de nog niet gebakken stenen die in het veld werden gedroogd, zouden bevriezen. Deze reductie in de oven gaat echter niet gepaard met temperatuurverhoging en geeft ook geen ander poriesysteem aan de stenen. Gekoppeld aan het vormgevingsproces zouden poriën soms een voorkeuring kunnen hebben. Hierdoor kan het zuiggedrag op het legvlak wat verschillen met het zuiggedrag op de koppen en de strekken van het product (zie ook onder 'Hygrische eigenschappen').

Het aanbod aan producten is tegenwoordig wel veel groter dan vroeger. De producten van vroeger zitten nog steeds in het assortiment, maar er is veel meer aan toegevoegd. Wat wel voor een belangrijk deel bij de grote industriële producties is verdwenen, zijn de zwak gebakken ondersorteringen, producten die niet vorstbestand bleken te zijn en die vroeger hun toepassing vonden in de binnenmuren.

Het is wel eens moeilijk kiezen. Uiterlijk, kleur en maatvoering zijn (naast prijs) vaak eerste criteria in het keuzeprocess. Maar het is goed ook te kijken naar

aspecten als initiële wateropzuiging en vrijwillige wateropneming. Bij restauratie van historisch metselwerk is het belangrijk dat deze waarden in redelijke mate aansluiten bij die van de originele bakstenen. Een relevant aspect is dat bakstenen in een oude gevel door hun oppervlaktevervuiling minder regenwater opzuigen. Als je deze stenen niet reinigt, zul je bij het herstel eventueel dichtere stenen moeten inzetten dan de originele. Reinig je de gevel wel dan zullen minder dichtgesinterde producten met een hogere vrijwillige wateropneming bij het herstel moeten worden gebruikt.

Al deze producten worden nog steeds geleverd door de baksteenindustrie. De producten zijn door verbeteringen in de kleivoorbereiding en kleimenging eventueel wel homogener van samenstelling geworden en gecontroleerd vorstbestand. Er zijn ook nog steeds productielocaties waar stenen in meer traditionele ovens worden afgebakken, waardoor ook de karakteristieke productnuancingering (en de spreiding in de eigenschappen) van vroeger kan worden verkregen.

Noten

- 1 In de praktijk zal deze (geelbakkende) klei bij een metselbaksteenkwaliteit niet veel hoger dan 1.075 °C worden afgebakken. Bij de productie van gebakken straatsteen zal de toptemperatuur boven 1.100 °C zijn.
- 2 Zie voor meer informatie het Referentiehoofdstuk.

8



Van bindmiddel en zand tot mortel

Samenstelling en gedrag

Een essentieel onderdeel van historisch metselwerk is mortel. Dit hoofdstuk gaat over historische mortels en over mortel te gebruiken bij restauratie of herstel van historisch metselwerk en pleisterwerk. Kalkmortels krijgen – als meest gebruikte mortels in historisch metselwerk – daarbij de meeste aandacht, maar ook mortels met andere bindmiddelen komen aan de orde.

Mortels kennen verschillende functionele toepassingen, waarbij de samenstelling en de aard van de bindmiddelen in de loop der eeuwen is veranderd.

Na een kort overzicht van toepassingen en historie van het gebruik van mortels komen in dit hoofdstuk samenstelling, componenten van mortels en hun eigenschappen op chemisch, mechanisch en fysisch gebied aan de orde.¹

DEFINITIE EN TOEPASSINGSGEBIEDEN

Een mortel is een materiaal samengesteld uit een of meer anorganische bindmiddelen, aggregaten, water en toeslagstoffen, gebruikt in metselwerk als leg- of voegmortel en voor het verbinden van stenen, dan wel gebruikt voor andere functies als pleisterwerk, afwerkvloer, enzovoort. In afbeelding 2 wordt een slijpplaat

getoond van de doorsnede van een metselmortel: bindmiddel en aggregaat (de lichtgekleurde ‘zandkorrels’) zijn duidelijk zichtbaar.

In dit hoofdstuk is er vooral aandacht voor de toepassing van mortel in metselwerk. Het scala aan toepassingen van mortels is echter veel breder. De belangrijkste toepassingen zijn:

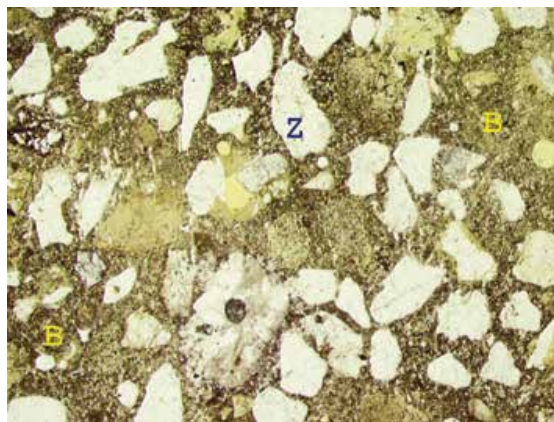
- legmortel;
- voegmortel;
- pleistermortel voor buiten of binnen;
- decoratiemortel, c.q. versieringselement;
- mortel voor afwerkvloeren; en
- (steen)reparatiemortel.

Afbeelding 1 (links)

Kalk voor het gebruik van mortels wordt verkregen door schelpen of kalksteen te branden in ovens. Oudere ovens zoals deze waren breed en relatief laag (foto RCE).

Afbeelding 2 (rechts)

Slijpplaat (voor microscopisch onderzoek), afkomstig van de mortel van een achttiende-eeuwse brug in de Amsterdamse grachtengordel; B=bindmiddel, Z=zandkorrels (foto Joe Larbi).



Afbeelding 3

Metselmortel, zichtbaar in een sterk aangetaste metselwerkmuur (Madrid) (foto auteurs).



De afbeeldingen 3 tot en met 11 tonen de verschillende toepassingsgebieden. Ook beton (afb. 10) is hierbij als voorbeeld van een mortel gegeven, hoewel beton normaalgesproken wegens de grootte van het aggregaat niet onder de definitie van mortel valt.

Terwijl (portland)cement in moderne constructies het belangrijkste bindmiddel is, is kalk dat voor historische gebouwen en monumenten. In dit hoofdstuk is er daarom vooral aandacht voor kalkmortels.

HISTORISCH PERSPECTIEF

Het gebruik van kalk en kalksteen dateert al van prehistorische tijden. Hoewel de piramiden van Egypte een bekend zeer oud voorbeeld zijn van het gebruik van kalksteenblokken (al vanaf circa 4.000 voor Christus), werd geen kalk maar gebrand gips (hemihydraat, $\text{CaSO}_4 \cdot \frac{1}{2}\text{H}_2\text{O}$) in de mortel gebruikt. De oudste voorbeelden van het gebruik van kalkmortels dateren van de Griekse tijd. Vanaf ongeveer de zesde eeuw voor Christus zijn voorbeelden bekend van het gebruik van kalk in pleister- en metselmortel.

De Romeinen namen veel kennis van de Grieken over, ook op bouwgebied. Zij ontwikkelden zelfs een nieuwe, verbeterde soort mortel op basis van kalk: het opus caementicium, ofwel Romeins beton, dat hydraulische eigenschappen bezat. Vitruvius getuigt van de Romeinse kennis op het gebied van kalktechnologie



Afbeelding 4

Gebruik van mortel (pleisterwerk) als natuursteenimitatie (Mantua, Italië) (foto auteurs).



in zijn 'De Architectura'.² Hij geeft gedetailleerde informatie over de verschillende kalksoorten, over het calciëeringsproces en het blussen van kalk, en beschrijft ook mortelrecepturen.

Vanaf eind negentiende eeuw werden steeds vaker cementmortels en steeds minder kalkmortels toegepast. Hoewel in Nederland de traditie om cementkalkmortels als metselmortel te gebruiken – overigens vooral om redenen van verwerkbaarheid – gedurende de hele twintigste eeuw in stand bleef. De toepassing van cementmortels nam zo'n grote vlucht vanwege de snellere verharding en de grotere sterkte.

Het gebruik van cementmortels in bestaande gebouwen en monumenten waarin van oorsprong kalkmortels zijn toegepast, kent echter beperkingen.

In veel gevallen gaan de nieuwe cementmortels door hun grotere dichtheid en stijfheid niet goed samen met het bestaande; ze zijn niet altijd 'compatibel'. Daarnaast kunnen cementmortels zouten (vooral sulfaten) introduceren of bestaande zoutproblemen doen toenemen. Tegenwoordig is er, omdat ze in principe meer compatibel zijn, weer duidelijk

Afbeelding 5

Proefvlakken voor voegwerk; het onderste proefvlak bevat knipvoegwerk (Spaarndam, Nederland) (foto auteurs).

Afbeelding 6

Speciaal pleisterwerk: muurschilderingen (San Zenokerk, Verona, Italië, links), en muurschilderingen ontdekt onder lagen witkalk (Hervormde Kerk, Britsum, Nederland, rechts) (foto's auteurs).



Afbeelding 7

Mortel gebruikt voor decoratie van een muur: Romeins of Parker's cement (Krakow, Polen) (foto auteurs).



Afbeelding 8

Mortel als vloerafwerking: terrazzovloer (Sterrewacht, Leiden, Nederland) (foto auteurs).

meer aandacht voor de toepassing van kalk- en kalkrijke mortels bij restauraties.

Afbeelding 12 geeft een overzicht van het gebruik van verschillende bindmiddelen in de loop van de geschiedenis. In het overzicht wordt ook bitumen genoemd als bindmiddel. Herodotus noemde bitumen of 'aardhars' al in zijn Historiën, volgens hem zouden de muren van Babylon ermee zijn opgetrokken.

Historische gebouwen getuigen van het feit dat kalkmortels een zeer hoge leeftijd kunnen bereiken. De duurzaamheid van kalkmortels en van de gebouwen die ermee zijn geconstrueerd, is het gevolg van zowel vakmanschap als materiaaleigenschappen. Vooral de

grote mate van vervormbaarheid van kalkmortels en het zelfherstellend vermogen van kalkmortels spelen daarbij een rol (zie afb. 13 en 14).

MORTELSAMENSTELLING

Een mortel kan worden gedefinieerd als een materiaal samengesteld uit een of meer anorganische bindmiddelen (zoals kalk, cement), aggregaten (zoals zand), water en eventueel toeslagstoffen (zie afb. 15).

In metselwerk onderscheiden we de metselmortel of legmortel en de voegmortel. Van voegmortel werd lange tijd aangenomen dat het een veel jongere functie betrof; niettemin zijn er al uit de Romeinse tijd voor-



Afbeelding 9 (links)

Mortel met speciale aggregaten werd gebruikt voor de constructie van de koepel van het Pantheon (tweede eeuw), Rome (foto auteurs).

Afbeelding 10 (onder)

Beton met verschillend gekleurde aggregaten en oppervlaktebewerking (Station Zutphen) (foto auteurs).



beelden van voegmortel bekend (dat wil zeggen dat in het buitenste deel van de voegruimte de samenstelling van de mortel afwijkt van die van de metselmortel). De voegmortel wijkt doorgaans in samenstelling en consistentie af van de metselmortel. Behalve bij zogenaamd doorstrijkwerk dan zijn metsel- en voegmortel gelijk.

De dikte van mortelvoegen kan variëren van meerdere centimeters (bijvoorbeeld in Byzantijns metselwerk) tot enkele millimeters (afb. 16).

Voegmortel is de mortel die wordt gebruikt om het

buitenste deel van de voegruimte te vullen; de diepte van het voegwerk bedraagt gewoonlijk 1 tot 1,5 keer de hoogte van de voeg. Voegwerk kan diverse afwerkingen en vormen hebben (afb. 17).³

Bij het voegen kan het gaan om het uithalen van de verse metselmortel en vervolgens vullen van de gecreëerde ruimte, of om het verwijderen van een aangetaste bestaande voeg: hervoegen. De voegmortel is bij de verwerking normaal gesproken droger (aardvochtig) en heeft meer consistentie dan de metselmortel.

Afbeelding 11

Steenreparatiemortel op een meer en een minder zichtbare wijze toegepast. Links: Grote Kerk, Dordrecht. Rechts: Centraal Station, Amsterdam (foto's auteurs).



Afbeelding 12

Overzicht van het gebruik van verschillende bindmiddelen in mortels in de bouwgeschiedenis (bron: Kalkboek⁴ en Furlan⁵).

Bindmiddelen

Een bindmiddel in een mortel kan worden gedefinieerd als een materiaal dat zorgt voor samenhang en hechting, en binding geeft tussen minerale fragmenten. Er zijn twee soorten bindmiddelen:

- luchthardend bindmiddel: een bindmiddel dat langzaam verhardt aan de lucht, door een reactie tussen vrije kalk in de mortel en koolzuur uit de lucht (carbonatatie);
- hydraulisch bindmiddel: een bindmiddel dat verhardt door een chemische reactie met water.

Tot de luchthardende bindmiddelen behoren luchtkalk en gips. Luchtkalk ($\text{Ca}(\text{OH})_2$) verhardt tot calciumcarbonaat (CaCO_3) door in aanwezigheid van vocht uit de lucht te reageren met koolzuur (CO_2) uit de lucht, terwijl gips verhardt doordat de hemi-hydraatvorm ($\text{Ca}_2\text{SO}_4 \cdot \frac{1}{2}\text{H}_2\text{O}$) hydrateert tot de di-hydraatvorm ($\text{Ca}_2\text{SO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$).

Hydraulische bindmiddelen zijn:

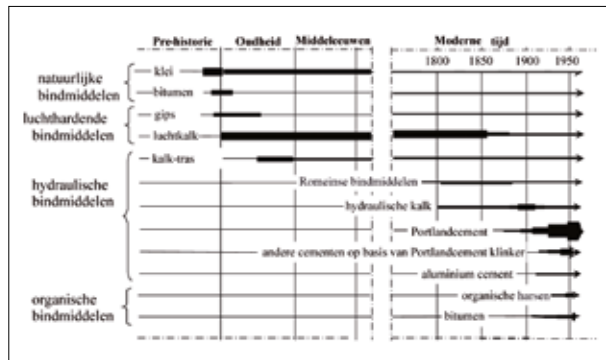
- hydraulische kalk;
- kalk-puzzolaan mortels (zoals kalk-tras);
- Romeins cement (Parker's cement);
- cement-kalkmortels (basterdmortels);
- cement-kalk-puzzolaanmortels;
- cementmortels.

Afbeelding 17 geeft een overzicht van de belangrijkste bindmiddelen voor mortels. De genoemde bindmiddelen worden verkregen door de grondstoffen gips en/of kalksteen te branden bij temperaturen tussen circa 600 °C en 1.600 °C. Daarbij is voor wit portland-cement de hoogste temperatuur nodig.

Gebrande kalk (CaO), ook wel ongebluste kalk genoemd, wordt na het branden geblust met H_2O tot $\text{Ca}(\text{OH})_2$.

Kalk-trasmortels worden verkregen door de toevoeging van tras aan de kalk tijdens het mengen van de mortel; tras wordt dus niet gebrand. Andere historische belangrijke puzzolanen zijn aarde van Pozzuoli bij de Vesuvius in Italië, waaraan puzzolaan zijn naam ontleent, en aarde van Santorini in Griekenland.

Puzzolanen bevatten een aanzienlijke hoeveelheid silica en aluminium, die kunnen reageren met de $\text{Ca}(\text{OH})_2$, waardoor hydraulische componenten van de mortel zoals $2\text{CaO} \cdot \text{SiO}_2$ (C_2S) en $\text{CaO} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3$ (CA) worden gevormd.



Hydraulische bindmiddelen kunnen meer of minder (sterk) hydraulisch zijn; om de mate van hydrauliciteit te bepalen bestaat de zogenaamde hydrauliciteitsindex.

Aggregaten of zand

Aggregaten, in Nederland is dat voornamelijk zand, kunnen voor mortel worden gedefinieerd als korrels of deeltjes steen met een grootte variërend van 63 µm tot 8 mm (soms wordt het maximum gesteld op 4 mm). Behalve uit deeltjes steen kunnen aggregaten ook bestaan uit lichte toeslagmaterialen zoals geëxpandeerde klei, vermiculiet of perliet. De lichte toeslagmaterialen worden vooral gebruikt in speciale pleisters.

Zoals gezegd is het meest voorkomende type aggregaat in mortel zand; zand is qua samenstelling siliciumachtig (van zandsteen) of kalkachtig (van kalksteen).

Het zand kan afkomstig zijn uit bijvoorbeeld rivieren of de zee, maar ook gebroken steen zijn. In het eerste geval zijn de zandkorrels in het algemeen wat rond van vorm, in het tweede geval wat hoekiger (scherp zand). De termen rond en scherp worden overigens op verschillende wijzen gebruikt, zo wordt met scherp zand ook wel zand aangeduid dat een groter aandeel grovere korrels heeft en met rond zand, zand met een groter aandeel fijnere korrels.

De functie van het zand in een mortel is tweeledig:

- de mortel minder vet maken (of verschrallen), wat ook de vorming van scheurtjes door krimp gedurende het drogen en verharderen reduceert;
- sterkte, hardheid en porositeit aan de mortel geven.

Morteleigenschappen en bindmiddel-zandverhouding

De zogenaamde korrelgrootteverdeling heeft een grote invloed op de uiteindelijke porositeit en poriegrootteverdeling in de mortel.

Zoals afbeelding 19 duidelijk maakt, leidt de aanwezigheid van verschillende korrelgrootten (van fijn

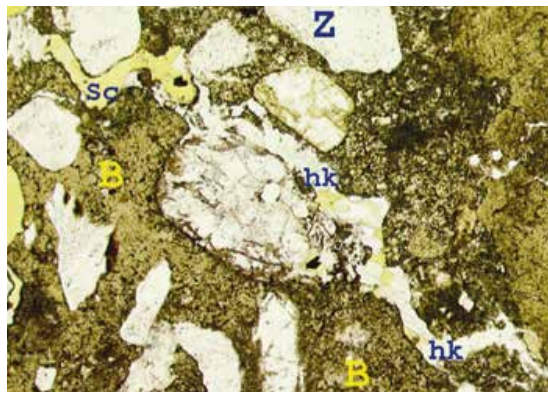
Afbeelding 13

Voorbeeld van de vervormingscapaciteit die kalkmortels geven aan historische gebouwen (foto auteurs).



Afbeelding 14

Voorbeeld van het zelfherstellend vermogen van kalkmortels: een scheurtje is door afzetting van kalk uit de omgevende mortel geleidelijk aan tenietgedaan (B=bindmiddel; Z=zand; hk= herkristallisatie) (foto auteurs).



tot grof) tot een lagere porositeit dan bijvoorbeeld het gebruik van grove zandkorrel met één diameter. Het bindmiddel heeft korrels met een diameter kleiner dan $63\text{ }\mu\text{m}$ en vult de open ruimte tussen de zandkorrels dus beter. Porositeit heeft een grote invloed op eigenschappen als mechanische sterkte, fysische eigenschappen en uiteindelijk ook op de duurzaamheid.

Afhankelijk van de functie van de mortel en de gewenste eigenschappen kan de bindmiddel-zandverhouding variëren; ook de kwaliteit van het bindmiddel is hierbij van invloed. Een hoog bindmiddelgehalte leidt tot krimp en dus een groter risico op (krimp)scheurtjes, een laag bindmiddelgehalte leidt tot een poreuze mortel met weinig samenhang en daardoor een lage mechanische sterkte.

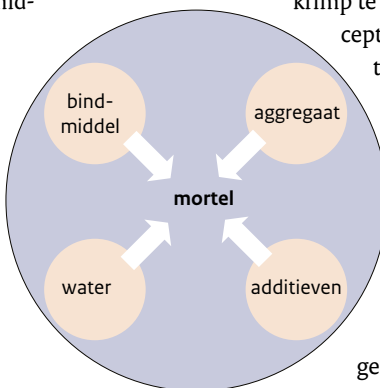
Historische mortels hebben een bindmiddel-zandverhouding die ligt tussen 2:1 en 1:4 in volumedelen. Hoewel Vitruvius al recepturen met bindmiddel-zandverhouding 1:3 beschreef, zien we in veel van historische kalkmortels verhoudingen in de buurt van 1:1. Soms zelfs wordt alleen bindmiddel toegepast, bijvoorbeeld in de recepturen voor sterke trasmortels uit de achttiende eeuw, met alleen kalk en tras, in verhoudingen rond de 1:1. Tegenwoordig zijn recepturen tussen 1:2,5 en 1:5 gebruikelijk.

Bij het kiezen van een reparatiemortel is het verstandig de bindmiddel-zandverhouding en het type

bindmiddel af te stemmen op die van de oude mortel. Bij de uiteindelijke samenstelling van de mortel dient men zich er echter van bewust te zijn dat in oude mortels een relatief groot aandeel kalkdeeltjes aanwezig kan zijn dat niet als bindmiddel functioneert. Die oude mengverhouding moet dan ook niet zomaar worden gekopieerd.

Ook het type zand moet grondig worden bekeken, omdat dat vaak in korrelgradering afwijkt van modern zand voor mortels; zand werd vooral toegevoegd om krimp te voorkomen. In moderne mortelrecepten wordt meestal genormeed zand toegepast met een korrelgradering van grof tot fijn, vaak met als streven de ruimte tussen de zandkorrels volledig met bindmiddel te vullen. Voor kalkgebonden mortels is dan een bindmiddel-zandverhouding van circa 1:3 nodig (in volumedelen); voor cementgebonden mortels ligt dat op ongeveer 1:4 en kalk-cementgebonden mortels weer op circa 1:3. Bij kalk-trasmortels komen we op circa 1:1:4.

Bij gebruik van eenkorrelig zand resulteren deze verhoudingen niet in een volledige vulling en blijven openingen bestaan. In dit geval is bij kalk- en kalk-cementmortels ongeveer 1:2 nodig.



Afbeelding 15

Mortelsamenstelling.

Links: zeer brede mortelvoegen. Rechts: voorbeeld van zeer dunne voegen: in dit geval bestaat de voeg alleen uit bindmiddel (kalk) en is geen zand toegevoegd (Waag, Amsterdam) (foto's auteurs).



Zoals aangegeven kunnen ook lichte aggregaten (toeslagstoffen) als geëxpandeerde klei worden toegepast. De rol van dergelijke aggregaten ligt veelal in het verbeteren van thermische of akoestische eigenschappen van pleistermortels. Deze materialen hebben soms holtes die in het materiaal zelf besloten liggen (zonder contact met andere poriën; dit heet 'gesloten porositeit'), waardoor de zogeheten 'totale porositeit' toeneemt (zie ook verderop) en tegelijkertijd het gewicht van de mortel afneemt.

Toeslagstoffen, hulpstoffen, additieven

Sinds oudsher voegde men naast bindmiddelen en aggregaten ook andere stoffen aan mortels toe om hun eigenschappen te verbeteren. Bloed, caseïne, lijnzaadolie behoren tot deze additieven of toeslagstoffen.⁶ Ook werden (en worden ook nu nog) vezels als stro en dierenhaar toegevoegd om de samenhang van mortels en het krimpgedrag te verbeteren, vooral bij stuc-pleistermortels. Tegenwoordig is een scala aan additieven voor mortels beschikbaar, met uiteenlopende achtergronden en eigenschappen. Zo bestaan er zogeheten superplastificeerders die de verwerkbaarheid verbeteren en luchtbelvormers die mortels vorstbestendiger

maken. Bekend zijn ook hydrofobeermiddelen, die worden ingemengd in de mortel van restauratiepleisters voor zoutbelaste ondergronden (zoutaccumulerende pleisters).⁷ Soms worden acrylaten toegevoegd om de hechting van de mortel te verbeteren.

VERHARDE MORTELS, SCHADE EN REPARATIE

Bij schade aan metselwerk en reparatie daarvan moet rekening gehouden worden met de eigenschappen van de verharde mortel. Is de beoogde reparatiemortel daarmee compatibel? En: aan welke eisen moet voldaan worden om de reparatie duurzaam te laten zijn?

Chemische eigenschappen

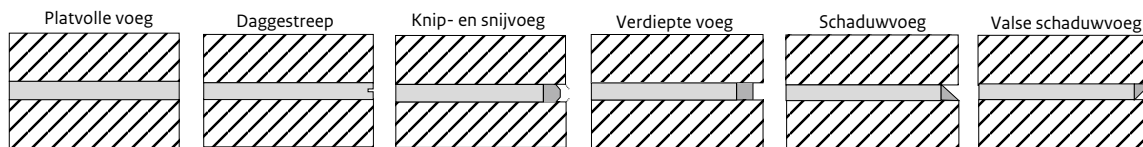
Gegevens over de chemische samenstelling van een mortel zijn van belang voor het begrip van schadeprocessen en ook voor de verantwoorde keuze en eventueel het ontwerp van een reparatiemortel.

Zo is een kalkmortel gevoelig voor luchtverontreiniging en kan onder invloed van SO_x in de lucht omzetting plaatsvinden in gips, waarbij zogeheten zwarte korsten worden gevormd. Een reparatiemortel op gipsbasis is

Tabel 1

Indicaties van de sterkte en stijfheidseigenschappen van verschillende mortels ($1 \text{ MPa} = 1 \text{ N/mm}^2$). De gegevens voor de hydraulische kalk (HL) en de natuurlijke hydraulische kalk (NHL) zijn ontleend aan EN 459 (Lindqvist, 2006).

Mortel	Druksterkte [Mpa]	Buigsterkte [Mpa]	E-Modulus [$\text{MPa} \cdot 10^3$]
Kalkmortel	0,5 - 2,5	0,5 - 1	2 - 7
Kalk-cement	2 - 8	1 - 4	10
PC-mortel	8 - 20	3 - 6	20 - 30
HL2 and NHL2	2 - 7		
HL3,5 and NHL 3,5	3,5 - 10		



Afbeelding 17

Overzicht van verschillende voegtypen (bron: auteurs).

chemisch gezien niet geschikt om toe te passen (niet compatibel) bij reparatie van een mortel op basis van dolomiet-kalk, omdat dan – als er voldoende vocht aanwezig is – een schadelijk zout (magnesiumsulfaat) kan worden gevormd.

Mechanische eigenschappen

Luchtkalkmortels zijn bekend om hun betrekkelijk lage mechanische sterkte, in vergelijking met cementmortels. Daar staat tegenover dat zij een lage E-modulus en een grote vervormingscapaciteit bezitten.

De sterkte van een mortel hangt nauw samen met zijn porositeit en neemt af bij toenemende porositeit (voor mortel met hetzelfde bindmiddel). De druksterkte van luchtkalkmortels is circa 1,5 tot 2 N/mm², die van hydraulische kalk kan variëren van 2 tot circa 10 N/mm², terwijl die van cementmortels nog aanzienlijk hoger kan zijn. De treksterkte van mortels en overige steenachtige materialen ligt in het algemeen een orde van grootte lager dan de druksterkte. Toch is de sterkte van kalkmortels bij goede samenstelling en uitvoering hoog genoeg om een lange levensduur te garanderen.

Voor mortels in metselwerk is behalve de mechani-

sche sterkte van de mortel zelf vooral de hechting tussen (bak)steen en mortel van belang. De hechting wordt vooral beïnvloed door watertransport tussen mortel en steen tijdens het metselen en de initiële hydratatie van de mortel.⁸ Een te laag bindmiddelgehalte, onevenwichtige korrelgradering van het zand (bijvoorbeeld het ontbreken van de fijne fractie), onvoldoende menging en zeker bij voegwerk het onvoldoende aandrukken van de mortel kunnen de kwaliteit van de hechting aanzienlijk beperken.

Fysische eigenschappen

Van de fysische eigenschappen van een mortel zijn de vochttransporteigenschappen de belangrijkste, aangezien die bepalend zijn voor de duurzaamheid van de mortel. Vochttransport is vooral gerelateerd aan porositeit en de verdeling van poriegrootte.

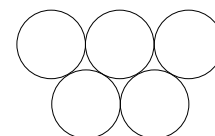
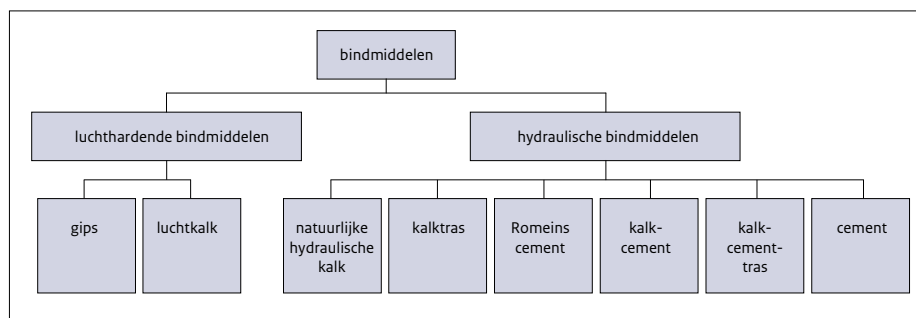
De totale porositeit is dat deel van het totale volume van een materiaal dat niet door massief materiaal in beslag wordt genomen. Hierbij is onderscheid te maken tussen 'open' en 'gesloten' porositeit. Open porositeit bestaat uit poriën die onderling verbonden zijn, waardoor daartussen vochttransport kan plaatsvinden. Gesloten porositeit is die open ruimte die niet in verbinding staat met het overige poriesysteem; dit is bijvoorbeeld het geval bij holle lichte aggregaten.

Afbeelding 18 (onder)

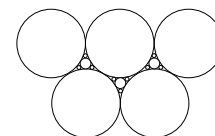
Overzicht van bindmiddelen voor mortels.

Afbeelding 19 (rechts)

Effect van de korrelgrootteverdeling van het zand op de porositeit van de mortel. Overigens is hier het bindmiddel nog niet aangegeven.



eenkorrelig zand:
hogere porositeit,
grotere poriën



goed gegradeerd zand:
lage porositeit,
kleinere poriën

Bij de porositeit is de verdeling van poriegrootten ook van belang. De poriegrootteverdeling beschrijft de fractie van het totale porievolume waarbinnen zich de poriën bevinden met een bepaalde grootte. Poriën kunnen naar hun grootte worden geclassificeerd als micro- (<10 nm), meso- (tussen 10 en 100 nm) of macro-poriën.

Een andere onderverdeling is die in sorptieporiën (<100 nm), capillaire poriën (tussen 0,1 µm en 100 µm) en grove poriën (> 100 µm) (zie afb. 20).⁹ Capillaire poriën ontstaan onder andere door verdamping van water uit de bindmiddelfractie. De water-bindmiddelverhouding, de bindmiddel-zandverhouding en de zandgradering bepalen het totale gehalte aan capillaire poriën.

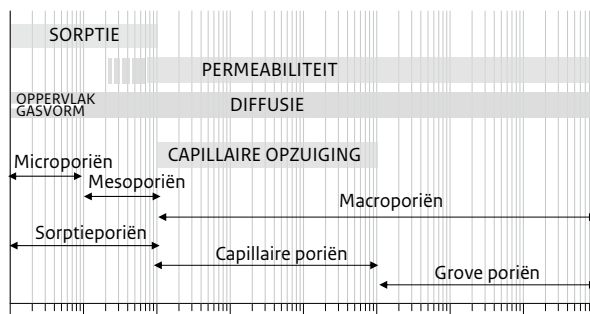
Sorptieporiën ontstaan vooral wanneer gehydrateerde hydraulische fasen aanwezig zijn, zoals calciumsilicaathydraat (C-S-H). Dergelijke poriën zijn dan ook niet aanwezig in luchtkalkmortels, maar wel in hydraulische kalk.

Zeer grove poriën in mortels worden over het algemeen gevormd door ingesloten lucht (ook luchtbelvormers kunnen een dergelijk type poriën vormen) en door krimpscheurtjes. In mortel met een lage bindmiddel-zandratio komen grove poriën voor in de ruimte tussen zandkorrels die niet volledig gevuld is met het bindmiddel.

In sorptieporiën is het water gebonden aan het porieoppervlak; deze poriën dragen niet bij aan het vloeistoftransport. Wanneer we specifiek naar vloeibaar vochttransport kijken, zijn de capillaire poriën van belang; vloeistoftransport vindt plaats onder invloed van verschillen in capillaire druk en gaat van wijde naar fijne poriën. Een grove porie kan geen vocht opzuigen uit een fijne, een fijne wel uit een grove. In poriën wijder dan 100 µm ten slotte vindt vochttransport alleen plaats onder invloed van externe druk, zoals winddruk en zwaartekracht.

In relatie tot de duurzaamheid zijn vooral de capillaire poriën – de poriën waardoor watertransport kan plaatsvinden – van belang. Aangenomen wordt dat vooral de verhouding tussen grof- en fijn-capillaire poriën in een materiaal een belangrijke rol speelt bij vorstbestandheid.

Bij gebruik van reparatiemortels in metselwerk dat te maken heeft met bijvoorbeeld zoutkristallisatie is het belangrijk de mortel zo goed mogelijk af te stemmen op het omringende materiaal, dus de compatibiliteit voorop te stellen. Daarbij zijn de capillaire eigenschap-



pen van groot belang door hun rol in het vochttransport en bij het drooggedrag van de constructie.

In andere hoofdstukken van deze publicatie komen duurzaamheid van metselwerk en compatibiliteit nader aan de orde.

Literatuur

- Balen, K. Van (et al.), 2003, *Kalkboek: het gebruik van kalk als bindmiddel voor metsel- en voegmortel in verleden en heden*, Zeist.
- Furlan, V., P. Bissegger, 1975, 'Les mortiers anciennes. Histoire et essais d'analyse scientifique' in: *Revue Suisse d'Art et d'Archeologie*, nr. 32, pp. 2-14.
- Groot, C., 1993, *Effect of water on mortar-brick bond*, PhD thesis, Delft.
- Groot, C., R.P.J. van Hees, T. Wijffels, 2009, 'Selection of plasters and renders for salt laden masonry substrates', in: *Construction and Building Materials*, nr. 23, pp. 1.743-1.750
- Hees, R.P.J. van, S. Naldini, L.J.A.R. van der Klugt (red.), november 2001, *Maintenance of Pointing in Historic Buildings: Decay and Replacement, Final Report*, EC Environment Programme, contract ENV4-CT98-706.
- Mendonca de Oliveira, M., september 2008, *From Vitruvius's ceramic powder additives to modern restoration*, HMC08 conference, Lisbon.
- Vitruvius (I.D. Rowland, T. Noble Howe (eds.)), 1999, *The ten books on architecture*, Cambridge.

Noten

- De gebruikte terminologie is gebaseerd op de huidige stand van zaken in EU-verband: het concept van CEN commissie 346 - Cultural Heritage aangaande mortelterminologie.
- Vitruvius 1999.
- Hees et al. 2001.
- Van Balen et al. 2003.
- Furlan 1975.
- Mendonca de Oliveira 2008.
- Groot et al. 2009.
- Groot 1993.
- 1 µm = 10⁻⁶ m; 1 nm = 10⁻⁹ m

9



Mortel van de centrale

Constance samenstelling in bulk

Voor nieuwbouw komt vrijwel alle mortel van een mortelcentrale. Dit zijn dan mortels met cement als bindmiddel. Bij restauratie is dat juist niet het geval. De meeste mortel is gebaseerd op kalk. Die wordt op de bouwplaats samengesteld, komt als prefab mortel uit een zak en soms uit een silo. Voor grote projecten kan de mortelcentrale echter op maat droge mortel samenstellen.

Eeuwenlang was kalk hét bindmiddel om te bouwen. Het gebruik van kalk als middel om stenen met elkaar te verbinden kent al een lange geschiedenis. Kalk wordt al rond circa 800 voor Christus gebruikt om stenen met elkaar te verbinden. Heel waarschijnlijk heeft men bij het stoken van vuur voor koken of andere doeleinden ontdekt dat bepaalde steensoorten onder invloed van hitte een verandering ondergaan. Als men dit veranderde materiaal met water mengde, ontstond een product dat langzaam hard werd.

Cement maakte naast kalk als bindmiddel voor mortel en beton opgang vanaf circa 1850. Sinds de opkomst van portlandcement als bindmiddel voor mortel en beton zijn kalk en portlandcement samen gebruikt als bindmiddel voor metselmortel. Beide bindmiddelen hebben zo hun specifieke eigenschappen.

KALK VERSUS CEMENT

Mortels op basis van pure kalk hebben een trage sterkteontwikkeling, omdat de verharding van deze mortels gebaseerd is op de reactie van de kalk in de mortel met CO₂ uit de lucht, waarbij zich calciumcarbonaat vormt. Mortels gemaakt met portlandcement verharderen daar-

entegen veel sneller, omdat de sterkteontwikkeling van deze mortels bepaald wordt door een chemische reactie van cementdeeltjes met water. Een ook veelgebruikt bindmiddel is hydraulische kalk; dit bevat componenten die vergelijkbaar reageren als portlandcement, alleen veel langzamer.

Door kalk en portlandcement samen als bindmiddel te gebruiken werden twee positieve eigenschappen gecombineerd. De kalk zorgde voor een goede verwerkbaarheid van de mortel en de portlandcement voor een relatieve snelle verharding c.q. sterkteontwikkeling. Omdat de sterkteontwikkeling van portlandcement gebaseerd is op een chemische reactie met water, mag de verse mortel tussen de stenen niet uitdrogen. Ook hierbij kan kalk een belangrijke rol spelen, omdat het door zijn fijnheid goed water vasthoudt en zo uitdroging ('verbranden') voorkomt.

Met de opkomst van de prefab mortel vanaf het midden van de vorige eeuw en de noodzaak om snel te bouwen – waardoor hogere eisen worden gesteld aan sterkte(ontwikkeling) van de mortel – is het gebruik van kalk naar de achtergrond gedrongen. Door het fabrieksmatig vervaardigen van de mortel werd het mogelijk om onder meer verwerkbaarheid en watervasthoudend vermogen ook op andere manieren te realiseren.

Afbeelding 1

Mortelcentrale in beeld (foto Michiel van Hunen).

Afbeelding 2

Deel van een mortelcentrale met laadpunt voor de trucmixer
(foto Michiel van Hunen).



Afbeelding 3

Menger voor natte mortel in de mortelfabriek (foto Michiel van Hunen).



METSELMORTEL VAN DE MORTELCENTRALE

In Nederland kennen we drie manieren waarop de pre-fab mortel gemaakt wordt. Het gaat om natte metselmortel, semidroge mortel en droge mortel. In de natte metselmortel en semidroge mortel is metselcement het bindmiddel. De cementindustrie produceert dit bindmiddel speciaal voor metselwerk.

Naast portlandcement bevat het ook kalksteenmeel (CaCO_3). De kalksteen wordt samen met de portlandcementklinker gemalen tot een bindmiddel met een hoge fijnheid. In dit bindmiddel verbetert kalksteenmeel de verwerkbaarheid van de metselmortel; het zorgt voor voldoende vetheid en smeugheid en geeft wat watervasthoudend vermogen, maar het draagt niet bij aan de sterkteontwikkeling van de mortel.

Daarnaast voegt de producent ook een luchtbelvormer toe aan de metselcement. Die zorgt ervoor dat de aangemaakte metselmortel circa 15% lucht bevat. De luchtbelvormer zorgt ervoor dat de lucht fijn verdeeld voorkomt in de metselmortel. Dit verbetert niet alleen de verwerkbaarheid van de mortel, maar ook de duurzaamheid van het metselwerk, vooral wat betreft vorstbestandheid.

Voor droge metselmortel gebruikt de mortelproducent veelal pure portlandcement. Additieven zoals luchtbelvormers en waterretentiemiddelen zorgen voor verbeterde prestaties.

Natte metselmortel

Natte metselmortel wordt altijd gemaakt in betonmortelcentrales. De producent gebruikt daarbij twee grondstoffen die niet voorkomen in betonmortel: naast metselcement (en -zand) is dat de hulpstof 'vertrager'. Deze laatste vertraagt de reactie van de portlandcement met water circa twintig uur. Een trucmixer brengt de metselmortel naar de bouwplaats en draait deze in een metselmortelopvangbak. Door de vertrager kan de metselaar de mortel circa één dag gebruiken.

De betoncentrale kan de prestaties van de metselmortel niet op veel manieren sturen. Hij kan meer of minder metselcement gebruiken en kiezen voor een metselzand met een andere korrelopbouw. Voor de betoncentrale is het dus zeer lastig om de mortel af te stemmen op de eigenschappen van de specifieke steen waarmee wordt gemetseld. Bovendien lost de trucmixer zijn lading vaak op verschillende bouwplaatsen. Daarom is deze metselmortel vaak een 'gemiddelde' metselmortel.

Semidroge mortel

Bij deze productiewijze wordt gebruikgemaakt van mobiele silo's met twee compartimenten. Op de metselmortelcentrale wordt één van de compartimenten gevuld met bindmiddel en het andere compartiment met metselzand. Een siloafzetwagen brengt de gevulde silo naar de bouwplaats en haalt deze eventueel op voor een nieuwe lading. De silo heeft is een menger die op

Afbeelding 4

Schema met processtappen (afbeelding auteur).

de bouwplaats wordt aangesloten op het elektriciteits- en waterleidingnet. De menger trekt bindmiddel en toeslagmateriaal uit beide compartimenten en mengt dit met water tot kant-en-klare metselmortel.

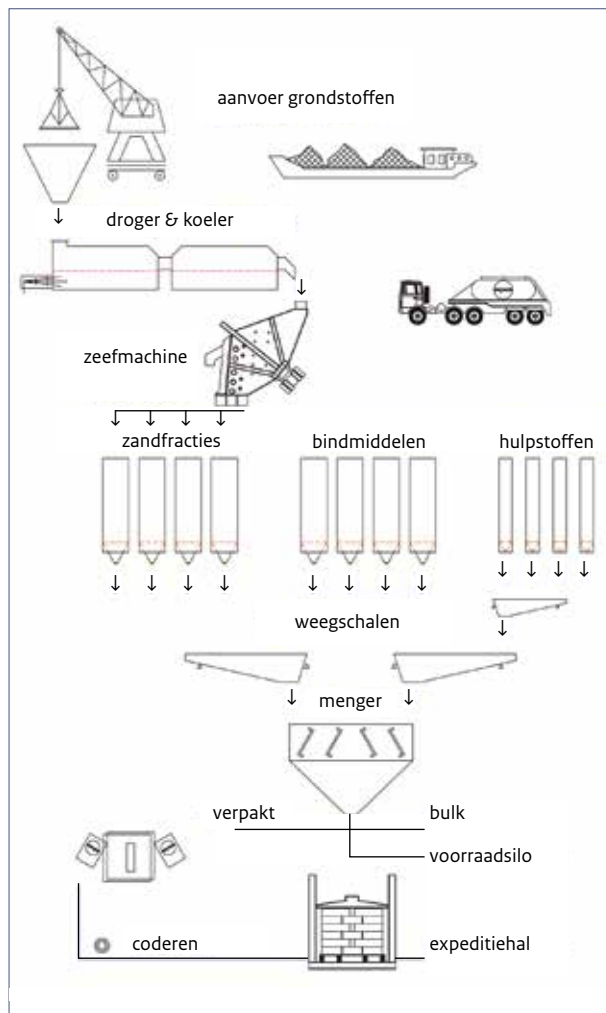
Ook in deze mortel wordt metselcement gebruikt. En ook hier zijn de mogelijkheden om de prestaties van de metselmortel af te stemmen op de steen redelijk beperkt. De producent kan kiezen voor ander zand, en hij kan de verhouding bindmiddel-zand variëren door een aanpassing van de menger. Een verschil met de productie van natte metselmortel is dat deze mortel wel op een specifiek werk kan worden afgestemd.

Droge mortel

Zoals de term al aangeeft, wordt deze mortel kant-en-klaar geleverd als droge voorgemengde mortel, zowel verpakt als in bulk in silo's. Hierbij zijn droge materialen nodig, want cement zou met vocht reageren, met als gevolg kluivorming in de mortel. De eerste stap in het productieproces van droge mortel is dan ook het drogen van zand. Het droge zand wordt vervolgens gezeefd in verschillende fracties (vaak vier of vijf). Een automatische weeg- en menginstallatie mengt daarna volgens recept zand met verschillende korrelgroottes in de juiste verhoudingen, met bindmiddel, vulstoffen en hulpstoffen. De mortel wordt vervolgens verpakt of in bulk naar de bouwplaats getransporteerd.

Omdat de producent in een droge mortelcentrale over afzonderlijke grondstoffen, hulpstoffen en verschillende fracties zand beschikt, heeft hij vergeleken met de producenten van natte metselmortel of semi-droge mortel veel meer vrijheden om de mortel aan te passen aan verschillende eisen en wensen. Denk hierbij aan esthetische eisen van de architect en opdrachtgever, constructieve eisen die volgen uit berekeningen van de constructeur en eisen rond verwerking door de metselaar en volgend uit de karakteristieken van de steen. Bij restauratie gaat het nadrukkelijk ook om compatibiliteits-eisen. Daarnaast moet de mortelproducent natuurlijk ook rekening houden met eisen wat betreft arbeidsomstandigheden bij productie en verwerking.

Een drogemortelcentrale kan – afhankelijk van de lay-out van de centrale en de beschikbare grondstoffen en hulpstoffen – naast metselmortels ook andere mortels maken, zoals doorstrijkmortel, voegmortel, droge betonmortel, stucmortel, vloermortel en tegellijm.



TECHNISCHE EN ESTHETISCHE EISEN MORTEL

De wens van de opdrachtgever en architect worden verwoord in termen als voegdikte (lagenmaat), kleur, manier van uitvoeren (metselen en voegen of doorstrijken), metselverband en steensoort.

Doorstrijken is een uitvoeringswijze waarbij de metselaar de voeg in één werkgang afmaakt. Hij vermetst de stenen vol en zat, en werkt de voeg na het aantrekken van de mortel af met een zogeheten pointmaster of voegijzer.

Een belangrijke parameter om de metselmortel geschikt te maken voor een bepaalde voegdikte is de korrelopbouw van het zand. Met een grof zandpakket kan natuurlijk nooit een kleine voegdikte worden gerealiseerd. Daarnaast is de opbouw van het zandpakket in de metselmortel belangrijk voor de verwerkbaarheid, de sterkteontwikkeling en de duurzaamheid van de mortel.

Afbeelding 5

Restauratie van molen De Kameel in Schiedam waarbij prefab mortel uit een silo is gebruikt (foto Caspar Groot).



Afbeelding 6

Een silo waarin (semi)droge mortel zit opgeslagen (foto Caspar Groot).



Esthetische eisen

De kleur van doorstrijkmortel, voegmortel of metselmortel kan – als een anti-smetmortel¹ wordt vereist – worden beïnvloed door de keuze van bepaalde bindmiddelen (wit cement voor een lichte kleur) of pigmenten. Pigmenten op basis van ijzeroxiden zijn kleurecht en zeer kleurintensief.

Een doorstrijkmortel heeft meestal een fijnere korrelopbouw dan een metselmortel, omdat er na het doorstrijken geen steentjes in het zicht mogen liggen. Daarnaast bevatten doorstrijkmortels net als voegmortels vaak hulpstoffen en/of grondstoffen die het ontstaan van ontsierende witte uitslag tegengaan. Vergeleken met een metselmortel ligt het bindmiddelgehalte ook wat hoger. Dit onder meer als gevolg van een fijner zandpakket. Omdat deze mortel rechtstreeks wordt blootgesteld aan weer en wind, is ook een hogere fysieke duurzaamheid nodig. Om een optimale verwerkbaarheid voor de voeger te realiseren, is met name de samenstelling van het zandpakket heel belangrijk.

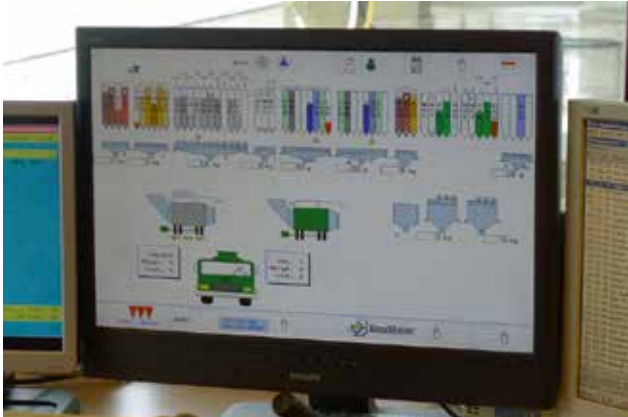
Hygrische eisen

Een zeer belangrijke eigenschap van de steen is het wateropnemend vermogen; uitgedrukt in initiële wateropname (IW) of het Hallergetal. De initiële wateropname geeft het wateropnemend vermogen aan van de steen onder laboratoriumcondities, uitgangspunt voor de meting is een droge steen. Het Hallergetal geeft het wateropnemend vermogen aan van de steen zoals de steen wordt verwerkt.

De mortel kan op deze eigenschap van de steen worden aangepast door het gebruik van waterretentiemiddelen (veelal cellulose-ethers) en door de keuze van het zandpakket. Als gewerkt wordt met een steen met een hoog wateropnemend vermogen, moet worden voorkomen dat de stenen bij het aanbrengen van de specie direct het water uit de specie trekken en de baksteen zich niet meer netjes laat invleien. Bovendien moet de steen zo veel water uit de mortel kunnen onttrekken, dat de cement in de mortel voldoende water heeft om tot een goede uitharding (sterkteontwikkeling) te komen.

Afbeelding 7

Een van de monitoren in de controlekamer van de centrale (foto Michiel van Hunen).



Echter, als de steen een laag wateropnemend vermogen heeft en de mortel een hoge waterretentie, dan neemt de steen geen water op uit de mortel en zal de specie tussen de gemetselde stenen zeer lang plastisch blijven. Dan zal bij het optrekken van een muur na een aantal lagen metselen de onderste stenen gaan drijven (het muurtje gaat uitbuiken). Ook dit kan worden afgesteld door een juiste keuze van waterretentie en zandpakket. Bij een grover zandpakket kunnen de gestapelde stenen 'gaan staan op een skelet van kleine steentjes'.

Constructieve eisen

Bij nieuwbouw volgen uit de berekening van de constructeur eisen voor druksterkte en hechtsterkte van de mortel. Bij restauratie zijn bovendien ook de eigenschappen van het bestaande metselwerk sterk bepalend. Bij historische gebouwen zijn eisen wat betreft elasticiteitsmodulus en thermische werking vaak zeker zo belangrijk als die wat betreft sterkte.

De druksterkte van de mortel kan ingesteld worden door variatie in het bindmiddelgehalte. De hechtsterkte van de mortel hangt behalve van het bindmiddelgehalte ook sterk af van de waterretentie van de mortel, in samenhang met het wateropnemend vermogen van de steen. Als deze eigenschappen niet voldoende op elkaar zijn afgestemd, kan dit leiden tot 'verbranden' van de specie op het grensvlak van steen en mortel (er is dan onvoldoende water voor het verharden van de specie). Dan is sprake van een sterk verminderde hechting. Ook bij het vermetselen van sterk bezande stenen bestaat het risico op verminderde hechting.

Afbeelding 8

Mortelproefstukjes in het laboratorium voor het uitvoeren van metingen voor kwaliteitscontrole (foto Michiel van Hunen).



Dunne voegen in metselwerk zijn mogelijk met mortels die met de troffel verwerkbaar zijn. Omdat in deze toepassing relatief weinig mortel wordt gebruikt ten opzichte van de steenmassa, is het risico op 'verbranding' hierbij nog groter.

VERWERKBAARHEID

Naast de eerder genoemde eisen voor mortel(samenstelling) heeft ook de verwerker belangrijke eisen. Bij nieuwbouwprojecten wordt metselwerk veelal aangenomen in euro/m² of als geheel project. Dat betekent dat het rendement voor het metselbedrijf staat of valt met het aantal m² metselwerk dat de metselaars per dag kunnen realiseren. En de verwerkbaarheid van de metselmortel heeft hierop veel invloed. De metselaar wil dat de metselmortel smeugig is en niet aan de troffel plakt. Ook moet de mortel niet voortijdig opstijven; de hele kuip met metselspecie moet zonder opsteken (handmatig mengen met de troffel) verwerkt kunnen worden. Om dit te realiseren, kunnen naast de al eerder genoemde hulpstoffen ook vulstoffen en luchtbelvormers worden ingezet.

Door het gebruik van fijne vulstoffen als kalksteenmeel wordt de mortel in termen van de metselaar minder 'schraal'. Maar door te veel fijn materiaal wordt de mortel '(te) vet'. Sommige verwerkers geven de voorkeur aan mortel die naast cement als bindmiddel kalk bevat (en geen kalksteenmeel). Ook deze grondstof maakt de mortel minder schraal.

Om de mortel voldoende smeugigheid te geven worden ook luchtbelvormers ingezet. Deze hulpstof zorgt



ervoor dat de aangemaakte mortel afhankelijk van de te verwerken steen een luchtgehalte heeft van 12 tot 20%. Dit bestanddeel verbetert niet alleen de verwerkbaarheid, maar ook de vorstbestandheid.²

Normering

Voor prefab metselmortel bestaat een Europese norm. Dat betekent dat het product alleen op de markt gebracht mag worden als het is voorzien van een zogeheten CE-markering. Daaruit blijkt dat de prestaties van het product volgens Europees vastgestelde meetmethoden zijn bepaald. Vervolgens is de fabrikant verplicht om de prestaties van zijn product te declareren.

Naast de CE-markering bestaat er in Nederland het KOMO-kwaliteitsmerk. Het KOMO-kwaliteitscertificaat geeft aan dat de gebruiker erop kan vertrouwen dat het product geschikt is voor de beoogde toepassing. De prefab mortels voldoen niet alleen aan het Bouwbesluit, maar ook aan de milieuhygiënische eisen van het Besluit Bodemkwaliteit (uitloging van schadelijke stoffen naar het milieu). Dit wordt aangetoond via het BSB-certificaat. Voor op de bouw samengestelde mortels gelden deze zekerheden niet.

Naast de zekerheid dat het product voldoet aan alle wettelijke eisen en bepalingen, kan de verwerker erop vertrouwen dat de kwaliteit van de prefab mortel door

Afbeelding 9

Een oude in kalkmortel opgetrokken tuinmuur; door de lage elasticiteitsmodulus van de kalkmortel hebben zettingen niet tot scheuren geleid (foto Michiel van Hunen).

de geautomatiseerde productiemethoden constant is. Bij grote projecten kan het voor de verwerker economischer zijn om met een prefab mortel te werken, dan om zijn eigen mortel op de bouwplaats te vervaardigen.

PREFAB RESTAURATIE MORTELS

Aan mortels voor restauratiedoeleinden worden heel andere eisen gesteld dan aan mortels voor nieuwbouw. Historische bouwwerken zijn vaak gemetseld met een kalkmortel (zie afb. 9). Voor restauratie van dit metselwerk is een natuurlijke hydraulische kalk vaak zeer geschikt. Hydraulische kalk is een bindmiddel dat wordt geproduceerd door het branden van een kalksteen die van nature een klein deel zand bevat. Hierdoor ontstaat bij het branden kalk en een hydraulisch materiaal dat sterk lijkt op een verbinding (beliet) die ook in onze moderne cementen voorkomt.

Beliet is een andere naam voor bicalciumsilicaat $((2\text{CaO})\cdot\text{SiO}_2)$, vaak verkort weergegeven als C_2S . Dit mineraal reageert langzaam met water en vormt daarbij



Afbeelding 10

Restauratie van een historisch droogdok; bij een dergelijk omvangrijk werk zou een op maat samengestelde mortel uit een silo een goede optie kunnen zijn (foto Michiel van Hunen).

de zogeheten cementsteen. De kalk in de natuurlijke hydraulische kalk reageert met koolstofdioxide (CO_2) tot calciumcarbonaat (CaCO_3). Ook dit mineraal zorgt voor verharding van de mortel, maar ook deze reactie verloopt langzaam. Om deze reactie te laten verlopen, moet de CO_2 de mortel in diffunderen. Dit proces verloopt pas als de mortel droogt.

Kortom: de sterkteontwikkeling van de mortels waarmee de te restaureren objecten zijn gemaakt hebben een heel andere sterkteontwikkeling dan puur cementgebonden mortels. Bovendien zien de mineralen die voor de sterkte zorgen er heel anders uit.

Omdat de natuurlijke hydraulische kalk op een andere manier de samenhang in de verharde mortel bewerkstelligt dan een puur cementgebonden mortel, verschillen de eigenschappen van de verharde producten ook sterk. Als in één bouwwerk de verschillende mortels worden gecombineerd door bijvoorbeeld restauratiewerkzaamheden, ontstaan eindproducten die niet compatibel zijn. De praktijk heeft geleerd dat hierdoor snel weer schade ontstaat. In onderstaande tabel is een aantal verschillen weergegeven tussen een puur cementgebonden mortel en een natuurlijke hydraulische kalk.

Zowel in natte metselmortel als semidroge mortel wordt metselcement gebruikt als bindmiddel. Voor deze productiemethoden is het vanwege het geringe aandeel restauratie op het totaal aandeel mortel niet interessant om ook mortels te leveren op basis van natuurlijke hydraulische kalk.

eigenschap	natuurlijke hydraulische mortel	cementgebonden mortel
sterkteontwikkeling	langzaam	snel
sterkte gerealiseerd door	CaCO_3 en cementsteen	cementsteen
hardheid van de verharde mortel	laag	hoog
E-modulus van het verharde product	laag	hoog
kruip van het verharde product	hoog	laag
bindmiddelgehalte	relatief hoog	relatief laag
gebruik van hulpstoffen	niet of nauwelijks	ja
thermische uitzettingscoëfficiënt	kleiner	groter
noodzaak van dilataties	nee	ja

Tabel 1

Verschillen in eigenschappen tussen een natuurlijke hydraulische kalk en een puur cementgebonden mortel.

Producenten van droge prefab metselmortel hebben in de productie-installatie vaak meerdere silo's voor bindmiddel beschikbaar. Zij zijn dus ook in staat om op basis van natuurlijke hydraulische kalk een metselmortel te produceren.

Ook kunnen ze een mortel maken met eigenschappen die overeenkomen met die met natuurlijke hydraulische kalk, op basis van luchtkalk (gebrande zuivere kalksteen) met toevoeging van bijvoorbeeld de grondstof tras en/of een klein beetje cement.

Naast materiaaleigenschappen – zie de in Tabel 1 genoemde verschillen tussen cementmortel en mortel op basis van natuurlijke gebrande kalk – zijn er ook nog andere factoren van belang om een restauratie te laten slagen. Vaak speelt bij restauratieprojecten ook de vocht- en zoutbelasting van het te restaureren metselwerk een grote rol.

Om een restauratieproject te laten slagen, is het dan ook noodzakelijk dat een gedegen onderzoek wordt uitgevoerd naar het te restaureren object en dat in samenspraak met restauratiedeskundigen en de mortelproducent een mortelrecept wordt gekozen.

Noten

- 1 Een 'anti-smetmortel' is een mortel die wordt geleverd in de kleur van de steen (bij benadering), waardoor eventuele specieervuiling op de steen minder opvalt.
- 2 Opmerking redactie: hoge luchtgehalten werken echter nadelig op hechtsterkte en duurzaamheid.

SPOREN

Beschadigde baksteen hoeft niet altijd een technische oorzaak te hebben; het kan ook het gevolg zijn van menselijke activiteiten bij of rondom de muren waarin de steen verwerkt is. Zo zijn met name bij zij- en achtergevels van oude boerderijen veel slijp- en slijtagesporen aantoonbaar die wijzen op bepaalde handelingen of oude gebruiken die al tijden niet meer plaatsvinden, en nog slechts door een enkele oude boer kunnen worden toegelicht.

Andere sporen vertellen minder leuke historische verhalen. Zoals de kogelgaten of granaatinslagen die hun verwoestende werking hebben achtergelaten. Bijvoorbeeld in de Remonstrantse kerk te Rotterdam (onder, foto auteur) of de romaanse dorpskerk van Weidum (rechts, foto auteur). Begrip van de oorzaak van steenschade en herkenning van specifieke schadepatronen is daarom nodig om te voorkomen dat een deel van het historisch verhaal rondom een monument verloren gaat.

Albert Reinstra





10



Vochttransport tussen steen en mortel

Het grijze gebied tussen de stenen

De variatie aan materiaaleigenschappen in historisch metselwerk is groot. Het samenspel van metselmortel en steen – vooral inzake vochttransport – bepaalt in sterke mate de duurzaamheid van metselwerk. Dit hoofdstuk gaat in op de hygrische eigenschappen van deze materialen. Wat gebeurt er allemaal in en rond de voeg?

De hygrische kenmerken van steen en mortel bepalen het fysisch gedrag en de duurzaamheid van metselwerk. Eigenschappen zoals porositeit, waterabsorptie en droging zijn gerelateerd aan de structuur en porieverdeling van het materiaal. Steen en mortel zijn daarin verschillend. Om hierin inzicht te krijgen moet je de eigenschappen van de afzonderlijke materialen kennen. Metselstenen zijn los gefabriceerde materialen met een eigen karakteristiek die onveranderd blijft bij toepassing in metselwerk.

Mortel is – zoals men dat noemt – een in het werk gevormd materiaal waarvan de karakteristieken mede bepaald worden bij het metselen en uitharden tussen stenen of bij een laagvormige toepassing op een absorberende (steenachtige) ondergrond. De structuur van uitgeharde mortel is een van de belangrijkste factoren die het hygrisch gedrag van metselwerk beïnvloeden. Wat dat aangaat een grijs gebied tussen stenen, waarover in dit hoofdstuk meer informatie wordt gegeven.

KARAKTERISEREN VAN STENEN

In historisch metselwerk worden voornamelijk bakstenen als metselsteen gebruikt. Daarnaast kennen we

bijvoorbeeld ook kalkzandsteen. Deze kalkzandstenen zijn over het algemeen in de porieverdeling afwijkend van baksteen. Baksteen wordt gemaakt uit klei. Tijdens de productie wordt natte-plastische klei gevormd, gedroogd en gebakken tot steen. Bij het bakken ($T > 900\text{ °C}$) vinden smeltprocessen plaats in de klei, waarbij de stenen een kenmerkende uniforme porie verkrijgen. Naarmate een steen langer-harder gebakken wordt neemt het totale volume van poriën (porositeit) af. Dit wordt ook wel sintering genoemd.

Hoewel het porievolume afneemt, verkrijgt baksteen bij sintering een porievolume dat zich vaak kenmerkt door een uniforme poriegrootte.

Deze poriegrootteverdeling wordt gemeten met kwikintrusie (ofwel kwikporosimetrie), en uitgaande van een model van verschillende poriebuisen omgerekend naar een verdeling van poriediameters. Het porievolume van baksteen bestaat voornamelijk uit poriën met een (denkbeeldige) diameter van ongeveer 1-10 μm (en nauwelijks poriën die kleiner zijn dan 0,1 μm). Dat lijkt al heel klein, maar dat is toch nog relatief grof-poreus in vergelijking tot zogeheten microporiën (kleiner dan 0,01 μm). Dergelijke microporiën zijn bijvoorbeeld wel aanwezig in kalkzandsteen, mortel en beton.

Bij de productie van kalkzandsteen (en ook bij de uitharding van mortel) komt een chemische uithardingsreactie op gang waaruit cement- en kalksteenver-

Afbeelding 1

'Het grijze gebied tussen de stenen' (foto RCE).

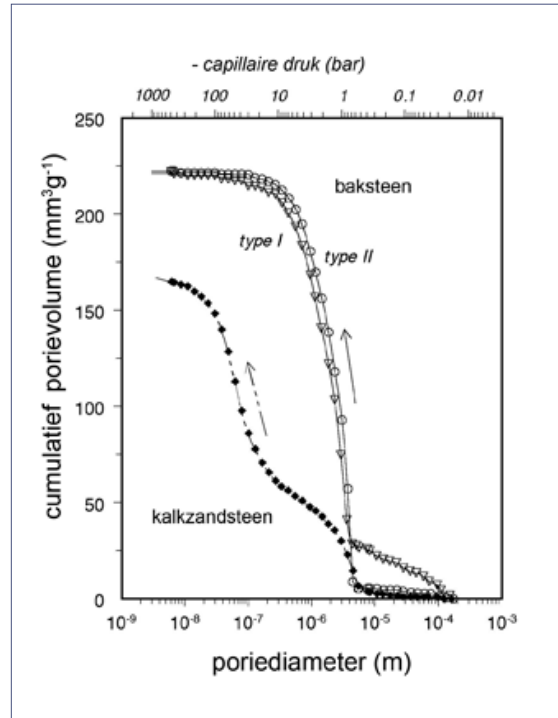
Afbeelding 2

Rek met de proefstukken voor de NMR-metingen (foto Harold Brocken).



Afbeelding 3

De gemeten poriegrootteverdeling van baksteen en kalkzandsteen.¹



bindingen ontstaan. In deze steenachtige verbindingen is de verdeling van poriegrootten meer verspreid vanaf 1 μm tot poriën kleiner dan 0,01 μm .

De verzameling van poriën in een steen bepaalt de eigenschappen bij waterabsorptie en droging. De modelgedachte van poriebuizen in een materiaal kan daarbij worden gebruikt om verschillen in hygrische eigenschappen en capillaire werking te verklaren. Als voorbeeld geeft Tabel 1 kengetallen voor een bepaald type baksteen en kalkzandsteen. Deze kengetallen zijn niet representatief voor alle stenen, maar het effect van porieverdeling op waterabsorptie in het materiaal wordt meteen duidelijk. Beide stenen hebben een vergelijkbare dichtheid, porositeit en capillair vochtgehalte.

Het capillair vochtgehalte is de hoeveelheid vocht dat in het materiaal wordt opgenomen door vrije waterabsorptie. Dit komt niet overeen met de porositeit (= totale porievolume) omdat bij vrije waterabsorptie ook lucht in de poriën van het materiaal blijft ingesloten. Dit effect is bij beide stenen vrijwel gelijk, echter de waterabsorptiecoëfficiënt en het Hallergetal (= snelheid

van wateropname) zijn voor baksteen bijna drie keer hoger dan voor kalkzandsteen. Dit komt omdat baksteen in verhouding grotere poriën heeft, waardoor in hetzelfde tijdsbestek meer water kan worden opgenomen dan via de kleinere poriën in kalkzandsteen.

De karakteristiek en snelheid van waterabsorptie van kalkzandsteen is vergelijkbaar met die van mortel. Er zijn ook bakstenen met een waterabsorptie die vergelijkbaar is met die van de kalkzandsteen in Tabel 1. Het gaat dan om stenen met kleinere poriën, bijvoorbeeld slap afgebakken strengpersstenen.

De stenen die in historisch metselwerk zijn toegepast, zijn van oudsher gebakken in zogenaamde vlamovens of nog oudere ring- en veldovens. Deze stenen zijn deels minder hard en minder homogeen gebakken en vertonen een poriestructuur en hygrische eigenschappen die meer overeenkomst hebben met de baksteen in Tabel 1.

Voor de capillaire werking van materialen zijn niet de grotere poriën, maar juist de kleinere poriën van belang. De capillaire (opzuig)kracht is omgekeerd gerelateerd aan de poriediameter. Hoe kleiner de porie, hoe

groter de capillaire kracht, en hoe hoger bijvoorbeeld de opzuighoogte. Dit is met name belangrijk bij het metselen en bij het aanbrengen van pleisterlagen op een poreuze ondergrond.

Allereerst verliest natte specie overtollig water aan de steen totdat de specie zelf vocht gaat vasthouden. Naarmate de steen kleinere poriën bevat, oefenen deze een grotere capillaire opzuigkracht uit en zullen meer water uit de specie kunnen onttrekken dan stenen met alleen grotere poriën. De opzuiging in kleine poriën gaat weliswaar trager, maar is tegelijk sterker. De capillaire kracht van poriën is ook bepalend bij het vochttransport tussen aangrenzende poreuze materialen. Deze zullen het aanwezige vocht onderling zodanig verdelen dat de capillaire krachten in beide materialen gelijk zijn.

KARAKTERISEREN VAN MORTEL

Mortel heeft zoals gezegd een heel andere structuur dan steen. Uitgeharde mortel bestaat grofweg uit drie bestanddelen; inert toeslagmateriaal (zand), de matrix (zoals cementsteen) dat de zandkorrels bij elkaar houdt en holle ruimtes.

Het totale porievolume in mortel bestaat uit de som van de holle ruimte en het volume van de (micro)poriën in de cementsteen. Door de omvang van de holle ruimte zal deze bepalend zijn voor de totale porositeit van mortel. Maar de karakteristiek van de minder omvangrijke (micro)poriën in cementsteen is daarentegen bepalend voor meerdere hygrische eigenschappen.

Er zijn te veel mortelvarianten mogelijk om deze in het kort te kunnen karakteriseren. Allereerst varieert het gehalte zand (vorm en korrelverdeling), bindmiddel (cement en/of kalk) en water, afhankelijk van de toepassing en verwerking van mortel. Dit geeft een groot verschil in pakking van de zandkorrels en ook van de hoeveelheid uitgeharde cementsteen rondom deze korrels.

Ten tweede varieert de samenstelling van het bindmiddel en dus ook de morfologie (= vorm en structuur) en microporiën in de uitgeharde cementsteen. In de oudheid was er geen cement beschikbaar en werd kalk gebruikt als bindmiddel. Tegenwoordig is deze zogenaamde luchtkalk ($\text{Ca}(\text{OH})_2$) als een zuiver bouwproduct beschikbaar. Echter, voordat dit als (pre)industriële product werd vervaardigd, bevatte de beschikbare kalk en andere toeslagmaterialen extra bestanddelen (zoals vulkanische as, tras, steengruis) die medebepalend waren voor de uithardingsreactie en de hoedanigheid van de uitgeharde mortel.

	ρ (kg/m^3)	$W_{\text{cap.}}$ (m^3/m^3)	$W_{\text{verz.}}$ (m^3/m^3)	$S_{28\text{dgn}}$ ($\text{kg/m}^2\text{s}$)	Ha ($\text{kg/m}^2\text{min}$)
Baksteen	1.630	0,27	0,36	0,43	3,3
Kalkzandsteen	1.730	0,27	0,34	0,16	1,2
Cementmortel	1.770	0,19	0,27	0,17	1,3
Bastaardmortel	2.000	0,22	0,25	0,16	1,2

Tabel 1

Dichtheid (ρ), capillair vochtgehalte ($W_{\text{cap.}}$), porositeit ($W_{\text{verz.}}$), waterabsorptiecoëfficiënt ($S_{28\text{dgn}}$) en Hallergetal (Ha) van de beproefde baksteen, kalkzandsteen, cementmortel en bastaardmortel (voor samenstelling zie onder 'karakteriseren van mortel').¹

In feite is er in historisch metselwerk veelal gebruikgemaakt van kalkmortel met natuurlijk (licht) hydraulische eigenschappen. In de negentiende eeuw werd cement als bindmiddel uitgevonden en vooral vanaf begin twintigste eeuw vanwege de hoge aanvangsterkte bij uitharding ook snel in omvangrijke mate bij bouwwerken toegepast. Om met cement een goed verwerkbaar (smeuige) metselmortel te verkrijgen, werd daaraan een vergelijkbaar gehalte kalk toegevoegd, in een zogenaamde bastaardmortel. Met talloze variaties in toeslagmaterialen en aanmaakverhouding zand-cement-kalk-water zijn dergelijke bastaardmortels en mortels op basis van (natuurlijke) hydraulische kalk een standaard voor historisch metselwerk.

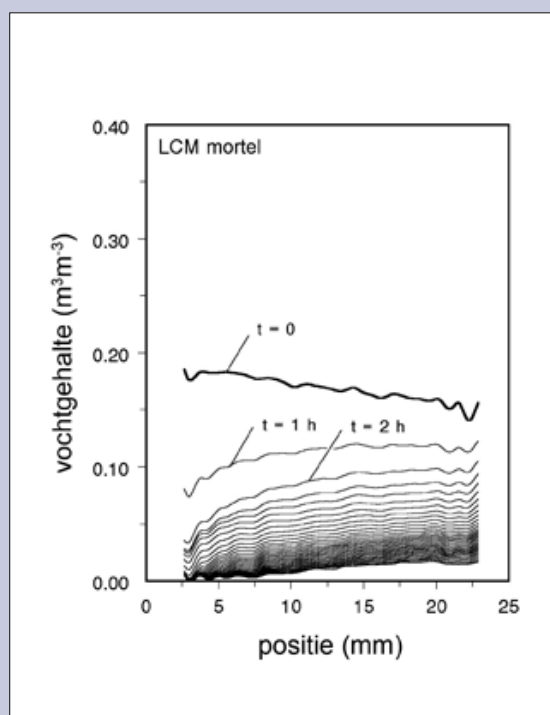
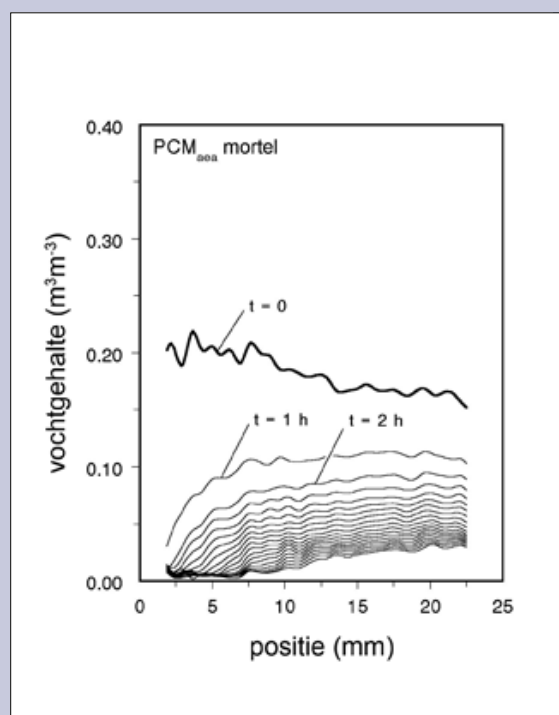
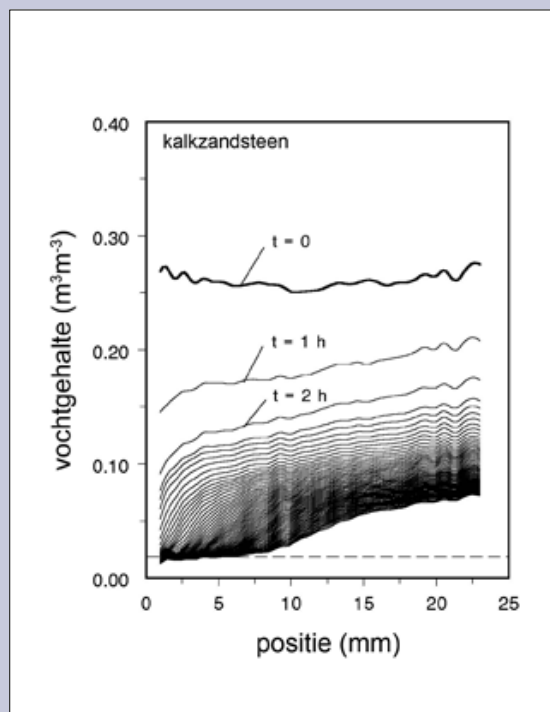
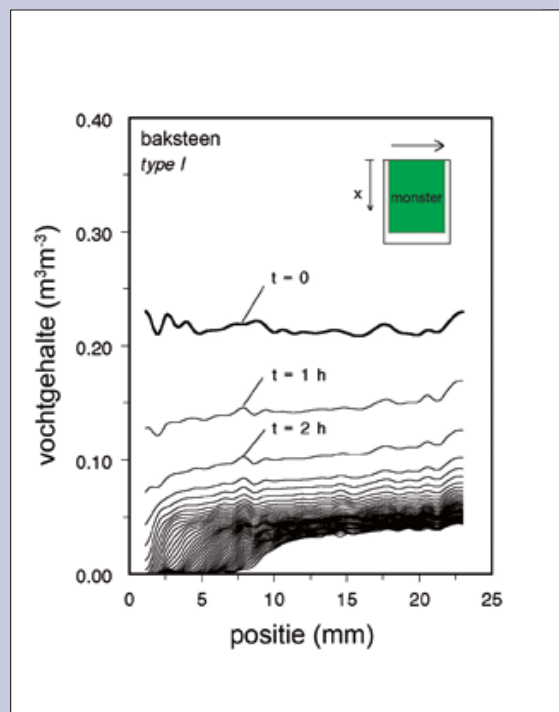
Cement is het bindmiddel in beton, en met de ontwikkeling van beton als bouwproduct werd ook de verwerkbaarheid van cementmortel verbeterd door toevoeging van additieven (in eerste instantie met name luchtbelvormer). Deze cementgebonden fabrieksmortels (uit fabrieksmatige vervaardigde grondstoffen) werden gebruikt bij de explosieve groei van sociale woningbouw en ander projecten in de twintigste eeuw. Cementgebonden mortels vindt men zodoende vaak terug in het metselwerk van bouwwerken uit deze periode.

Om de eigenschappen van mortel te bepalen, worden daarvan op het laboratorium zogeheten mortelbalkjes (40 x 40 x 160 mm) vervaardigd. Daaraan komt geen steen te pas. Mortelbalkjes worden gevuld in speciale mallen. De verse mortelspecie wordt daarin optimaal verdicht en hardt uit onder ideale omstandigheden zonder dat specievocht wordt onttrokken.

De karakteristieken van cementmortel en bastaardmortel (kalk-cement) zijn aanvullend opgenomen in Tabel 1. De volumefractie cement-zand is in beide mortels gelijk (1:4,5) met eveneens een vergelijkbare water-cementfactor van 1,5. In de bastaardmortel is ex-

Afbeelding 4

Vochtprofielen (elk uur) bij éézijdige droging van baksteen (links boven), kalkzandsteen (rechts boven), cementmortel (PCM_{sea}) (links onder) en bastaardmortel (LCM) (rechts onder). Bij aanvang van de droging ($t=0$) zijn de materialen verzadigd.¹



Afbeelding 5

NMR-apparatuur (nucleair magnetische resonantie) waarmee het drooggedrag van steen en mortel is gemeten (foto Harold Brocken).

tra kalk als bindmiddel toegevoegd (cement-kalk-zand = 1:0,7:4,5). Het totaal bindmiddelgehalte in de bastaardmortel is daardoor hoger, hetgeen tot uiting komt in een enigszins hogere dichtheid en lagere porositeit.

De waterabsorptiecoëfficiënt en Hallergetal van beide mortels zijn identiek. Deze zijn met name gerelateerd aan de water-cementfactor. Naarmate meer aanmaakwater in de mortelspecie wordt gebruikt, blijft er (bij deze uitharding in het laboratorium waarbij geen water wordt afgestaan aan stenen) na cementhydratatie ook meer overtollig water achter. Dit water laat na verdamping uit de mortelstructuur poriën in de cementsteen na. Juist deze poriën bepalen de snelheid van waterabsorptie, die toeneemt bij een hogere water-cementfactor.

Wat bovendien opvalt bij de bastaardmortel met een hoger bindmiddelgehalte, is het capillair vochtgehalte (hoeveelheid vrije waterabsorptie) dat hoger is dan bij cementmortel en verhoudingsgewijs ook veel dichter de porositeit benadert. Dit betekent dat de bastaardmortel een beter vochttransport heeft, waarbij het inwendige transport van water als vloeistof in mindere mate wordt verstoord door luchtinsluitingen.

De porositeit en waterabsorptie van beide mortels in de mortelbalkjes is duidelijk lager dan voor baksteen. Dit sluit aan bij wat men in praktijkproeven ziet gebeuren, als bij waterabsorptie aan de voorzijde van metselwerk het vochtfront in de mortelvoegen achterblijft ten opzichte van het zich sneller verplaatsende vochtfront in de steen.

DROOGGEDRAG VAN STEEN EN MORTEL

Het verschil in drooggedrag tussen steen en mortel is het beste toe te lichten uitgaande van vochtprofielen in het materiaal tijdens droging. Voor de steen- en mortelvarianten uit tabel 1 zijn deze profielen gemeten met speciaal daarvoor ontwikkelde magnetische resonantie tijdens éézijdige droging startend vanaf verzadiging (afb. 5). De profielen zijn weergegeven in afbeelding 4.

Voor baksteen blijven de vochtprofielen de eerste uren vlak vanaf $t=0$ (verzadiging). Het vochttransport in de steen is optimaal en de droogsnelheid wordt bepaald door verdamping aan het oppervlak van de steen. Na enkele uren wordt het oppervlak van de steen droger dan de kern. Na ongeveer 7 uur is het oppervlak droog



en ontstaat in de steen een intrekend vochtfront/droogfront. De droogsnelheid wordt dan niet meer bepaald door de verdamping aan het oppervlak van de steen, maar door de inwendige vereffening van vocht (ofwel vochtgeleiding) in de steen.

Naarmate het vochtgehalte afneemt, wordt het aanengesloten transport van vloeistof in poriën verbroken. Meerdere poriën vallen droog, waardoor verdergaande droging van vocht uit achterliggende poriën wordt bepaald door het damptransport door deze open poriën. Het vochtgehalte waarbij deze omslag optreedt, wordt ook wel het kritisch vochtgehalte genoemd.

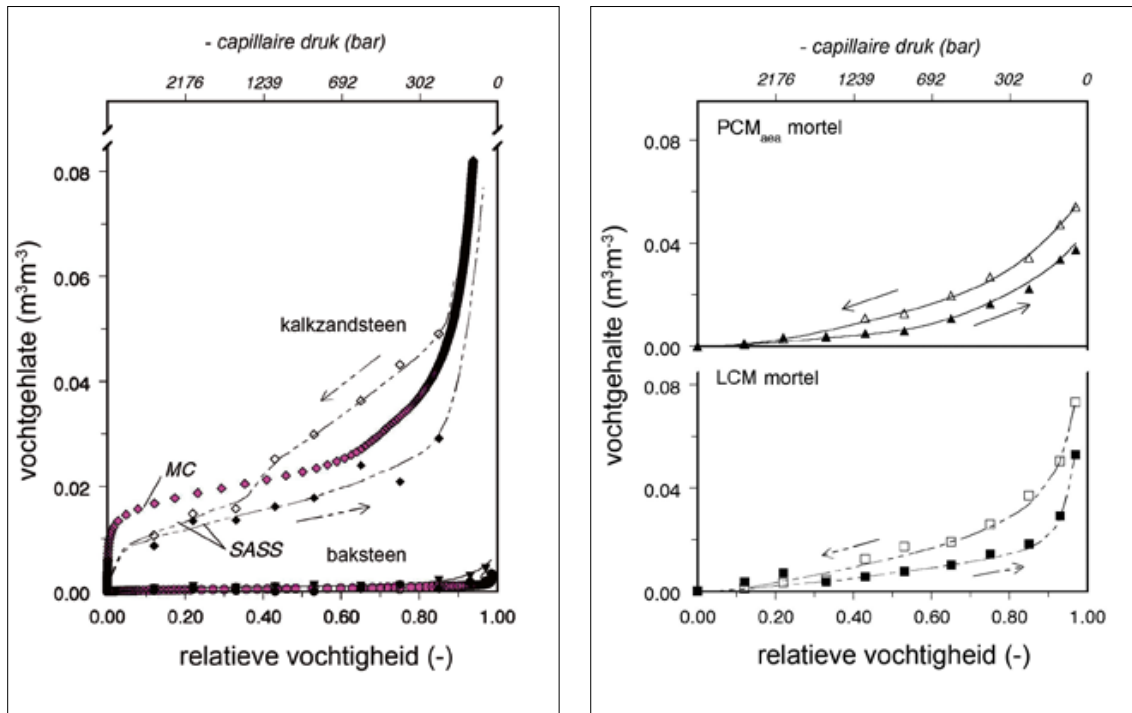
Damptransport is vele malen trager dan vloeistoftransport door poriën; zelfs na 48 uur is er op 1 cm diepte in de steen nog steeds een restvochtgehalte. Volledige éézijdige droging van baksteen (10 cm dik) duurt zodoende enkele weken.

Ook in kalkzandsteen ontstaat bij éézijdige droging een droogfront met een vergelijkbaar kritisch vochtgehalte van het materiaal. In tegenstelling tot de waterabsorptie hebben beide stenen dus wel een vergelijkbare droogsnelheid. Hierin is niet de poriegrootte bepalend, maar de bereikbaarheid van poriën (ofwel het onderlinge capillaire contact). Zodra een deel van het porievolume in de stenen alleen ontsloten wordt via grotere poriën die reeds droog staan, wordt damptransport in poriën namelijk bepalend voor de verdere vochtvereffening.

Op dezelfde manier zijn in afbeelding 4 ook vochtprofielen gegeven voor éézijdige droging van de ce-

Afbeelding 6

Links: de hygroscopische curve (adsorptie en desorptie) van baksteen en kalkzandsteen. Hierbij zijn twee meettechnieken gebruikt, namelijk het evenwichtsvochtgehalte bij verzadigde zoutoplossing en microcalorimetrie. Rechts: de hygroscopische curve (adsorptie en desorptie) van cementmortel (PCM_{baa}) en bastaardmortel (LCM).¹



mentmortel en bastaardmortel uit Tabel 1. De profielen van beide mortels zijn onderling vergelijkbaar, maar wel duidelijk vlakker dan voor beide stenen.

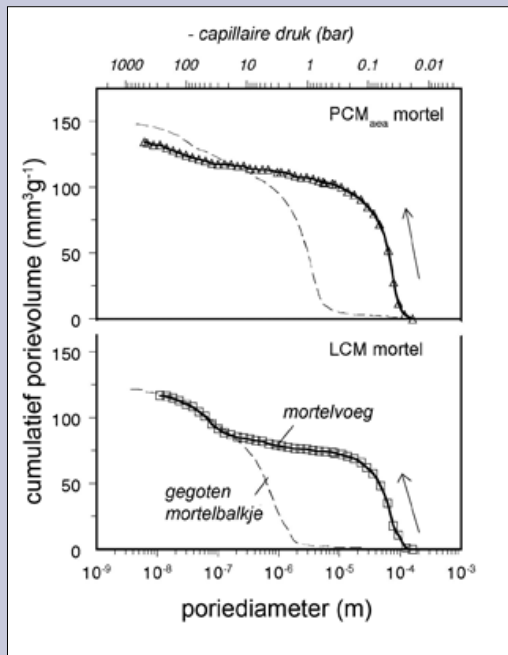
De vereffening van vocht in mortel verloopt sneller (betere vochtgeleiding) dan in steen en daardoor is mortel sneller droog. Blijkbaar vormt de cementsteen een doorgaand netwerk in de mortelstructuur. De microporiën in cementsteen die enerzijds voor zorgen dat de waterabsorptie in mortel trager is dan in steen, zorgen anderzijds ook voor een goede verbinding van alle poriën waardoor altijd transport van vloeistof mogelijk blijft.

Deze microporiën zijn weliswaar klein, maar het vochttransport als vloeistof is in deze kleine poriën vele malen sneller dan damptransport in grotere poriedoorsnedes die droog staan. In metselwerk zullen stenen (uitgaande van een goede hygrische aansluiting tussen steen en metselmortel en tussen metselmortel en voegmortel) zodoende sneller via de voegen drogen dan via het oppervlak van de stenen zelf. Dit is een bekend gegeven uit verschillende onderzoeken naar het vochttransport van metselwerk.¹

EVENWICHTSVOCHTGEHALTE EN HYGROSCOPISCH VOCHT

Met waterabsorptie en droging zijn in de voorgaande paragrafen belangrijke karakteristieken van het vochttransport in steen en mortel besproken. Ook zonder wateropname kan er toch vocht in een poreus materiaal aanwezig zijn. Het gaat dan om het zogenaamd evenwichtsvochtgehalte van het materiaal. De naam zegt het al: dit is het vochtgehalte in het materiaal in evenwicht met de omgevingsconditie zijnde de relatieve luchtvochtigheid en temperatuur. Een poreus materiaal is zelden volledig droog, tenzij het in een oven geforceerd gedroogd is. In de omgevingslucht is een bepaalde dampconcentratie aanwezig (uitgedrukt als relatieve luchtvochtigheid). De maximale dampconcentratie neemt af als de temperatuur daalt.

Dit effect zien we bijvoorbeeld terug als condensatie van binnenlucht op een koude glasplaat. Op het oppervlak van de glasplaat is de maximale dampconcentratie lager dan die in de lucht, waardoor de damp condenseert. In poriën is de maximale dampconcentratie ook

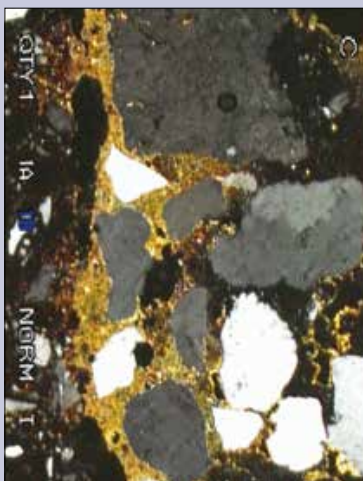
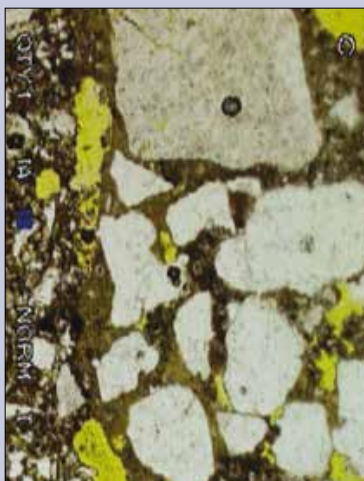
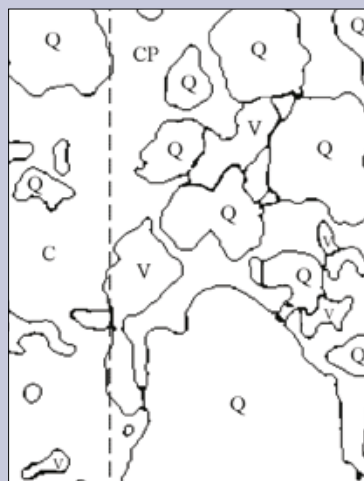
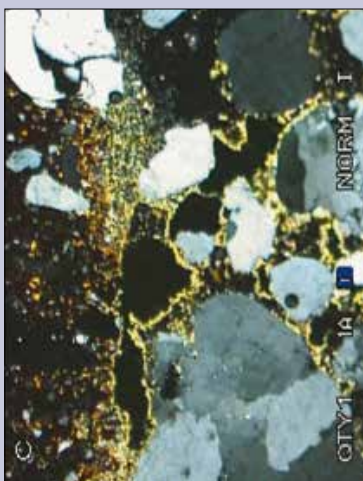
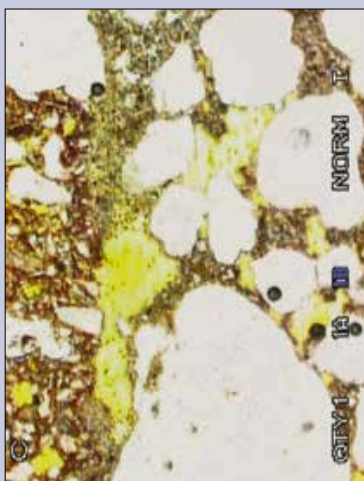


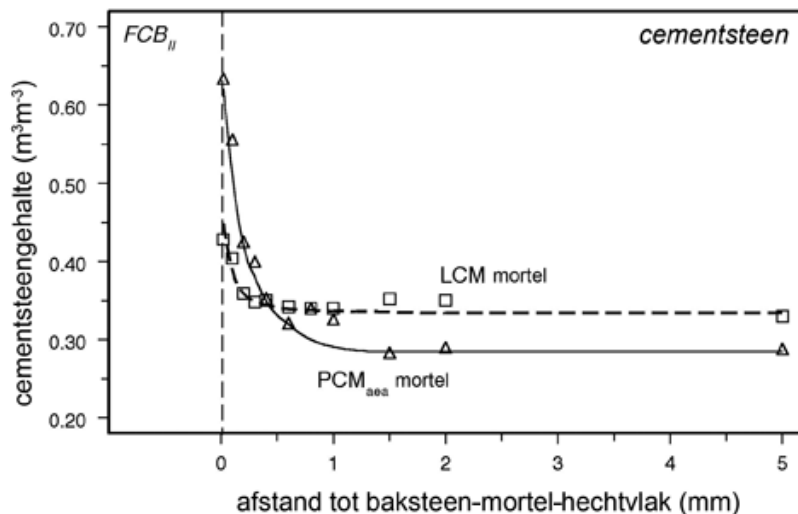
Afbeelding 7 (links)

Gemeten poriegrootteverdeling van mortelvoegen van cementmortel (PCM_{aoo}) en bastarmortel (LCM). De gestreepte curve toont de poriegrootteverdeling van dezelfde mortels, maar dan uitgehard als mortelbalk in een mal van 40 x 40 x 160 mm.¹

Afbeelding 8 (onder)

Microscopische opnamen van het steen-mortelgrensvlak voor cementmortel (bovenste rij) en bastarmortel (onderste rij). De opnamen zijn gemaakt met polarisatie-microscopie en tonen een vlak van 2,7 x 1,8 mm. Om carbonatie (kalksteen) als lichtgevend (fluorescerend) bestanddeel te visualiseren, zijn de middelste opnamen afgebeeld met zogenaamde cross-polarisatie. De laatste afbeelding in de rij toont de contouren van de verschillende bestanddelen Q (quartz) = zand(korrels), V (voids) = holle ruimte, CP (cement paste) = cementsteen, en C (clay) = baksteen. De verticale stippellijn markeert het grensvlak steen-mortel.¹





Afbeelding 9

De volumefractie cementsteen in de mortelstructuur als functie van de afstand tot het steen-mortelgrensvlak in zowel cementmortel (PCM_{aea}) als bastaadmortel (LCM).¹

lager. Weliswaar niet vanwege een lagere temperatuur, maar als gevolg van de poriediameter. Naarmate deze kleiner zijn, neemt boven de gekromde meniscus van het vochtoppervlak in poriën de maximale dampconcentratie af.

Als de dampconcentratie van de omgevingslucht die in de poriën binnendringt hoger is dan de maximale waarde, ontstaat wat men noemt capillaire condensatie. Deze capillaire condensatie vult de kleinste poriën tot een bepaalde diameter met vocht totdat evenwicht is bereikt met de dampconcentratie van de omgevingslucht (weergegeven in de relatieve luchtvochtigheid). Bij toenemende luchtvochtigheid neemt ook het evenwichtsvochtgehalte toe, gerelateerd aan de poriegrootteverdeling in het materiaal.

Het evenwichtsvochtgehalte als functie van de relatieve luchtvochtigheid, de zogenaamde hygroscopische curve, is weergegeven in afbeelding 6. Hieruit blijkt dat materialen met kleinere poriën zoals kalkzandsteen en mortel door capillaire condensatie een hoger evenwichtsvochtgehalte hebben dan baksteen. Door de grotere poriën in baksteen is het evenwichtsvochtgehalte nihil, zelfs bij hoge relatieve luchtvochtigheid.

De hygroscopisch vochtgehalten als functie van luchtvochtigheid worden in de praktijk ook vaak bepaald om de mogelijke aanwezigheid van zouten in metselwerk te controleren. Het hygroscopisch vochtgehalte in baksteen is nihil. Echter, zodra er in de poriën zout aanwezig is, bepaalt dat het evenwichtsvochtgehalte. In historisch metselwerk (met zacht gebakken stenen) wordt onder andere Na₂SO₄ of andere complexe zoutvormen aangetroffen. Zuiver Na₂SO₄ zal vanaf een

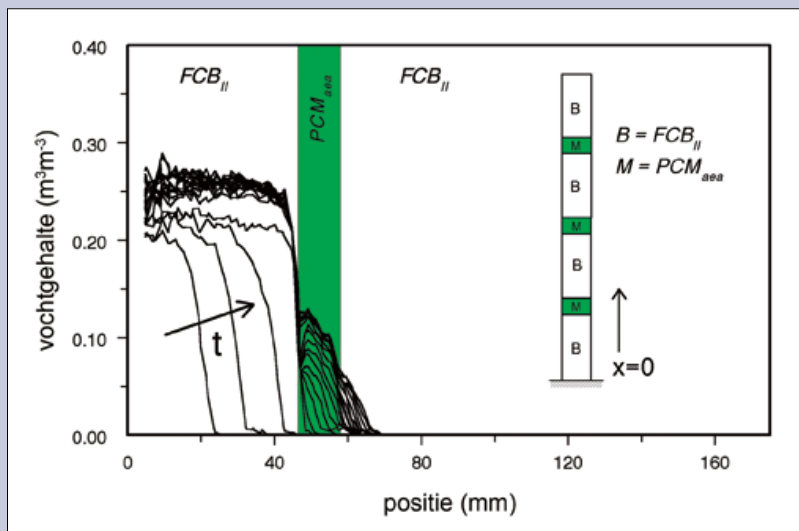
relatieve luchtvochtigheid van 0,75 (en hoger) water aan zich binden om in de poriën van de steen een zoutoplossing te vormen. Een verhoogd evenwichtsvochtgehalte in baksteen is zodoende een indicatie voor de aanwezigheid van zouten.

METSELEN EN MORFOLOGIE VAN MORTELVOEGEN

Tot op heden is uitgegaan van mortel als homogeen materiaal. Voor mortelbalkjes vervaardigd in een mal is dit juist, maar voor mortelvoegen die uitharden tussen stenen (of pleisterlagen op een poreuze ondergrond) geldt dat niet. Hier is sprake van een verdichte grenslaag in de mortelvoeg. Deze grenslaag ontstaat tijdens het metselen. Doordat stenen vocht onttrekken uit de natte specie, verzamelen de kleinste oplosbare mortelbestanddelen zich in een verdichte pakking tegen de steen.

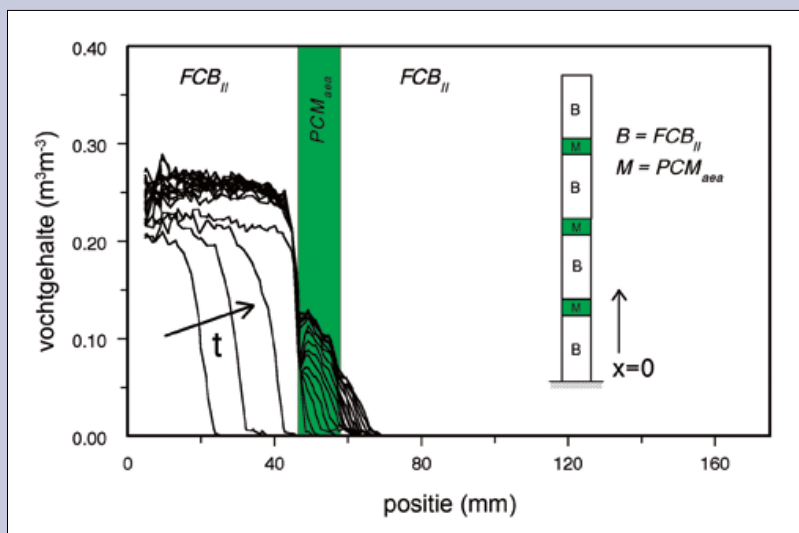
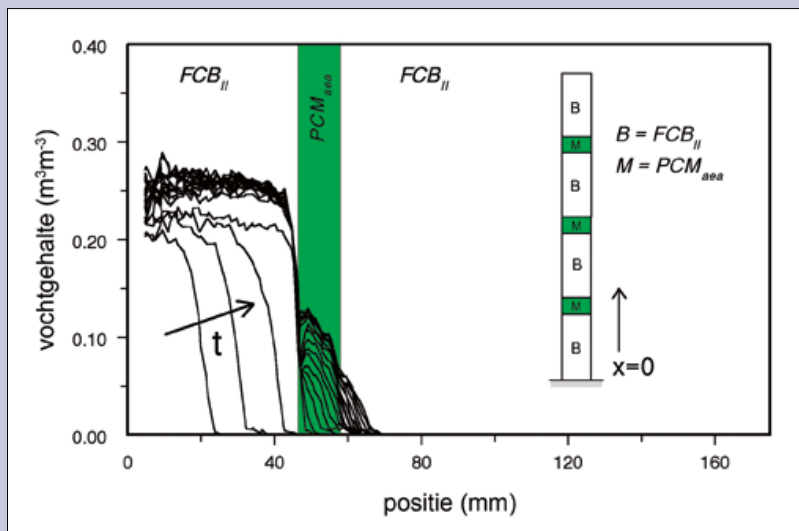
Tijdens het metselen wordt relatief snel veel vocht uit de natte specie onttrokken. Binnen enkele minuten is de grootste hoeveelheid vocht opgenomen in de metselsteen. Bij gebruik van baksteen (snelle waterabsorptie) heeft de mortelvoeg dan al het eindvochtgehalte bereikt en vindt verdere uitharding plaats. Bij een metselsteen zoals kalkzandsteen (trage waterabsorptie, maar met meer capillaire kracht door kleine poriën) gaat het onttrekken van vocht uit de specie nog door. In dat geval bestaat het risico dat de specie verbrandt doordat te weinig speciewater overblijft voor uitharding.

Uitgaande van historisch metselwerk met baksteen, is het vooral interessant te kijken naar het effect van morteltype. In dat geval heeft bastaadmortel door toevoeging van kalk van nature een hogere waterreten-

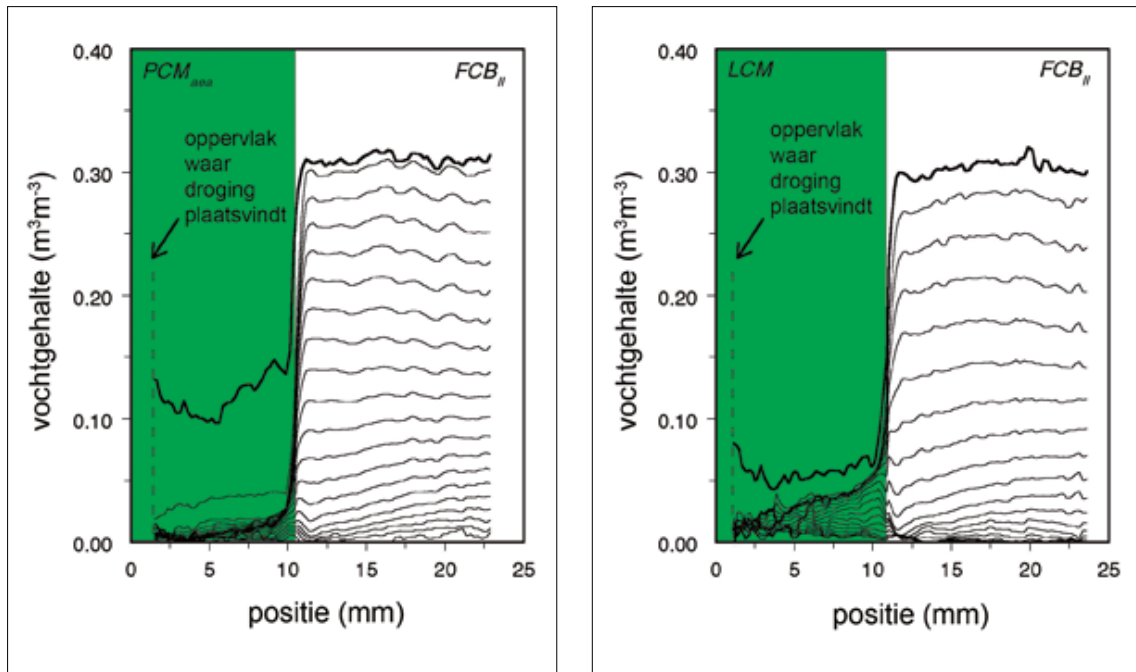


Afbeelding 10

Vochtprofielen bij waterabsorptie via optrekkend vocht in metselwerk uitgevoerd met cementmortel (PCM_{aas}) en bastaardmortel (LCM).¹



Vochtprofielen (eenmaal per uur gemeten) bij éézijdige droging van baksteen via de mortelvoegen voor zowel cementmortel (PCM_{sea}) (links) als bastarmortel (LCM) (rechts). Bij aanvang van de droging (t=0) zijn de materialen verzadigd.¹



tie (vasthouden van speciewater), waardoor meer water beschikbaar blijft voor uitharding van de mortelvoeg. Voor de cementmortel en bastarmortel waarmee in dit geval proeven zijn uitgevoerd, houdt de bastarmortel vijf keer meer speciewater vast.

Met deze kengetallen lijkt het voor de hand te liggen dat het metselen – en met name het verschil in onttrekken van vocht uit cementmortel en bastarmortel – ook verschil geeft in de dikte van de grenslaag. Dit blijkt niet zo te zijn. In beide morteltypen blijkt het effect van verbeterde pakking van mortelbestanddelen (met name cementdeeltjes) zichtbaar tot in een zone van 1-1,5 mm grenzend aan de metselsteen; zie afbeelding 9 waarin het gehalte cementsteen als functie van afstand tot de steen is uitgezet.

Een ander effect van metselen is de verminderde pakking in de uitgeharde structuur van mortelvoeg. Door het onttrekken van vocht vormen de zandkorrels sneller een vaste pakking, waardoor grotere holle ruimtes ontstaan; de mortelstructuur is minder verdicht. Dit is duidelijk zichtbaar in de vergelijking van poriegrootteverdeling tussen mortelbalkjes en mortelvoegen van beide morteltypen (afb. 7).

Voor mortelbalkjes zijn de kleinste poriën in cementsteen bepalend voor de porositeit; deze varieert als functie van het gehalte aan bindmiddel (meer of minder microporiën). Echter in mortelvoegen (slechte verdichting) wordt de porositeit bepaald door de holle ruimte en de poriegrootteverdeling van cementmortel en bastarmortel die hier gebruikt zijn, zijn vergelijkbaar. Deze poriegrootteverdeling is eenvoudig meetbaar, maar niet als enige bepalend voor het onderlinge vochttransport tussen steen en mortel. Dit vochttransport wordt met name bepaald door kenmerken van de grenslaag.

De morfologie van de grenslaag in mortelvoegen is afhankelijk van het bindmiddel van de mortel. Het gaat dan met name om de morfologie van de cementsteen. Bij microscopische analyse van de bastarmortel blijkt dat de grenslaag in hoge mate verdicht is door carbonatatie van de cementsteen. Vanuit de bindmiddelsamenstelling is in bastarmortel veel vrije kalk aanwezig. Met lucht en CO₂-toevoer via de steen treedt deze carbonatatie met name op in de grenslaag. Dit is zichtbaar in afbeelding 8 door de fluorescentie (gele kleur) van de cementsteen in de grenslaag. Als gevolg van carbona-

tatie raakt de cementsteen in de grenslaag verdicht en wordt verdergaande diffusie van lucht en CO₂ vanuit de steen naar de mortelvoeg gehinderd. Buiten de grenslaag neemt de carbonatatiegraad zodoende snel af.

In tegenstelling tot bastaardmortel is de cementsteen in cementmortel niet of nauwelijks verdicht door carbonatatie. In de cementmortel is vrije kalk niet als bestanddeel toegevoegd, maar alleen beschikbaar als reactieproduct vanuit cementshydratatie. Door deze geringe hoeveelheid vrije kalk zie je dat de carbonatatie in cementmortel beperkt blijft op randen van cementsteen dat grenst aan holle ruimtes in de mortelstructuur; zie de fluorescentie in afbeelding 8.

Deze carbonatiegraad beperkt zich niet tot de grenslaag maar is gelijkmatig aanwezig in de hele mortelvoeg. Logisch, want in dit geval is geen sprake van extra verdichting van cementsteen, waardoor diffusie van lucht en CO₂ ook gelijkmatig in de hele mortelvoeg doordringt.

VOCHTTTRANSPORT IN MORTELVOEGEN

Na bovenstaande uitvoerige bestudering van de structuur en morfologie van mortelvoegen zijn verschillen in de karakteristiek van vochttransport in metselwerk beter te begrijpen. (Dat hygrische eigenschappen van mortelbalkjes hiervoor onvoldoende informatie geven, moge inmiddels duidelijk zijn.)

Het vochttransport in metselwerk is driedimensionaal, maar voor het effect van de structuur van mortelvoegen geeft een ééndimensionaal experiment van waterabsorptie en droging voldoende inzicht. Allereerst is optrekkend vocht (waterabsorptie) nagebootst. De corresponderende profielen in metselwerk uitgevoerd met cementmortel en bastaardmortel zijn weergegeven in afbeelding 10.

Het blijkt dat het optrekkend vocht door de bastaardmortel zeer sterk vertraagd wordt, waarbij in het experiment na twee dagen nog nauwelijks vocht is opgenomen in de tweede baksteenlaag. Dit is een gevolg van de verdichte grenslaag in deze mortelvoegen die de doorgaande waterabsorptie zeer sterk beperkt. In metselwerk met cementmortel verloopt de waterabsorptie sneller. Uiteraard wordt de snelheid van waterabsorptie niet bepaald door de steen maar door de mortelvoegen, maar het vertragend effect van de grenslaag in de mortelvoegen van cementmortel is in dit geval duidelijk minder.

Tot slot is het effect van de grenslaag in mortelvoegen beoordeeld bij droging van metselwerk. Hierbij blijkt dat het verschil tussen de cementmortel en bastaardmortel in dit geval gering is. Afbeelding 11 laat

vochtprofielen zien bij éézijdige droging van baksteen via mortelvoeg. Bij beide morteltypen droogt de baksteen even snel in het tempo dat door de mortelvoeg wordt bepaald. De microporiën in cementsteen die ook de snelheid van waterabsorptie beperken, zijn nu vanwege de goede verbondenheid (met vloeistoftransport in de poriën) bepalend voor een gelijkmatig doorgaande droging. De mate van verdichting van het porienetwerk in de cementsteen is daarbij niet meer maatgevend.

ALGEMENE OPMERKING

De variatie van materiaaleigenschappen in historisch metselwerk is zeer groot. De metingen van vochttransport die in dit hoofdstuk worden genoemd, fungeren als indicatie om verschillen in historisch metselwerk te benoemen en verklaren. Bij andere combinaties van steen en mortel en bij sterk afwijkende mortelsamenstellingen zullen de kengetallen veranderen. Ook de hoedanigheid van metselwerk – met een driedimensionale structuur van metselverband, metselmortel, voegmortel en een hygrische aansluiting die niet altijd perfect is – zorgt ervoor dat vochttransport in de praktijk complexer verloopt dan in de voorgestelde metingen. Maar de interpretatie van het (hygrisch) gedrag en de duurzaamheid berust op de kenmerkende transportprincipes zoals die hier zijn beschreven.

Literatuur

- Brocken, H.J.P., 1998, *Moisture transport in brick masonry: the grey area between bricks*, Proefschrift Technische Universiteit Eindhoven.

Noten

- 1 Bron: Brocken, 1998.

11



Schade door vocht, vorst en zouten

Fenomenen verklaard

Welke schade komt er voor bij historisch metselwerk? Wat zijn de oorzaken? In dit hoofdstuk worden schadebeelden beschreven en getoond en de achterliggende processen uitgelegd. Een overzicht. Ook bespreken de auteurs waarop je bij herstel en onderhoud alert moet zijn, waarmee je rekening moet houden en welke vooronderzoeken misschien nodig zijn.

Bij de instandhouding van historische gebouwen worden randvoorwaarden gesteld vanuit conserveringstechnische invalshoek. Denk aan eisen wat betreft het behoud van historische materialen, de compatibiliteit van de interventie of behandeling met de historische materialen. Ook behoud van uitstraling kan worden benoemd.

Of historisch materiaal duurzaam kan worden behouden – en daarmee de authenticiteit daarvan – hangt er in sterke mate vanaf of er degradatieprocessen plaatsvinden en in hoeverre de ingrepen bij restauratie of onderhoud compatibel zijn met de historische bouw-massa. Een ingreep of behandeling is ‘compatibel’, wanneer die geen nieuwe schade veroorzaakt (technisch of esthetisch) aan het historische materiaal. De ingreep of het nieuwe materiaal dient daarbij zelf een zo lang mogelijke levensduur te hebben.¹

De eerste stap bij een interventie is vaststellen of er sprake is van degradatieprocessen, en zo ja: welke. Hierna worden de voornaamste schadetypen en de daar achterliggende processen behandeld die in historische gebouwen kunnen voorkomen.

Afbeelding 1

Door vorstschade kan voegwerk uitgedrukt worden en kunnen schillen van het metselwerk afspringen (foto RCE, Michiel van Hunen).

SCHADEMECHANISMEN EN -TYPEN

Welke soorten schade (processen en typen) aan historisch metselwerk komen vooral voor? Dat is samengevat in Tabel 1 en wordt verderop in deze tekst toegelicht.

CONSTRUCTIEVE PROCESSEN

Bij schademechanismen die de constructieve veiligheid van gebouwen in gevaar kunnen brengen moet uiterst zorgvuldig worden omgegaan, of er nu sprake is van constructieve oorzaken of van mogelijke constructieve gevolgen.

De ‘constructieve’ schadeverschijnselen omvatten vooral bepaalde scheurpatronen, die ook nog eens kunnen samengaan met vervormingen. De eerste belangrijke stap in het diagnoseproces van dergelijke verschijnselen is een visuele opname en analyse van het schade- c.q. scheurpatroon (zie ook het hoofdstuk over diagnose van scheuren etc.). Soms zijn schadeverschijnselen met een ‘constructief’ uiterlijk veroorzaakt door vochtgerelateerde processen, waarover verderop meer.

Fysisch-chemische en biologische processen

Schade en verwerking ontstaan vooral door fysisch-chemische factoren als water, vorst, luchtvervuiling, overstroming en dergelijke. Dit meestal in samenspel met gedrag en eigenschappen van de toegepaste materialen. De aantastingsprocessen die onder dergelijke

omstandigheden actief zijn, hebben allemaal te maken met de aanwezigheid van vocht. RILEM Commissie TC COM noemt de volgende processen:²

- vries-dooi-cycli;
- zoutkristallisatie-cycli;
- chemische omzetting (resultierend in expansieve verbindingen: o.a. door droge en natte depositie van luchtverontreinigingen als SO₂, NO₂, vliegias, roet);
- oplossen en uitlogen;
- wind- en watererosie;
- hygroscopische vochtopname door zouten;
- biodegradatie;
- uitzetting en krimp onder invloed van vocht- en temperatuurwisselingen.

Dergelijke processen hebben veelal ook te maken met materiaaleigenschappen en -kwaliteit. Ze kunnen leiden tot schadetypen als getoond in afbeelding 2 tot en met 5:³

- zoutuitbloei (efflorescence): afzetting van zoutkristallen op het oppervlak van het materiaal (in tegenstelling tot afzetting in het materiaal: cryptoflorescentie) (afb. 2);
- delaminatie (delamination) en afladderen of exfoliatie (exfoliation). Bij het eerste gaat het om laagvorming (meer dan één laag) in een materiaal met een oorspronkelijk gelaagde structuur. Bij het tweede om een vergelijkbaar soort laagvorming, echter in een materiaal met een oorspronkelijk niet gelaagde structuur (afb. 3);
- poederen (powdering): de deeltjes van baksteen of natuursteen zijn niet meer samengebonden; het materiaal vervalt tot poeder (afb. 4);
- biologische groei (biological growth): zowel hogere planten als kleine biologische organismen kunnen in en op metselwerk groeien (afb. 5).

Naast de verschijningsvormen van de schade – die een aanwijzing zijn voor de aard van het degradatieproces – zijn de omstandigheden waaronder de schade zich heeft ontwikkeld van groot belang bij een eventuele aanpak.

Hierna worden verschillende fysisch-chemische vochtgerelateerde schadeprocessen in detail behandeld.

VOCHTGERELATEERDE SCHADEPROCESSEN

De belangrijkste oorzaak van de degradatie van metselwerk en mortels is vocht. Bij de diagnose van schade moet er dus allereerst inzicht zijn in de vochthuishouding. Waar komt het vocht vandaan? Soms is het ophef-

fen van de vochtbron de beste manier om verder verval tegen te gaan.

We gaan hierna dieper in op de achtergronden van een aantal vochtgerelateerde schadeprocessen, zoals vorst-dooicycli, zoutkristallisatie, uitloging in combinatie met encrustatie en de vorming van zwellende verbindingen.

Vorst

Vorstschade kan zowel aan natuur- of baksteen als aan de mortel voorkomen, soms ook aan de constructie als geheel. Bij vorstschade aan historische gemetselde constructies gaat het veelal om schade aan de metselmortel.

Afbeelding 6, 7 en 8 tonen typische voorbeelden van vorstschade aan de steen, de mortel en aan de constructie als geheel.

Een typisch kenmerk van vorstschade aan de metselmortel is dat deze een horizontale laagvorming evenwijdig aan de baksteen laat zien en dat vaak ook het voegwerk loskomt (afb. 7). Daarnaast kunnen schollen van het metselwerk afspatten of kan het metselwerk bol gaan staan. Dit bol staan komt in het algemeen alleen voor bij niet te zware muren (een halve of hele steen dik) en is een gevolg van de zwelling van de metselmortel aan de buitenzijde. Het verschijnsel dat een centimeters dikke laag van het metselwerk kan afspatten komt juist voor bij zwaardere muren, als gevolg van een belemmerde vervorming.

Overigens moeten we bij dit verschil in schadebeeld ook rekening houden met de opbouw van het metselwerk. Het verschijnsel van bol staan komt namelijk ook voor bij zeer dikke vestingmuren (afb. 8). Daarbij gaat het echter om een halfsteens laag, die door een slecht verband met het achterliggende werk loskomt en bol gaat staan.

Oorzaken vorstschade

De essentiële condities om vorstschade te krijgen zijn een extreem vochtgehalte van het materiaal, het voorkomen van typische vorstschadewinters en een materiaal dat in zekere zin intrinsiek vorstgevoelig is. Typische vorstschadewinters kennen perioden met zware regenval, onmiddellijk gevolgd door strenge vorst (afb. 13).

Vorstschade aan jonge kalkmortel is een redelijk bekend verschijnsel. Een kalkmortel heeft meer tijd nodig dan een cementmortel om voldoende sterkte te ontwikkelen om in staat te zijn de combinatie van vocht en vorst te doorstaan. In het algemeen kan gesteld worden

Constructieve processen (en andere processen die kunnen leiden tot vervorming en scheuren)	Belangrijkste schadetypen
Statische overbelasting	Scheurpatronen*)
Thermische uitzetting en krimp	Verplaatsing
Kruip	Vervorming
Zetting	
Spatten bogen/gewelven	
Aardbevingen, trillingen in het algemeen.	
Fysisch-chemische en biologische processen	Belangrijkste schadetypen
Vocht	Biologische groei
Zouten	Efflorescentie (=zoutuitbloei) en crypto-florescentie
Vorst	Afspringen van dikke lagen
Luchtvervuiling	Delaminatie
	Exfoliatie
	Poederen
	Zanden
	Verkruimelen
	Afzetting na uitloging (encrustatie)
	(Gips)korsten

*) N.B.: sommige scheurpatronen worden door fysisch-chemische processen veroorzaakt!

Tabel 1

Overzicht van de belangrijkste schade-processen en daaruit resulterende schadetypen.

Afbeelding 2 (linksboven)

Zoutuitbloei aan metselwerk (foto Rob van Hees).

Afbeelding 3 (rechtsboven)

Begin exfoliatie van rode baksteen (foto Rob van Hees).

Afbeelding 4 (linksonder)

Poederen van baksteen (foto Rob van Hees).

Afbeelding 5 (rechtsonder)

Groei van algen op metselwerk (foto Rob van Hees).





Afbeelding 6 (linksboven)

Vorstschade aan baksteen, als resultaat van een laboratoriumexperiment: exfoliatie. Soms ook gaat het om afspringen van een dikkere laag ('spalling') (foto Rob van Hees).

Afbeelding 7 (rechts)

Typische vorstschade aan een metselmortel: laagvormige opdeling aan het vlievlak van de stenen, vaak gepaard gaand met uitdrukken van het voegwerk (foto Rob van Hees).



Afbeelding 8 (onder)

Loskomen van grote vlakken van het oppervlak van zwaar, massief historisch metselwerk, zoals hier in de vesting Naarden. Bij de loskomende schollen gaat het om een laag met een dikte van halfsteens metselwerk (foto Rob van Hees).

dat het metselen met kalkmortels aan seizoenen gebonden is, waarbij een dergelijke mortel enige maanden voor de mogelijke vorstperiode niet meer mag worden verwerkt, tenzij er wordt gezorgd voor een zeer goede bescherming tegen nat worden en tegen bevriezen.

Dat vorstschade ook aan oude kalkmortels kan voorkomen, heeft men zich lang niet gerealiseerd. Uit onderzoek naar dit schadeverschijnsel is duidelijk geworden dat een en ander vaak te maken heeft met het gewijzigd drooggedrag van het metselwerk, na een ingreep waarbij nieuw voegwerk is aangebracht. Het aanbrengen van voegwerk in een oorspronkelijk doorgestreken metselwerkconstructie kan al voldoende zijn om een zwaar vochtbelaste muurconstructie – die eeuwenlang naar behoren heeft gefunctioneerd, omdat die relatief snel kon drogen – juist in de gevarenzone te brengen. Ook kan de oorspronkelijke kalkmortel – wanneer de constructie sterk door vocht wordt belast – in de

loop der tijd door uitloggen van kalk (verlies aan bindmiddel) zwakker zijn geworden en daarmee gevoeliger zijn voor vorst.

Afbeelding 9 toont een laboratoriummeting van het effect op het drooggedrag van metselwerk bij het vervangen van het buitenste deel van de metselmortel door een nieuwe voegmortel. De metselmortel droogt veel trager door het aanbrengen van een nieuwe cementvoeg en blijft dus langer nat.

Uitloging

Bij uitloging (en daarop volgende afzetting) worden mortelbestanddelen naar het muuroppervlak getransporteerd en daar afgezet. Uitloging is vooral het gevolg van het doorsijpelen van water via scheurtjes en holtes, en nauwelijks van normaal capillair transport. In droge muren (waar sprake is van damptransport) speelt uitloging uiteraard geen rol.

Afbeelding 10 toont een voorbeeld van uitloging en het effect ervan. Het betreffende metselwerk is sterk aan regenwater blootgesteld. Het gaat in dergelijke gevallen om afzetting van uitgeloopte mortelbestanddelen (met name nog niet gecarbonateerde kalk). De afzetting bestaat bij kalkmortels grotendeels uit calcietachtig materiaal, maar bevat in het geval van hydraulische kalk en cementmortels ook silicaten. Er is in die laatste gevallen vaak sprake van een meer of minder harde, glasachtige structuur met een goede hechting aan de ondergrond.

Over de specifieke materiaalkundige verklaring van het verschijnsel is men het nog niet eens; het komt zowel voor bij cement- als bij kalkgebonden mortels; belangrijk is de beschikbaarheid van vrije kalk (nog niet gecarbonateerde kalk). In die zin mag worden verwacht dat de toevoeging van tras gunstig is ter voorkoming van het verschijnsel.

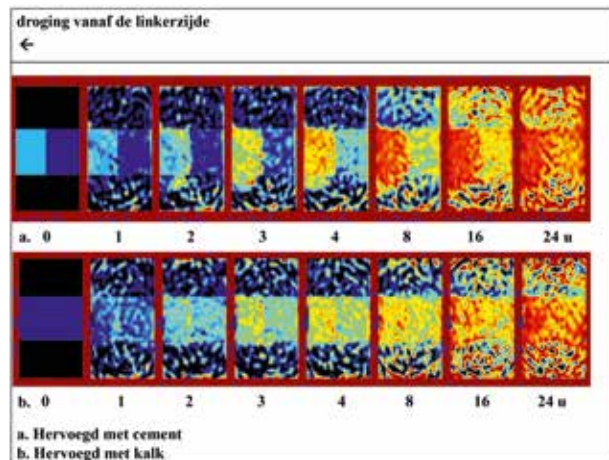
Een hoge waterbelasting kan leiden tot geleidelijke uitspoeling of uitloging van mortelbestanddelen. Uitloging komt alleen voor als er veel inwatering plaatsvindt en er in het metselwerk of in het materiaal voldoende ruimte is voor het doorsijpelen van water. Dat is bijvoorbeeld het geval bij niet vol en zat gemetseld metselwerk of bij scheurtjes in beton. Als gevolg hiervan lossen mortelbestanddelen (en met name vrije kalk) op. Die deeltjes worden met de uitstroom van water via naden en scheurtjes naar het muuroppervlak getransporteerd.

Karakteristiek is dat dit transport vrijwel altijd langs de voeg (of via scheurtjes) naar het oppervlak komt. De kalkdeeltjes uit de mortel vormen witte uitlopers op het muurvlak (afb. 11). Het proces is enigszins vergelijkbaar met het vormen van druipsteen in de natuur.

Zoutkristallisatie

Zoutkristallisatie is de meest voorkomende oorzaak van schade aan metselwerk in monumenten. Belangrijke schadelijke zouten zijn sulfaten, chloriden en nitraten. De herkomst van zouten kan liggen in de bodem (grondwater), in de omgeving (bijvoorbeeld bij zee), in het gebruik (bijvoorbeeld als stal, als zoutopslag) of in het bouw materiaal zelf (baksteen kan afhankelijk van soort klei, baktemperatuur en brandstofsoort meer of minder sulfaten bevatten). Bij de schadevormen die voorkomen kan het gaan om crypto-florescentie, of efflorescentie.

We spreken van crypto-florescentie als de zouten onzichtbaar kristalliseren, dus in het materiaal (onder het oppervlak) of ter plaatse van een overgang tussen twee lagen of materialen. Dit verschijnsel kan gepaard gaan met het losraken van een laag van het materiaal of



Afbeelding 9

NMR-meting die het verschil in drooggedrag toont van twee proefstukken metselwerk. Donker- en lichtblauw duiden op nat, geel en rood op droog. Het onderste proefstuk is uitgevoerd met het oorspronkelijk doorstrijkwerk; in het bovenste is een nieuwe (in dit geval cement-)voeg aangebracht. Het langdurig zeer nat blijven van de metselmortel leidt tot een verhoogd risico op vorstschade (metingen TU Eindhoven in het kader van het EU-project Pointing).

bijvoorbeeld met het uitdrukken van voegwerk.

Bij uitbloei (efflorescentie) aan het materiaaloppervlak treedt in technisch opzicht geen schade op. Wel betekent efflorescentie dat er sprake kan zijn van een visuele verandering (esthetische schade).

Een typisch voorbeeld van crypto-florescentie is te zien in afbeelding 12a. Hier vindt kristallisatie plaats achter het voegwerk, dat vervolgens naar buiten wordt gedrukt.

Crypto-efflorescentie kan zich ook voordoen bij baksteen, bijvoorbeeld wanneer een hydrofoberende behandeling is uitgevoerd bij metselwerk met een hoge vocht- en zoutbelasting. In dat geval kan ophoping van zouten achter de hydrofobe laag optreden en kan deze worden afgedrukt, zie afbeelding 12b.

Een aantal factoren is beslissend voor de aard van het kristallisatieproces. Vochtaanvoer, droogomstandigheden (temperatuur, relatieve vochtigheid en wind) en materiaaleigenschappen bepalen samen of zoutkristallisatie zich aan het muuroppervlak voordoet (efflorescentie) of binnenin (crypto-florescentie).⁴

In metselwerk dat uit verschillende materialen (steen en mortel) is samengesteld, bepalen ook de eigenschappen van de combinatie aan materialen waar zoutkristallisatie plaats vindt. Zo bleek bij een laboratoriumtest, waar kalkvoegen en cementvoegen in combina-



Afbeelding 10 (boven)

Uitloging bij sterk waterbelast metselwerk (rechter kanteel in foto)
(foto Rob van Hees).

Afbeelding 11 en 11b (midden)

Uitloging en vervolgens afzetting van kalk op het muuroppervlak
(links) en druipsteenvorming in de grotten van Castellana (Italië;
rechts) (foto's Rob van Hees).

Afbeelding 12a (linksonder)

Crypto-florescentie achter voegen in metselwerk, waar al een deel
van het voegwerk is losgekomen (foto Rob van Hees).

Afbeelding 12b (rechtsonder)

Crypto-florescentie in gehydrofobeerd metselwerk met een hoge
zoutbelasting. Na verloop van tijd kan, door de accumulatie van zout-
ten achter de hydrofobe laag, schade ontstaan (foto Rob van Hees).

tie met eenzelfde type baksteen werden vergeleken, dat uitbloeit zich vooral via de voegen voordeed in geval van de kalkmortel. Bij toepassing van een (in dit geval dichtere) cementspecie bleken de zouten vooral via de stenen in de vorm van uitbloeit naar buiten te komen en achter de voegmortel te kristalliseren als crypto-florescentie.

Ook bepaalde soorten gevelbehandeling kunnen kristallisatieschade beïnvloeden. Zo is het effect van zoutinwerking van binnenuit op gehydrofobeerde baksteen bekend (zie afb. 12b).⁵ Omdat na het hydrofoberen het transport van vloeibaar water (en dus ook eventuele zouten) naar het muuroppervlak stilstaat, zal door verdampen van water de concentratie van de zoutoplossing achter de hydrofobe zone toenemen en zullen zouten daar kristalliseren. Door de druk die tijdens de kristallisatie wordt uitgeoefend door de zouten kan de buitenste laag van de steen uiteindelijk afspringen.

Zeezout

Zouten als NaCl (zeezout) trekken door hun hygroscopisch gedrag vocht uit de lucht aan, wat bij een hogere relatieve vochtigheid al snel leidt tot vochtplekken aan het materiaaloppervlak. Een materiaal dat dit type zouten bevat, blijkt door veranderingen in relatieve vochtigheid en nat-droogcycli flink te kunnen uitzetten en krimpen (tot wel 75%), waarbij op den duur een niet omkeerbare uitzetting optreedt. Onder invloed van die effecten verkrumelt het materiaal of valt het uiteindelijk in poeder uiteen; dit gebeurt met name bij zwakkere typen mortel of zwakke baksteen.⁶ De schade is dus vooral het gevolg van een fysisch proces; een chemisch

proces, waarbij de kalk wordt omgezet in goed oplosbaar calciumchloride, is minder waarschijnlijk.

Schade door zeezouten manifesteren zich meestal in de vorm van zanden, poederen of alveolisatie (afbeelding 13). In kalkvoegwerk is de schade in de vorm van alveolisatie vaak geconcentreerd in het centrum van de voeg. Bij cementvoegen ontstaan bij alveolisatie vaak gaten op de overgang tussen voeg en steen, waar zout uit de steen snel in aanzienlijke hoeveelheid in de mortel kan worden getransporteerd.

De aanwezigheid van zeezouten in materialen kan verschillende oorzaken hebben, zoals de nabijheid van zee, gebouwgebruik als zoutopslag en de toepassing van dooizouten. Soms komt zeezout zelfs terecht in mortel door gebruik van strandzand of zeewater.

Vorming van thaumasiet en ettringiet

Omzetting van mortelbestanddelen door een reactie met zouten kan leiden tot de vorming van verbindingen met groter volume, zoals ettringiet of thaumasiet. Dit zijn voor de samenhang van de constructie gevaarlijke verbindingen, die kunnen leiden tot vervormingen en scheuren.

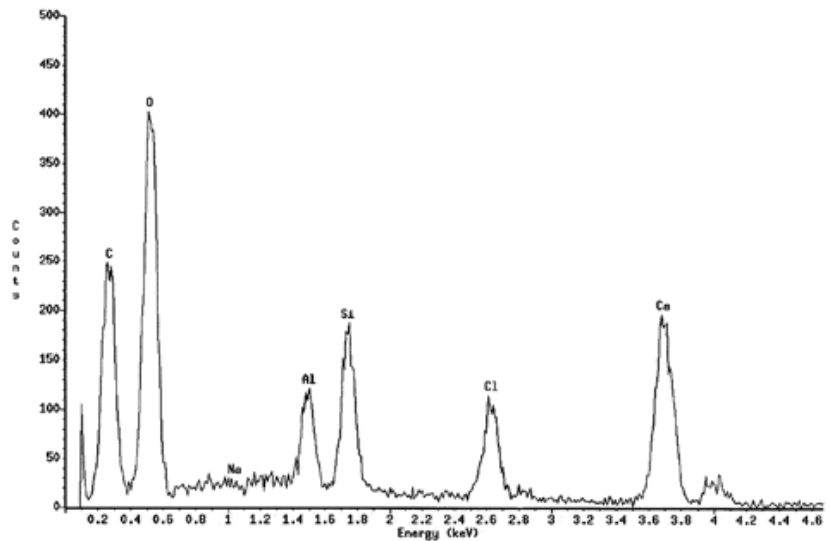
Een typisch schadebeeld is het afspringen van schollen metselwerk. Soms gaat het ook om het uitdrukken van de voegen, wat gepaard gaat met zwellen, laagvorming in of verkrumelen van de metselmortel. Soms staat de muur daarbij bol. Het beeld kan gemakkelijk worden verward met dat van vorstschade.

Ook treedt in bepaalde gevallen sterke scheurvorming in het metselwerk op, die in eerste instantie eenvoudig verward kan worden met constructieve schade (overbelasting, kruip).

Sulfaat (bijvoorbeeld afkomstig uit de lucht, in de vorm van SO₂, of uit baksteen) kan met componenten uit hydraulische bindmiddelen reageren, wat zelfs bij traskalkmortel kan leiden tot het ontstaan van expansieve verbindingen zoals ettringiet en thaumasiet.

Bij de productie van cement wordt bewust een geringe hoeveelheid gips aan de cementklinker toegevoegd om al te snelle verstarring van de specie te voorkomen. Het gips (of liever het sulfaat) reageert namelijk met calciumaluminaat (C₃A). Niet alle C₃A wordt daarmee gebonden, maar de cementdeeltjes worden door het daarbij gevormde primair ettringiet als het ware ingepakt en daardoor van het omringende speciewater afgesloten.

De volumevergroting bij het ontstaan van primair ettringiet wordt tijdens het begin van de hydratatie min of meer gecompenseerd door de gelijktijdig optredende



drogingskrimp. De vorming van primair ettringiet leidt daardoor niet tot schade. Na een zekere tijd wordt het ettringiet ontbonden.

Ettringiet dat wordt gevormd in een uitgeharde cementmortel – ook wel secundair ettringiet genoemd – beschadigt wel de structuur van de mortel en is daarom ongewenst. Ettringiet ($3\text{CaO} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 3\text{CaSO}_4 \cdot 32\text{H}_2\text{O}$) en thaumasiet ($\text{CaCO}_3 \cdot \text{CaSiO}_3 \cdot \text{CaSO}_4 \cdot 15\text{H}_2\text{O}$) zijn verbindingen die gevormd kunnen worden door de reactie van mortelcomponenten met calciumsulfaat en water. Voor het optreden van de reactie zijn een (zeer) hoog vochtgehalte, een relatief lage temperatuur (buitenomstandigheden) en een hoog sulfaatgehalte noodzakelijk. De verbindingen nemen een groter volume in dan de

Afbeelding 14 (onder)

Openbarsten van voeg als gevolg van de vorming van een zwellende verbinding (foto links Rob van Hees); trichloride, zoals kan worden afgeleid uit de XRD (röntgendiffractie) rechts.

oorspronkelijke componenten. Dat kan tot zwelling van de mortel leiden. Voor de vorming van ettringiet dient de mortel calciumaluminaat (C_3A) te bevatten, voor de vorming van thaumasiet worden calciumcarbonaat en calciumsilicaathydraat uit het bindmiddel gebruikt. Verder is in beide gevallen sulfaat nodig in de vorm van calciumsulfaat (gips). Die laatste verbinding kan ontstaan door de reactie van alkalisulfaat uit de (bak)

steen of binnengedrongen zwaveloxide uit de lucht met calciumhydroxide of calciumcarbonaat uit de mortel.

Voor de vorming van de zwellende verbindingen moet verder veel water voorhanden zijn. Dit niet alleen omdat deze zouten zelf veel water bevatten, maar ook en soms vooral om eerst het sulfaat (bijvoorbeeld uit de steen) naar de mortel te transporteren.

Andere zwellende verbindingen

Wanneer voegwerk van traditioneel, tri-calciumaluminaat (C_3A) houdend, wit cement in aanraking komt met zeezout, kan de verbinding trichloride ontstaan. Trichloride ($CaO \cdot Al_2O_3 \cdot 3CaCl_2 \cdot 31H_2O$) is een sterk zwellende verbinding, die tot het openbarsten van de voeg kan leiden (afb. 14). Dergelijke zwellende verbindingen kunnen ook op andere manieren ontstaan, bijvoorbeeld wanneer voor gevelreiniging wordt gebruikgemaakt van zoutzuur of azijnzuur. Azijnzuur gaat door inwerking op de mortelbestanddelen over in de verbinding calciumacetaat.

TOT SLOT

In dit hoofdstuk zijn de voornaamste schade fenomenen benoemd die in metselwerk kunnen optreden. Behalve mogelijke schade processen en daaraan gerelateerde schadetypes zijn ook vochtgedreven en constructieve processen benoemd. Deze laatste kunnen tot vormen van schade leiden zoals scheurpatronen en vervormingen, die ook door fysisch-chemische processen kunnen ontstaan; in dergelijke gevallen is het risico van verkeerde interpretatie groot. Uiteraard zijn daarnaast zoutkristallisatie en vorst, maar ook uitlogingsverschijnselen uitvoerig aan de orde gekomen. Dit overzicht biedt daardoor handvaten voor iedereen die zich bezighoudt met instandhouding van metselwerk.

Literatuur

- Hees, R.P.J. van, L. Pel, B. Lubelli, 2002, 'Towards compatible repair mortars for masonry in monuments', in: *Proceedings of the 5th Int. Symp. on the Conservation of Monuments in the Mediterranean Basin - Protection and Conservation of the Cultural Heritage of the Mediterranean Cities, Galan and Zezza (eds), Seville, Spain, 2000*, Swets & Zeitlinger, Lisse, pp. 371-375.
- Hees, R.P.J. van, L. Binda, I. Papayianni and E. Toubakari, 2004 'Characterisation and damage analysis of old mortars', in: *Materials and Structures / Materiaux et Constructions*, Vol. 37, November, pp. 644-648.
- Hees, R.P.J. van, B. Lubelli, 2006, 'Analysis of transport of salts in restoration plasters', in: *European Research on Cultural Heritage – state of the art studies*, eds. Stefan Simon & Milos Drdacky, Volume 5, ITAM, Prague, pp. 315-327.

- Lubelli, B., 2006, *Sodium chloride damage to porous building materials*, PhD thesis, Delft University of Technology
- Naldini, S., R.P.J. van Hees, T. Nijland, 2006, 'Definitie van schade aan metselwerk', in: *PIM, Praktijkboek Instandhouding Monumenten*, deel II-4, 19 p., afl. 28.
- Hees, R. van, S. Naldini, L. Binda, K. van Balen, sept. 2008, 'The use of MDDS in the visual assessment of masonry and stone structures', in: L. Binda, M. di Prisco & R. Felicetti (eds), *Proceedings of the 1st Rilem Symposium On Site Assessment of Concrete, Masonry and Timber Structures*, SACOMATIS, Varenna (It), pp. 651-660.

Noten

- 1 Van Hees et al. 2000.
- 2 Van Hees et al. 2004.
- 3 Naldini et al. 2006.
- 4 Zie ook Lubelli 2006.
- 5 Zie ook Van Hees en Lubelli 2006.
- 6 Lubelli 2006.

12



VochtabSORPTIE en droging in massief metselwerk

Ontstaan en voorkomen van lekkage

In dit hoofdstuk worden vochtopname en droging van massief historisch metselwerk beschreven en geïnterpreteerd. De focus ligt daarbij vooral op de praktische gevolgen van verschillen in porositeit op het vochtabSORPTIE- en drooggedrag van metselwerk. De auteurs geven verklaringen voor vochtproblemen op grond van een aantal eenvoudige hygrische grondslagen en doen suggesties voor optimalisering van materiaalkeuze en uitvoering.

Vocht heeft veel invloed op eigenschappen, gedrag en duurzaamheid van metselwerk. Dat gebeurt al bij het metselen zelf. Hoeveel vocht de steen opzuigt uit de specie beïnvloedt het opstijfgedrag tijdens het metselen, en daarmee ook of steen en specie een goede samenhang krijgen in het metselwerk. Maar de interactie tussen vocht in de mortel en de zuigkracht van de steen bepaalt ook de poriestructuur en daarmee het hygrisch gedrag van de mortel.

Het vochtopname- en transportgedrag van het metselwerk bepaalt vervolgens in belangrijke mate of doorslag of zelfs lekkage van regenwater plaatsvindt, of bijvoorbeeld overlast door optrekkend vocht. Vocht speelt ook een belangrijke rol bij schaden in metselwerk als gevolg van oplosbare zouten. Vocht zorgt voor transport naar en depositie van zouten in drogende zones (aan het droogfront). Daarbij ontstaat schade door expansie; dit door kristallisatie van zouten bij afwisselend droog en vochtig worden van het metselwerk. Tot slot kan een hoog vochtgehalte in een muur ook leiden tot vorstschade of tot aantasting van hout dat in contact is met de muur.

Opvallend is dat veel schade niet optreedt als het metselwerk droog blijft. Maar dat laatste is in de praktijk, gezien de functie van (buiten)muren, meestal niet mogelijk. Maar het behoud van metselwerk is dus zeker gebaat bij ontwerp, materiaalkeuzen, restauratiemaatregelen en dergelijke die bijdragen aan het drooghouden ervan.

MUUROPPERVLAK: REGENJAS OF OVERJAS?

Absorptiegedrag van metselwerk kan variëren. Regen kan over het muuroppervlak stromen zoals langs een regenjas. Of muren absorberen het water zoals een overjas regen opneemt.

Van 'regenjasgedrag' is sprake als het oppervlak (1) bestaat uit zwak zuigende steen, (2) vervuild is (zie hoofdstuk 15, Tabel 2) of (3) behandeld is met een waterafstotend middel. Het zichtoppervlak van de steen neemt dan weinig water op, waardoor bij zwak zuigende of vervuilde steen de voegen relatief zwaar door vocht worden belast. Water kan het metselwerk binnendringen via de voegmortel – of via de metselmortel als de voegen niet volledig zijn gevuld – en via het hechtvlak (voeg)mortel-steen. De muur neemt meestal vooral vocht op via het hechtvlak.¹

'Overjasgedrag' ontstaat als het oppervlak bestaat uit matig tot sterk zuigend materiaal dat water opzuigt als een spons. Water wordt over het gehele oppervlak

Afbeelding 1

Stenen molens kennen een extra hoge vochtbelasting door hun konische vorm en hun vrije ligging. Bij de Sevinkmolen te Winterswijk was een afdekking nodig om het water buiten te houden (foto RCE).

Afbeelding 2

Vochtbalans (vochtopname en droging), met verwaarlozing van optrekkend vocht, lekkage, condensatie en huishoudelijk vocht (N.B: muur met alleen capillair transport, geen scheurtjes e.d.) (bron auteurs).

opgenomen waardoor opname via het hechtvlak voegmortel-steen een minder grote rol speelt. De kwaliteit van het hechtvlak is dus minder kritisch dan bij zwakzuigend gevelmateriaal.

In deze situatie wordt vochtdoorslag meer bepaald door de wateropneming van de steen en van het metselwerk als geheel, en door de 'buffercapaciteit' van de gevel. Lekkage (lekwater) kan vervolgens ontstaan indien het materiaal volledig is verzadigd met water, of als er doorlopende scheuren zijn waardoor water naar binnen stroomt. Wind kan een belangrijke rol spelen bij lekkage in metselwerk. De invloed van de wind op lekkage is vooral merkbaar als de muur netwerken van scheurtjes bevat die groter zijn dan 100 μm . In dit geval kan het water onder invloed van de wind gemakkelijk door het metselwerk gedrukt worden. Als het vochttransport puur capillair is (openingen/poriën < 100 μm), dan is de invloed van de wind gering (zie kadertekst verderop). In het algemeen geldt dat 'overjas-metselwerk' sneller droogt dan 'regenjas-metselwerk'.

BALANS TUSSEN VOCHTOPNAME EN DROGING

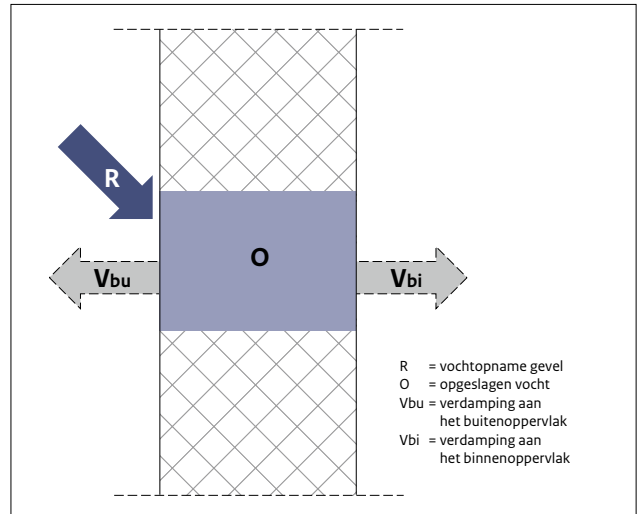
Vocht in metselwerk kan afkomstig zijn uit verschillende bronnen, zoals regen, optrekkend vocht, lekkage via dakgoten en huishoudelijk vocht. Verdamping zorgt voor droging van een deel van dit vocht.

Voor een heldere gedachtevorming volgt hierna een model voor de vochtbalans in metselwerk. Deze geeft het effect weer van alleen de belangrijkste vochtbron: regen. Optrekkend vocht, lekkage door onvoldoende onderhoud, condensatie en huishoudelijk vocht blijven voor het gemak buiten beschouwing, evenals het vocht dat in metselwerk wegstroomt via scheuren.

Het model geeft de balans weer tussen aan- en afvoer van vocht (absorptie en verdamping), waarbij geen lekkage optreedt (afb. 2).

Dit model visualiseert de aan- en afvoer van vocht; het 'ademen' van het metselwerk. Het is echter alleen bruikbaar als schematisch (denk)model, aangezien natte en droge weersperiodes niet gelijktijdig optreden.

Om lekkage te voorkomen moet de hoeveelheid vocht die bij drogend weer uit de muur verdampt ($V_{bu} + V_{bi}$) zo groot zijn dat bij een opvolgende regenperiode de opslag plus vochtopname ($R + O$) niet leidt tot



overschrijding van het kritisch vochtgehalte over de gehele doorsnede van de muur. Het kritisch vochtgehalte is het vochtgehalte waaronder geen en waarboven wel watertransport in vloeibare vorm optreedt.

Lekkage treedt op als het kritische vochtgehalte lokaal dwars door de hele muur wordt overschreden en vocht van het buitenoppervlak naar het binnenoppervlak van de muur gaat stromen onder invloed van drukverschillen, bijvoorbeeld door wind, zonnescijning of ventilatie. Het kritisch vochtgehalte ligt ver onder het 'verzadigingsvochtgehalte', waarbij alle poriën volledig gevuld zijn met water.²

Een lage waarde van het kritische vochtgehalte duidt op een grovere porositeit. Materialen met een laag kritisch vochtgehalte drogen sneller dan materialen met een hoge waarde. Het kritisch vochtgehalte

kan voor baksteen circa 120 kg/m^3 (6 tot 8 volumeprocent) zijn en voor bijvoorbeeld cementmortel circa 380 kg/m^3 (18 volumeprocent) (daarbij zijn sterke afwijkingen voor de twee materiaalklassen mogelijk).³ De lage waarde van de baksteen ten opzicht van die van de cementmortel duidt dus op een grovere porositeit van de baksteen, waardoor deze dus sneller kan drogen dan de mortel.

In drogende omstandigheden komt het vochtgehalte aan de buitenzijde van de muur heel snel onder het kritisch vochtgehalte, waardoor eventuele vochtstroming (leidend tot lekkage) stopt.

VOCHTOPNAME DOOR REGEN EN WIND

Zoals eerder beschreven wordt water opgenomen door capillaire zuiging en door 'vrije' stroming via naden en holten.

VOCHTTRANSPORT IN POREUZE METSELMATERIALEN

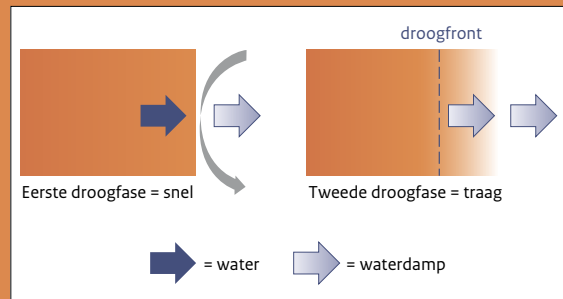
Steenachtige bouwmaterialen zijn in meer of mindere mate poreus. De porositeit van natuursteen, beton, baksteen en mortels heeft verschillende oorzaken. Maar voor al deze materialen geldt dat ze via *capillaire werking* vocht kunnen opnemen (absorptie) en via droging (verdamping) weer vocht kunnen afstaan. Capillairen zijn de onderling verbonden poriën; de 'buisjes' die in poreuze materialen voorkomen. Capillaire kracht zuigt water de buisjes in. Capillaire werking ontstaat door cohesie, adhesie, en oppervlaktespanning van water ten opzichte van de buiswand.

De capillaire werking treedt bij steenachtige bouwmaterialen op in buisjes met poriëndiameter tussen 0,1 μm en 100 μm . Bij een diameter kleiner dan 0,1 μm is het water zo vast verbonden aan het buismateriaal dat geen vochttransport kan plaatsvinden. Bij buisjes groter dan 100 μm wordt vochttransport in bouwmaterialen voornamelijk bepaald door zwaartekracht en wind, en is de capillaire werking klein en ondergeschikt. Bij deze vorm van vochttransport ('vrij' vochttransport), 'zoekt' het water een uitweg en kan het 'als water uit een kraan' op bepaalde plekken uit in het metselwerk lopen. Dit leidt veel sneller tot lekkage dan capillair vochttransport.

Opname door capillaire zuiging: weinig lekkage

Metselwerk neemt dus onder meer water op door capillaire zuiging. Een muur neemt echter niet onbeperkt vocht op. Vochtopname door capillaire werking wordt beperkt door een aantal andere factoren. Een daarvan is afstroming. Als het vochttransport in een muur voornamelijk capillair is, dan vindt in een massieve dikke muur met matig tot sterk zuigende stenen het volgende plaats: afhankelijk van de porositeit gaat de regen snel of minder snel capillair door de steen. Bij sterk zuigende stenen is het netwerk van poriën goed verbonden en is het poriënvolume groot: dan gaat het capillaire vochttransport snel. Bij zwak zuigende stenen is het poriënvolume lager en zijn grote poriën vaak verbonden via fijne poriën, waardoor het vochttransport langzamer gaat. Als het vocht door de steen is gemigreerd, komt het een metselmortellaag tegen. Deze is vaak in de hechtzone verdicht (zie ook de hoofdstukken over vochttransport en over steen- en mortelkeuze), zodat de mortellaag als een barrière werkt. Als gevolg hiervan is de ervoor

Droging verloopt veel langzamer dan het absorberen van vocht. Het drogen van poreuze materialen verloopt vaak in twee fasen (zie afbeelding 3). Gedurende de eerste droogfase (links) is er aanvoer van vocht in vloeibare fase naar het oppervlak en vindt vervolgens verdamping vanaf het oppervlak plaats (dit proces verloopt relatief snel). Bij de tweede fase (rechts) is als gevolg van een langzamer vochtanvoer vanuit de achtergrond het droogfront het materiaal ingetrokken. Nu vindt de droging eerst in dampvorm vanaf het droogfront in het poriesysteem van het materiaal plaats en vervolgens vanaf het oppervlak; dit proces verloopt traag.



Afbeelding 3

Droging van metselwerk in twee fasen (bron: Roel Hendrickx, KIK, België).

liggende steen snel verzadigd; daarbij is de capillaire zuigkracht sterk afgenomen en gaat het regenwater afstromen over de muur. Dit laatste zou men 'tijdelijke zelfhydrofobering' kunnen noemen, zie afbeelding 4.

In Nederland staat statistisch gezien tegenover iedere regenperiode van een uur een droogperiode van vijftien uur; ook dit is belangrijk voor de balans tussen vochtopname en vochtverlies.

De ervaring leert dat er als gevolg van puur capillair vochttransport over het algemeen weinig lekkageproblemen zijn in massief metselwerk. Dat gebeurt hooguit wanneer metselwerk is vervaardigd met zeer sterk zuigende stenen ($IW > 4,0 \text{ kg}/(\text{m}^2 \cdot \text{min})$) – dus met veel poriën met een grote poriediameter – en een mortel met zeer weinig barrièrewerking.⁴

Opname door vrije vochtstroming: kans op lekwater

Lekkage treedt vaker op bij vochtopname door vrije vochtstroming dan als gevolg van capillair vochttransport. Als er kieren zijn tussen steen en mortel – bijvoor-

beeld door niet vakkundig uitgevoerd metselwerk – of als er met elkaar verbonden holten of scheuren in het metselwerk voorkomen, kan vocht onder invloed van de zwaartekracht of over-/onderdruk door wind min of meer vrij door het metselwerk stromen via scheurtjes en holten groter dan 100 µm.⁵

Bij ‘vrije’ stroming schiet het regenwater meteen in het metselwerk. Wind perst het verder de muur in waar het óf weglekt in een grillig stelsel van met elkaar verbonden scheurtjes en holten óf door de muur wordt gedrukt en er aan de andere kant als lekwater uitkomt.

De invloed van de wind is duidelijk veel groter bij ‘vrije’ vochtstroming dan bij capillair vochttransport (horizontale poriën). De zwaartekracht speelt een rol bij verticale poriën en microscheuren. Bij fijne poriën is die invloed te verwaarlozen; vanaf > 100 µm is de invloed van de capillaire krachten kleiner dan die van de zwaartekracht.

‘Vrije’ vochtstroming gaat vaker samen met lekkage omdat het water als het ware door de muur heen schiet; capillair gaat het veel langzamer. Dit komt regelmatig voor in massief historisch metselwerk. Het opvullen van holten en scheuren en dergelijke, bijvoorbeeld door injectie met bijvoorbeeld een minerale grout, brengt het metselwerk in feite terug naar puur capillair vochttransport. Dit is dus de aangewezen weg om de situatie te verbeteren.

Vrije stroming door slecht vakmanschap

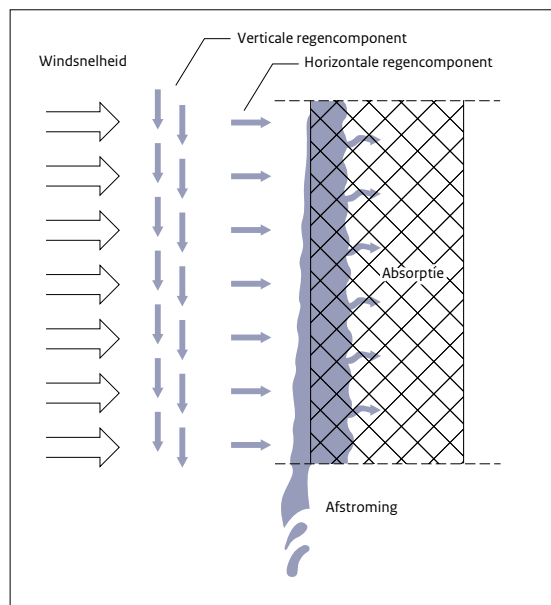
Zoals hiervoor beschreven kan vocht (via ‘vrije stroming’) binnendringen via spleten en holten. Niet vol-en-zat metselen kan een oorzaak zijn van spleten en holten en daarmee de kans op lekkage in het historische metselwerk vergroten. Bij vol-en-zat metselen worden lint- en stootvoegen volledig gevuld met metselmortel (afb. 5). Dit kan alleen goed gedaan worden wanneer het aanbrengen van de mortel *per steen* gebeurt en de metselaar in één beweging van de steen de lintvoeg vormt en de stootvoegen vult (ofwel dichtstoot: vandaar ‘stootvoeg’). Dit zó dat – zoals oude bestekken beschrijven – de specie daaruit komt ‘spouwen’.

Veel voorkomende holten door onvakkundig vol-en-zat werken in het metselwerk zijn holten in de mortelvoeg en open stootvoegen. Hierdoor is het metselwerk toegankelijk voor regen, waardoor uitloging van de kalk kan ontstaan (afb. 6). Andere vaktechnische oorzaken van holten in metselwerk zijn slechte vulling van ‘kistwerk’ en ‘slechte menging’, waardoor plaatselijk te weinig kalk zit in de mortel.⁶

Bij menig historisch gebouw is slordig gemetseld. Daardoor kunnen in het metselwerk openingen en holten zitten die leiden tot snel ‘vrij’ vochttransport.

Afbeelding 4

Visualisering afname waterabsorptie door muur als gevolg van opname van vocht (bron: auteurs).



Vrije stroming via scheuren

Dwarsscheuren (transversalscheuren, loodrecht op het muurvlak) en langsscheuren (lateralscheuren, evenwijdig aan de muur) in het metselwerk kunnen verschillende oorzaken hebben (zie het hoofdstuk over diagnose van scheuren etc.). Lekkage is bij dwarsscheuren vaak een zeer lokaal verschijnsel: alleen in en om de scheur. Lateralscheuren en de daarbij behorende ‘schillen’ kunnen lekkage opleveren over een groot oppervlak. Ook kunnen ze een aanzienlijke invloed hebben op het drooggedrag van een muur (verdamping in plaats van capillaire droging; zie hieronder).

DROGING DOOR ZON EN WIND: VOORAL CAPILLAIR

Metselwerk kan drogen via capillair vochttransport en via damptransport. Alle open capillairen in het materiaaloppervlak dragen bij aan de verdamping van water door zon en wind. Via de poriën van binnen in de muur trekt het vocht naar het muuroppervlak. De grove poriën verliezen sneller water (lage capillaire krachten) door verdamping dan fijne poriën (hoge capillaire krachten).

In een poreus capillair materiaal vindt droging veelal in twee fasen plaats (zie ook kadertekst): een snelle droogfase (vochtverdamping van het oppervlak) en een trage droogfase (vochtverdamping vanuit een droog-

Afbeelding 5

Vol-en-zat metselen van massief metselwerk: essentieel voor een goed en volledig contact tussen mortel en steen zonder dat holten ontstaan; hierdoor is (relatief langzaam) capillair vochttransport verzekerd (foto's auteurs).





Afbeelding 6

Uitloging van kalk aan de droogzijde van de muur. De kalk wordt opgelost in (regen)water dat wordt aangevoerd via holten in het metselwerk (foto auteurs).

front in het poreuze materiaal). Restauratiemaatregelen kunnen het droogproces vertragen. Een voorbeeld is het hydrofoberen van een muur. Dit dwingt het droogfront het metselwerk in (zie ook het hoofdstuk over oplossen van vochtproblemen), zodat droging via relatief trage verdamping vanuit de steen en niet via snelle verdamping door capillaire geleiding naar het oppervlak kan plaatsvinden.

Vochttransport in een muur vindt vaak deels capillair plaats en deels door 'vrije stroming' via spleten, scheuren en holten. Bij vochttransport via 'vrije stroming' is water soms in diepere muurgedeelten terechtgekomen (in holten) dat niet via capillaire krachten naar het oppervlak kan worden vervoerd. Droging moet dan via verdamping plaatsvinden, wat veel langzamer verloopt.

SAMENSPEL MATERIALEN: POROSITEIT EN HECHTVLAK

In het voorgaande zijn vochttransportprincipes besproken bij metselwerk als geheel. Hierna zoomen we in op de effecten van het samenspel van materialen in het metselwerk: door de verschillen in porositeit en wat er gebeurt op de hechtvlakken (aansluiting) tussen de materialen.

Porositeit en vochttransport in metselwerk is vaak lastiger te begrijpen, omdat sprake is van een samengesteld materiaal. Materialen van verschillende porositeit (steen met mortel, mortel en mortel) staan met elkaar in contact. De mate van contact en de verschillen in porositeit bepalen vervolgens hoe vocht door het samengestelde materiaal gaat bewegen wanneer er aanbod van water is.

Een belangrijk gegeven hierbij is dat vocht in poreuze materialen zich beweegt van grove poriën naar fijne poriën; de fijne poriën hebben meer zuigkracht. Een

technicus kan bij zijn ontwerp in zekere mate rekening houden met hygrische eigenschappen en ervoor zorgen dat vocht in een gewenste richting beweegt.

Een andere belangrijke invloedsfactor is de mate van hydraulisch (capillair) contact tussen twee oppervlakken van verschillende porositeit.⁷ Met hydraulisch contact wordt bedoeld de aansluiting tussen poreuze materialen, waardoor vochttransport van het ene naar het andere materiaal kan plaatsvinden. Verschillen in porositeit tussen twee oppervlakken en veranderingen in de tijd in het hydraulische contact (verbreken van het contact door bij voorbeeld cyclisch wisselende thermische spanningen) zijn elementen die veel invloed kunnen hebben op het vochttransport in metselwerk.

Hierna volgen een aantal voorbeelden van situaties in metselwerk waar verschillende materialen, dus verschillende porositeiten, met elkaar in contact zijn en wat de effecten daarbij kunnen zijn op de vochtdoorlatendheid van het metselwerk.

Hechtvlak 1: legmortel-baksteen

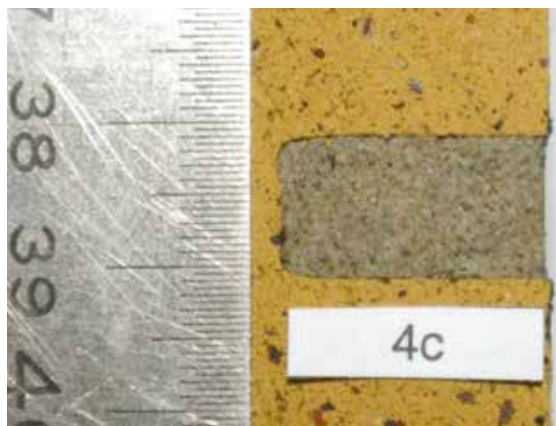
Een belangrijke oorzaak voor vochttransport in metselwerk is een sterk poreus hechtvlak, de 'interface' tussen baksteen en mortel.⁸ Deze porositeit wordt vooral bepaald door effecten van vochttransport van de specie naar de (bak)steen direct na het leggen van de steen. Er ontstaat een dicht hechtvlak als de baksteen voldoende zuiging uitoefent om fijne delen van de specie (zoals cement, kalk en de fijnste zandkorrels) met het water uit de mortel in het hechtvlak te trekken en verdichting optreedt.⁹ Voldoende zuiging treedt op bij IW-waarden groter dan $1,0-1,5 \text{ kg}/(\text{m}^2 \cdot \text{min})$.¹⁰

Bij te zwakke zuiging (IW kleiner dan $1,0-0,5 \text{ kg}/(\text{m}^2 \cdot \text{min})$ van de steen wordt bij veel mortels te weinig vocht uit de specie onttrokken. De steen gaat dan 'drijven' op de mortel (er is immers een zekere overmaat aan water in de mortel). Dit houdt in dat er een concentratie van water in de interface plaatsvindt; dit levert na droging een poreus hechtvlak op.

De verdichte grenslaag tussen metselmortel en normaal tot sterk zuigende steen blijkt als een barrière te kunnen werken voor optrekkend vocht, of op zijn minst vertragend te zijn (zie het hoofdstuk over vochttransport). Dit komt door de zeer fijne porositeit van de grenslaag.

Afbeelding 7

Links: een voorbeeld van (her)voegexperimenten: voegen aangebracht in verschillende typen baksteen. De trend is dat de voegmortels aan één zijde goed verbonden zijn met de steen, terwijl ze aan de andere zijde losgekrompen zijn (hier bovenzijde). Rechts: een krimpseur in de praktijk bij een sterk krimpende cementvoeg (krimpscheur aan bovenzijde voeg). In deze spleet schiet onder winddruk veel water dat door de legmortel en baksteen wordt opgenomen. NB: er zijn geen krimpseuren in de aansluiting tussen baksteen en kalklegmortel (rechts)! (foto's auteurs).



Het vochttransport kan ook sterk afgeremd worden door een adequate keuze van baksteen en mortelsamenstelling. Een duidelijk voorbeeld hiervan is de toepassing van een zogeheten trasraam bij het funderen 'op staal'. De barrièrewerking tegen optrekkend vocht wordt hier verkregen door een strook in de fundering te metselen met weinig poreuze, zwak zuigende stenen (klinkers) en waterdichte cement- en/of trasmortel toe te passen (zie ook het hoofdstuk over optrekkend vocht).

Bij opgaand werk hebben we vooral te maken met vochtpenetratie als gevolg van regen. Ook hier is er sprake van een vochtstroom (in dit geval veelal horizontaal) die afwisselend door baksteen en metselmortel naar binnen migreert. Uit proeven (zie het hoofdstuk over steen- en mortelkeuze) is gebleken dat bij normaal tot sterk zuigende stenen ook in dit geval een verdichte grenslaag vochttransport belemmert. Ook bleek uit deze proeven duidelijk dat in metselwerk met een matig zuigende steen hechtvlak-regenlekkage optrad, als deze vermeteld was met een te vochtrijke specie (waardoor een te poreus hechtvlak ontstond).

Uit het voorgaande blijkt dat vochtabsorptie van de steen en vochtverlies uit de mortel op elkaar afgestemd moeten zijn (hygrische compatibiliteit) om tot goed mortel-steencontact te komen. Of mortel en steen hygrisch compatibel zijn, lijkt op het eerste gezicht moeilijk te beoordelen door de metselaar op de steiger. Te hoge en te geringe vochtabsorptie door de steen zijn echter door de metselaar goed te detecteren. Bij een

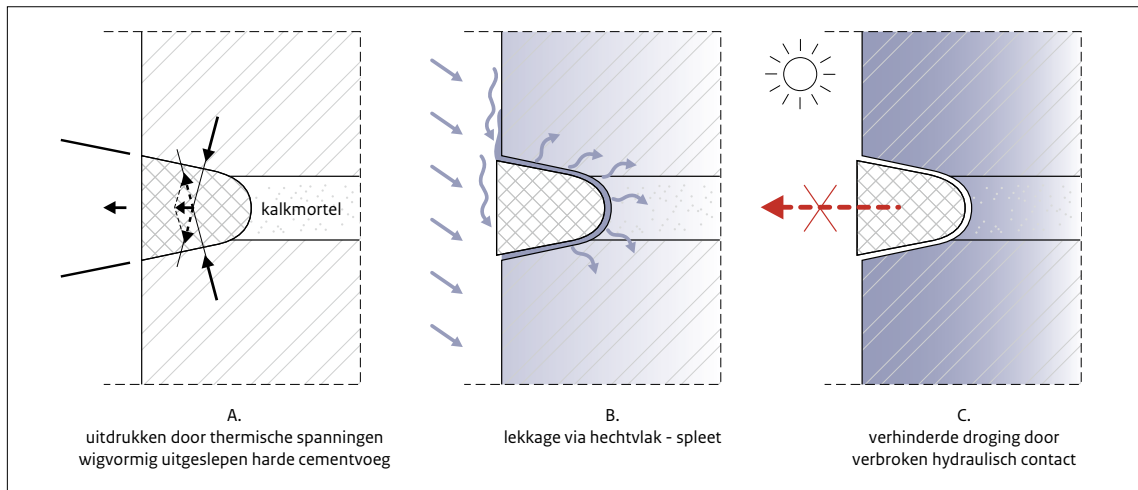
te hoge absorptie komt de steen bijna direct 'vast' te liggen. En 'drijven' merk je ook snel genoeg tijdens het metselen (stabiliteitsproblemen).

Ervaring en 'trial-and-error' (door met de grofheid van het zand te 'spelen' of de stenen vóór te bevochtigen) zijn vaak onmisbaar om de compatibele baksteen-mortelcombinatie te vinden. De hygrische karakterisering van de afzonderlijke materialen (mortel en steen) op zich blijkt niet voldoende om het hygrische gedrag van de combinatie te kunnen voorspellen. Op de bouwplaats zijn overigens ook twee eenvoudige proeven mogelijk om de hechting tussen steen en mortel ter plekke te beoordelen (de 1-minuut- en de 10-minuten-proef (zie het referentiehoofdstuk).

Een belangrijk gegeven is dat de legmortel in de lintvoeg vrij kan krimpen, omdat de stenen mee kunnen bewegen in verticale zin (zie afbeelding 7 rechts; er zijn geen krimpseuren aanwezig in het hechtvlak met de metselmortel). Dit is niet het geval voor mortel in de stootvoegen: immers de stenen liggen in horizontale zin gefixeerd in de lintvoeg. Daar komt nog bij dat de stootvoeg vaak minder goed wordt opgevuld (gebrekkig vakmanschap).

Hechtvlak 2: voegmortel-baksteen

Specifiek voor het normale (her)voegwerk is dat de voeg tussen twee in positie gefixeerde vlakken wordt aangebracht. Dit houdt in dat een krimpseur ontstaat als je tussen deze twee vlakken een materiaal aanbrengt dat



Afbeelding 8

Mechanisme achteruitgang ademend vermogen bij toepassing cementvoeg in kalkgemetseld werk. Het loswrikken wordt bevorderd door de V-vorm van de voeg!

krimpt; en dat doen nagenoeg alle voegmortels (afb. 7). Dit is zowel bij laboratoriumproeven (linker afbeelding; bovenzijde voeg) als in de praktijk gebleken (rechter afbeelding; bovenzijde voeg).

Krimscheuren, als gevolg van een combinatie van plastische en uithardingskrimp (afb.7 links) zijn in de orde van grootte van enige tientallen μm 's en trekken capillair vocht aan: door de krimscheur wordt het metselwerk dus toegankelijk voor regenwater. Afhankelijk van de samenstelling van de voeg kan die krimscheur breder of smaller worden en daarmee de toegankelijkheid voor water toenemen dan wel afnemen (zie ook hierna).

Thermische werkingen en het effect van losgewrikte voegen

De praktijk wijst uit dat harde cementvoegen in historisch metselwerk (kalkmortel als legmortel en zachte stenen) zich door temperatuurswisselingen met de tijd loswrikken door zwellen en krimpen. Dit komt doordat ze een relatief hoge thermische uitzettingscoëfficiënt hebben. Met andere woorden: ze hebben in de loop der tijd steeds minder hydraulisch contact met het omliggende materiaal. Hierdoor gaat het drogen van het metselwerk steeds langzamer – in plaats van capillair transport vindt damptransport plaats via de spleet rond de voeg – en wordt het metselwerk vochtiger. In een aantal gevallen leidt dit tot vorstschade.

Bij toepassing van voegmortels op basis van (hydraulische) kalk ziet men dit verschijnsel niet. De thermische uitzettingscoëfficiënt is veel lager dan bij cementvoegmortels, zodat het loswrik-effect niet optreedt. Het is zelfs mogelijk dat de initiële krimscheur door transport van oplosbare kalk in de loop van de tijd wordt opgevuld (omdat de loswrikscheuren bij cementmortels breder zijn, kunnen deze moeilijker worden opgevuld door kalk die vrijkomt bij de cementshydratatie). Daardoor komt het hydraulisch contact tussen voeg en steen terug en verbeteren de droogcondities van het metselwerk.

Voegherstelmortel als remedie

De voegherstelmortel dient het drogen van de van het metselwerk *via de voegen* te bevorderen. Dit is vooral belangrijk in metselwerk met dichte metselstenen; via de mortel kan het metselwerk 'ademen'. Het capillaire vochttransport dient plaats te vinden van de metselstenen naar de mortel, zodat zouten van de steen naar de mortel kunnen migreren. Zouten kunnen aanleiding zijn tot schade als verkrumeling of het afspringen van stukken baksteen. Voegherstel dient (na regen) een snelle droging van de legmortel te bevorderen, zodat bij vorst geen schade optreedt in de legmortel.

Een voorbeeld: in het oude historische metselwerk is de porositeit van de baksteen meestal grover dan die van de legmortel. Als dan de open porositeit (poriënvolume beschikbaar voor vochtabsorptie, bepaald via Vrijwillige Wateropneming) van de voegherstelmortel in de buurt ligt van de legmortel en iets fijner van structuur is dan die van de legmortel (vochttransport van grove naar fijne poriën), dan geeft dit ideale droogomstandigheden. Het vocht in zowel de stenen als legmortel

migreert naar de voegherstelmortel, waarna droging plaatsvindt via de voeg.

Doorstrijken metselwerk: nog beter!

Bij inboetwerk en nieuw werk is het bij toepassing van langzaam opstijvende specie (wat vaak het geval is met op kalk gebaseerde mortels) mogelijk het metselwerk af te werken middels doorstrijken. In dat geval is er in feite geen voeg. Dit betekent dat geen aansluitingsproblemen ontstaan tussen voeg en legmortel/steen; de mortelsamenstelling is overal hetzelfde, en er ontstaan geen krimp-scheuren (legmortel beweegt mee met de krimp). Laboratoriumproeven¹¹ en de praktijk hebben ondubbelzinnig uitgewezen dat doorgestroken metselwerk de meest duurzame 'voeg' oplevert.

CONCLUSIES

Water kan metselwerk via verschillende wegen binnendringen. Lekkage kan ontstaan door verkeerde materiaalkeuze of door niet-vakkundige uitvoeringstechniek. De materiaalkeuze moet een goede hechting van steen en mortel verzekeren; dit is met simpele proeven te controleren op de bouwplaats. Bovendien moeten de gebruikte materialen niet te sterk zuigend zijn. Voor massief metselwerk is de uitvoering (vol-en-zat-metselen) van wezenlijk belang om lekkage via scheuren of holten door onzorgvuldig metselen ('vrije' waterstroming) te voorkomen. Wanneer er geen 'vrije' waterstroming mogelijk is, is bij massief metselwerk de kans op vochtoverlast klein. Ook belangrijk daarbij is dat het metselwerk goed kan drogen, en ook dat is mede afhankelijk van de juiste materiaalkeuze.

Literatuur

- Brocken, H., 1998, *Moisture transport in brick masonry; the grey area between bricks*, PhD thesis, TU-Eindhoven.
- Depraetere, W., J. Carmeliet and H. Hens, 1999, 'Moisture Transfer at Interfaces of Porous Materials: Measurements and Simulations', in: *Proceedings International Workshop 1999 Paisley Scotland*, RILEM website Publication Proceedings, Pro 12.
- Détriche, C.H. and J. Grandet, 1981, 'Influence de la succion des supports poreux sur la prise et la résistance au cisaillement des mortiers moulés à leur contact', in: *Matériaux et Constructions*, No. 80, pp. 91-102.
- Freitas, V.P. de., V. Abrantes and P. Crausse, 1996, 'Moisture Migration in Building Walls-Analysis of the Interface Phenomena', in: *Building and Environment*, Vol. 31, No. 2, pp. 99-108.
- Grimm, C.T., 1982, 'Water Permeance of Masonry Walls: A Review of the Literature', in *Masonry: Materials, Properties and Performance*,

ASTM STP 778, J.G. Borchelt (ed.), American Society for testing and Materials, pp. 178-199.

- Groot, C., 1993, *Effects of water on mortar-brick bond*, PhD-thesis, TU Delft.
- Groot, C. en J. Larbi, 1999, 'The influence of water flow (reversal) on bond strength development in young masonry', in: *Heron*, volume 44, 2, pp. 63-77.
- Groot C. en J. Gunneweg, 2007, *Kwaliteit restauratiebaksteen Kwaliteit-seisen Metselmortels in Kalk*, TU Delft.
- Hees, R.P.J. van, en J.A.G. Koek, 1994, *Schade aan monumenten na hydrofoberen*, TNO Bouw-rapport, 94-BT-R0712, Delft.
- Hees, R.P.J. van, et al. (eds.), 2001, *Maintenance of pointing in historic buildings; Decay and replacement*, Final report, EC Environment Programme, contract ENV4-CT98-706.
- Nwaubani, S.O., et al., 2000, 'Pore-structure and water transport properties of surfacetreated building stones', in: *Materials and Structures/Matériaux et Constructions*, Vol.33, April, pp. 198-206.
- Polder, R.B., 1991, *Hydrofoberen van gevels*, Stichting Bouwresearch, Rotterdam,
- Ramamurthy, K. and K.B. Anand., 2001, 'Classification of Water Permeation Studies on Masonry', in: *Masonry International*, Vol. 14, No 3, pp. 74-79.
- Tammes, E., en B.H. Vos, 1980, 1984, *Warmte- en Vochttransport in Bouwconstructies*, Deventer.
- Thomas, K., 1996, *Masonry Walls*, Butterworth-Heinemann Ltd, Oxford, pp. 144-159.
- Thomson, M., et al., 2004, 'Porosity of mortars' In: Groot, C., et al. (eds.), *Characterisation of Old Mortars with Respect to their Repair* - Final Report of RILEM TC 167-COM, pp. 77-106.
- Young, M., 2007, 'Dampness penetration problems in granite buildings in Aberdeen, UK: Causes and remedies', in: *Construction & building materials* [0950-0618], vol.21, no. 9, pp. 1846-1859.
- Z.a, 1998, *Research Report No7*, European Commission.
- Z.a, 1969, SBR-publicatie No 21, *Vochttransport in en droging van bouw-materialen*, Alphen aan den Rijn.

Noten

- 1 Tammes en Vos 1980, Grimm 1982.
- 2 Tammes en Vos 1984.
- 3 Volgens Tammes en Vos 1984.
- 4 Groot en Gunneweg 2007.
- 5 Thomson et al. 2004.
- 6 Kistwerk is een benaming voor zwaar muurwerk met gemetselde buitenkanten (dienend als bekisting) waartussen opgevuld met schrale mortel, zand, stenen en puin.
- 7 Depraetere 1999.
- 8 Tammes en Vos 1980, Grimm 1982.
- 9 Détriche 1981.
- 10 IW staat voor Initiële Wateropzuiging, zie onder meer ook het hoofdstuk over vochttransport.
- 11 Van Hees 2001.

13



Bouwfysisch vooronderzoek: twee voorbeelden

Analyse van vochttransport en zoutbelasting

Bouwfysische schadeprocessen bij historisch metselwerk houden verband met zowel vochttransport-kenmerken als zoutbelasting. Beiden zijn eigen aan de opbouw van het gevelmetselwerk, het vroegere gebruik van het monument en de blootstelling daarvan aan weeromstandigheden. Bij restauratie kan een vooronderzoek een belangrijke rol spelen. Standaardprocedures zijn er daarbij niet vast te stellen. Bij een vooronderzoek is afstemming nodig: zowel op het specifieke karakter van het architecturaal complex als de herbestemming en het toekomstige gebruik. Een bijdrage uit Vlaanderen.

Bij het restaureren van monumentaal historisch metselwerk staan authenticiteit, compatibiliteit en duurzaamheid centraal. Destijds combineerde men simpelweg plaatselijk gebakken baksteen en lokaal vervaardigde mortel. Tegenwoordig gaat het bij grootschalige restauraties om herbestemmingsprojecten die moeten voldoen aan regelgeving en gebruikseisen van de eenentwintigste eeuw.

VOORONDERZOEK

Het welslagen van restauratie hangt deels af van een gepast vooronderzoek, waarbij enerzijds een diagnose wordt gemaakt van de actuele schadeprocessen en anderzijds de randvoorwaarden voor restauratie-ingrepen worden vastgelegd. De vraag van de opdrachtgever verschuift dus vaak van 'hoe kunnen we het gebouw optimaal behouden onder huidige randvoorwaarden?' naar 'hoe kan het gebouw optimaal presteren bij veranderde, soms veeleisender randvoorwaarden?' Ondanks deze veel complexere vraagstelling blijft behoud uiteraard prioritair.

Afbeelding 1

Bouwfysische schadeprocessen bij historisch metselwerk houden verband met zowel vochttransportkenmerken als zoutbelasting (foto RCE, Michiel van Hunen).

Vooronderzoeken zoals beschreven in bestekteksten zijn inhoudelijk gericht op materiaal-technische kenmerken van bouwmaterialen, veelal verwijzend naar de betreffende nationale of Europese normen, die experimentele proeven beschrijven. Dat minimale eisen worden gesteld aan het mechanisch gedrag van onder druk belaste stenen, behoeft geen discussie. Hiervoor bestaan rekenmodellen. Deze brengen – in samenhang met het architectonisch concept en de verwachte toekomstige belasting – de druk- en trekkrachten in kaart waaruit uiteindelijk de minimale mechanische kenmerken van bouwmaterialen worden berekend.

Bouwfysische schadeprocessen aan historisch metselwerk hangen samen met zowel vochttransport-kenmerken als zoutbelasting (zie onder meer het hoofdstuk over 'kleur op de gevel' en 'metselwerk op waarde geschat'). Beiden zijn eigen aan het betreffende historische metselwerk; als gevolg van de gevelopbouw, het vroegere gebruik van het monument en de blootstelling aan het klimaat. Dit specifieke karakter impliceert dat de inhoud van een degelijk bouwfysisch vooronderzoek niet in standaard-bestekteksten gegoten kan worden.

Het opmaken van een aan het monument aangepast vooronderzoek is een denkproces op zich. Het vereist een grondige inspectie van het gehele architecturale complex door experts met een ruime kennis en ervaring

in het bouwfysisch gedrag van bouwmaterialen. De onderzoeker beoogt hierbij een maximaal respect voor het historische karakter van het monument – waarbij ‘compatibiliteit en reversibiliteit’ een centrale plaats innemen – en een minimale kans op schade.

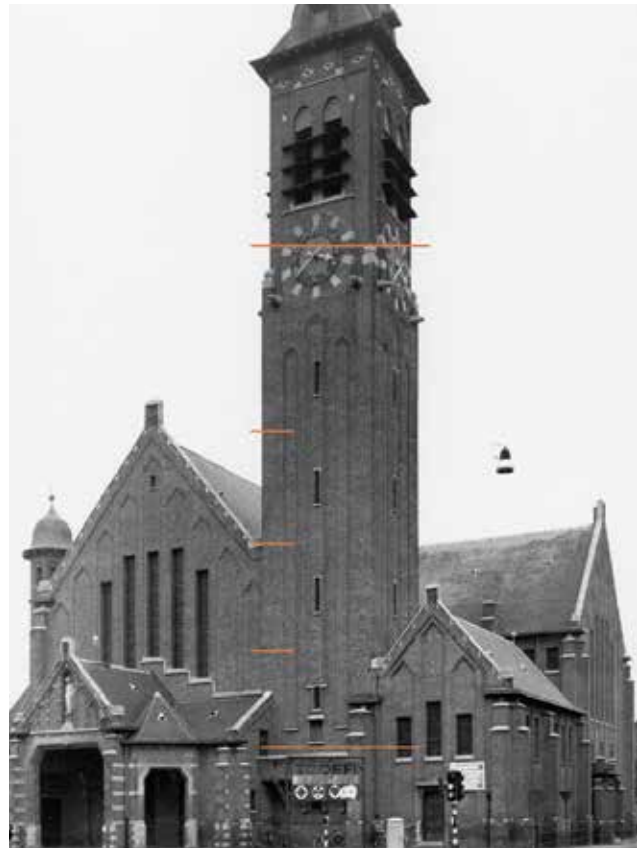
‘Compatibiliteit’ is een breed begrip. Vanuit het standpunt van preventieve conservatie is een nieuw materiaal compatibel met het historische, indien dit geen schade veroorzaakt aan het laatste. Hierna zetten we aan de hand van twee cases uiteen dat een goed onderbouwd en aangepast vooronderzoek veel meer is dan een ‘copy-paste’ van een standaardprocedure.

CASUS 1: ONZE-LIEVE-VROUW-MIDDELARESKERK

De bakstenen toren van de Onze-Lieve-Vrouw-Middelareskerk in Turnhout (uit 1931) bestaat uit drie te onderscheiden delen boven elkaar: het gelijkvloers (‘begane grond’), vier open verdiepingen met trappen aan de buitenmuur, en ten slotte een klokkenruimte met aan elke kant twee galmgaten (afb. 2).

De muren bestaan uit vol metselwerk: de buitenste halve steen is gemetseld met bakstenen van een hogere kwaliteit (hierna genoemd ‘parementsteen’), terwijl de rest bestaat uit een ander soort baksteen van iets lagere kwaliteit (hierna: ‘kernbaksteen’). De mortel is over de volledige muurdikte hetzelfde, met uitzondering van de ongeveer 1,5 cm diepe voegmortel die tijdens de restauratie van 1995 is aangebracht. Tijdens deze restauratiefase kreeg de volledige gevel ook een waterwerende behandeling. Inmiddels vertoont het baksteenmetselwerk aan de binnenzijde van de gevels afstoting van oppervlaktelagen (van minimaal één cm dik) en lokaal zoutuitbloei, vooral aan de west-georiënteerde gevels.

Afstoting van oppervlaktelagen doet zich voor op zowel baksteen als voeg. De voeg is bovendien lokaal sterk verpoederd. Momenteel vertonen diverse bakstenen een zichtbare barst min of meer parallel aan het oppervlak; er is dus kans op materiaalverlies in de toekomst. Tijdens het wegnemen van een dergelijke loszittende oppervlaktelaag wordt veelal geen zoutuitbloei bemerkt. Het schadefenomeen van afstoting van oppervlaktelagen doet zich intens voor op de gevels net onder de klokkenruimte. De sterk beschadigde



torenruimte is niet geventileerd. De totale muurdikte bedraagt op die hoogte ongeveer 70 cm.

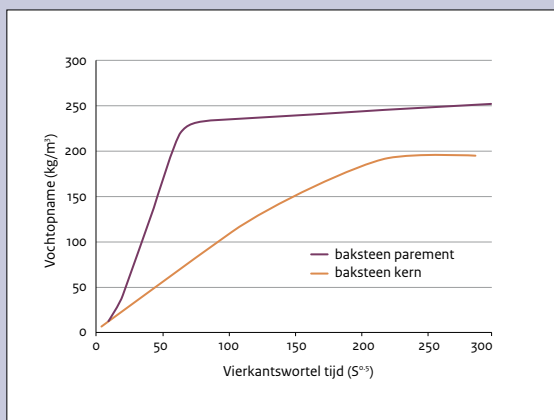
Uit het geheel kon worden opgemaakt dat de inwerking van vorst, eventueel lokaal in combinatie met zoutbelasting, de oorzaak is van het afstoten van oppervlaktelagen aan de binnenzijde van het baksteenmetselwerk. Voor zowel vorst- als zoutschade speelt vocht een centrale rol. Vorstschade treedt op in de winter, wanneer vorstgevoelige materialen belast worden met water. Zouten opgelost in water migreren (verplaatsen zich) naar het droogfront waar water verdampt en zouten worden afgezet.

Gezien de intense schade aan de binnenzijde van vooral de west-georiënteerde gevel van de toren, verliep droging van het metselwerk waarschijnlijk deels via de binnenzijde en onvoldoende via de buitenzijde. Uiteraard belemmert een waterwerende behandeling het droogproces naar buiten toe, zodat een groter deel van het aanwezige vocht in de muren aan het binnenoppervlak zal verdampen.

Er vond een diepgaand onderzoek plaats naar de poriënstructuur en de vochttransportkenmerken van de

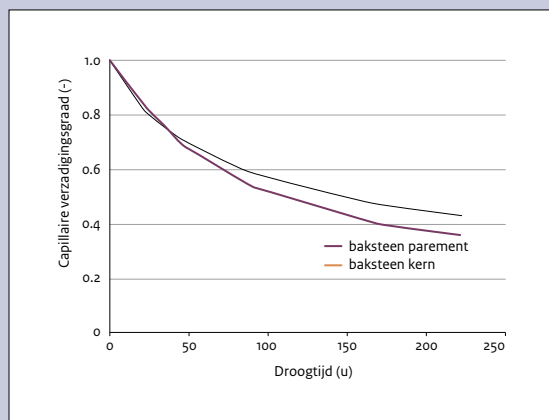
Afbeelding 3

Verloop van de capillaire waterabsorptie voor de parementbaksteen en de baksteen van het kernmetselwerk (bron: KIK).



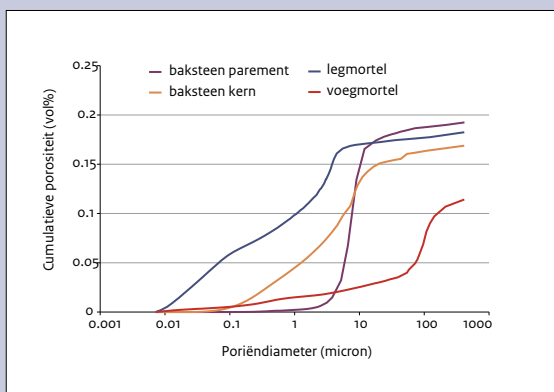
Afbeelding 4

Drooggedrag van de bakstenen (bron KIK).



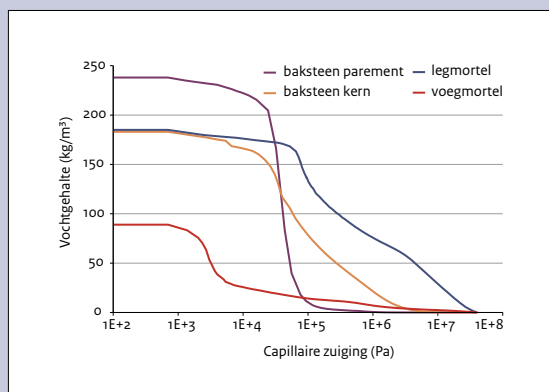
Afbeelding 5

Cumulatieve poriënverdeling van de vier materialen (bron: KIK).



Afbeelding 6

Vochtretentiecurves van de vier materialen (bron: KIK).



Tabel 1

Overzicht van materiaaleigenschappen. De gegeven waarden zijn gemiddelden en de standaarddeviatie wordt voorafgegaan door '±', indien ze kon worden berekend.

	baksteen parement	baksteen kern	voegmortel	legmortel
Porositeit (vol.%)	31,5	28,4	>22,1	31,7
Capillair verzadigingsvochtgehalte (kg/m³)	238 ± 34	183 ± 24	89 ± 25	185 ± 35
Capillair verzadigingsvochtgehalte (vol.%)	23,8 ± 3,4	18,3 ± 2,4	8,9 ± 2,5	18,5 ± 3,5
Capillaire water-absorptiecoëfficiënt A (kg/m²s⁰·⁵)	0,290 ± 0,013	0,105 ± 0,052	0,123 ± 0,037	0,192 ± 0,037
Mediaan poriëndiameter (µm)	4,6	2,5	62,6	0,7
Droge schijnbare dichtheid (kg/m³)	1,70	1,90	1,97	1,74

bakstenen, en de leg- en voegmortel in de toren, naast een gedetailleerd onderzoek naar de zoutbelasting. Dit om de hierboven gestelde hypothese te staven en een aangepast restauratieadvies te formuleren.

Vier cilindrische monsters werden uitgeboord over de volledige muurdikte en onderworpen aan een visuele inspectie om de aard van de materialen en hun onderlinge samenhang te bepalen. Het metselwerk bleek vrij homogeen en samenhangend. Van deze boorkernen en van apart uitgenomen volledige bakstenen zijn vervolgens monsters genomen om de capillaire waterabsorptie en het drooggedrag van baksteen en mortels vast te stellen.

De capillaire waterabsorptie wordt gemeten over een periode van enkele uren en het resultaat – de absorptiecoëfficiënt A – wordt uitgedrukt in $\text{kg/m}^2\text{s}^{0.5}$. De proef is dus een uitgebreide versie van de meting van de initiële wateropname die in veel publicaties vermeld wordt. De poriënstructuur werd bepaald aan de hand van kwik-porosimetrie.¹

De resultaten van de materiaaleigenschappen zijn als input gebruikt voor het simuleren van het niet-stationair warmte- en vochttransportgedrag,² met het programma Delphin 5.³ Als buitenklimaat werden de weersomstandigheden van Essen (Duitsland) genomen: deze zijn beschikbaar in de software en komen goed overeen met het klimaat ter plaatse. Verder zijn over de gehele diepte van de boorkernen monsters gelicht van baksteen en mortel voor het uitvoeren van een kwantitatieve analyse van zouten.⁴

Zoutbelasting

Uit de zoutanalyse bleek dat de zoutbelasting in de monsters doorgaans gips ($\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$) betrof. Gips heeft een lage oplosbaarheid en een geringe hygroscopische vochttopname. Daardoor is het een niet-destructief zout. Schade door gips is alleen te verwachten bij intense en continue vochtbelasting. Schade door gips lijkt dan ook uitgesloten.

Capillaire waterabsorptie

Het verloop van de capillaire waterabsorptie in relatie tot tijd ($\text{s}^{0.5}$) is voor de parementsteen en de kernbaksteen weergegeven in afbeelding 3. Bij benadering kunnen telkens twee achtereenvolgende rechten worden afgeleid; typisch voor onbehandelde bouwmaterialen. Waaruit blijkt dat het waterwerende effect vijftien jaar na de behandeling nauwelijks meer aanwezig is. Uit de eerste helling wordt de capillaire absorptiecoëfficiënt A berekend. De knik in de curve komt overeen met het

capillair verzadigingsvochtgehalte. De tweede, veel vlakere rechte, komt overeen met de langzame diffusie van de lucht aanwezig in de poriën.

Droging en hygroscopisch gedrag

De resultaten van de droogproef voor bakstenen zijn weergegeven in afbeelding 4. Droging van niet-waterwerende poreuze bouwmaterialen verloopt volgens twee fasen. De eerste fase kent een lineair verloop, waarin vloeibaar water migreert naar het oppervlak en vervolgens verdampt.⁵ Het verdampte vocht wordt onmiddellijk vervangen door onderliggend water dat door capillaire zuigkracht naar het oppervlak beweegt. Als gevolg hiervan is het oppervlak tijdens deze eerste fase continu nat.

Naarmate de droging vordert en het vochtgehalte afneemt, wordt de permeabiliteit (doordringbaarheid) te laag om het oppervlak continu nat te houden en ontstaat een vochtfront in het materiaal.⁶ Dan breekt de tweede fase aan. Hierin vindt alleen droging plaats door migratie van waterdamp van het vochtfront naar het oppervlak; een proces dat veel trager verloopt.

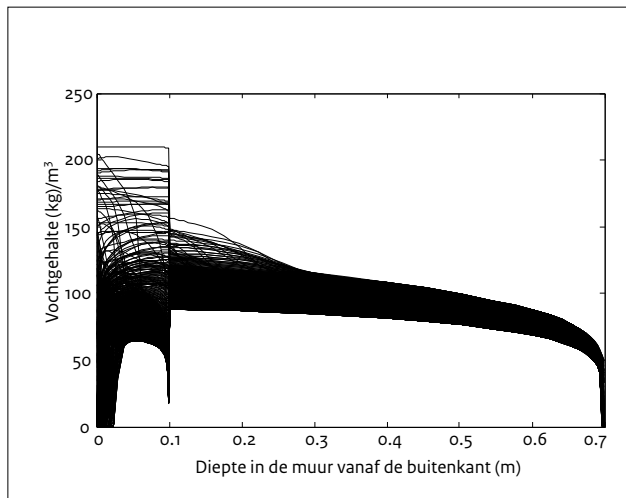
Het vochtgehalte aan het einde van de eerste droogfase wordt het kritisch vochtgehalte genoemd.⁷ Voor beide types baksteen bedraagt het kritisch vochtgehalte ongeveer 60 tot 75% van het capillair verzadigingsgehalte (dat is vrij hoog voor een baksteen). In termen van verzadigingsgraad verloopt de initiële droging even snel voor beide soorten baksteen (afb. 4), maar aangezien het verzadigingsvochtgehalte licht hoger is bij de parementsteen dan bij de kernbaksteen (afb. 3), kan men begrijpen dat de parementbaksteen een grotere effectieve waterdampstroom vertoont (en sneller kan drogen).

Uit afbeelding 4 kan ook worden afgeleid dat de parementbakstenen na negen dagen (216 uur) nog voor iets minder dan 40% verzadigd is; de kernbaksteen iets meer dan 40%. Voor de parementbaksteen is de aanwezigheid van de eerste droogfase opnieuw een indicatie dat het waterwerend effect nagenoeg verdwenen is. Na een waterwerende behandeling verloopt droging namelijk nagenoeg enkel via migratie van waterdamp door de vochtwerende laag. Het aanvankelijk lineair dalende deel van de curve zou in zo'n geval dus ontbreken.

Een eerste benadering van het hygroscopisch gedrag van de bakstenen volgt uit de meting van het resterend vochtgehalte na 45 dagen droging bij 50% RV (relatieve vochtigheid). De overeenkomstige waarde voor de baksteen van de kern is hoog ($27,5 \text{ kg/m}^3$) wat erop kan wijzen dat de baksteen sterk hygroscopisch is. Dit werd bevestigd in een korte hygroscopische opname-

Afbeelding 7

Gesimuleerde vochtprofielen over de diepte van de muur gedurende een jaar over de diepte van de muur; één curve om de 14 uur. Het vochtgehalte is uitgedrukt in kg/m^3 . Indien deze waarden worden gedeeld door 10, wordt het vochtgehalte uitgedrukt in volumeprocenten (bron: KIK).



proef waarbij droge proefstukjes van de kernbaksteen gedurende vijf dagen werden blootgesteld aan 95% RV. Daarmee werd een vochtgehalte van 10 kg/m^3 bereikt, wat relatief hoog is voor baksteen⁸ en daarom wijst op de aanwezigheid van (hygroscopische) zouten of op de aanwezigheid van zeer fijne poriën in het materiaal.

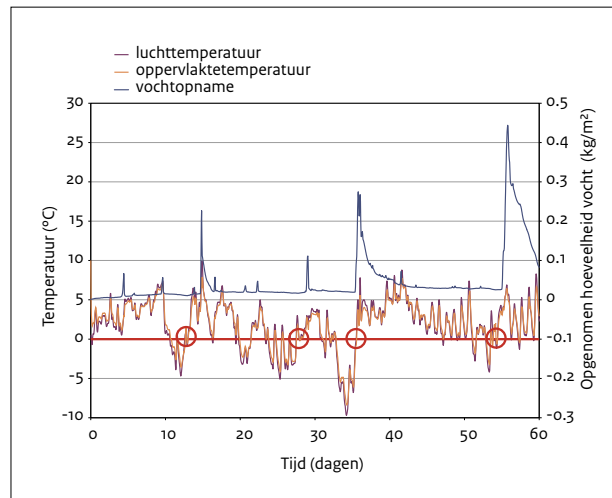
Het drooggedrag van de beide morteltypes vertoont ook grote onderlinge verschillen. De initiële dampstroomdichtheid die het oppervlak verlaat, is quasi gelijk voor beide mortels, dus ze verliezen aanvankelijk even snel vocht. Maar het verzadigingsvochtgehalte en het kritisch vochtgehalte van de voegmortel zijn lager (zie Tabel 1), zodat deze sneller een relatief droge toestand bereikt. De voegmortel begint namelijk al met een lager vochtgehalte en de (snelle) eerste droogfase zet zich ook langer door.

Poriënstructuur

In bakstenen komen meestal poriën voor van 1 tot $100 \mu\text{m}$ en elke baksteen heeft een eigen karakteristieke poriegrootteverdeling (zie ook hoofdstuk 'Baksteenproductie'). Uit de resultaten van de metingen met Hg-porosimetrie kon worden afgeleid dat de poriën van de parementsteen overwegend één dominerende diameter hebben (rond de $5 \mu\text{m}$), terwijl de poriënmaat van de

Afbeelding 8

Hoeveelheid vocht opgenomen door een hypothetische droge muur aan het binnenoppervlak van een sterk geventileerde torenruimte.⁹ De zwarte curve geeft de buitentemperatuur aan en groene cirkeltjes momenten van dooi. De oppervlaktetemperatuur (dunne bruine lijn) volgt nagenoeg (gedempt) de buitentemperatuur (bron: KIK).



kernbaksteen een mediaan heeft van $2,5 \mu\text{m}$, met een belangrijk aandeel aan kleine poriën tussen $0,1$ en $1 \mu\text{m}$ (afb. 5). Zulke fijne poriën werden bij de parementsteen nauwelijks teruggevonden.

De originele legmortel heeft een belangrijke groep poriën met diameter rond de $0,1 \mu\text{m}$, die veel minder aanwezig is in de recente voegmortel. Beide mortels hebben vermoedelijk ook nog een aandeel zeer fijne (nano)poriën, wat met deze techniek slechts gedeeltelijk wordt gemeten.

In Tabel 1 wordt een overzicht gegeven van de parameters die gebruikt werden om het vochttransport in de torenmuren te simuleren middels een rekenmodel. De parementbaksteen heeft grotere poriën dan de kernbaksteen en dus een hogere waterdoorlatendheid en waterabsorptiecoëfficiënt. Hieruit kan al voorspeld worden dat, indien beide types baksteen onderling in contact worden gebracht, de kernbaksteen een belangrijk deel van het vocht van de parementbaksteen opneemt en dit moeilijk weer afgeeft.

Ook de twee mortels verschillen onderling tamelijk sterk: de legmortel is poreuzer en absorbeert sneller. Door zijn sterke waterdoorlatendheid vormt de legmortel dus een goede brug tussen het parement en het achterliggende kernmetselwerk. De voegmortel heeft een belang-

rijk aandeel aan poriën met diameter rond 100 μm (zie afb. 5) – die capillair minder actief zijn (een minder sterke capillaire zuigkracht uitoefenen) – en een relatief laag gehalte aan kleinere poriën. De poriën van de legmortel daarentegen zijn doorgaans sterk zuigend; deze hebben een vrij uniforme diameter van maximaal circa 3 μm .

Vochtretentie

De vochtretentie of het vochtvasthoudend vermogen van een materiaal bepaalt hoeveel vocht er in de poriën van dat materiaal vastgehouden wordt door de adhesie met de poriënwand, als daar met een bepaalde onderdruk zuiging op wordt uitgeoefend.

Vochtretentiecurves van de vier bestudeerde materialen werden opgemaakt door de hoeveelheid kwik om te rekenen naar een hoeveelheid water en de poriëndiameter naar een maat voor capillaire zuiging. Afbeelding 6 geeft de berekende curven voor de vier materialen weer. Hier is met name te zien hoeveel sterker een droog materiaal zuigt dan een vochtig materiaal.

De capillaire zuiging is ter plaatse van een contactvlak tussen twee verschillende materialen altijd gelijk. Dat wil zeggen dat een parementbaksteen én de voegmortel bij een zuiging aan het contactvlak van bijvoorbeeld 10^5 Pa bijna droog zijn, terwijl de aangrenzende kernbaksteen en de legmortel respectievelijk zo'n 90 en 130 kg/m^3 vocht bevatten (deze waarden volgen uit de grafiek in afbeelding 6). Concreet betekent dit dat de kernbaksteen en de legmortel water naar zich toe trekken (die hebben immers smalle capillairen en die zuigen vocht uit wijdere capillairen).

De algemene trend van de vochtverdeling in de muur wordt geïllustreerd in afbeelding 7. Op momenten van hoge regenbelasting wordt het parement natter, waarna een herverdeling van het vocht optreedt: een deel verdampt weer aan het oppervlak en een deel wordt doorgegeven naar het kernmetselwerk. Dit laatste blijft gedurende het grootste deel van de tijd natter dan het parementmetselwerk.

Condensatie

Ook andere factoren van het vochttransport zijn onderzocht, waaronder het risico op condensatie aan het binnenoppervlak. Condens treedt op wanneer de temperatuur van het oppervlak van de baksteen lager ligt dan het dauwpunt. Indien bijvoorbeeld de temperatuur van de lucht in de toren 10 $^{\circ}\text{C}$ is en een relatieve luchtvochtigheid van 80% heeft, dan zal aan het oppervlak van de muur condensatie optreden als dat oppervlak kouder is dan ongeveer 7 $^{\circ}\text{C}$ (het dauwpunt). Situaties waarbij

de muur kouder is dan de lucht, en mogelijk ook dan het dauwpunt van de lucht, kunnen zich voordoen in periodes van stijgende (buiten)luchttemperatuur, dit als gevolg van de thermische traagheid van de dikke muur. De aanvoer van vochtige lucht hangt mede af van de ventilatie van de toren.

Resultaten van lab-experimenten of experimentele meetwaarden van de toren in verband met condensatie waren niet beschikbaar. Daarom is een simulatie uitgevoerd die rekening houdt met capillaire condensatie in de poriën en de hygroscopische vochtopname. Het model is een stuk muur dat aan de buitenzijde is afgesloten voor vocht en aan de binnenzijde blootgesteld staat aan buitencondities (uitgaande van een sterk geventileerde toren) tijdens de maanden januari en februari van de gebruikte klimaatdata.

Uit de resultaten (afb. 8) kan worden afgeleid dat periodes van vochtopname samenvallen met momenten van dooi, wanneer zich een hoge luchtvochtigheid voordoet. Het opgenomen vocht bevindt zich vooral in de eerste 2 cm. De piek met waarde van 0,4 kg/m^2 komt overeen met een vochtgehalte van 8 volumepercent op het meest vochtige punt.

CONCLUSIES OLV-MIDDELARESKERK

Gezien de afwezigheid van schadelijke zouten, kon worden bevestigd dat de inwerking van vorst aan de basis ligt van de schade aan de binnenzijde van de toren. De negatieve invloed van slagregen is aangetoond door de sterkere verwerking van de west- en zuidmuur. De vorstgevoelige kernbaksteen gekenmerkt door kleinere poriën, zuigt water opgenomen door de parementsteen naar zich toe. Verder is deze ook kwetsbaar door zijn sterk hygroscopisch gedrag. Vaak wordt weinig rekening gehouden met condens als oorzaak van schade, terwijl in perioden van dooi behoorlijk wat vocht opgenomen kan worden dichtbij het oppervlak, dat dan erg kwetsbaar is als er opnieuw vorst optreedt.

De positieve invloed van een waterwerende herbehandeling werd eveneens gesimuleerd en bleek beperkt te zijn. Het voordeel van verminderde wateropname wordt namelijk teniet gedaan door verminderde droging. Hierbij is voorbehoud op zijn plaats, omdat we geen experimentele meetresultaten hebben van behandelde materialen en de simulatie dus berust op ruw geschatte parameters. Extra ventileren van de torenruimte leidt in de simulaties wel tot een positief effect in de eerste centimeters van de muur. De berekening hiervoor was gebaseerd op een schatting van het huidige klimaat in de toren, maar met een verhoogde



overgangscoefficiënt voor waterdamp (overeenkomend met hogere luchtsnelheden) aan het oppervlak, zodat de muur vlotter droogt.

Aangezien de intrinsieke eigenschappen van de baksteen van de kern niet verbeterd kunnen worden (tenzij door vervanging), liggen alle mogelijke oplossingen in het bijsturen van de klimaatomstandigheden en randvoorwaarden. Daarbij werden twee opties voorgesteld: de toren 's winters (zwak) ventileren met binnenlucht uit de kerkruimte (in plaats van buitenlucht) of het op kritische momenten tijdelijk en gecontroleerd verwarmen van de muuroppervlakken met infrarode straling. Voor de eerste optie kan men op een slimme manier gebruikmaken van het schoorsteeneffect van de toren, middels een regelbare doorvoeropening.

CASUS 2: HOEVE HOF DE PLEYNE

Dat zouten schade kunnen veroorzaken aan steenachtige materialen, is alom gekend. Afwisselende cycli van oplossing-kristallisatie kunnen in de poriënstructuur kristallisatiespanningen veroorzaken, met verpoederig, verkrumming en zelfs het afstoten van een gehele oppervlaktelaag als gevolg. De term 'hygroscopiciteit' van zouten kan dan wel begrepen lijken, de mogelijke consequenties voor poreuze bouwmaterialen belast met dergelijke zouten en hun aangebrachte afwerkingsystemen echter veelal niet.

Afbeelding 9

Schuur van hoeve Hof De Pleyne te Loppem tijdens monsterneming (foto KIK).

Elk zout heeft een eigen zogeheten transitiepunt. Dit is de relatieve vochtigheid (RV) waarbij in omstandigheden van stijgend luchtvochtgehalte (dus stijgende RV) de zouten spontaan luchtvocht absorberen en in oplossing gaan. Zo absorberen natriumnitraat (NaNO_3) en natriumchloride (NaCl) als enkelvoudig zout spontaan vocht uit de lucht rond 75% RV (20°C) en gaan ze in oplossing.

Concreet kan de hygroscopiciteit van zouten in metselwerk aanleiding geven tot visueel waarneembare vochtvlekken. Die worden vaak aangetroffen in monumentale constructies en zijn doorgaans typerend voor gevels van oude boerderijen. Uitwerpselen van levende wezens bevatten nitraten die door middel van capillair opstijgend grondvocht in de gevel kunnen migreren. In drogende omstandigheden tot waarden onder het transitiepunt zullen de zouten hun geabsorbeerd luchtvocht afgeven, waardoor deze uitkristalliseren en de vochtvlekken verdwijnen.

De negentiende-eeuwse hoeve Hof De Pleyne te Loppem (afb. 9) is één van de vele boerderijen in België die het onderwerp is van ambitieuze filosofieën tot herbestemming. Binnen dit verbouwproject tot restau-

Afbeelding 10

Zoutbelaste muren van de hoeve Hof De Pleyne met zoutuitbloei dicht bij de vloer en vochtige vlekken (door hygroscopische zouten) samen met een donkere vervuiling in de zone daarboven (foto KIK).



rant kreeg de schuur een herbestemming als keuken, waarbij de binnengevels hun authentieke aanzicht maximaal dienen te behouden en hun afwerking moet beantwoorden aan de zogeheten 'HACCP-regelgeving'. HACCP is de afkorting voor Hazard Analysis and Critical Control Points en een risico-inventarisatie voor voedingsmiddelen (de Nederlandse vertaling is 'Geveensanalyse en kritische controlepunten'). Dat betekent dat onder meer dat de binnenmuren zo afgewerkt moeten worden dat ze kunnen worden afgewassen.

De opbouw van het metselwerk van de schuur is vrij eenvoudig: massieve muren in homogeen baksteen-metselwerk. Het door ons voorgestelde en uitgevoerde onderzoek moest inzicht geven in de technische haalbaarheid van dit herbestemmingsproject. Het was toegespitst op twee aspecten: ten eerste de huidige zoutbelasting en de daaruit eventueel voortvloeiende zoutremediëring van het metselwerk als geheel, en ten tweede de waterhuishouding van de buitengevels.

In geval van wateropname is het belangrijk de vochtuitwisselingskenmerken tussen de baksteen en de mortel te evalueren om het drooggedrag van het geheel te interpreteren. En om – rekening houdend met de zoutbelasting – een advies op te stellen voor een technisch aangewezen voegmortel voor de buitengevel én een binnenafwerkingssysteem.

Het onderzoek naar het vochttransport maakt gebruik van simulaties in Delphin 5. Daarbij zijn, net als in de casus in Turnhout, resultaten gebruikt van experimenteel bepaalde materiaalkenmerken van baksteen en mortel.

Zoutbelasting

De resultaten van de zoutanalyse toonden aan dat de zoutbelasting van de toekomstige keuken doorgaans gips, kaliumnitraat, natriumchloride en -nitraat betrof. Deze was vooral hoog voor de mortelmaterie. Op lage muurdelen (tot 50 cm hoogte) werd in de buitenste centimeter mortel tot 10 tot 20 gewichtsprocent (ten opzichte van totaal droog gewicht) aan zouten gedetecteerd, wat daalde met de diepte. Een zoutextractie is in geval van dergelijke hoeveelheden geen aangewezen en haalbare optie. Op hogere muurdelen werd een lager zoutgehalte gedetecteerd, dat evenwel niet steeds daalde met de diepte (afb. 10).

Men zou de schadelijke kristallisatiecycli kunnen vermijden door het binnenklimaat op een bepaalde constante relatieve vochtigheid te houden. Technisch bleek dit mogelijk, maar dan blijven in de lagere muurdelen de zouten continu in kristallijne vorm, terwijl ze in de muurdelen tussen 1 en 1,5 m hoogte steeds voorkomen als zoutoplossing in de poriën van de muur, met daardoor kans op vlekvorming en schimmelgroei.

Gezien deze beperkingen leek het aangewezen het zoutgehalte in alle binnengevels te reduceren. Het advies was om de mortel tot twee meter boven vloerniveau diep uit de muren te verwijderen en deze te vervangen door een mortel met een open poriënstructuur.

Enkel lokaal werd ook in de baksteen een niet te verwaarlozen zoutbelasting gedetecteerd waarvoor een tweemaalige zoutextractie werd aangeraden.

Capillaire waterabsorptie en poriënverdeling

Capillaire waterabsorptieproeven hadden uitgewezen dat de baksteen een zeer hoge capillaire waterabsorptiecoëfficiënt heeft ($1,51 \text{ kg/m}^2\text{s}^{0,5}$) – en bijgevolg bijzonder snel absorbeert – terwijl deze van de mortel een stuk lager is ($0,27 \text{ kg/m}^2\text{s}^{0,5}$). Opvallend was dat het capillair verzadigingsvochtgehalte van beide materialen nagenoeg gelijk is en tamelijk hoog (rond de 250 kg/m^3 of 25 volumeprocent).

De baksteenproefstukken droogden snel en nagenoeg volledig. De mortel droogde trager en bereikte – zoals gewoonlijk voor mortels – geen volledig droge toestand binnen de gemeten tijd. De poriën van de mortel zijn fijner (diameter tussen $0,01$ en $10 \mu\text{m}$) dan die van de baksteen (ongeveer $30 \mu\text{m}$) (afb. 11), wat typerend is voor historisch metselwerk.¹⁰

Na een regenbui geeft de baksteen, met zijn grovere poriën, een deel van zijn geabsorbeerd vocht af aan de voeg die op zich langzamer droogt. Tijdens dit proces worden aanwezige oplosbare zouten als het ware uit de

Tabel 2

Overzicht van de materiaaleigenschappen zoals gebruikt in de simulatie van de vochttransportkenmerken in de casus Hof De Pleyne.

	baksteen	mortel
porositeit (vol.%)	36%	34%
mediaan poriëndiameter (μm)	30,21	0,85
droge schijnbare dichtheid (kg/m^3)	1.601	1.609
waterabsorptiecoëfficiënt (A , $\text{kg}/\text{m}^2\text{s}^{0.5}$)	1,51	0,27
capillair verzadigingsvochtgehalte (kg/m^3)	251	248
capillair verzadigingsvochtgehalte (vol.%)	25,1	24,8
dampdiffusieweerstandsgetal μ (-)	10	15

baksteen geëxtraheerd en verder getransporteerd via de mortel. Deze theoretische benadering wordt door simulaties bevestigd en is in overeenstemming met de hogere experimenteel vastgestelde zoutbelasting in de mortel ten opzichte van de baksteen.

Voor de simulatie van het vochttransportgedrag werden gemiddelde waarden van de materiaaleigenschappen gebruikt (Tabel 2). De spreiding wat betreft resultaten werd als redelijk beschouwd voor historische materialen. Het waterdampdiffusieweerstandsgetal van de materialen ('mu-waarde' of ' μ -waarde') werd niet gemeten en is dus geschat op basis van literatuurgegevens en eigen data bekomen in andere projecten.

Vochtsimulaties

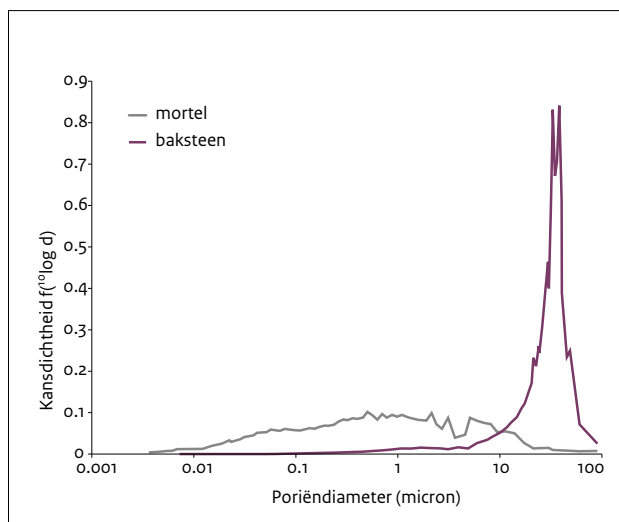
Alle simulaties zijn uitgevoerd voor de muur met NNW-oriëntatie. Deze muur is binnen het bouwproject het meest kritisch wat betreft vochtproblemen. Andere potentieel kritische muren worden in de nieuwe situatie namelijk binnenmuren.

Er zijn wat betreft muurdiepte twee eendimensionale geometrische modellen opgesteld: één model gaat uit van een muur die bestaat uit twee bakstenen met tussenliggende voeg (model A in afb.12) en één model van een doorlopende horizontale voeg (model B in afb. 12).

Uit resultaten van vochtsimulaties van model A bij de huidige randvoorwaarden kon worden afgeleid dat de baksteen het grootste deel van het jaar droog is (afb. 13). Een aantal keren per jaar bereikt het vochtfront de voeg, die dan meteen ook een redelijke hoeveelheid vocht opneemt. Twee keer per jaar migreert een hoeveelheid vocht tot aan de binnenkant van de muur, maar daar wordt het vochtgehalte nooit hoger dan $70 \text{ kg}/\text{m}^3$.

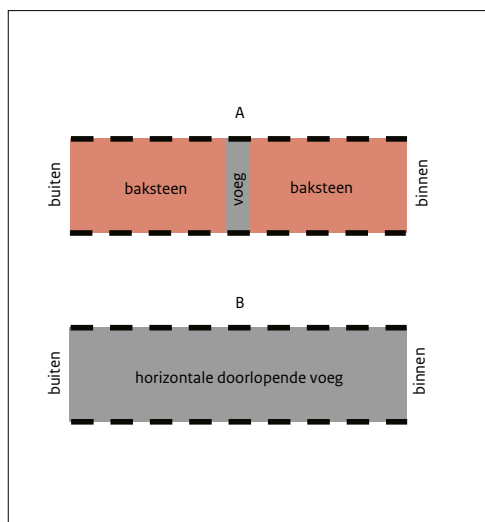
Het vochtgehalte in de verticale voeg stijgt kortstondig tot verzadiging, maar blijft gedurende een groot deel van het jaar op 30 tot 50% van verzadiging. De baksteen aan de buitenkant vervult in dit geval vooral de functie van 'vochtbrug' naar de mortel, die trager droogt.

Het grootste gevaar op regendoorslag wordt dus verwacht via de doorlopende voegen (model B). Indien het binnenoppervlak wordt afgesloten met een water- en dampdichte transparante laag (omwille van de hierbo-



Afbeelding 11

Gemiddelde poriënverdeling van baksteen en mortel (bron: KIK).

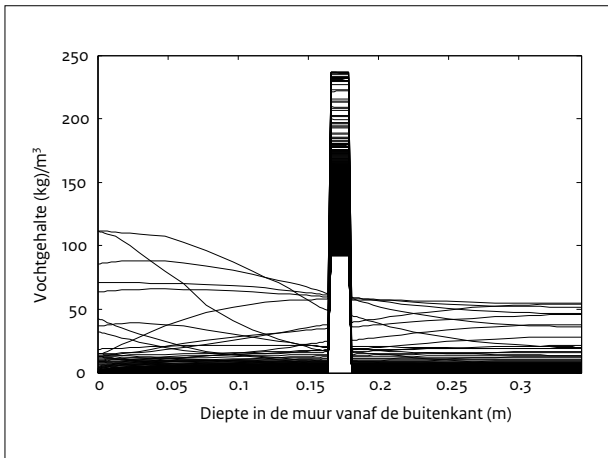


Afbeelding 12

1D-modellen A en B voor vochttransport door de muur.

Afbeelding 13

Gesimuleerd vochtgehalte in model type A als functie van de plaats in de muur gedurende één jaar; één curve om de 9 uur (bron: KIK).



ven vermelde HACCP-regelgeving), zal het vochtgehalte stijgen door de verhinderde droging.

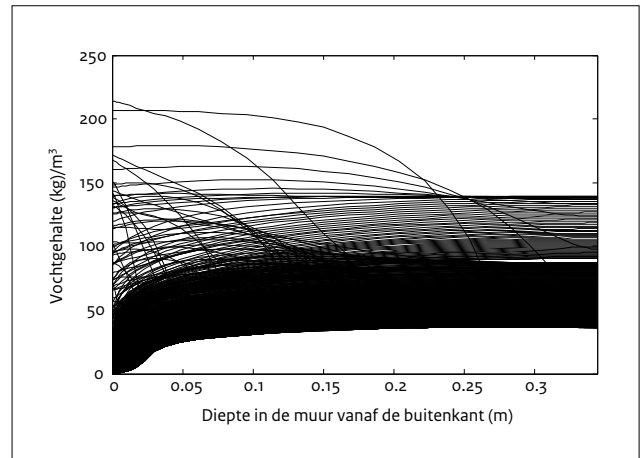
Deze meest negatieve situatie werd gehanteerd voor de tweede reeks simulaties. Het verkregen verloop van het vochtgehalte over een periode van één jaar is weergegeven in afbeelding 14. Hieruit blijkt dat de mortelvoegen geen groot gevaar op regendoorslag vormen, zelfs achter een waterdichte coating: hun vochtgehalte blijft grotendeels lager dan 50% van verzadiging (verzadiging bij 248 kg/m³, Tabel 2). Dit betekent dat er geen opeenhoping van vloeibaar water achter de coating kan ontstaan en dat er waarschijnlijk geen zichtbare vlekken achter de transparante coating worden gevormd.

De relatieve vochtigheid in poriën van de mortel achter de coating kan echter wél vaak hoge waarden aannemen. Het verloop van de berekende waarden van de RV op 1 mm achter het binnenoppervlak is weergegeven in afbeelding 14. Hieruit volgt dat voor een zogeheten 'open muur' de RV aan de binnenzijde evolueert tussen 73% en 100%. Het aanbrengen van een water(damp)dichte coating zoals een epoxyproduct of polyurethaan op het binnenoppervlak veroorzaakt een sterke verhoging van deze RV tot waarden die continu boven de 95% liggen (de zwarte lijn in afb. 15).

In omstandigheden van de huidige zoutbelasting zou dit impliceren dat zo goed als alle aanwezige zouten luchtvocht absorberen en bijgevolg in oplossing zijn. Dat zou concreet betekenen dat er visueel vochtige vlekken verschijnen aan de achterkant van een eventuele

Afbeelding 14

Gesimuleerd vochtgehalte in model type B als functie van de plaats in de muur gedurende één jaar; één curve om de 9 uur (bron: KIK).



coating. Dit resultaat bevestigt dan ook de noodzaak tot het zorgvuldig verwijderen van de zoutbelaste mortel.

Daarnaast creëert het aanbrengen van een organische coating een voedingsbron voor schimmels.¹¹ Het risico bestaat dat zich achter een coating schimmelkolonies ontwikkelen met vlekvorming tot gevolg.¹² Zeker gezien de huidige voorziene herbestemming tot keuken is dit niet aanvaardbaar.

Oplossing

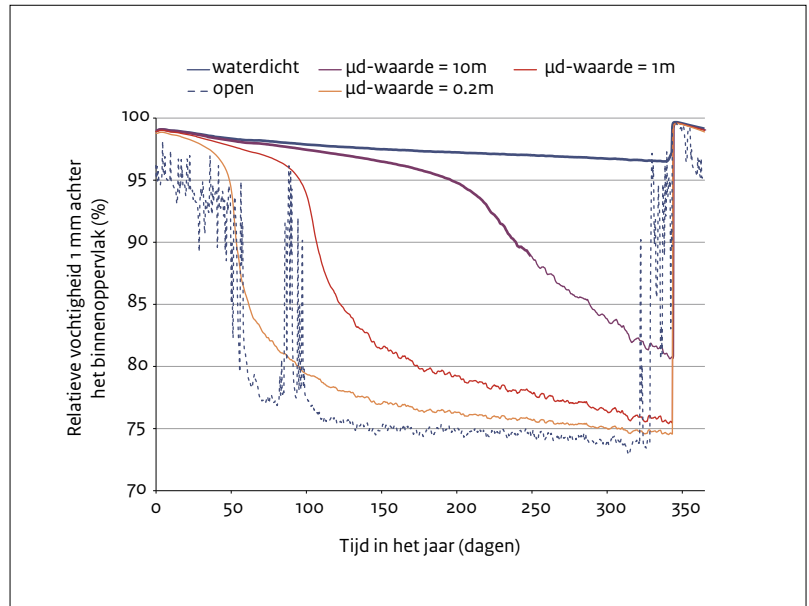
Bovenstaand probleem kan vermeden worden door te opteren voor een meer dampopen afwerkingssysteem en het gebruik van organisch materiaal zo veel mogelijk te beperken. De afwerking aan de binnenzijde zou dus ideaal gezien afwasbaar moeten zijn, maar toch niet volledig dampdicht en liefst niet organisch.

Om een idee te geven hoe dampopen een binnenafwerking dan precies moet zijn, zijn extra simulaties uitgevoerd voor verschillende afwerkingssystemen met verschillende waterdampweerstand (μ d-waarde 0,2, 1 en 10 m). Uit afbeelding 15 blijkt dat het resultaat voor μ d = 1m net aanvaardbaar kan zijn.

Wat betreft de voegmortel van de buitengevel volstaat het om plaatselijk de beschadigde delen te vervangen. Zowel aan de buiten- als aan de binnenzijde wordt best geopteerd voor een mortelmaterie die gelijkaardige vochttransporteigenschappen vertoont als de huidige. Dit kan bereikt worden met een samenstelling op basis van natuurlijke hydraulische kalk (NHL₃ of

Afbeelding 15

Relatieve vochtigheid op 1 mm achter het binnenoppervlak voor een muur in vijf varianten: zonder afwerkingsysteem ('open'), met een water- en dampdicht afwerkings-systeem ('waterdicht') en met afwerkings-systemen in drie verschillende μ d-waarden (0,2, 1 en 10 m), tijdstip 0 is 1 januari (bron: KIK).



NHL5). Aan de buitenzijde kan een sterker hydraulische mortel gebruikt worden dan aan de binnenzijde.

TOT SLOT

Zoals uit bovenstaande voorbeelden blijkt, kan vooronderzoek naar bouwfysische schadeprocessen bij historisch metselwerk belangrijke informatie opleveren voor een passende restauratieaanpak. Standaardprocedures zijn daarbij niet vast te stellen. Het vooronderzoek moet worden afgestemd op zowel de specifieke architectonische en bouwfysische kenmerken van het object als de bestemming ervan.

Literatuur

- Gu, J.-G., & J.-D. Gu, 2005, 'Methods Currently Used in Testing Microbiological Degradation and Deterioration of a Wide Range of Polymeric Materials with Various Degree of Degradability: A Review', in: *Journal of Polymers and the Environment*, nr. 13 (1), pp. 65-74.
- Hens, H., 1997, *Bouwfysica 1. Warmte- en massatransport* (vierde uitgave), Leuven, Acco.
- Nicolai, A., 2007, *Modeling and numerical simulation of salt transport and phase transition in unsaturated porous building materials*, doctoraalthesis, Syracuse University.
- Viitanen, H., et al., 2009, 'Moisture and Bio-deterioration Risk of Building Materials and Structures', in: *Journal of Building Physics*, nr. 33 (3), pp. 201-224.

Noten

- De metingen van de poriënverdeling werden uitgevoerd met een Micromeritics Autopore IV toestel.
- Met 'niet-stationair warmte- en vochtgedrag' wordt bedoeld dat het geen berekening is van constante stromen, zoals bijvoorbeeld een berekening van een warmteweerstand van een muur, maar dat rekening wordt gehouden met de capaciteit van de materialen en met de continu veranderende randvoorwaarden van regen, zon en wind. De software berekent deze fenomenen door het oplossen van een stelsel gekoppelde differentiaalvergelijkingen, volgens een zogenaamde 'controlevolume-methode' (CVM).
- Zie Nicolai 2007.
- De zoutgehaltes werden bepaald met een ionenchromatografie-analyse (IC) met een toestel van Metrohm.
- Hens 1997.
- Zie noot 5.
- Het kritisch vochtgehalte vormt de overgang tussen capillaire vochttransport en damptransport. Het kritisch vochtgehalte van een baksteen wordt bepaald door de vorm en maat van de poriën.
- Voor hygroscopische vochtname zijn deze waarden (27,5 kg/m³ en 10 kg/m³) relatief hoog. Bij capillaire vochtname worden echter aanzienlijk hogere waarden gemeten.
- Sterk geventileerd betekent dat de luchttemperatuur en RV gelijk verondersteld worden aan die van buiten.
- Noot van de redactie: in Nederland ligt bij bakstenen de piek in de poriëndiameter meestal onder 10 μ m, in Vlaanderen wordt voor bakstenen van voor 1850 een piek gemeten die ligt tussen 1 en 50 μ m.
- Gu & Gu 2005.
- Viitanen et al. 2009.

14



Wijs worden uit schade

Diagnose van scheuren, vervormingen en scheefstanden

Scheuren, vervormingen en scheefstanden zijn veelvoorkomende verschijnselen in historisch metselwerk. Voor een passende aanpak van dit soort shades is een juiste diagnose van hun oorzaak essentieel. Dit hoofdstuk laat zien wat een schade ons kan vertellen over de oorzaak ervan – en wat niet. Daarmee biedt het een praktische handreiking bij het vroeg in het diagnoseproces – bij een eerste visuele inspectie – interpreteren van scheuren, vervormingen en scheefstanden in metselwerk.

Ouderdom komt met gebreken, dat is ook zo bij gebouwen. Schade aan historisch metselwerk is dan ook een wijdverbreid verschijnsel. Vooral scheuren, vervormingen en scheefstanden trekken aandacht. Ze roepen vragen op. Hoe ernstig is het? En wat moet eraan gedaan worden? Om dergelijke vragen zorgvuldig te kunnen beantwoorden, is inzicht nodig in het achterliggende schadeproces. Net als in de medische wereld is er een diagnose nodig.

Helaas is het stellen van een juiste diagnose niet altijd eenvoudig. Shades met verschillende oorzaken vertonen soms verrassend veel gelijkenis. Zo kan het gebeuren dat men denkt dat de schade komt door zettingen van de ondergrond, terwijl in werkelijkheid de inwerking van temperatuurswisselingen de boosdoener is. Het is belangrijk steeds alle alternatieve hypothesen bewust tegen elkaar af te wegen. Een verkeerde diagnose kan immers tot verkeerde maatregelen leiden, en daarmee meer kwaad doen dan de eigenlijke kwaal.

AFWEGEN VAN MOGELIJKE OORZAKEN

Met name in de eerste fase van het diagnoseproces is veel winst te behalen; daar worden hypothesen geformuleerd. Wanneer dan mogelijke oorzaken over het hoofd worden gezien, is de kans klein dat ze in een latere fase alsnog worden herkend. Het is daarom zaak

om vroeg in het diagnoseproces zo veel mogelijk alternatieven zorgvuldig te overwegen.

In het kader van haar promotieonderzoek heeft de auteur meer dan vijfhonderd in de literatuur beschreven schadegevallen geanalyseerd. Op basis van deze analyse heeft zij een overzicht opgesteld van veelvoorkomende schadepatronen in metselwerk, met daaraan gekoppeld mogelijke oorzaken.^{1, 2}

Dit hoofdstuk biedt een beknopte handreiking om bij een eerste visuele inspectie scheuren, vervormingen en scheefstanden te interpreteren op een gestructureerde, heldere manier. Dit in stappen aan de hand van een aantal vragen, die we hierna zullen bespreken:

- Is dit schade?
- Waaruit bestaat de schade?
- Wat zegt de schade ons?
- Welke oorzaken kunnen tot deze schade hebben geleid?
- Wat zegt de context van de schade?
- Tijd als diagnosehulpmiddel
- En dan... ingrijpen of niet?

IS DIT SCHADE?

Bij het opnemen van schade zijn er valkuilen. Bij het beoordelen van kennelijke shadesituaties is het goed zich bewust de vraag te stellen: wat zie ik? Is dit schade? Is er eigenlijk wel sprake van schade?

Afbeelding 1

Drie voorbeelden van schade die geen schade blijkt te zijn. Van links naar rechts: opvallende verbouwingsvoeg die als een scheur kan worden opgevat; zogenaamde varkens in het metselwerk, gebruikt om een verzakking opgetreden tijdens de bouw te corrigeren; en een knik in een kerktoeren, ook om verzakkingen tijdens de bouw te corrigeren (foto's auteur).



Schade in het algemeen is een teken van onderprestatie, het aan het licht komen van een gebrek. In feite kan alles wat niet aan iemands verwachtingen of eisen voldoet als schade worden aangemerkt. Hoewel verwachtingen en eisen per persoon kunnen verschillen, heeft men bij gebouwen meestal een aantal aannames:

- randen horen recht te zijn, niet gebogen;
- hoeken horen haaks te zijn, niet scherp of stomp;
- wanden horen verticaal te zijn, niet uit het lood;
- wanden horen vlak te zijn, niet bol te staan;
- vloeren en platte daken horen vlak te zijn, niet hellend of doorgebogen.

Metselwerk met zijn voegenstructuur biedt een handig grid om te controleren of een gebouw aan deze verwachtingen voldoet. Afwijkingen kunnen dan als schade worden gezien.

Toch is het niet altijd terecht een dergelijke afwijking als schade aan te merken. Soms is deze juist het gevolg van een weloverwogen keuze. Een scheefstaande gevel kan bijvoorbeeld bewust op vlucht zijn gebouwd. Ook reparaties, bouwnaden of tijdens de bouw aangebrachte correcties kunnen onterecht als schade worden aangemerkt, zie afbeelding 1.

WAARUIT BESTAAT DE SCHADE?

Met name historische gebouwen kennen vaak meerdere gebreken. Deze kunnen met elkaar te maken hebben, maar vaak ook spelen verschillende schadeprocessen

zich parallel af. Om een juiste diagnose te kunnen stellen, is het belangrijk de aanwezige schade op een gestructureerde manier in kaart te brengen. Als daadwerkelijk schade is geconstateerd, is de volgende stap dus vaststellen waaruit de schade bestaat. Een solide basis voor diagnose is het opsplitsen in losse kenmerken (symptomen) en deze helder en eenduidig beschrijven.

De drie basissymptomen die we in dit hoofdstuk behandelen zijn scheuren, vervormingen en scheefstanden. Bij alle drie is sprake van verplaatsingen of veranderingen van vorm, veroorzaakt door krachten. Bij scheuren is lokaal een opening ontstaan tussen uit elkaar bewegende (muur)delen. Bij vervormingen is de verplaatsing gelijkmatiger verdeeld: een gemetselde muur blijft een geheel, maar is bijvoorbeeld niet meer vlak of haaks. Van scheefstanden is sprake als een gebouw of bouwdeel is gerooteerd. De verplaatsing betreft dan het gehele bouwwerk.

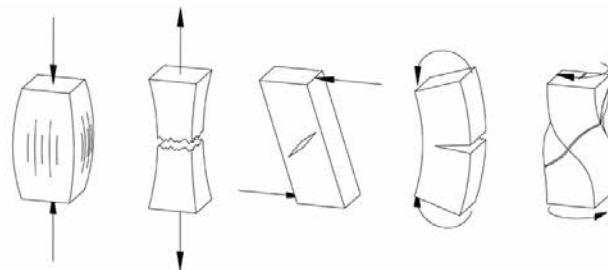
WAT ZEGT DE SCHADE ONS?

Wanneer alle schadesymptomen systematisch zijn vastgelegd in tekst en beeld, is het tijd voor de volgende stap: het interpreteren. Helaas zegt de schade ons zelden direct iets over de oorzaak ervan. Meestal kan slechts de richting van de belasting worden afgeleid. Om dat te doorzien, moeten we weten hoe schade ontstaat.

Scheuren, vervormingen en scheefstanden ontstaan onder invloed van krachten. Wanneer men kracht zet

Afbeelding 2

Vijf basisbelastingen en de bijbehorende scheuren. Van links naar rechts: druk, trek, afschuiving, buiging en wringing (tekening auteur).



op een materiaal, komt dit materiaal onder spanning te staan en zal het vervormen. Bij sommige materialen, zoals rubber, zijn deze vervormingen al bij kleine krachten groot. Bij andere materialen is de vervorming onder een opgelegde belasting niet eens met het blote oog zichtbaar – totdat de spanning groter wordt dan de materiaalsterkte en het materiaal bezwijkt. Er ontstaat dan een scheur. Baksteen, natuursteen en cement vertonen dit gedrag. Door de vervormingscapaciteit van kalkmortel kan historisch metselwerk echter ook (langzaam) vervormen.

Op een gebouw werkt een heel scala aan krachten: het eigen gewicht van de constructie, het gewicht van meubels en mensen, maar ook wind, sneeuw, zonnestraling en de druk van grond en water. Om deze belastingen te kunnen opnemen, moet een gebouw reactiekracht leveren. Daarbij zullen altijd vervormingen of scheuren optreden die, wanneer ze onze norm overschrijden, als schade kunnen worden gezien.

Wat wij als schade bestempelen, is dus in feite een aanpassing van het gebouw aan een bepaalde belasting. Bij het stellen van een diagnose is het de kunst om vanuit de schade de onbekende oorzaak te herleiden. Voor elk van de drie hoofdsymptomen zullen we op een rij zetten welke kenmerken ons daarbij kunnen helpen. Uitgangspunt is daarbij steeds de waargenomen verplaatsing.

Scheuren interpreteren

Scheuren in metselwerk ontstaan waar de trekspanning de treksterkte overschrijdt. De richting van de scheur

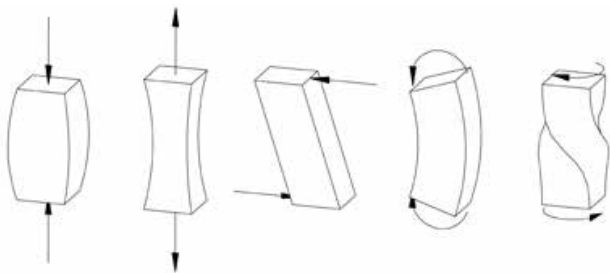
staat daarbij altijd loodrecht op die van de trekkracht of, om precies te zijn, de richting van de grootste trekspanning. Door excentriciteit of buiging kan een drukbelasting echter ook voor trekspanningen zorgen. Omdat die trekspanningen haaks op de drukspanningen staan, loopt de scheur dan ook parallel aan de drukkracht. De vijf basisvormen van scheuren zijn weergegeven in afbeelding 2.

Uit de richting van een scheur kan dus de richting van de grootste spanningen worden afgeleid. Ook de verplaatsing over de scheur is interessant, zie afbeelding 3. De richting waarin de muurdelen aan weerszijden van een scheur van elkaar af zijn bewogen, geeft inzicht in de richting van de opgelegde kracht. Let wel: het gaat steeds om krachtenkoppels van opgelegde belasting en reactiekracht. Controleer daarom steeds welk muurdeel is blijven staan en welk deel is verschoven, om te bepalen in welke richting de opgelegde kracht heeft gewerkt.

Afbeelding 3

Verplaatsing van muurdelen aan weerszijden van een scheur (v.l.n.r.): loodrecht op de richting van de scheur, in het vlak van de muur; parallel aan de scheur, in het vlak; en loodrecht op de scheur, uit het vlak (foto's auteur).





Afbeelding 4

Vijf basisbelastingen en de bijbehorende vervormingen. Van links naar rechts: druk, trek, afschuiving, buiging en wringing (tekening auteur).

Het meest veelzeggende kenmerk van een scheur is het verloop van de scheurwijdte over zijn lengte. Deze bepaalt men door op verschillende plekken langs een scheur de afstand te meten tussen wat oorspronkelijk aangrenzende punten waren. Een constante scheurwijdte over de lengte wijst op een translatie; een zuivere verschuiving. Deze kan alleen door zuivere trek worden veroorzaakt. Een scheur die aan één zijde wijd uitloopt, wijst op een rotatie en daarmee op buiging. En een scheur die het wijdte is halverwege en naar beide einden toe in wijdte afneemt, duidt op afschuiving. Het al dan niet taps toelopen van een scheur geeft dus aan van welke van de vijf basisbelastingen uit afbeelding 2 sprake is.

Ook scheurwijdte is een opvallend kenmerk. Deze heeft echter op zichzelf weinig diagnostische waarde. Hooguit laat de scheurwijdte zien hoe groot de verplaatsing in totaliteit is. Daarbij moet echter wel naar

het totaal aan scheuren gekeken worden: een tiental scheuren van 1 mm wijst op meer verplaatsing dan een enkele van 5 mm!

Voor de diagnose van scheuren is het dus belangrijk op drie kenmerken te letten. De richting van de scheur geeft aan wat de richting is van de grootste trekspanning. Uit de verplaatsing over de scheur is vervolgens de richting van de opgelegde kracht af te lezen. En het al dan niet taps toelopen zegt iets over het type basisbelasting.

Vervormingen interpreteren

Bij historisch metselwerk komen naast scheuren ook vervormingen voor. Dit komt door het gebruik van kalkmortel, dat enige capaciteit heeft te vervormen. Nieuwer metselwerk met cementmortel kan dat niet of nauwelijks. Aangezien de vervorming alleen zeer geleidelijk kan ontstaan, wijst deze op een langdurige belasting.

Bij vervormingen volgt de verplaatsing over het algemeen de kracht, zie afbeelding 4. Daardoor zijn vervormingen relatief makkelijk te interpreteren. Er is echter één uitzondering: onder grote druk kunnen slanke bouwdelen zoals muren zijdeling uitbuigen. Dit verschijnsel wordt 'knik' genoemd. In dat geval staat de verplaatsing loodrecht op de opgelegde belasting.

Voor de diagnose is het belangrijkste kenmerk van een vervorming dus de richting van de verplaatsing. De

Afbeelding 5

Vervormingen. Links: in het vlak, af te lezen aan het niet meer horizontaal lopen van de lintvoegen. Rechts: uit het vlak, goed zichtbaar bij strijklicht (foto's auteur).



Afbeelding 6

Scheefstand van een muur is het best zichtbaar waar deze aansluit op een ander bouwdeel dat wel te lood staat (foto auteur).

vervormingen treden op in het vlak of uit het vlak. In het eerste geval is de wand nog wel vlak, maar bijvoorbeeld niet meer haaks (een voorbeeld hiervan is te zien in afbeelding 5, links). Vervormingen uit het vlak zijn vaak pas zichtbaar met strijklucht (afb. 5, rechts). Ze kunnen inwaarts of uitwaarts gericht zijn.

Scheefstanden interpreteren

Bij scheefstand roteert een gebouw of bouwvolume als één geheel, zonder dat er scheuren of vervormingen optreden (afb. 6). De oorzaak ligt vrijwel altijd in de wisselwerking tussen gebouw en ondergrond: het gebouw heeft als het ware zijn evenwicht verloren. Slanke, hoge gebouwen zoals torens zijn het meest gevoelig voor scheefstand, doordat ze een relatief hoge belasting op een klein oppervlak kennen. Maar ook bij lichtere, vrijstaande bouwwerken zoals tuinenmuren kan scheefstand optreden, bijvoorbeeld door de zijdelingse kracht van wind, opgehoogde grond of boomwortels.

MOGELIJKE OORZAKEN VAN SCHADE

Schadesymptomen bieden ons inzicht in de richtingen van de krachten die op een gebouw hebben gewerkt. De volgende stap is aan deze nogal 'abstracte' krachten concrete oorzaken te koppelen. Hiervoor is kennis nodig van de verschillende belastingen die kunnen leiden tot scheuren, vervormingen en scheefstanden in metselwerk. Daarbij zijn drie soorten processen mogelijk, die zich op verschillende schaalniveaus afspelen: bodembewegingen, overbelastingen en verhinderde volumeveranderingen.

Bodembewegingen hebben te maken met de wisselwerking tussen gebouw, fundering en ondergrond. Bij overbelasting gaat het om de krachtwerking binnen een gebouw, de draagweg waarlangs krachten naar de fundering worden geleid. En verhinderde volumeveranderingen spelen zich af op het niveau van een bouwdeel, bijvoorbeeld bij de aansluiting tussen twee materialen.

De bouwconstructie moet alle belastingen die op het gebouw werken, van thermische uitzetting tot het gewicht van een archiefkast, opnemen en uiteindelijk afdragen aan de ondergrond. Bij evenwicht zijn alle belastingen en reactiekrachten in balans. Schade kan ontstaan als dit evenwicht verstoord raakt: veranderin-



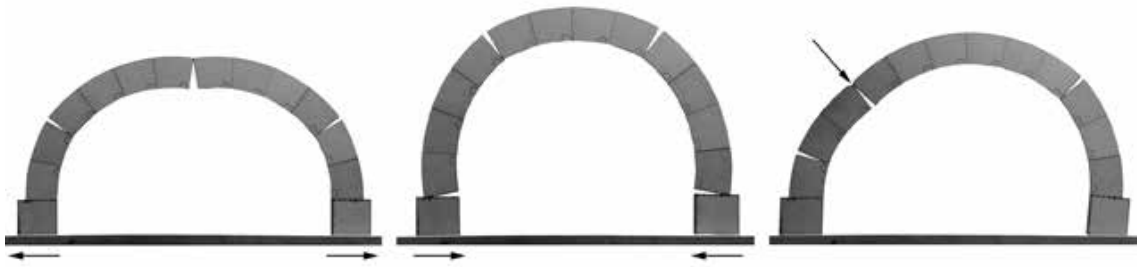
gen in plaats of in tijd dwingen een gebouw zich aan te passen aan gewijzigde omstandigheden. In de volgende paragrafen meer over welke situaties tot dergelijke veranderingen kunnen leiden, aan de hand van bovengenoemde drie basisprincipes.

Bodembewegingen

Ieder gebouw draagt uiteindelijk alle krachten af op de ondergrond. Dit leidt tot samendrukking van het grondpakket onder het gebouw: de grond klinkt in. Het gebouw zal deze bodembeweging moeten volgen.

Idealiter wordt een gebouw gelijkmatig gedragen door de ondergrond: er is dan evenwicht tussen gebouw, fundering en bodem. Bij veranderingen in een van deze drie actoren kunnen bodembewegingen optreden. Met name wanneer dit niet gelijkmatig gebeurt, kan schade ontstaan. Dit is bijvoorbeeld het geval bij:

- een ongelijke belasting vanuit het gebouw, zoals een verschil in gewicht tussen toren en schip van een kerk;
- een ongelijke funderingswijze, zoals bij een woonhuis op palen met daaraan vast een uitbouw met een ondiepere fundering;
- een ongelijke grondopbouw, zoals een lokale (ge vulde) sloot of veenlens.



Uiteraard hoeft een dergelijke ongelijkmatigheid niet tot schade te leiden, zolang er bij de bouw maar rekening mee is gehouden. Zo kan men de kerktoeren een zwaardere, diepere fundering geven dan de rest van de kerk, of deze delen in ieder geval los houden. Maar gebeurt dat niet, dan kan een scheur tussen de bouwdeelen ontstaan.

Aanleiding van ongelijkmatige bodembewegingen zijn dus verschillen of veranderingen in het gewicht van het gebouw, in de fundering of in de ondergrond. Bij dit type schadeproces grijpt de kracht dan ook aan de onderzijde van het gebouw aan. Dit betekent echter niet dat ook de verplaatsing het grootst is aan de onderzijde.

Overbelasting

Bij overbelasting draait het om evenwicht tussen bouwdeelen. De constructie van een gebouw moet allerlei belastingen opvangen en naar fundering en ondergrond afdragen. Daarbij zullen de krachten altijd het pad volgen dat de meeste weerstand biedt. Zwakkere, minder stijve elementen zullen immers wegbuigen of bezwijken, net zo lang totdat een ander, sterker element de last overneemt. Schade ontstaat dus wanneer de belasting hoger is dan een van de constructie-elementen langs dit pad aankan.

Veel belastingen die op een gebouw werken zijn bekend bij de bouw van het pand, bijvoorbeeld wind. Andere zijn onverwacht (explosie), of groter dan verwacht (gewijzigde gebruiksbelasting). Ook kan de constructie in de loop van de tijd dusdanig zijn gewijzigd of verzwakt dat deze niet meer voldoet. Een bekend voorbeeld is de zogenaamde 'loodgietersrot', waarbij balken zijn verzwakt door ingekapte doorgangen voor leidingen. Ook het ondoordacht weghalen van muren of trekstangen kan tot overbelasting en daarmee schade leiden.

Samenvattend ontstaat schade door overbelasting dus bij:

- een verandering in belasting;
- een verandering in draagweg;
- een verandering in draagkracht van een constructie-element.

De verschillende belastingen zijn vaak eenvoudig in te delen op basis van de richting waarin ze werken. Zo geeft het gewicht van een bouwdeel over het algemeen een verticaal naar beneden gerichte kracht. Dakspanten en gewelven leveren echter ook horizontale spatkrachten. Ook kunnen relatief slanke bouwdeelen, zoals dunne spouwmuren, uitknikken onder een verticale belasting; daarbij buigt de muur zijdelings uit. Bij het formuleren van een hypothese wordt dan ook met name gelet op de geometrie, de samenhang tussen de bouwdeelen.

Verhinderde volumeveranderingen

Ook binnen een bouwdeel werken krachten. Volumeveranderingen treden op onder invloed van:

- veranderingen in temperatuur of vochtgehalte;
- corrosie van ijzer opgenomen in het metselwerk;
- vorst, dat wil zeggen de vorming van ijskristallen in het metselwerk; of
- zouten, de vorming van zoutkristallen in het metselwerk.

Wanneer deze volumeveranderingen niet voldoende geacommodeerd kunnen worden, kan schade ontstaan.

Dit type schade treedt op op materiaalniveau. Vaak is het gekoppeld aan de overgang tussen twee materialen. Ook de invloed van klimaat is van belang, bijvoorbeeld de inwerking van temperatuurswisselingen en het blootstaan aan neerslag.



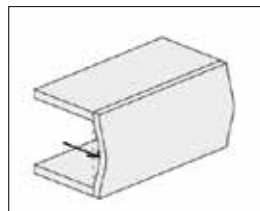
WAT ZEGT DE CONTEXT?

Bij alle drie de typen oorzaken valt op dat de context steeds een cruciale rol speelt in het schadeproces. Voor bodembewegingen is de opbouw van de ondergrond belangrijk, maar ook de geometrie van de funderingen en de geometrie van het gebouw zelf. Bij overbelasting is het essentieel de draagweg te onderkennen: hoe werken de verschillende constructieonderdelen samen, en hoe dragen ze krachten naar elkaar af? Bij verhinderde volumeveranderingen spelen juist materiaaleigenschappen een grote rol, naast de invloed van temperatuur en vocht.

Wanneer de krachten die afgeleid zijn uit het schadebeeld vertaald zijn in mogelijke oorzaken, is het tijd om deze aannames (hypotheses) op juistheid te onderzoeken. Daarbij kan dankbaar gebruikgemaakt worden van de rol die de context speelt in bovenstaande schadeprocessen. Door de locatie van de schade te analyseren in termen van materiaal, geometrie en omgeving, wordt duidelijk welke processen al dan niet kunnen hebben plaatsgevonden.

Materiaal

Wat betreft de invloed van materiaal kan allereerst gekeken worden naar het type metselwerk. Zo zijn bepaalde steensoorten gevoeliger voor bijvoorbeeld vorstschade dan andere. De combinatie van twee materialen kan wijzen op verschillen in volumeverandering. Zo hebben beton en hout grotere uitzettingscoëfficiënten dan metselwerk. De aanwezigheid van een ijzeren anker kan er juist op duiden dat corrosie een rol heeft gespeeld.



Afbeelding 8

Vervorming uit het vlak halverwege de hoogte van een muur (foto en tekening auteur).

Geometrie

De geometrie van een constructie-element geeft inzicht in zijn geprefereerde krachtswerking. Op deze manier kan de locatie van schade binnen een constructie uitsluitel geven of bepaalde aannames kloppen. Horizontale spatkrachten zijn te verwachten bij de aanzet van bogen, gewelven of dakspanten. Rond gevelopeningen en onder balken komen juist vaak spanningsconcentraties voor. En binnen bogen geeft de positie van scheuren inzicht in de belastingsrichting (afb. 7).

Omgeving

Voor bodembewegingen is de meest essentiële contextfactor de ondergrond. Niet-draagkrachtige lagen onder een deel van een gebouw kunnen de aanwezigheid van (zettings)scheuren helpen verklaren. Een andere belangrijke factor is klimaat. Zo is vocht een belangrijke voorwaarde voor het ontstaan van vorst- en zoutschade. Ten slotte kunnen ook calamiteiten in de omgeving, zoals aardbevingen, explosies of grootschalige bouwwerkzaamheden een verklaring vormen voor schade.

Belangrijk is te onderkennen dat juist de afwezigheid van een conditie ons helpt om een hypothese uit te sluiten. Het stellen van een diagnose is vooral een kwestie van mogelijkheden wegstrepen. Op basis van een visuele inspectie alleen zal men dan ook slechts zelden tot een sluitende diagnose kunnen komen. Maar op basis van een lijst hypothesen kan wel gericht verder onderzoek gedaan worden.

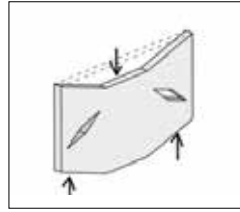
TIJD ALS HULPMIDDEL BIJ DIAGNOSE

Tijd speelt in een diagnoseproces op verschillende manieren een rol. Allereerst: wat is precies het tijdstip van ontstaan van de schade? Is de schade te verbinden aan een bepaalde gebeurtenis? Om meer precies te zijn: ontstond deze inderdaad pas bij het optreden van wat men aanneemt als oorzaak van de schade? Omdat schade vaak pas opvalt wanneer men ernaar zoekt, is dit meestal lastig vast te stellen. Het koppelen van een tijdstip aan het ontstaan van een schade is bovendien alleen goed mogelijk als de oorzaak duidelijk afgebakend is in de tijd, bijvoorbeeld bij een aardbeving of een verbouwing.



Afbeelding 9

Diagonale scheuren, paarsgewijs een boog vormend, boven raamopeningen (foto en tekening auteur).



Bij schadeprocessen met een geleidelijker verloop kan 'tijd' echter ook een hulpmiddel zijn om tot een diagnose te komen: namelijk door een periode te monitoren. Door de groei van schade in de tijd te volgen, kan deze immers gekoppeld worden aan het verloop van het schadeproces. Om seizoensinvloeden te kunnen aflezen, dienen metingen liefst over een periode van meer dan een jaar te worden doorgezet.

EN DAN... INGRIJPEN OF NIET?

Als de oorzaak met enige zekerheid bekend is, kan men over maatregelen nadenken. Daarbij is het allereerst van belang te bepalen of het schadeproces nog steeds plaatsvindt, en of de schade nog verergert. Monitoring kan daarover uitsluitsel geven. Interventie moet dan gericht zijn op het stoppen van het proces, liefst zo dicht mogelijk bij de bron.

Soms is aanpak bij de bron echter niet mogelijk, bijvoorbeeld bij thermische inwerking. Men kan dan wel maatregelen nemen om de schade zo acceptabel mogelijk te houden. Door bijvoorbeeld dilatatievoegen aan te brengen, die ervoor zorgen dat beweging zich op een bepaald gewenst punt concentreert. Beter is wellicht nog om te accepteren dat een bestaande scheur altijd enigszins zal 'werken'. Het vaststellen van de oorzaak neemt dan in ieder geval ongerustheid weg.

Schade die stabiel is en niet toeneemt, kan definitief gerepareerd worden. Men moet zich daarbij wel bewust zijn dat de plaats waar de schade optreedt altijd een zwakke plek blijft. De kans is daardoor groot dat nieuwe schade zich juist op deze plek zal concentreren – of op de aansluiting van de reparatie met het omringende metselwerk. Daarmee ontstaat opnieuw een valkuil voor nieuwe onderzoekers: is dit schade, of een reparatie?

EEN PRAKTIJKVOORBEELD

Ter illustratie van het diagnoseproces zullen we de verschillende stappen doorlopen aan de hand van een praktijkvoorbeeld. Het betreft hier een historisch hoekpand in Leiden, dat een aantal schadesymptomen laat zien, zie de grote afbeelding aan het begin van dit hoofdstuk.

Geheel links zien we een vervorming, die in detail is weergegeven in afbeelding 8. Deze schade is te omschrijven als een vervorming uit het vlak, uitwaarts gericht. Dit type verplaatsing kan veroorzaakt zijn door een horizontale, naar buiten gericht kracht, die aangrijpt ter hoogte van de maximale verplaatsing. De vervorming kan echter ook zijn ontstaan door uitknikken van de gevel, door een verticale drukkracht.

De oorzaken die hieraan gekoppeld kunnen worden, zijn mede af te leiden uit de context van de schade. De ankers in de muur duiden erop, samen met de positie van de ramen, dat zich een vloer bevindt ter hoogte van de maximale uitwijking. Een horizontale kracht zou veroorzaakt kunnen zijn door roestende ankers, maar ook door een doorbuigende vloer die de gevel laat meebuigen.

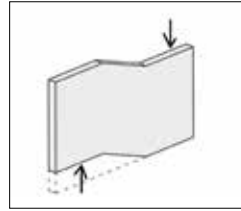
Dezelfde argumenten weerleggen echter het uitknikken van de gevel niet geheel: wellicht is een balk in de muur vervangen, en de doorsnede plaatselijk verzwakt. Of zijn de ankers onvoldoende om de gevel tegen uitknikken te behoeden? Nader onderzoek aan de binnenzijde van het pand zou zich op deze hypothesen kunnen richten.

Boven enkele raamopeningen zijn diagonale scheuren te zien, die paarsgewijs een boog vormen, zie afbeelding 9. De verplaatsing langs de scheuren wijst erop dat het deel onder de boogvormige scheuren naar beneden is verplaatst ten opzichte van de muurdelen aan weerszijden daarvan.



Afbeelding 10

Vervorming in het vlak halverwege de hoogte van een muur. Het metselwerk eronder vertoont geen vervorming, maar lijkt ook nieuwer te zijn (foto en tekening auteur).



Van de context is met name de positie van de raamopeningen opvallend. Het metselwerk boven de bovenste ramen steunt op een smalle penant. Deze staat vervolgens midden boven een van de ramen van de verdieping eronder. Is de latei boven dat raam wel bestand tegen deze puntlast? Wanneer het metselwerk boven het raam van de eerste verdieping enigszins doorbuigt, moet de penant wel volgen, en zal ook een boogvormige scheur ontstaan boven de ramen van de tweede verdieping.

Op de hoek, op de eerste verdieping, laat het metselwerk een vervorming in het vlak zien, zie afbeelding 10. De horizontale voegen hellen naar de hoek toe schuin naar beneden. Dit wijst op een verticale, langzame beweging van de hoek naar beneden of, minder waarschijnlijk, van het deel links van de hoek omhoog.

De meest waarschijnlijke oorzaak van deze vervorming is een zetting van de hoek van het pand. Opvallend is echter dat het metselwerk onder de witte lijst geen vervorming laat zien. Maar dit metselwerk is ook duidelijk nieuwer dan de vervormde muur erboven. Is de pui vernieuwd? Dit brengt ons tot een alternatieve hypothese: wellicht heeft er in het verleden een winkelpui op de begane grond gezeten, waarbij op de hoek slechts een kolom was geplaatst. De geconcentreerde last van de bovenverdieping op die kolom zou tot een lokale zetting hebben kunnen leiden – of tot overbelasting en uitknikken van de kolom, met voor de bovenverdieping eenzelfde zakking tot gevolg. Archiefonderzoek en grondonderzoek kunnen helpen deze hypothesen te toetsen. Het feit dat het vernieuwde metselwerk op de begane grond geen schade vertoont, wijst er echter al op dat hier het schadeproces is beëindigd. Maatregelen zijn dan ook niet meer noodzakelijk.

CONCLUSIES

De diagnose van schade in metselwerk kan een moeilijke opgave zijn. Deels komt dit doordat schade ons soms minder zegt dan wij wellicht hoopten, deels doordat wij mensen geneigd zijn te snel conclusies te trekken. In dit hoofdstuk zijn verschillende valkuilen van het diagnoseproces aan de orde gesteld, en is aangegeven wat schade ons over de oorzaak ervan kan vertellen – en wat niet. Duidelijk is dat zowel open ogen als een open geest essentieel zijn om tot een juiste diagnose te komen.

Dit hoofdstuk biedt een eerste handreiking om scheuren, vervormingen en scheefstanden in metselwerk op een gestructureerde manier te interpreteren. Het vormt daarmee een inleiding op het diagnosehulpmiddel dat door de auteur is ontwikkeld. Dit hulpmiddel, dat beschikbaar is via de repository van de Technische Universiteit Delft, toont zestig veelvoorkomende schadepatronen met hun mogelijke oorzaken.² Daarbij helpt het de gebruiker om schades op een consistente manier te lezen, en om alternatieve oorzaken in beeld te houden. Zo wordt een eenduidige diagnose van schades in metselwerk gegarandeerd.

Noten

- 1 Vent, I.A.E. de, 2011, *Structural damage in masonry, developing diagnostic decision support*, Delft. Digitaal beschikbaar via <http://repository.tudelft.nl>.
- 2 Vent, I.A.E. de, 2011, *Prototype of a diagnostic decision support tool for structural damage in masonry*, Delft. Digitaal beschikbaar via <http://repository.tudelft.nl>.

KALK

Historisch metselwerk is opgetrokken met kalkgebonden mortel. Het bindmiddel kalk ontstaat door kalksteen of schelpen te branden bij een temperatuur van rond de 1.000 °C en de gebrande kalk vervolgens te blussen. Zo ontstaat respectievelijk steenkalk en schelpkalk. Het branden van zuivere kalksteen geeft luchthardende kalk en van onzuivere kalksteen geeft hydraulische kalk.

In diverse landen zoals Italië en Frankrijk wordt kalksteen gebrand om kalk te produceren. Hieronder een foto van hydraulische kalkoven in Frankrijk (foto auteur). Op de rechterpagina een historische kalkoven (foto RCE) zoals deze tot in de tweede helft van de twintigste eeuw nog volop in gebruik was in Nederland.









Bij het blussen van kalk wordt de gebrande kalk (CaO) gemengd met water. De hoeveelheid water moet voldoende zijn om alle CaO om te zetten in kalkhydraat (Ca(OH)_2). De blusreactie is een sterk expansieve reactie, waardoor na het blussen de kluiten uiteenvallen tot poeder. Het blusproces is zichtbaar op de foto's links en hierboven (foto's auteur).

Wanneer wordt geblust met een overmaat aan water ontstaat 'natte kalk', ook wel kalkdeeg genoemd, wat overigens alleen kan bij lucht-hardende kalk. Blussen met exact de juiste hoeveelheid water geeft poederkalk.

Michiel van Hunen

15



Steen- en metselmortelkeuze bij herstel

Regenbelast massief metselwerk onderzocht

Welke eisen zijn te stellen aan restauratiebaksteen en -metselmortels voor zwaar regenbelast opgaand historisch metselwerk? In dit hoofdstuk worden resultaten gegeven van praktijk- en laboratoriumonderzoek. Niet alleen de kenmerken van de toegepaste baksteen blijken van belang, maar ook de samenstelling van metselmortels, en vooral de combinatie van steen en mortel in het metselwerk zelf. De ‘barrièrewerking’ van metselmortels blijkt van grote invloed op de waterdoorlatendheid van metselwerk.

Vocht is de belangrijkste bron van schade in historisch metselwerk. Meer inzicht in verantwoorde materiaalkeuzen voor steen en metselmortel kan een bijdrage leveren aan het verminderen van vochtproblemen en daarmee het verhogen van de duurzaamheid van historisch metselwerk.

De auteurs hebben op basis van praktijkervaringen en laboratoriumonderzoek een analyse gemaakt van de condities en materiaaleigenschappen die leiden tot vochtoverlast. Zij zagen steen en mortel daarbij niet als afzonderlijke materialen, maar als onderdelen van het ‘composietmateriaal’ metselwerk. Met andere woorden: met nadruk is onderzocht hoe de combinatie steen-mortel zich gedraagt, vooral wat betreft vochtdoorlatendheid en droging.

Op grond formuleerden zij aanbevelingen voor kwaliteitseisen voor:

- baksteen in opgaand werk bij restauratiewerk van zwaar vochtbelast massief metselwerk;
- metselmortelsamenstellingen op basis van kalk voor inboetwerk en (deels) nieuw opgaand werk in combinatie met de daarvoor geschikte stenen.

Afbeelding 1

De ‘barrièrewerking’ van metselmortels is van grote invloed op de waterdoorlatendheid van metselwerk (foto RCE, Michiel van Hunen).

OORZAKEN VOCHTDOORSLAG

Regendoorslag in historisch metselwerk kan tal van oorzaken hebben. Uit de praktijk en uit de literatuur¹ komen vooral naar voren:

- ongeschikte materiaaleigenschappen van de toegepaste bakstenen en mortels, en incompatibiliteit tussen baksteen en morteleigenschappen;
- scheuren en holten in het metselwerk;
- onnodige blootstelling aan vocht door verkeerd ontwerp (bouwkundige detaillering);
- gebrekkige ventilatie;
- nadelige effecten van restauratiemaatregelen en restauratieve ingrepen;
- ontoereikend vakmanschap (zoals niet ‘vol-en-zat’ metselen).

In dit hoofdstuk gaat de aandacht vooral uit naar de gevolgen van materiaalkeuzen van steen en mortel en de rol van vakmanschap.

Materiaalkundige oorzaken

Regenproeven aan testmuren laten zien dat vochtdoorslag (lekkage) op twee manieren voorkomt (zie afb. 2):

- door de baksteen heen;
- via het hechtvlak tussen baksteen en mortel.

Bij lekkage door de steen heen is met name de poriënstructuur van de baksteen van belang. De porositeit van bakstenen hangt vooral af van het bakproces en de mate



Afbeelding 2

Regendoorslag door proefmuren. Links in de gele muur in het midden (enkelsteensdik muurgedeelte): lekkage door de sterk poreuze bakstenen. Rechts in de grijze muur lekkage door het hechtvlak baksteen/mortel (foto auteurs).

van sintering. Andere factoren zijn bijvoorbeeld het type klei, de vormgevingstechniek en het drogen (zie ook het hoofdstuk over baksteenproductie).

Grofweg gezegd hebben bij lagere temperatuur gebakken stenen (zoals zachtere rode bakstenen) fijne poriën die als in een 'netwerk' met elkaar in verbinding staan. De poriën van bij hogere temperatuur gebakken stenen zoals klinkers zijn voor een porievolume < 5% als het ware dichtgesmolten en komen vooral geïsoleerd voor (zonder onderling contact) (afb. 3). De kleinere poriën smelten ook deels aaneen tot grotere poriën. Daarbij wordt lucht uitgedreven, waardoor het totale poriënvolume kleiner wordt en de steen krimpt.

Waar sprake is van een netwerk van poriën is vochttransport door een steen goed mogelijk. Bij geïsoleerde poriën en bij door fijne capillairen verbonden grote poriën is vochttransport zeer moeilijk.

Tabel 1

Classificatie van Initiële Wateropzuiging (IW) (Bron: NEN-EN 771-1 'Specificaties voor metselstenen').

Categorie	Declaratie
IW1 Zeer weinig zuigend	$\leq 0,5 \text{ kg}/(\text{m}^2 \cdot \text{min})$
IW2 Matig zuigend	$0,5 - 1,5 \text{ kg}/(\text{m}^2 \cdot \text{min})$
IW3 Normaal zuigend	$1,5 - 4,0 \text{ kg}/(\text{m}^2 \cdot \text{min})$
IW4 Sterk zuigend	$\geq 4,0 \text{ kg}/(\text{m}^2 \cdot \text{min})$

Lekkage via hechtvlak

Vochtdoorslag via het hechtvlak van baksteen en mortel hangt af van de dichtheid van het hechtvlak. Bij zwak zuigende steen (afb. 4, links) neemt de steen tijdens het metselen weinig speciewater op en ontstaat direct na vermetselen een waterconcentratie aan het hechtvlak. Dit leidt na uitharding tot een poreus hechtvlak, dat gemakkelijk lekt. Bij sterk zuigende steen neemt de steen veel speciewater op tijdens het metselen. Daardoor wordt het hechtvlak opgevuld door fijne delen kalk of cement en dat leidt tot een dicht hechtvlak (afb. 4, rechts).

PRAKTIJKONDERZOEK NIET-LEKKEND METSELWERK

Van acht historische bouwwerken (zes molens en twee andere gebouwen) waarvan bekend was dat er geen vochtproblemen waren, is het metselwerk onderzocht.² Het ging hierbij met name om de hygrische eigenschappen (opzuig- en drooggedrag van vocht) van de stenen. Dit om een indruk te krijgen wat als 'gewenst' hygrisch gedrag van de toegepaste materialen kan worden beschouwd.

Hygrische karakterisering

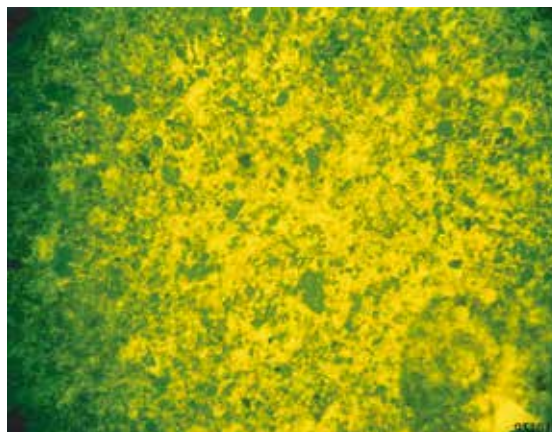
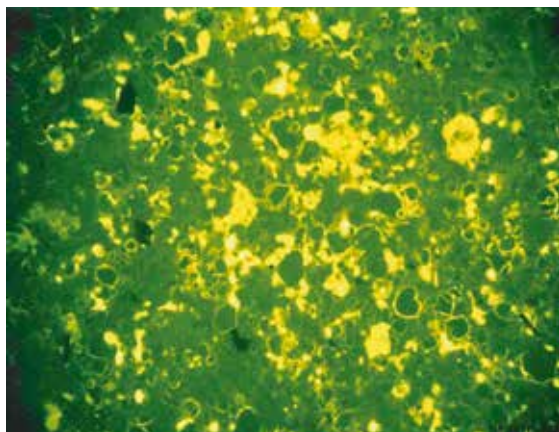
Steenachtige bouwmaterialen zijn poreus. De porositeit komt voor bouwmaterialen zoals natuursteen, beton, baksteen en mortels op verschillende wijzen tot stand. Maar wezenlijk voor deze materialen is dat ze via capillaire werking vocht kunnen opnemen en via verdamping (droging) weer vocht afstaan. De balans tussen het vochtopname- en drooggedrag van het metselwerk onder uiteenlopende omgevingscondities bepaalt of vochtdoorslag optreedt.

Om in kwantitatief opzicht iets over vochtopname en droging te kunnen zeggen, zijn waarden vastgesteld voor vochtopname- en drooggedrag.

Twee bekende en eenvoudige parameters om het opzuiggedrag te karakteriseren zijn de Initiële Wateropzuiging (IW) en de Vrijwillige Wateropneming (VW). De

Afbeelding 3

Twée fluorescentie-microfoto's van bakstenen. Geel geeft porositeit aan en groen is vaste stof. Links: het sterk verbonden capillair netwerk (geeft gemakkelijk vochtdoorslag) en een grote opslagcapaciteit van sterk zuigende rode baksteen. Rechts: geïsoleerde poriën (geen vochtdoorslag) en een geringe opslagcapaciteit van een zwak zuigende klinker (foto's Rockview, Amsterdam).



Initiële Wateropzuiging (IW, zie voor een indeling Tabel 1) geeft een indicatie van de snelheid waarmee vocht wordt opgenomen door een droge steen; de vochtopname per oppervlakte-eenheid in één minuut. De IW wordt uitgedrukt in $[\text{kg}/(\text{m}^2 \cdot \text{min})]$.³

De Vrijwillige Wateropneming zegt iets over de vochtopnamecapaciteit (de buffering) van de steen na 24 uur onderdompeling (dus zonder extra druk). De Vrijwillige Wateropneming (VW) wordt uitgedrukt in massaprocenten.

In Nederland en België worden in de bouw veel bakstenen met hoge IW-waarden 3 tot 5 $\text{kg}/(\text{m}^2 \cdot \text{min})$ vermeteld (IW-waarden van 6 tot 8 komen in uitzonderlijke gevallen ook voor). Bij bakstenen is een hoge IW-waarde vaak gekoppeld aan een hoge vrijwillige wateropneming.

Kwantitatieve informatie over drogen wordt het gemakkelijkst verkregen via weging (gewichtsverlies als functie van de tijd). Wel is belangrijk dat de droogproef zo wordt ingericht dat het droogproces verloopt als in reële praktijksituaties. Bij een muur betekent dit dat droging

meestal in één richting (van binnen naar buiten) plaatsvindt (bijvoorbeeld: als het proefstuk een kubusvormig stuk metselwerk is, dan kan een droging van onder naar boven ontstaan als alle verticale zijden voor vochttransport zijn afgesloten door vochtdichte verflaag).

Initiële wateropzuiging

Bij de acht genoemde bouwwerken zonder vochtprobleem is van de gevelbaksteen het opzuiggedrag

		zool*	zicht**
		$[\text{kg}/\text{m}^2/\text{min}]$	$[\text{kg}/\text{m}^2/\text{min}]$
1	DSM, Delft 1910	2,2	1,3
2	de Roos, Delft 1727	4,3	2,2
3	TU-Delft, Delft 1910	2,8	2,2
4	Aeolus, Vlaardingen 1793	2,8	1,3
5	Molen 7, Kinderdijk 1738	6,1	2,4
6	de Hoop, Zierikzee 1850-76	5,5	2,5
7	de Hoop, Rozenburg 1887	6,3	3,3
8	Windlust, Achthuizen 1852	3,3	1,7

* ZOOL: binnenzijde / legzijde

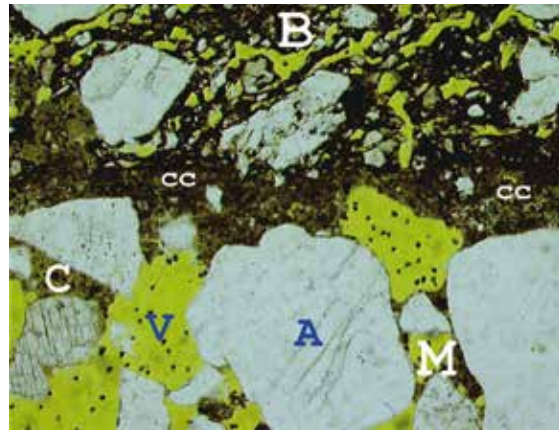
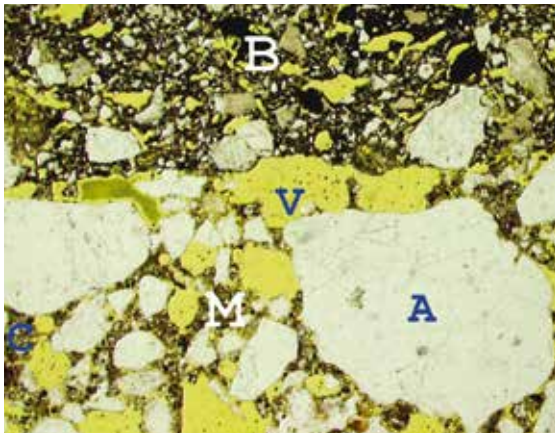
** ZICHT: verweerde buitenzijde / strekzijde

Tabel 2

Initiële wateropzuigingswaarden aan zool- en zichtzijde van stenen toegepast in massief metselwerk zonder vochtproblemen. De steenmonsters 2 en 4 t/m 8 zijn van historische molens, monster 1 en 3 zijn van resp. een fabrieksgebouw (voormalig Gist en Spiritus) en een gebouw van de TU Delft (voormalig Mijnbouwkunde). (Bron: Groot & Gunneweg 2007.)

Afbeelding 4

Twee voorbeelden van baksteen-mortelhechtvlakken. Links: hoog luchtgehalte aan het hechtvlak; B: baksteen (zwak zuigend: IW 0,29 kg/(m².min)); M: mortel; A: aggregaat; V: holte; C: gehydrateerd cement. Rechts: gedeeltelijk gehydrateerde cementlaag (cc) aan het hechtvlak; B: baksteen (matig zuigend: IW 3,34 kg/(m².min)); M: mortel; A: aggregaat; V: holte (foto's Joe Larbi, TNO-Bouw en Ondergrond).



bepaald, van zowel de zichtzijde als van de legvlakzijde (de vermetelde zijde ofwel 'zoolzijde'), zie afbeelding 5. Een overzicht van de Initiële Wateropzuiging van de onderzochte monsters wordt gegeven in Tabel 2.

Van de bemonsterde bakstenen is de zool schoon-gemaakt van mortelresten. De IW-waarde geeft daardoor een indruk van het opzuiggedrag van de steen op het moment van verwerking. De zichtzijde is de buitenzijde van de steen, die in de loop der tijd een ander opzuiggedrag heeft gekregen onder invloed van vervuiling en eventueel toegepaste vochtremmende middelen.

Uit de resultaten in Tabel 2 is op te maken dat de IW-waarden aan de zoolzijde voor vier van de zes molens hoog tot zeer hoog zijn. Tevens blijken de IW-waarden aan de zichtzijde van het metselwerk bijzonder veel lager zijn dan die aan de zoolzijde: de IW-waarden aan de zichtzijde zijn ongeveer 0,5 tot 0,3 van de IW-waarden aan de zoolzijde. Dit is van belang omdat de toetreding van regen in de molenromp vanuit de zichtzijde plaatsvindt. In feite betekent dit dat, wat betreft de stenen, de vochtopname met een gematigde opzuigkracht (IW-waarden van 1,5 tot 3,0) plaatsvindt.

Met andere woorden: door vervuiling neemt het metselwerk duidelijk minder snel water op. Uit de vergelijking van de opzuiging via zool- en zichtzijde blijkt ook dat gevelreiniging een aanleiding kan zijn voor het ontstaan van vochtproblemen in historisch metselwerk (reiniging verhoogt immers de IW!).

LABORATORIUMONDERZOEK

Voor een aantal aspecten van de vochtdoorlatendheid van metselwerk (zoals vochttransport, regendoorslag) is laboratoriumonderzoek verricht.

Vochttransport

De vochtdoorlatendheid van metselwerk wordt niet alleen bepaald door de hygrische eigenschappen van de baksteen, maar ook door de vochtkerende werking van het mortelnetwerk tussen de stenen. Om een beter beeld te krijgen van het effect van de mortel-samenstelling op de vochtkerende werking, is nader onderzoek uitgevoerd.

Voor het bepalen van het vochtopname- en het drooggedrag zijn metselwerkproefstukken gemetseld; zogeheten 'beertjes'. Deze bestaan uit drie lagen metselwerk van drie stenen per laag (zie afb. 6).

De naar boven gerichte zijde van de beertjes representeert de zichtzijde van de muur. Deze zijde wordt tijdens de proef bevochtigd. Vier zijden zijn met een epoxylaag afgedekt om vochttransport (droging) in deze richtingen te voorkomen. Ook de droging vindt via de zichtzijde plaats. Bij het vochttransport moet het water zowel baksteen als mortel passeren.

Hierna worden de resultaten besproken van beertjes van bakstenen met een Initiële Wateropzuiging (IW) van 3,5 kg/(m².min), vermeteld met vier verschillende mortelsamenstellingen. Deze mortels werden na verwerkbaarheidsproeven beoordeeld als zeer goed verwerkbaar en doorstrijkbaar:

Afbeelding 5

Links: de verweerde zichtzijde (links) en de zool- of legzijde (rechts) van stenen aangetroffen in molen De Hoop, Roozenburg (monster 7).

Rechts: verweerde muur (foto's auteurs).



- mortel A: schelpkalkmortel (kalk:zand 1:2);
- mortel B: licht hydraulische kalkmortel (kalk:zand 1:2);
- mortel C: steenkalk-trasmortel (kalk:tras:zand 5:1:12);
- mortel X (referentiemortel): metselcementmortel MC10 (MC:zand 1:3).⁴

In afbeelding 7 (links) is te zien dat de vochtopname van de proefstukken vermetseld met schelpkalkmortel (A) en steenkalk-trasmortel (C) aanzienlijk hoger ligt dan bij de hydraulische kalkmortel (B) en de metselcementmortel (X). Na 24 uur is het vochtgehalte van proefstukken (A) en (C) iets lager dan de vrijwillige wateropneming: deze is 18,4% (m/m) zoals blijkt als het proefstuk 24 uur is ondergedompeld in water. Daarentegen is de vochtopname van de proefstukken (B) en (X) 11-12% (m/m); dat wil zeggen dat minder dan tweederde van het beschikbare poriënvolume (18,4%) is opgevuld met water.

Hieruit kan worden geconcludeerd dat de hydraulische mortels (B en X) tussen de stenen kennelijk werken als een barrière voor het vochttransport door het proefstuk als geheel. De niet of nauwelijks hydraulische mortels (A en C) hebben die werking niet of duidelijk minder.

Het drogen van de proefstukken met schelpkalkmortel (A) en de steenkalk-trasmortel (C) gaat gedurende de nagenoeg even snel als bij de proefstukken met de hydraulische kalkmortel (B) en de cementmortel (X). Na

twee weken is het vochtgehalte in de proefstukken (A) en (C) nog steeds ruim 10 massaprocent, terwijl die van de proefstukken (B) en (X) ongeveer de helft daarvan zijn.

Verondersteld mag worden dat – bij wisselende regen- en droogcondities – metselwerk van sterk zuigende stenen vermetseld met een luchthardende kalkmortel gemiddeld structureel vochtiger is dan die vermetseld met hydraulische bindmiddelen. Dat blijkt ook uit de praktijk.

Vergelijkbare proeven zijn uitgevoerd met minder sterk zuigende bakstenen (IW 2,3 kg/(m².min)); in dat geval is het 'barrière-effect' van een hydraulische mortel minder sterk, maar het metselwerk als geheel droger.

Regendoorslag

Om te onderzoeken wat het effect is van bakstenen met verschillende IW-waarden op de hoeveelheid vocht-doorslag, zijn beregeningsproeven uitgevoerd. Daarbij varieerde ook de dikte van de metselwerkproefstukken.

Tabel 3

Hygrische eigenschappen van twee steentypen, toegepast in proefmuren, zie afbeelding 8.

	Initiële Wateropzuiging (IW)	Vrijwillige Wateropneming (VW)	
	[kg/(m ² .min)]	[Vol.%]	[Massa%]
Grijs	1,5	13,1	6,8
Geel	5,9	32,1	21,9

Afbeelding 6

Metselwerkproefstukken ('beertjes') voor bepalen van vochtopname- en drooggedrag. Links: proefstuk staat met voet in het water (imitatie regenabsorptie) Rechts: het proefstuk wordt omgedraaid en op een grindbed gezet, waarna droging van het proefstuk kan aanvangen (doordat de zijkanten geen vocht doorlaten kan er alleen maar droging in één richting plaatsvinden) (foto's auteurs).



De keuze van de metselmortel is gebaseerd op bovengenoemde proeven met de 'beertjes'.

De beregeningsproeven zijn uitgevoerd bij TNO Bouw en Ondergrond in Delft. Daartoe werden proefmuren gemetseld, omkast (afb. 8) en vanuit de kastzijde besproeid. Aan de andere zijden van de muren zijn bij de overgangen van halfsteens naar enkelsteens en van enkelsteens naar dubbelsteens goten aangebracht (zie afb. 8, rechts) om doorslaand lekvocht op te vangen.

De twee proefmuren werden beide vervaardigd met een licht-hydraulische kalkmortel, maar met verschillende steentypen. De hygrische eigenschappen van de twee steentypen staan in Tabel 3.

De uitvoering van de regenproef is gebaseerd op NEN 2778 'Vochtwering gebouwen', met achtereenvolgens:

- 1 uur beregening zonder overdruk, 2 liter/m²/min;
- 89 uur beregening met overdruk 50 Pa, 12 liter/m²/uur;
- 1 uur beregening met overdruk 400 Pa, 2 liter/m²/min.

Na 90 uur was de muur verzadigd. Tijdens het laatste uur is bepaald hoe groot de lekkage is bij een regenbelasting, 2 liter/m²/min bij met overdruk 400 Pa.

Resultaten beregeningsproeven

De doorslag van het water werd per camera geregistreerd. Bovendien is de hoeveelheid lekwater gemeten die gedurende het laatste uur via gootjes aan de onderkant van de halfsteens- en enkelsteensmuurtjes is opgevangen in containers.

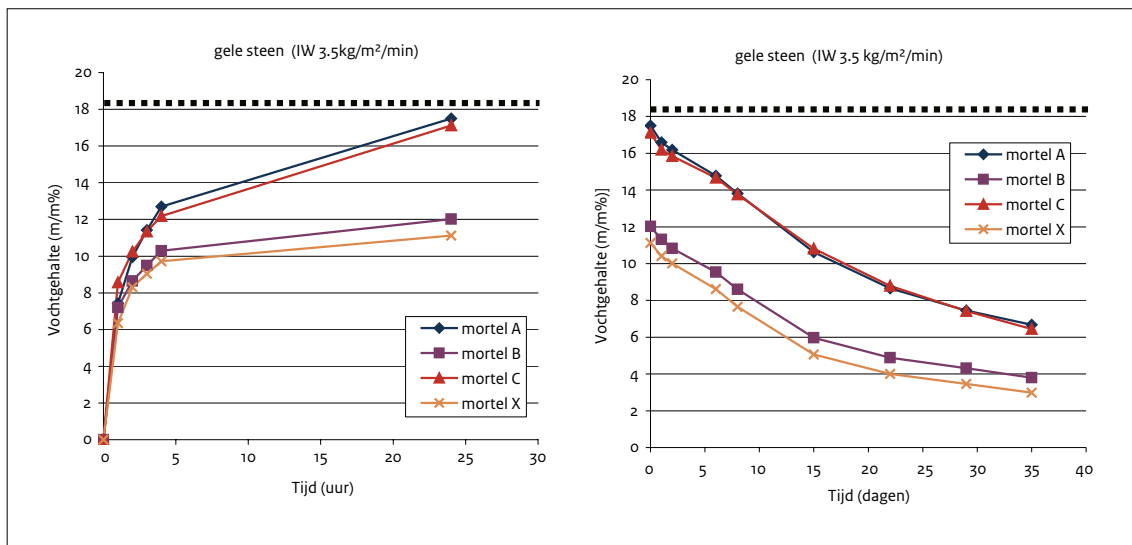
Uit de cameraregistratie blijkt dat:

- de halfsteens gele muur (sterk zuigende stenen) na 38 minuten volledig is doorgeslagen, en de halfsteens grijze muur (matig zuigende stenen) na 5,7 uur;
- voor de enkelsteensmuur dit na 5,7 uur (geel) en 22 uur (grijs) het geval is (afb. 9);
- na 90 uur beide dubbelsteensmuren grotendeels zijn doorgeslagen.

Afbeelding 9 geeft een indruk van het 'tekenen' van de muur. Het is uiteraard van groter belang hoeveel lekwater door de muur gaat. Vochtdoorslagwaarden (lekkage) zijn bepaald bij een continue constante wateraanvoer van 2 liter/m²/min (= 120 liter/m²/uur) en een overdruk van 400 Pa (een uitermate zware regen- en overdrukbelasting). Dit gebeurde gedurende één uur na verzadiging van de muur (na 90 uur). Afbeelding 10 laat zien dat de verschillen in lekwater zijn zeer aanzienlijk zijn.

Naast de verschillen in snelheid van vochtdoorslag bij de twee muren valt op, dat bij de grijze muur met de matig zuigende stenen het vocht eerst door de voegen slaat (afb. 9), terwijl bij de gele muur met de sterk zuigende stenen het vocht bijna direct door de stenen slaat.

Uit bestudering van slijpplaatjes blijkt dat er regelmatig een spleet is tussen mortel en grijze steen in het hechtvlak (tot 1 mm), ondanks de zorg waarmee 'vol-en-zat' is gemetseld. Verondersteld mag worden dat de steen te langzaam vocht onttrekt uit de mortel, waardoor de mortel niet aantrekt aan de steen bij dit



Afbeelding 7

Absorptie- (links) en droogkrommen (rechts) van metselwerkbeertjes (zie afb. 6) van bakstenen met een IW van 3,5 kg/(m²·min) en vier verschillende metselmortels (bron: auteurs).

type mortel. Deze situatie kan verbeterd worden door toepassing van stenen met een iets hogere IW-Waarde.

Toch geldt voor de halfsteens- en enkelsteensmuren dat de lekkage bij de grijze muur duidelijk geringer is dan bij de gele muur. Kennelijk is de geringe vochtdoorlatendheid van de grijze steen in vergelijking met die van de gele steen doorslaggevend voor het totaalgedrag.

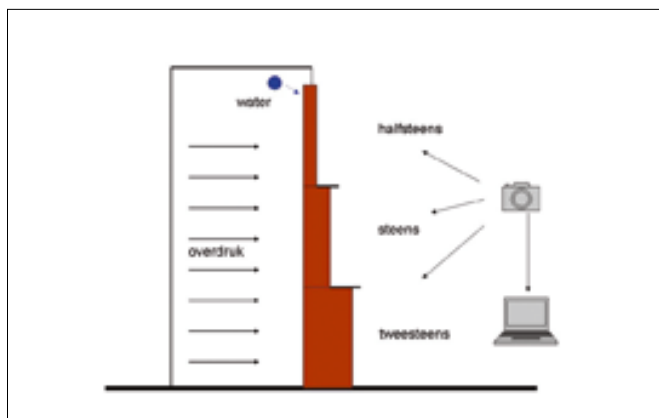
Het doorslaggedrag van de dubbelsteens muurdik-

ten wijkt af van kleinere muurdikten: beiden zijn na 90 uur beregning grotendeels doorgeslagen maar lekken niet. De daarop volgende zware beregning (2 liter/m²/min bij overdruk 400 Pa) leidt in beide reeds verzadigde muren niet tot lekken. Dit duidt op een effectieve barrièrewerking van de mortel. In feite onderstreept dit resultaat het belang van de mortelkeuze.

Opgemerkt moet worden dat de beregeningsproeven extreem zwaar waren: nagenoeg vier dagen aan één stuk (zeer zware buien duren max enige uren) en een zeven keer hogere intensiteit dan onder (door KNMI) gemeten extreem hoge neerslagcondities. Ook is de invloed van het drogen op de vochthuishouding van de muur in deze proef niet in aanmerking genomen.

Afbeelding 8

Links: schematische weergave beregeningsproef. Rechts: naar boven verjongende proefmuren met lekgoten (bron: auteurs).





CONCLUSIES EN AANBEVELINGEN

De aanleiding tot het hierboven beschreven onderzoek naar vochtproblemen (in het bijzonder regenpenetratie) in massief historisch metselwerk waren lekkageproblemen in bakstenen windmolens in het westen van Nederland. Deze eeuwenoude molens werden gewoonlijk gebouwd met sterk zuigende stenen en kalkmortels. Lekkage was niet uitzonderlijk.

De onderzoeksresultaten laten zien dat

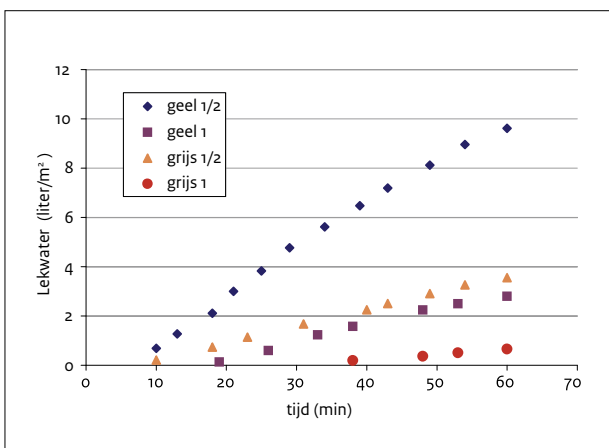
- het vochtgehalte in de muur en vochtdoorslag afhankelijk is van de barrièrewerking van de toegepaste mortel;
- de barrièrewerking van de mortel sterk afhankelijk is van de aanwezigheid van hydraulische componenten in de mortel;

- de geringe barrièrewerking van de kalkmortels een belangrijke reden is voor lekkage van kalkmortels (slechte uitvoering – bijvoorbeeld niet vol-en-zat metselen – kan ook een rol spelen). De situatie kan verbeteren door vervuiling van het buitenoppervlak van de baksteen, waardoor vochtopname wordt vertraagd;
- de hygrische compatibiliteit tussen steen en toegepaste mortel belangrijk is: spleetvorming tussen mortel en steen ontstond in het geval van de toepassing van een zwak-zuigende steen met een mortel, die te veel vocht bevatte (waardoor onvoldoende afzuiging van vocht uit de mortel plaatsvond).

Bij windmolens worden via wisselende belastingen op de wieken aanzienlijke dynamische krachten op het metselwerk uitgeoefend. Dit vraagt om een hoge vervormingscapaciteit van de mortel; hier zijn kalkmortels heel geschikt.

Bij verbetering van de van de waterdichtheid mag de vervormingscapaciteit niet te veel achteruitgaan.

In geval van restauratie van dit type historisch metselwerk wordt aanbevolen bakstenen te gebrui-



Afbeelding 10

Lekkage door beregning van proefmuren. Het vocht is opgevangen aan de onderkant van de halfsteens en enkelsteens muurgedeelten van de twee proefmuren. De dubbelsteens muurgedeelten slaan wel door maar lekken niet! (bron: auteurs).

ken met vergelijkbare hygrische eigenschappen als de vervuilde bakstenen. In de praktijk komt dat neer op een $1,5 < IW < 3,0$ (zie Tabel 2). Als mortel wordt een licht-hydraulische mortel aanbevolen, deze bezit de voor kalkmortels karakteristieke hoge vervormingscapaciteit en compatibiliteitsproblemen met de oude mortel worden voorkomen.

Als in historisch massief metselwerk puzzolane bindmiddelen (zoals tras) werden gebruikt, dan waren de lekkageproblemen over het algemeen minder ernstig: een betere barrièrewerking. Deze mortels vertonen ook een bevredigende vervormingscapaciteit, belangrijk voor metselwerk met weinig of geen dilatatievoegen. Bij het kiezen van een restauratiemortel moet de vervormingscapaciteit behouden blijven.

Daar waar weinig vervormingscapaciteit is vereist, kan waterdichtheid eenvoudiger worden gerealiseerd sinds de introductie van de moderne bindmiddelen (zoals cement) in de negentiende eeuw. Veel kerken, torens en fabrieken, gebouwd vanaf 1880, vertonen een zeer goede waterdichtheid. Dit werd bereikt door matig zuigende stenen en hydraulische (schelp)kalk-cementmortels, bijvoorbeeld met een bindmiddelrijke samenstelling van 10 delen schelpkalk, 3 cement en 10 zand.

Literatuur

- Grimm, C.T., 1982, 'Water permeance of Masonry Walls: A Review of the Literature', in *Masonry: Materials, Properties and Performance*, ASTM STP 778, J.G. Borchelt (ed.), American Society for testing and Materials, pp. 178-199.
- Groot, C.J.W.P., 1993, *Effects of water on mortar-brick bond*; PhD-thesis, TU-Delft.
- Groot, C.J.W.P., & Larbi J., 1999, *The influence of water flow (reversal) on bond strength development in young masonry*. HERON, Vol. 44, No. 2. pp. 63-78.
- Groot, C.J.W.P., Gunneweg, J.T.M., 2004, 'Vooronderzoek bij metselwerkherstel', in: *Molenwereld*, januari, pp. 26-29.
- Groot, C.J.W.P., Gunneweg J.T.M., 2007, *Kwaliteitseisen Restauratiebaksteen; Kwaliteitseisen Metselwerkmortels in Kalk*, TU Delft.
- Hees, R.P.J. van, et al., 'Damage analysis as a step towards compatible repair mortars', in: *RILEM Report 28: Characterisation of Old Mortars with Respect to Their Repair*, Groot, C.J.W.P., et al. (eds.), RILEM website.
- Leppers, R, 1996, *Beregeningsproeven aan metselwerk*, TU-Eindhoven. Fac Bwk (Fago).
- Papayianni, I., 1994, *Durability Lessons from the Study of Old Mortars and Concretes*, ACI P.K. Mehta Symposium on Durability of Concrete, Nice (France), pp. 1-20.

- Ramamurthy, K., K.B. Anand, 2001, 'Classification of Water Permeation Studies on Masonry', in: *Masonry International*, Vol. 14, No. 3, pp. 74-79.
- Balen, K. van (et al.), 2003, *Kalkboek; het gebruik van kalk als bindmiddel voor metsel- en voegmortels in verleden en heden*, RDMZ, Zeist.
- Rossi-Doria, P.R., 1986, 'Mortars for restoration: basic requirements and quality control', in: *Matériaux et Constructions*, Vol. 19, No. 114, pp. 445-448.

Noten

- 1 Grimm 1982, Ramamurthy en Anand 2001.
- 2 Groot & Gunneweg 2007.
- 3 Voor het aangeven van het wateropzuigend vermogen wordt ook wel het zogeheten Hallergetal gebruikt. De initiële wateropzuiging (I.W.) wordt bepaald aan een droge steen, het Hallergetal echter aan de steen in de vochtconditie waarin deze verkeert. Zie voor meer toelichting het Referentiehoofdstuk.
- 4 Metselcement is een bindmiddel dat gedeeltelijk uit portlandcement en voor de rest uit gemalen kalksteen (kalksteenmeel) plus een luchtbelvormer bestaat. Metselcement is in verschillende typen in de bouwmaterialenhandel te koop, bijvoorbeeld als MC10.

16

Herstel en bijkleuren van stootvoegjes en baksteen

Ervaringen uit de praktijk

Een publicatie over historisch metselwerk kan niet zonder informatie over de praktijk van het herstellen daarvan. Over een aantal aspecten van herstel van voegwerk is vaak discussie, zoals: herstel van smalle (stoot)voegjes, inboetwerk en bijkleuren van baksteen. Hoe kijken de gespecialiseerde voegbedrijven hier tegenaan?

Een voeg is de ruimte tussen stenen in metselwerk, gevuld met specie om de stenen aan elkaar te laten hechten. Van oudsher gebruikte men een zodanige hoeveelheid specie en werden de stenen zó aangedrukt, dat de specie de gehele ruimte tussen de stenen vulde. De metselaar verwijderde de overtollige specie en streek tegelijkertijd de specie vlak; het zogenaamde doorstrijken. Zo ontstond een relatief glad oppervlak dat na uitharding voorkwam dat te veel water van buitenaf het metselwerk kon binnendringen. Soms werd de overtollige specie niet verwijderd, maar over het muuroppervlak uitgesmeerd.

UITKRABBen EN NAVULLEN

Vanaf het einde van de zeventiende eeuw, maar vooral in de achttiende eeuw, ging men ertoe over om de specie niet meer door te strijken, maar gedeeltelijk uit te krabben en daarna opnieuw te vullen. Dit navullen van de voeg heeft geleid tot het werkwoord 'voegen'. Tegelijkertijd kregen de bakstenen door een verbeterde productiewijze een steeds strakkere vorm, waardoor

het mogelijk werd de voegen steeds beter en strakker te zetten. Door deze ontwikkelingen kreeg metselwerk een rol als architectonisch expressiemiddel, mede door middel van de vormgeving en kleur van het voegwerk. Zo ontstond bijvoorbeeld metselwerk met heel dunne voegen, maar ook voegen met een speciale afwerking, zoals de knip- en snijvoeg.

Daar waar het metselwerk nog was opgetrokken met onregelmatige stenen, probeerde men soms de onregelmatigheid te verdoezelen door een strakke lijn in te krassen in het voegwerk (de zogenaamde daggestreep) waardoor het metselwerk alsnog een strak uiterlijk kreeg (afb. 2).

Het voegwerk van een gemetselde muur beslaat bij standaardwerk ongeveer twintig procent van het totale oppervlak, waardoor de kleur en de structuur van de voegmortel duidelijk medebepalend is voor het uiterlijk van het gehele metselwerk. Voegen zijn er in allerlei soorten en maten. Door de diverse mogelijkheden voor het afwerken van een gevel, is inmiddels een veelheid aan uitvoerings- en afwerkingsmethoden ontwikkeld.

De verschillende voegwijzen hebben uiteenlopende patronen in het metselwerk tot gevolg. Dit onder meer door te variëren in de breedte van het voegwerk; vooral wat betreft de stootvoeg (verticale voeg). Vanaf de tweede helft van de achttiende eeuw zijn de stootvoegen bijvoorbeeld soms erg smal uitgevoerd en werden

Afbeelding 1

Vroeg-achttiende-eeuws metselwerk, waarbij met gekleurde stootvoegjes en ingehakte imitatievoegjes getracht is een staand verband te suggereren (foto RCE, Taco Hermans).



de bakstenen nagenoeg koud tegen elkaar aangelegd. Hiervoor koos men over het algemeen zeer strakke, vaak kleine bakstenen. De stenen werden soms ook nog eens taps gehakt zodat de breedte van de stootvoeg helemaal minimaal werd. Zodoende waren alleen de lintvoegen (horizontale voegen) duidelijk zichtbaar (afb. 3 en 4).

Dergelijk werk vinden we vandaag de dag nog terug in veel monumenten. Stootvoegjes die als dun worden bestempeld zijn zo'n drie millimeter – in de praktijk ook wel 'streepjes' genoemd – breed. En dan zijn er nog ultradunne stootvoegen, die niet meer dan een of twee millimeter halen. Ze worden ook wel 'naaldjes' genoemd, of 'naaldwerk'.

RESTAURATIE VAN VOEGWERK

Bij restauratiewerkzaamheden aan monumenten kan herstelwerk aan het voegwerk nodig zijn. Dit wordt indien nodig gecombineerd met het vervangen van beschadigde bakstenen, waarbij oude stenen worden verwijderd en nieuwe exemplaren worden teruggeplaatst; het inboeten van stenen.

Lintvoegen worden over het algemeen uitgehakt nadat deze zijn ingeslepen. In principe is dit ook mogelijk met de stootvoegen, maar daarbij is er bij het slijpen meer risico de aangrenzende steen te beschadigen. Wanneer er (ultra)dunne stootvoegjes aanwezig zijn, is het risico op beschadiging nog groter. Restauratie-

werkzaamheden aan monumenten met (ultra)dunne stootvoegjes kan in de huidige restauratiepraktijk dus de nodige hoofdbrekens opleveren (afb. 5).

Het verwijderen en opnieuw aanbrengen van (ultra)dunne stootvoegen is een uitermate delicaat werkje, dat zeker niet aan iedereen kan worden overgelaten. Slechts een beperkt aantal specialistische restauratievoegers kan dit uitvoeren en heeft er het juiste gevoel voor. Degene die het voegje verwijdert is zelfs niet per se dezelfde als degene die de nieuwe voegjes zet.

Het verwijderen gebeurt met specialistisch gereedschap. De ene voeger gebruikt een fijn pneumatisch beiteltje (met nog maar één tandje), de ander een (bijgeslepen) schroevendraaier, of een afgezaagde 'vuist' en een beitel(tje). Ieder ontwikkelt in de loop der tijd zijn eigen voorkeur.

Veel monumenteigenaren zijn geen professionele aanbesteders. Als gevolg daarvan ligt de verantwoordelijkheid voor het uit te voeren werk voor een groot deel bij het voegbedrijf. De aanbesteder vertrouwt hierbij dus op de expertise van het voegbedrijf, en dat schept ook de nodige verplichtingen. Het is dan ook belangrijk dat deze onderzoek doet vóór de uitvoering begint, want het uit te voeren werk mag in principe niet afwijken van het bestaande. Het mag niet afsteken en ook niet eerder of later slijten. Kwaliteit en structuur moeten aansluiten bij het oorspronkelijke werk.

Afbeelding 4 (links)

De stenen werden soms taps gehakt, zodat de breedte van de stootvoeg helemaal minimaal werd (foto RCE, Michiel van Hunen).

Afbeelding 5 (rechts)

Bij het uithakken of uitslijpen is bij dunne voegen meer risico op schade aan de aangrenzende steen (foto Orly Endevoort).



WEL OF NIET HERSTELLEN?

Bezitters van monumenten met metselwerk met (ultra)dunne stootvoegjes dienen zich extra te verdiepen in de details daarvan, voor ze besluiten tot herstel van die voegen. Het is namelijk niet altijd nodig of verstandig ze aan te brengen.

Om te beginnen moet eerst vastgesteld worden of er überhaupt werkelijk ooit stootvoegjes gezeten hebben. Het zou niet de eerste keer zijn dat er in het bestek een opdracht tot 'herstel' van stootvoegjes wordt beschreven, voor een pand dat ze nooit heeft gehad. Is dat het geval dan moeten ze uiteraard dan niet alsnog worden aangebracht. Helaas komt dat toch voor.

Een tweede punt van aandacht is de kwaliteit of conditie van de aanwezige lintvoegen (horizontale voeg). Het aanbrengen van (ultra)dunne stootvoegjes is op zich al een lastige klus. Als er moet worden aangesloten op bestaande lintvoegen, dan wordt het helemaal precair, omdat de nieuwe stootvoeg slecht hecht op het oude voegwerk. Dit naast het gegeven dat het aanbrengen van stootvoegjes een pand vaak uiteindelijk meer kwaad dan goed doet, door het beschadigen van stenen. Te overwegen valt dus de stootvoeg niet te herstellen.

Moeten echter ook de lintvoegen vervangen worden, dan is het plaatsen van nieuwe stootvoegen weer meer een optie, omdat dan – naast de hechting op de

steen – ook gebruik kan worden gemaakt van de hechting aan de (verse) lintvoegen.

Indien de lintvoegen niet allemaal hersteld worden, is het ook een optie de lintvoegen waar nodig partieel te herstellen en de ultradunne stootvoegjes niet aan te brengen.

Een evident probleem bij het zetten van deze voegjes is dat het vaak zeer lastig – zo niet onmogelijk – is om de ruimte tussen de stenen geheel te vullen met specie. Er ontstaat dan achter de voeg een ruimte die zich met vocht kan vullen. In de winterperiode kan door uitzetting van het bevroren water de voegmortel dan naar buiten worden gedrukt, zeker bij smalle voegjes.

Indien de restauratie (mede) is ingegeven door een vochtprobleem, wordt soms gekozen de hele gevel te behandelen met (bijvoorbeeld) een speciale ruw gestookte lijnolie die de gevel voldoende waterwerend maakt. Hierbij is het wel essentieel dat het metselwerk in goede staat verkeert, en de metselspecie 'vol en zat' is aangebracht. In combinatie met de oliebehandeling kunnen de stootvoegen dan toch open blijven.

Er zijn ook (overigens kostbare) op kleur verkrijgbare coatings op de markt die werken als een impregneermiddel, in de gevel trekken en de gevel een specifieke kleur geven. Dit kan in sommige gevallen bij vochtbelaste plekken een goede oplossing zijn.

Het waterwerend maken van een gevel met middelen die in het steenoppervlak trekken, maakt in een



Afbeelding 6

Vrijwel onzichtbaar hersteld voegwerk (foto Orly Endevoort).

later stadium alsnog verantwoord hervoegeen echter wel moeilijker; daarbij is dan een toeslagmiddel nodig voor hechting aan de behandelde steenranden (zie ook het hoofdstuk over oppervlaktebehandeling).

STOOTVOEGJES VERBREDEN

Een duivels dilemma is het al dan niet verbreden van het voegje. De basisregel is: niet verbreden. Want daarmee gaat oorspronkelijk materiaal voorgoed verloren en het tast de oorspronkelijke uitstraling van het pand aan. Toch kan het om technische redenen – om de voeg voldoende te laten hechten en hem voldoende ‘body’ te geven – nodig zijn de voeg te verbreden.

“De hoeveelheid mortel die gebruikt kan worden voor het maken van een bepaalde voeg wordt ‘body’ genoemd. Het is heel goed voorstelbaar dat het hieraan bij het aanbrengen van de ultradunne stootvoegjes juist ontbreekt; het is heel lastig zo’n dunne ruimte goed te vullen met mortel. Een opzichter van Monumentenzorg had daar een goede oplossing voor, die in de praktijk ook is uitgevoerd. De opdracht was: slijp de voeg heel voorzichtig als een zwaluwstaart naar achter weg. Uitermate voorzichtig nam de opdrachtnemer stootvoeg voor stootvoeg onderhanden, en hierdoor ontstond – zonder de zichtzijde van de gevel te beschadigen – bij ieder stootvoegje naar achter wat ruimte. Zo kon de voeg zich aan zowel beide zijkanen als de achterkant goed hechten. Een monnikenwerk natuurlijk, maar met een prima resultaat. Het werk werd meer dan tien jaar geleden uitgevoerd, maar zit vandaag de dag nog zonder noemenswaardige problemen. Bij dit soort projecten zijn de kosten vaak de bottleneck. Niet veel partijen willen koste wat het kost een gevel op een dergelijke manier in de oude luister herstellen.”

Wat als tachtig of negentig procent van het voegwerk stootvoegen heeft van zeg drie millimeter, en de rest

een of twee millimeter? Het is voorstelbaar dat een monumenteigenaar dan toch kiest voor het verbreden van de smalste voegen. Maar hij kan er ook voor kiezen de smalste voegen niet te laten voegen.

In een dergelijke situatie is goede communicatie met de opdrachtgever essentieel. Is een goede afstemming normaliter al belangrijk bij werkzaamheden aan een monument, bij het verbreden van dunne stootvoegjes moet er helemaal volstrekte duidelijkheid zijn tussen opdrachtnemer, opdrachtgever en eventueel de verantwoordelijk monumentenzorger over de werkzaamheden, uiteraard nog vóór de aanvang daarvan.

Mocht er toch worden besloten tot het verbreden van de voeg, dan moet dit uiterst zorgvuldig gebeuren. De meeste voegbedrijven gebruiken hiervoor speciaal fijn slijpgereedschap waarmee een voeg tot een breedte van 3 of zelfs 2 millimeter kan worden opgeslepen. Maar soms is de gebruikte steen dermate klein, dat het slijpen tot schade kan leiden. Dan kan de stootvoeg bijvoorbeeld voorzichtig met een dunne scherpe beitel handmatig aan één zijde worden opgehakt. Zo kan de voegspecie zich beter hechten aan de steenranden. Mits correct uitgevoerd veroorzaakt dit geen schade.

In Amsterdam wordt een restauratie van een monumentaal pand nogal eens ingegeven omdat er sprake is van waterdoorslag in de (vaak) enkelsteens opgetrokken muren.

In dat geval moeten de stootvoegen worden verbreed tot circa 3 millimeter om er een fatsoenlijke stootvoeg in te kunnen zetten, waarmee het vochtprobleem is opgelost. Indien een monumenteigenaar dat toch niet wil, en de stootvoegen open blijven, zal ook het vochtprobleem zich blijven voordoen.

Vakkundige specialistische voegers zullen echter slechts bij uitzondering akkoord gaan met het verbreden van stootvoegjes in een monumentaal pand.

MORTEL

Bij het zetten is het gebruik van de juiste mortel uiteraard van het grootste belang. Deze mortel moet goed passen bij de ondergrond, zodat deze goed hecht. Juist omdat het zetten van stootvoegjes soms een beetje ‘gepiegel’ is, is het bovendien voor de motivatie van de voeger belangrijk dat de mortel zich ‘lekker’ laat verwerken (zie ook de hoofdstukken over ‘jongere baksteen’ en voegherstelmortels). Wanneer een mortel

Afbeelding 7

Onder: tien jaar oud voegwerk. De voeg is heel voorzichtig als een zwaluwstaart naar achter weggeslepen, voor een goede hechting. De herstellingen zijn niet op kleur gebracht. Rechts: detail (foto's Gerrit Danneberge).





Afbeelding 8

Proefstuk met verschillende mortelmonsters (foto Orly Endevoort).



Afbeelding 9

Voor de voeger is het belangrijk dat de mortel zich 'lekker' laat verwerken (foto RCE, Michiel van Hunen).

wordt voorgeschreven die vooral in theorie het juiste eindresultaat oplevert, maar in de praktijk niet lekker verwerkt, is de kans groot het eindresultaat tegenvalt.

Het realiseren van voldoende hechting is een van de grootste problemen bij het zetten van de (ultra)dunne stootvoegjes. De achterliggende metselmortel – voor zover die al aanwezig is – wordt meestal niet bereikt, dus daar wordt geen of nauwelijks hechting verkregen. Blijft over de lintvoeg en de steen zelf. Om hechting op de steen te verkrijgen moet een ruimte met een hoekig profiel worden gemaakt waarin de mortel voor de stootvoeg wordt aangebracht. Daarnaast moet de steen zodanig worden bevochtigd, dat deze niet te veel vocht uit de voeg 'zuigt'. Maatregelen als afdekken, nevelen en soms lang na-natten kunnen noodzakelijk zijn.

Wanneer de voeger een voegje moet zetten in een erg smalle voegruimte, zou hij kunnen kiezen voor een dunne mortel, omdat hij deze iets beter tussen de stenen krijgt en daarmee vorstschade helpt voorkomen. Gevolg is echter ook een grote kans op smet op de stenen.

KWALITEIT

Hoewel de ultradunne stootvoegjes er fragiel uitzien, en het bij knipwerk soms zelfs lijkt of ze 'op' de steen liggen, blijken ze te beschikken over een opmerkelijke vasthoudendheid. De voegjes kunnen het restauratieproject lange tijd sieren, mits aan voorwaarden is voldaan als de juiste mortelsamenstelling (aangepast

op de steen), juiste aanbrenging door een vakman, juiste afstemming op steen en eventuele achterliggende mortel en de juiste omstandigheden qua vocht en temperatuur.

Het beoordelen van de kwaliteit van het geleverde werk is lastig. Omdat er op heel dunne stootvoegjes uiteraard geen test kan worden gedaan met een hardheidsmeter, moet de kwaliteit op een andere manier worden bepaald. Meestal wordt hierbij volstaan met een visuele beoordeling en wordt vervolgens een garantieperiode afgesproken.

Ook kan een (kleine) mechanische belasting op de voegjes worden uitgeoefend; bijvoorbeeld bekloppen of bekrassen met een schroevendraaier of priem om de sterkte van het werk te beoordelen. Bedenk wel dat kalkmortels zonder cement een veel langere tijd nodig hebben om op sterkte te komen dan moderne mortels. Dat kan wel een jaar duren.

VERVANGEN VAN STENEN EN ZICHTBAARHEID

Naast de problematiek rond dunne stootvoegjes zijn er meer heikele punten uit de restauratiepraktijk van voeger. Bijvoorbeeld het al dan niet vervangen van stenen. Een opdrachtgever kan bijvoorbeeld vinden dat de stenen vervangen moeten worden, terwijl een voegbedrijf aanbiedt om deze alleen te repareren en desgewenst bij te kleuren. Want met de huidige reparatiemortels en inkleurmogelijkheden is het heel goed mogelijk een

steen te repareren en te kleuren, in plaats van deze uit te halen en opnieuw in te boeten.

Opdrachtgevers willen soms nieuwe stenen, omdat ze verwachten dat deze niet snel kapot gaan. Bij gerepareerde stenen kan de vrees bestaan dat deze zwak blijven en bijvoorbeeld kapotvriezen. Een voegbedrijf heeft juist vaak redenen om stenen niet te willen vervangen, vanwege het risico van schade. Bij het uitnemen van een steen bestaat altijd de kans dat de naastgelegen steen ook beschadigd raakt en vervangen moet worden. Wie zal dat betalen? Hierover zijn natuurlijk goede afspraken te maken, maar het kan een issue zijn als het budget onder druk staat...

Bovendien past het minder vervangen en meer repareren van stenen binnen het hedendaagse uitgangspunt van het behoudend restaureren: verantwoord en zo veel mogelijk gebruik maken van aanwezig materiaal.

Een ander punt is het al dan niet zichtbaar laten zijn van reparaties aan metsel- en voegwerk. Veel eigenaren willen dat reparaties zo min mogelijk opvallen en dat een zo egaal mogelijk beeld ontstaat, geen lappendeken. In veel gevallen vinden de monumentenzorgers dat ook.

Echter, bij gevels die al een grote diversiteit kennen, zijn reparaties wellicht niet storend. In bepaalde gevallen is het zichtbaar zijn in de ogen van monumentenzorgers zelfs wenselijk, bijvoorbeeld als in de gevel al sprake is van een zichtbare historische gelaagdheid of van bouwsporen.

Vaak is er een relatie tussen de zichtbaarheid van de reparatie en de hoeveelheid voegwerk die wordt vervangen. Monumentenzorgers wil zo veel mogelijk oorspronkelijk voegwerk behouden en accepteren dan eerder dat reparaties mogelijk meer opvallen.

BIJKLEUREN VAN STENEN

Een ander discussiepunt rond historisch metselwerk is het op kleur brengen van metselsteen. Dat op kleur brengen gebeurt om verschillende redenen.

Als bij een restauratie metselwerk moet worden vervangen of hersteld, beschikt het voegbedrijf slechts in een enkel geval over de origineel toegepaste steen. Meestal zal het een vervangende steen moeten zoeken, maar deze hebben zelden precies hetzelfde uiterlijk en eigenschappen als de originele stenen. De stenen zullen in ieder geval ongeveer hetzelfde formaat en dezelfde oppervlaktestructuur moeten hebben. De kleur van de steen kan vervolgens worden aangepast aan het omliggende metselwerk. Dat gebeurt met speciale kleurstoffen die onder invloed van weersomstandigheden jaren moeten meegaan zonder te verkleuren (in de praktijk vaak: verbleken).

Een mogelijke oplossing voor gevallen waarin oorspronkelijke stenen niet meer verkrijgbaar zijn werd aan de hand gedaan door een slimme voeger, die in een zichtvlak van een gevel een aantal stenen moest vervangen. Dat werd door hem opgelost door uit een ander deel van het pand, dat veel minder opviel, een aantal oorspronkelijke stenen weg te halen, die in het zichtvlak in te boeten, terwijl de weggehaalde stenen werden vervangen door nieuwe stenen die werden bijgekleurd. Een prima oplossing!

Bij het kiezen van vervangende stenen en het bijkleuren is een principiële keuze: is de oorspronkelijke baksteenkleur maatgevend of die van de verouderde en mogelijk vervuilde steen? Van belang daarbij is ook of de eigenaar een wens heeft de gevel te reinigen.

Ook hier geldt dat men het soms geen probleem vindt dat na een restauratie kleurverschil zichtbaar blijft; de geschiedenis van het monument is af te lezen. Maar meestal verlangt men zo weinig mogelijk kleurverschil tussen de oorspronkelijke en ingeboete baksteen.

Inkleuren is soms ook nodig als na het reinigen van een gevel oude reparaties zichtbaar worden die sterk in kleur afwijken.

Een andere reden om stenen op kleur te brengen kan zijn dat nieuw metselwerk te veel afsteekt bij het bestaande werk, omdat het te 'schoon' is. Het kan in dit geval kunstmatig worden vervuild. Vaak gebeurt dat met een papje van water, cement of een ander bindmiddel en vuil uit een dakgoot (gootsmeer) of aarde uit de tuin. In plaats van cement wordt soms ook zoutzuur gebruikt; dat zou het gebruikte vuil doen 'inbranden' in de behandelde stenen. Om verschillende redenen is dit niet aan te raden. Behalve dat zoutzuur gevaarlijk kan zijn voor de verwerker, kan het bij sommige stenen ongewenste verkleuringen veroorzaken. In veel voorwaarden van steenfabrikanten staat inmiddels dat geen zoutzuur meer mag worden toegepast.

Ook voor het voegwerk heeft het gebruik van zoutzuur over het algemeen een nadelige gevolgen. Het op deze manier kleuren van voegwerk is een zeer specialistisch werkje dat alleen door een zeer goede vakman kan worden uitgevoerd. Helaas wordt daar in de praktijk over het algemeen te weinig aandacht aan gegeven, waardoor maar al te vaak voegwerk zijn samenhang verliest (verpulvert), door het verkeerd gebruik van zoutzuur.

BIJKLEUREN: METHODEN

Indien de steen kan gaan glimmen en dan afsteekt bij de omliggende stenen, is een optie deze na de behandeling te bezanden. Dit wordt gedaan door de te behan-



Afbeelding 10

Veel eigenaren willen dat reparaties zo min mogelijk opvallen en dat een zo egaal mogelijk beeld ontstaat, geen lappendeken. Links: situatie vóór ontstoring. Rechts: situatie na ontstoring (foto's Orly Endevoort).

delen steen 'aan te branden' met een 'licht zuurtje' of een lijmpduct, en er dan zand tegenaan te brengen. Meestal wordt hier vanwege de fijne structuur voegzand voor gebruikt die qua kleur precies bij de steen is uitgezocht. Nadat voldoende hechting is verkregen wordt het overtollige zand eraf geveegd.

Voor het inkleuren van metselwerk zijn er twee methoden: inkleuren met verf of met anorganische kleurstoffen. Als het bestaande metselwerk is opgetrokken met stenen met veel kleurverschillen, kan het nodig zijn om meerdere kleuren verf aan te maken. De meeste gespecialiseerde voegbedrijven hebben in de loop der jaren een eigen pallet aan kleurmiddelen ontwikkeld, die in wisselende samenstellingen – afhankelijk van de ondergrond – worden toegepast. De basis van de kleurmiddelen zijn meestal kleurstoffen (pigmenten) die in de handel verkrijgbaar zijn. Als het project een behoorlijke omvang heeft, wordt de leverancier van de

kleurmiddelen vaak bij de keuze betrokken. Een enkele keer maakt de fabrikant speciaal voor een project een bepaalde kleurstof.

“Ook is het mogelijk om oude stenen uit het pand nemen, deze te vermalen, het poeder te binden met - neutrale - lijm-middelen en dan de met de ‘verkeerde’ kleur gemetselde stenen in te kleuren met dit verkregen kleurmiddel. Het eindresultaat zal dan de originele kleur van het pand zeer sterk benaderen.”

Het mengen en kleuren zelf is lastig te leren; een combinatie van gevoel en ervaring. Als de droge kleurstoffen zijn gemengd, is de uiteindelijke kleur nog niet te zien. Die wordt pas zichtbaar als de kleurstoffen aan het water met het hechtmiddel worden toegevoegd.

Bedenk bijvoorbeeld dat één soort kleurstof op één project zeker niet altijd overal gebruikt kan worden.

Er zijn veel gevels die van zichzelf al een aantal verschillende kleuren hebben; op de ene plek wat lichter, op een ander wat donkerder. Al die verschillende vlakken of delen moeten apart behandeld worden.

Veel voegbedrijven hanteren als basisregel dat zij het inboetwerk een tikkeltje lichter uitvoeren dan het omliggende werk. Want het is mogelijk om lichtere stenen donkerder te maken, maar andersom (van donker naar licht) kan bijna niet. Bovendien doet een donker(der) stuk in de gevel vaak ‘vervuild’ aan; en zo wil het voegbedrijf haar werk natuurlijk niet doen overkomen. (Zie voor meer informatie ook hoofdstuk 18 over constructief herstel.)

BESTEK EN AANBESTEDING

Zowel bij het (opnieuw) aanbrengen van (stoot)voegen, het inboeten van stenen als het kleuren van metselwerk is communicatie tussen opdrachtgever en opdrachtnemer van het grootste belang. Het is vaak een kwestie van smaak of iets de klant bevalt of niet. Het gezamenlijk opzetten en beoordelen van proefvlakken kan veel onduidelijkheid voorkomen. Ook de visie van monumentenzorgers speelt hierbij natuurlijk mee.

De gespecialiseerde voegbedrijven constateren dat de omschrijvingen in bestekken zowel voor opdrachten voor het zetten van stootvoegjes als voor het bijkleuren van gevels vaak niet al te best van kwaliteit zijn. Regelmatig is er sprake van plak- en knipwerk. Het is daardoor voor de opdrachtgever vaak lastig om verschillende offertes goed met elkaar te vergelijken. Dat betekent ook dat er kans is dat het werk of de uitvoeringskwaliteit uiteindelijk niet aan de verwachting voldoet.

In de praktijk blijkt dat architecten, opdrachtgevers en monumenteigenaren vaak nét niet voldoende kennis hebben van het restauratievak om de bestekken volledig op correctheid te kunnen beoordelen. Dit legt een grote verantwoordelijkheid bij het voegbedrijf. Deze moet op basis van zijn eigen professionaliteit de durf hebben om in de eigen offerte wél de juiste dingen op te nemen voor het monument, en (voorzichtig) te wijzen op de ‘fouten’ of onvolkomenheden in het bestek.

“Een mooi voorbeeld van de klok horen luiden, maar niet weten waar de klepel hangt, is het volgende. Een bestekschrijver wilde een gevel hebben van aanzienlijke kwaliteit, maar vond de prijs die stond voor de benodigde hardheid aan de hoge kant. Hij ontdekte dat hoe lager de hardheid, hoe goedkoper het werk. Hij schreef daarom het volgende in het bestek: ‘Hardheid: VH15, maar met de kwaliteit van VH45’.”

Ook is vaak onvoldoende bekend wat er vandaag de dag (nog) wordt geproduceerd. Schelpkalk is hiervan een goed voorbeeld. De tegenwoordig geproduceerde ‘schelpkalk’ is niet dezelfde schelpkalk als die van vroeger. Er is wel kalkmortel op natuurlijke basis, maar de echte schelpkalk wordt niet meer geproduceerd. Er is ook steenkalk in de handel waaraan stukjes schelpen zijn toegevoegd. Als de opdrachtgever ervan uitgaat dat dan met ‘schelpkalk’ wordt gewerkt, kan dat leiden tot een Babylonische spraakverwarring! Het professionele voegbedrijf is op de hoogte van het feit dat er geen echte schelpkalk op de markt is en kan de opdrachtgever alternatieve (kalkhoudende) bindmiddelen adviseren.

Of een restauratie goed en correct kan worden uitgevoerd, hangt uiteindelijk vooral af van het budget. De meeste problemen zijn op te lossen, maar daar staan kosten tegenover. Geef een voegbedrijf tijd en budget om een restauratie goed uit te voeren, en er wordt een degelijk stukje werk afgeleverd.

TOT SLOT

Het mooiste compliment dat een voegbedrijf kan krijgen is dat een opdrachtgever niet kan zien waar er gewerkt is.

17



Voegherstelmortels voor zoutbelast metselwerk

Aanbevelingen op basis van onderzoek

In deze bijdrage wordt ingegaan op de laatste ontwikkelingen bij het toepassen van voegherstelmortels voor zoutbelast historisch metselwerk, op basis van praktijkervaring en laboratoriumonderzoek. Aan de hand van onder meer schadeanalyse worden parameters gedefinieerd voor mortelsamenstelling voor voegherstel en voor de uitvoering daarvan. Ook formuleren de auteurs aanbevelingen voor voegherstelwerk in zoutbelast historisch metselwerk.

Bij de restauratie van voegwerk wordt nog vaak een cementgebonden mortel toegepast in plaats van klas-sieke op kalk gebaseerde mortel. Uit praktijkervaringen is echter gebleken dat daaraan grote nadelen kunnen kleven, want cementgebonden voegmortels hebben een negatief effect op de vochtuithouding in het metselwerk en daarmee op de duurzaamheid van het werk (omdat ze bijdragen aan het ontstaan van schade). Dit heeft de afgelopen decennia geleid tot aanzienlijke faalkosten.

Echter, het toepassen van uitsluitend kalk als bindmiddel in mortels voor voegherstel leidt óók vaak tot problemen. Dit omdat dan onvoldoende rekening is gehouden is met mogelijke schade-effecten van aanwezige zouten, zoals chloride- of sulfaten. Zuivere kalkmortels zijn namelijk niet altijd even goed bestand tegen zouten.

Bovendien blijkt dat bij de keuze voor voegmortel nog onvoldoende rekening wordt gehouden met de materiaaleigenschappen van het aanwezige werk. Als de voegmortel niet compatibel is, kunnen thermische

spanningen ontstaan en daarmee schade.

Om schade te voorkomen, is een afgewogen mortel-keuze dus van belang. Dit hoofdstuk geeft een overzicht van diverse soorten schade aan voegmortels en gaat in op de oorzaken daarvan. Dit geeft inzicht in welke eigenschappen of samenstelling voegherstelmortels idealiter hebben, onder welke omstandigheden, en hoe ze het beste kunnen worden verwerkt. Deze kenmerken blijken dus zowel uitvoeringstechnisch als materiaal-kundig van aard.

Let wel: deze bijdrage gaat over voegherstelmortels in (zoutbelast) regenbelast historisch metselwerk. Dit betreft als 'zacht' te typeren metselwerk, mechanisch niet sterk en relatief goed vervormbaar doordat het met kalkmortel is opgetrokken.

VORSTSCHADEN

Door het toepassen van 'harde', dichte cementvoegen of gehydrofobeerde voegen ontstaan specifieke vorstschaden, zo blijkt uit de praktijk (zie ook het hoofdstuk over schade door vocht etc.):

- Het uitdrukken van voegen. Dit komt vooral voor bij vorst direct volgend op een regenperiode. De oorzaak hiervan is vaak een holte tussen de voeg en de legmortel (als gevolg van een slechte opvulling door de voeger). Deze holte vult zich in de regenperiode met water. Bij vorst, direct volgend op regen, wordt

Afbeelding 1

Door het toepassen van een 'harde', dichte cementvoeg kunnen bij vorstschade de voegen worden uitgedrukt zoals bij deze watertoren (foto RCE, Michiel van Hunen).



dit ijs, dat uitzet en de voegen uitdrukt. Bij dichte sterke cementmortels kan door de sterke hechting tussen voeg en steen bovendien schade ontstaan aan de bakstenen.

- Vorstschade in de legmortel achter de dichte voeg. Deze legmortels op basis van kalk kunnen eeuwenoud zijn en nooit vorstgevoeligheid hebben getoond. Het aanbrengen van een dichte cementvoeg of een gehydrofobeerde voeg vertraagt het drogen van de legmortel echter aanzienlijk: het vochtgehalte in de legmortel kan bij het invallen van de vorst dan zo hoog zijn, dat vorstschade optreedt.

Voorkomen van vorstschade

Hoewel sterke herstelvoegen of gehydrofobeerde voegen vaak met de beste bedoelingen worden toegepast, blijken ze in de praktijk dus tot problemen te kunnen leiden.

Eigenlijk gaat het streven naar een zo duurzaam mogelijke voeg voorbij aan het basisprincipe dat de voeg opofferend dient te zijn. Met andere woorden: de voeg moet de zwakste plek in het systeem zijn, omdat deze het gemakkelijkst te vervangen is. Als het vervangen van de voeg leidt tot schade in de omringende steen of de legmortel, dan is er iets fundamenteel misgegaan.

Bij het voorkómen van vorstschade blijkt de verwerkingstechniek van de voeger van groot belang. Dit begint bij het verwijderen van de oude voeg: dit dient vakkundig te gebeuren en moet een voeg opleveren van voldoende diepte en met een rechthoekige vorm (afb. 3). De voeger moet vóór het hervoegen de voeg goed schoonmaken en bevochtigen, en vervolgens de voeg geheel te vullen.

Afbeelding 2

Voorbeelden van vorstschade. Links: uitdrukken. Rechts: horizontale scheurtjes in de legmortel achter de voeg (foto's auteurs).

Of dat laatste inderdaad gebeurt, hangt af van het vakmanschap van de voeger, maar ook van de verwerkbaarheid van de mortel. Dat bleek ook in proefsituaties, toen een meestervoeger een voegmortel als slecht verwerkbaar beoordeelde en bleek dat de voegen ook duidelijk minder goed werden opgevuld. Met andere woorden: de verwerkbaarheid is een belangrijke basisvoorwaarde bij het toepassen van een voegmortel. Indien een vakbekwame voeger die gewend is met kalkmortel te werken, aangeeft dat de mortel slecht verwerkbaar is, moet dat signaal serieus worden genomen.

Ten slotte is van wezenlijk belang dat de voeg goed wordt nabehandeld. Dat betekent: gedurende een bepaalde periode (afhankelijk van het type bindmiddel) regelmatig bevochtigen, zodat het materiaal goed uithardt.

Uitgangspunt voor een ideale mortelsamenstelling voor voegherstel is dat de mortel bijdraagt aan het drogen van het metselwerk via de voegen. Dit is vooral belangrijk in metselwerk met zwak-zuigende metselstenen. Drogen gebeurt bij een hoog vochtgehalte eerst door capillair vochttransport en vervolgens door damptransport in combinatie met capillair transport (zie ook de hoofdstukken over vochttransport en over vochtabsorptie en droging). Het capillaire vochttransport vindt idealiter plaats vanuit de baksteen naar de mortel, zodat zouten zich van de steen naar de mortel kunnen verplaatsen. Dit is het geval als de



Afbeelding 3

De wijze van verwijderen van de oude voeg (zonder schade aan de stenen), de diepte van de nieuwe voeg (circa tweemaal de voegbreedte), de vorm (rechthoekig) zijn belangrijke randvoorwaarden bij een vakkundige vervanging van voegwerk (foto's auteurs).

voegmortel meer fijnporeus is dan de baksteen en de legmortel, en deze met beide een goed capillair contact heeft.

ZOUTSCHADEN

In metselwerk komen vaak zouten voor (zie voor meer info over dit onderwerp ook het hoofdstuk over schade door vocht etc.). Deze zouten kunnen aanwezig zijn in de toegepaste materialen, zoals sulfaten in de bakste-

nen en mortels, en zeewater voor het aanmaken van de mortels. De zouten kunnen ook afkomstig zijn uit de omgeving, via grondwater, lucht, overstromingen of een voormalige gebouwfunctie (stallen, zoutopslag). Al deze zouten kunnen op verschillende manieren leiden tot schade:

- via chemische omzetting van de zouten (sulfaten en chloriden); door reactie met bestanddelen in het bindmiddel, wat leidt tot expansieve verbindingen;



- of via zoutkristallisatie- en hydratatie, waarbij uitzetting voor schade zorgt. De kristallisatiecycli kunnen op verschillende locaties in het metselwerk optreden: aan het oppervlak (waardoor geringe schade ontstaat) of in het materiaal zelf (crypto-efflorescentie). Voorbeelden van crypto-efflorescentie zijn zoutkristallisatie achter een gehydrofobeerde buitenzijde van een muur, waardoor afschilfering ontstaat (zie afb. 4b), en zoutkristallisatie in de ruimte tussen voeg en de achterliggende legmortel, als deze niet volledig op elkaar zijn aangesloten. Vooral sulfaten en chloriden kunnen tot schade leiden.

Voorkomen van zoutschade

Relevante aspecten bij zoutgerelateerde schaden zijn dus de keuze van het bindmiddel (in verband met mogelijke schade door chemische omzetting) en de plaats in het metselwerk waar herhaalde zoutkristallisatie zou kunnen plaatsvinden.¹

Het meest effectief is te zoeken naar een bindmiddel of bindmiddelencombinatie die zowel chloride- als sulfaatresistent is. Samengevat komt dat neer op het volgende:

- Pas geen portlandcement² (CEM I), luchtkalk zonder andere bindmiddelen, HL (hydraulische kalk)/tras-kalk of witte cement toe.
- Wel aan te raden zijn hoogovencement (hoge sulfaatresistentie) met luchtkalk (niet bij chloriden, in verband met de mogelijkheid van de vorming van het sterk oplosbare calciumchloride (CaCl_2)) en

bepaalde natuurlijke hydraulische kalken (NHL) met laag gehalte aluminaten (Al_2O_3) en laag gehalte aan calciumhydroxide ($\text{Ca}(\text{OH})_2$). Mortels met NHL bleken zeer goed natriumchloride (zeewater)-resistent. Een combinatie van hoogovencement met deze NHL is ook mogelijk.

- Wellicht is tras-luchtkalk in de juiste onderlinge verhouding ook een optie (maar nader onderzoek hiernaar is nodig).

Bij het voorkómen van schade door de cycli in zoutkristallisatie zijn bij voegherstelwerk de vochttransporteigenschappen van het voegmateriaal (voor het transport en de depositie van zouten) ten opzichte van het omliggende materiaal van belang. Verhinderende of vertraging van vochttransport door de mortel (dichte cementvoegmortel, gehydrofobeerde voegmortel of slechte aansluiting tussen voeg en legmortel) leidt vaak tot kristallisatie op verkeerde plekken: crypto-efflorescentie.

Een sterkere mortel (hogere druksterkte) is vaak beter bestand tegen zoutaantasting. Maar hogere (druk) sterkten gaan vaak samen met een hogere dichtheid en een verminderd vochttransport, wat leidt tot een verhoogde kans op zoutschade. Er kan dus een strijdigheid ontstaan tussen het nastreven van langdurig behoud van de voeg en het beschermen van het historisch metselwerk. Dan prevaleert de duurzaamheid van het historische metselwerk boven die van de voeg.

Afbeelding 5

Voorbeelden van schade als gevolg van thermische spanningen. Boven: loswrikken van de voeg onder invloed van thermische spanningen. Onder: losgewerkt voegwerk onder invloed van thermische spanningen, waarschijnlijk in combinatie met vorst (foto's auteurs).



Afbeelding 6

Samenstelling bouwplaatsgemengde voegherstelmortels en vier geanonimiseerde prefab voegherstelmortels. Toegepaste bindmiddelen: natuurlijke hydraulische kalk (NHL 2 en NHL 3,5 van Saint Astier); luchtkalken: Harlinger kalk (CL70) en Supercalco Carmeuse (CL90); Rheinische tras (TUBAG), hoogovencement (HOC CEM III/B). Toegepast zand: standaardvoegzand met een fijnheidsmodulus (FM) van 1,8 en zilverzand (zz) met een FM van 1,0 (bron: auteurs).

Bouwplaatsgemengde mortels									Prefab mortels	
VBo2	NHL3,5 6	HOC 1	Zand 17	VBo6	NHL2 3		HOC 1	Zand 10	VPo1	A
VBo3	NHL2 3	HOC 1	Zand 10	VBo7	kalk Harl. 1,3	tras 0,4	HOC 0,25	Zand 3,2	VPo4	B
VBo4	NHL3,5 1		Zand 2,5	VBo8	PC (wit.k) 1			(zz) Zand 4,5	VPo5	C
VBo5	kalk Harl. 5	HOC 1,5	Zand 16	VBo9	sup.calco 4		HOC 1	(zz) Zand 12	VPo6	D

SCHADE DOOR THERMISCHE SPANNINGEN

Temperatuurswisselingen leiden tot uitzetting en krimp van metselwerk waardoor thermische spanningen ontstaan. Thermische spanningen in voegen kunnen leiden tot schade aan het metselwerk, met name wanneer dit vervorming van de mortel hindert. Dit fenomeen is bekend, maar het effect wordt onderschat.

Wanneer de hechting van het voegwerk aan de baksteen slecht is, zullen alleen de voegen loskomen. Indien de voegmortel sterk is gehecht aan de baksteen, verhindert dit vervorming en kan spanning zo hoog oplopen dat ook schade aan de baksteen ontstaat. Bij vervorming speelt ook de stijfheid van een materiaal (elasticiteitsmodulus) een belangrijke rol.

De thermische spanning kan worden berekend met de formule: $\alpha \cdot E \cdot \Delta\theta$ [N/mm²].

Daarin is α de lineaire uitzettingscoëfficiënt van het materiaal [1/°K]; E de (dynamische) elasticiteitsmodulus [N/mm²] en $\Delta\theta$ de temperatuursverhoging [°K].

$\alpha \cdot E$ [N/(mm²·°K)] is een materiaalgebonden thermische spanningscoëfficiënt. Deze geeft voor ieder voegmateriaal specifiek aan hoe gevoelig dit materiaal is voor het opbouwen van thermische spanningen in het metselwerk.

Voorkomen van thermische schade

Uit het voorgaande volgt dat een lage thermische uitzettingscoëfficiënt en een hoge vervormingscapaciteit (dus een lage elasticiteitsmodulus) zullen leiden tot lage thermische spanningen in het metselwerk. Verderop volgt meer informatie over spanningscoëfficiënten en vervormingsgedrag van verschillende typen mortels.

LABORATORIUMONDERZOEK

Hierboven zijn naar aanleiding van verschillende schadenfenomenen parameters geformuleerd voor mortel voor voegherstel. Met behulp van een laboratoriumonderzoek zijn deze parameters nader gekwantificeerd. In dit onderzoek zijn acht bouwplaatsgemengde mortels voor voegherstel getest en vier prefabmortels.

Een eerste uitgangspunt voor voegherstelmortels was een redelijke zoutbestendigheid. Daarom is gekozen voor bouwplaatsgemengde mortels met een hydraulische component(en) die zoutresistent zijn (NHL en HOC) en zonodig een relatief snelle beginsterkte hebben.

Een tweede uitgangspunt is het gebruik van het bindmiddel kalk (NHL); dit vanwege de noodzakelijke mechanische (lage E-modulus en lage thermische uitzettingscoëfficiënt) en hygrische compatibiliteit met de zachtere bakstenen en oude kalkmortels die doorgaans worden aangetroffen in historisch metselwerk. (Ter vergelijking: met schrale cementmortels kan over het algemeen wel een redelijke hygrische compatibiliteit worden bereikt; dit is echter niet het geval ten aanzien van het vervormingsgedrag.)

De samenstelling van de prefab voegmortels is in principe goeddeels onbekend. Het laboratoriumonderzoek geeft echter informatie over de eigenschappen van deze mortels en daarmee ook een indicatie over de samenstelling: vaak lijkt cement als bindmiddel te zijn gebruikt.

Verwerkbaarheid

De mortels werden beoordeeld door een meestervoeger. De beoordeling betrof smeugheid/plasticiteit, werken

Afbeelding 7

Druksterkten van voegherstelmortels bepaald na 28 dagen volgens NEN (bron: auteurs).

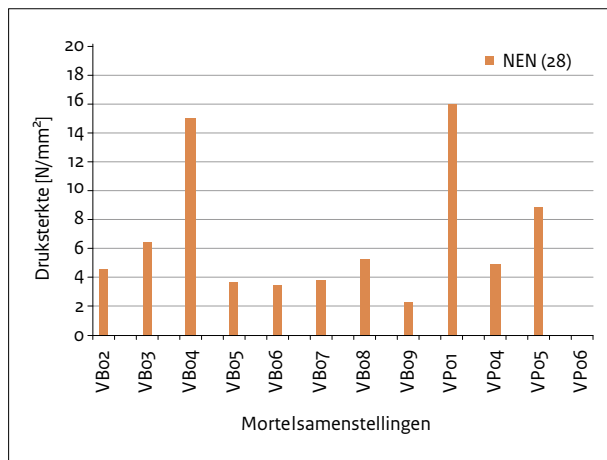
‘vanuit de bal’, zandgradering (dikte voeg), watervasthoudendheid, plakken, smetten en productie maken. Naast de beoordeling van deze deelaspecten werd een toetaaloordeel gegeven middels een eindcijfer (van 1 tot 10).

Over het geheel genomen presteren de bouwplaats-gemengde voegmortels qua verwerkbaarheid duidelijk beter dan de prefab voegmortels. Slechte verwerkbaarheid leidt vaak tot een slecht opvullen van de voeg, wat risico's oplevert wat betreft de duurzaamheid van de voeg.

Druksterkte

Druksterkte is in zeker opzicht een indicatie voor duurzaamheid van een materiaal op zich, zoals een mortel: een minimale sterkte is nodig om ongunstige omgevings- en belastingscondities te kunnen overleven. Een te hoge druksterkte leidt daarentegen tot een lage porositeit (een te dichte mortel).

Bij traditionele bindmiddelen zoals kalk, hydraulische kalk of tras-kalk komt de sterkte langzaam tot ontwikkeling, zodat de gebruikelijke sterkteproef na 28 dagen geen eindwaarde oplevert. Soms wordt de eindsterkte pas na een jaar bereikt. Toevoegingen van (hoogoven)cement geven de mortel snel een hogere beginsterkte waardoor deze minder kwetsbaar wordt bij

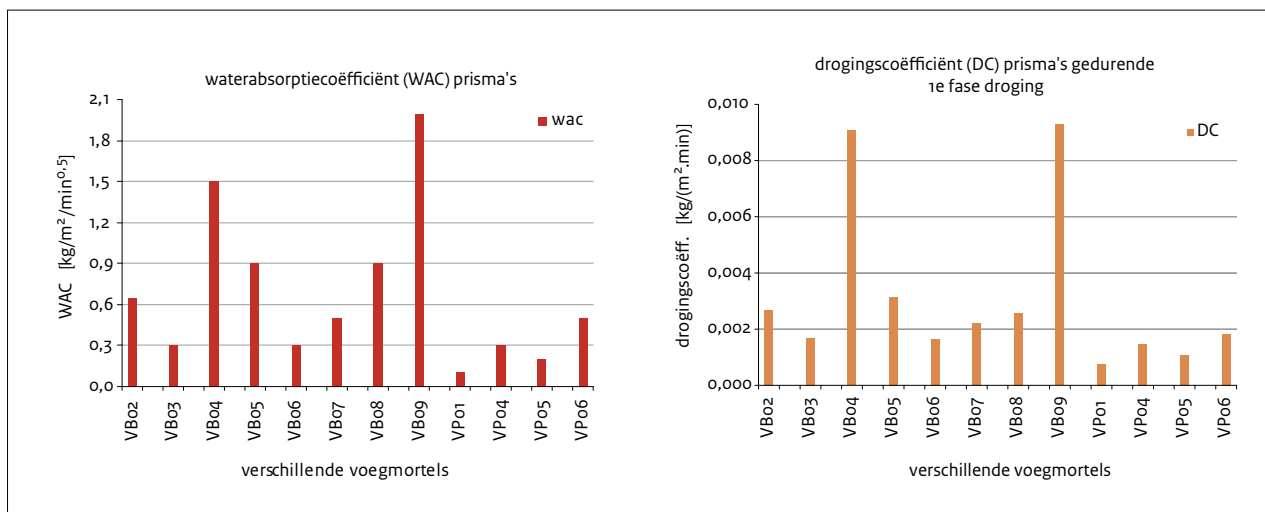


agressieve omgevingscondities (vorst, zouten). Maar de toevoeging beïnvloedt ook het mechanisch gedrag: met andere woorden er moet niet te veel worden toegevoegd.

De pure natuurlijke hydraulische kalkmortel (VB04) komt zeer langzaam tot sterkteontwikkeling, zo blijkt uit de proeven (de drukproeven, weergegeven in afbeelding 7, zijn na 28 dagen uitgevoerd). Maar de eindwaarden na een halfjaar buitenopstelling, geverifieerd door drukproeven, liggen twee- tot driemaal hoger dan de waarde in de grafiek. Als deze mortel laat in het seizoen wordt toegepast, zal deze in de eerste winter dus vorstgevoelig zijn. Om schade te voorkomen moet deze mortel vroeg in het seizoen worden verwerkt.

Afbeelding 8

Links: vochtopname door voegherstelmortels (prisma's) uitgedrukt in de zogeheten waterabsorptiecoëfficiënt (WAC). Rechts: drooggedrag van dezelfde serie mortels.



Bij late toepassing zijn er twee mogelijkheden om veilig de eerste winter door te komen: de eerste is cement toe te voegen aan de NHL (bijvoorbeeld 25% van het totale bindmiddelgehalte), de tweede is het metselwerk te laten drogen en te beschermen tegen vochtindringing (droog metselwerk is niet vorstgevoelig!). De voorkeur gaat uit naar een vroeg in het seizoen verwerken van de natuurlijke hydraulische kalk, omdat dat een lagere mechanische druksterkte, een hogere vervormbaarheid en hogere porositeitswaarden (beter droging) geeft.

Opvallend is dat de druksterkten van de prefab voegmortels relatief hoge waarden vertonen, in vergelijking tot de bouwplaatsgemengde mortels. Dit geldt in het bijzonder voor de prefab mortel VP01. Dit is mogelijk het gevolg van de toevoeging van cement.

Het ademen van de voeg

Met het 'ademen' van de voeg wordt bedoeld het doorlaten en afstaan van vocht en waterdamp; dat is van wezenlijk belang voor een goed functionerende vochtuithouding van het metselwerk.

Het vergelijken van de waterabsorptiecoëfficiënt (WAC) van een serie proefmonsters, mortelprisma's van 40 x 40 x 160 mm geeft een indruk van verschillen in wateropzuiggedrag. Afbeelding 8 geeft van verschillende mortels de WAC. Zeer lage waarden duiden op dichte cementmortels of de toepassing van hydrofobeermiddelen in de mortel.

In het laboratoriumonderzoek is vastgesteld dat er vaak een correlatie bestaat tussen hoge (of snelle) vochtabsorptie en snel drogen. En als in het metselwerk de porositeit van de voegmortels fijner is dan de aanliggende bakstenen en de erachter liggende legmortel (wat vaak het geval is), zal dat voor het gewenste drogen in het metselwerk zorgen via de voegherstelmortels.

Proeven zijn uitgevoerd aan zowel mortelprisma's als aan mortels die zijn uitgehard tussen bakstenen (doordat bakstenen water uit de specie opzuigen kunnen deze proefstukken een ander gedrag vertonen dan de prisma's).

De belangrijkste conclusies uit de proeven waren:

- De waterabsorptiecoëfficiënten (WAC's) en de drogingscoëfficiënten van de prefab mortels zijn in verhouding opvallend lager dan die van de bouwplaatsgemengde mortels.
- De WAC van de pure natuurlijk hydraulische kalkmortel (NHL 3,5, proefstuk VBo4) is opvallend hoog. Echter, gezien de langzame uitharding zal deze waarde in de loop van de tijd afnemen (omdat de

porositeit van de mortel in de loop der tijd fijner zal worden).

- De WAC van de prefab mortel op basis van cement (VP01) is zeer laag; uit droogproeven bleek dan ook het drogen zeer langzaam te verlopen.

Vries-dooigedrag

Omdat in Nederland vorstschaden aan voegwerk veel voorkomen, is onderzoek naar het vries-dooigedrag van voegwerk vaak van doorslaggevend betekenis voor het beoordelen van de geschiktheid van een voegmortel in onze klimaatzone.

De proeven zijn uitgevoerd bij TNO Bouw en ondergrond. Door de lange ervaring van TNO met vries-dooiproeven kunnen deze zó opgezet en uitgevoerd worden, dat duidelijk wordt hoe de beproefde voeg(herstel) mortels zich in de praktijk gedragen. Bij de uitvoering van de proeven is aangesloten op de wijze van beproeving zoals uitgevoerd in het Europese Pointing project (2001).³ De proeven geven een beeld van zowel de oppervlakteschade, als van de hechting van de voeg aan het omgevende materiaal én van de schade in de legmortel achter de voeg.

Resultaten van vries-dooiproeven

In de proeven vertoonde alleen een bouwplaatsgemengde voegherstelmortel VBo9, zie afbeelding 6) schade; als gevolg van de vries-dooicycli bleek voegmateriaal van buiten naar binnen af te zanden. Geen van de proefstukken vertoonde problemen met de hechting tussen voegmortel en steen. Dat dit resultaat beter is dan bij voorgaande onderzoeksprojecten, komt vooral doordat een grote uithakdiepte is aangehouden (diepte ongeveer tweemaal de voegbreedte). Gesteld kan worden dat een grote uithakdiepte cruciaal is voor duurzaamheid van voegherstelwerk in massief metselwerk.

In de proefstukken werd bij drie prefab mortels (VP01, VP04 en VP06) en één bouwplaatsgemengde mortel (VBo5) een begin van vorstschade geconstateerd in de legmortel achter de voegmortel.

De vries-dooiproef geeft duidelijke indicaties voor het voorspellen van schade. De proefstukken moeten in ieder geval in laboratoriumproeven aantoonbaar vorstbestand zijn. Op basis van deze resultaten is het daarom af te raden mortels voor voegherstel die schade vertonen in te zetten op 'zacht' historisch metselwerk (de proeven zijn opgezet als een imitatie van historisch metselwerk).

Afbeelding 9

Vorbereiding proefstukken voor vries-dooiproef bij TNO. Links: vier dagen dompelen voordat de vries-dooiproef begint. Rechts: de proefstukken in de vries-dooikist (foto's auteurs).



Thermische spanningen

Hierboven is onder 'schade door thermische spanningen' opgemerkt dat bij temperatuursveranderingen de thermische uitzetting en de vervormingscapaciteit (elasticiteitsmodulus) leiden tot spanningen in het metselwerk.

Door een hoge uitzettingscoëfficiënt en weinig vervormingsmogelijkheden (hoge elasticiteitsmodulus) kan er bij verwarming een grote kracht worden uitgeoefend op het naastliggende (eventueel zeer zwakke) baksteenmateriaal. Als de mortel zelf een hoge bezwijkbelasting heeft (dit is bij VP01 het geval) kan dit leiden tot het verpulveren van het omliggende baksteenmateriaal, als dit zwak is.

In een serie proeven werden de lineaire uitzettingscoëfficiënten en de elasticiteitsmoduli van de voegherstelmortels bepaald. In afbeelding 9 zijn de thermische spanningscoëfficiënten uitgezet: het product van de uitzettingscoëfficiënt en de (dynamische) elasticiteitsmodulus.

Uit afbeelding 10 blijkt duidelijk dat de prefab voegmortels (in het bijzonder VP01) onder invloed van een temperatuurstijging een veel hogere spanning in het metselwerk kunnen veroorzaken dan de bouwplaatsgemengde mortels die zijn onderzocht. Omdat de thermische spanningscoëfficiënt ($\alpha \cdot E$ in afb. 10) de spanningsopbouw per 1°K ($=^\circ\text{C}$) temperatuurverhoging weergeeft, krijgen we een indruk van hoe hoog de spanning kan oplopen bij een temperatuursverhoging

van bijvoorbeeld 50°C (gevel op het zuiden/westen) bij verhinderde vervorming.

Voor VP01 (een prefab cementvoegmortel) is dat $170 \times 10^{-3} \times 50 = 8,5 \text{ MPa (N/mm}^2\text{)}$. En voor VBO6 (een bastaardmortel op basis van hydraulische kalk en hoogovencement) is dat $34 \times 10^{-3} \times 50 = 1,7 \text{ MPa (N/mm}^2\text{)}$.

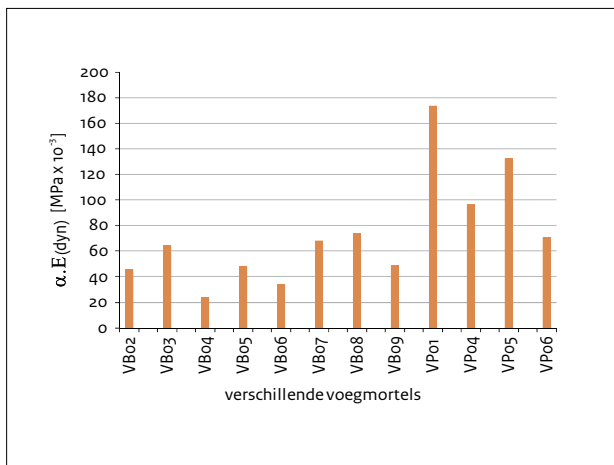
Uit het voorbeeld blijkt een significant verschil tussen een mogelijke spanningsopbouw bij kalkmortels (lage spanningen) en bij cementmortels (hoge spanningen). De spanningen bij de cementmortels zijn zo hoog dat deze kunnen leiden tot schade bij zwakke omgevende stenen.

MORTELRECEPTUREN

Uit deze laboratoriumproeven en uit ervaringen in de praktijk blijkt dat de volgende mortelsamenstellingen aan te bevelen zijn voor voegherstelmortels in 'zacht' historisch metselwerk belast met zouten (dat wil overigens *niet* zeggen dat andere samenstellingen uitgesloten zijn):

- Een *natuurlijke* hydraulische kalkmortel al dan niet opgemengd met hoogovencement in een verhouding tot hydraulische kalk van maximaal 1 op 3. (Verondersteld mag worden dat hydraulische kalkmortels op basis van cement en luchtkalk vooral op het gebied van thermische spanningen slechter zullen presteren dan pure natuurlijke hydraulische mortels.)

Er kunnen twee redenen zijn om hoogovencement aan de natuurlijke hydraulische kalk toe te voegen:



Afbeelding 10

Overzicht van thermische spanningscoëfficiënten van de bouwplaatsgemengde en prefab voegherstelmortels.

- 1) bevordering van de sulfaatresistentie van de mortel;
- 2) bevordering van een snelle ontwikkeling van de beginsterkte van de mortel (bij verwerking van de mortel laat in het seizoen).

- Een voegherstelmortel met alleen natuurlijke hydraulische kalk (NHL 3,5) als bindmiddel is over het algemeen – bij vroege toepassing in het seizoen (de gewenste sterkte wordt pas na circa 180 dagen bereikt) – een goede keus bij al dan niet met zeezout belast historisch metselwerk.

AANBEVELINGEN

Hervoegeen mag geen negatieve effecten hebben op de duurzaamheid van het bestaande metselwerk. Dit leidt tot de volgende aanbevelingen.

- De reparatiemortel moet compatibel zijn met bestaande metselstenen en mortel en/of met de originele mortel. Met compatibel wordt in algemene zin bedoeld dat de reparatiemortel niet de oorzaak mag zijn/worden van schade in het originele metselwerk. In praktische zin komt het erop neer dat de mechanische en hygrische eigenschappen van de reparatiemortel zich moeten bevinden in de buurt van die van de bestaande metselstenen en mortel. Grote verschillen in eigenschappen tussen reparatiemateriaal en bestaand materiaal leiden vaak tot schade; bij grote variatie in eigenschappen van de bakstenen dient men bij de reparatiemortel te kiezen voor compatibiliteit met het zwakste en meest poreuze omgevende materiaal.
- De (her)voegmortel dient opofferend te zijn. Het is zinloos om een zeer duurzame (her)voegmortel toe te passen als deze schade veroorzaakt in de legmor-

tel en/of de metselstenen. Als er schade optreedt, dan moet dat plaatsvinden in de (her)voegmortel. Deze is gemakkelijker te vervangen dan de legmortel of de baksteen.

- Extra zorg is nodig bij het hervoegeen van historisch kalkmortelmetselwerk dat aan vorst wordt blootgesteld. Er is een risico van vorstschade in de legmortel direct achter de voegherstelmortel, tenzij de voegherstelmortel een uitstekend drogingsgedrag vertoont.
- De voegherstelmortel dient geen spanningsconcentraties in de muur te veroorzaken. Gebruik een mortel niet sterker dan nodig om aan mechanische en duurzaamheidsvereisten te voldoen.
- De hechtsterkte tussen steen en mortel moet minder zijn dan de treksterkte van de metselsteen.
- Er dienen geen schadelijke zouten in de mortel te worden verwerkt.
- De mortel dient het drogen van het metselwerk via de voegen te bevorderen. Dit is vooral belangrijk in metselwerk met dichte metselstenen (via de mortel kan het metselwerk 'ademen'). Het capillaire vochttransport dient te geschieden vanuit de metselstenen naar de mortel, zodat zouten van de steen naar de mortel kunnen migreren (zouten kunnen aanleiding zijn tot schade zoals verkrumming of het afspringen van stukken).

TECHNISCHE EISEN GEKWANTIFICEERD

Voor hervoegeen in 'zacht' massief historisch metselwerk⁴ volgt op basis van het voorafgaande een aantal aanbevelingen wat betreft technische eigenschappen van voegherstelmortels. Deze aanbevelingen zijn gebaseerd op de beoordeling van de in het laboratorium bepaalde eigenschappen, in combinatie met ervaringen in de Nederlandse restauratiepraktijk. Ze hebben betrekking op de verwerkbaarheid, de druksterkte, de waterabsorptiecoëfficiënt, de thermische spanningscoëfficiënt en het gedrag bij de vries-dooiproef.

- Verwerkbaarheid: goed (dit op basis van beoordeling door een ervaren voeger);
- Uitvoering: bij voorkeur is de diepte van de voeg gelijk aan tweemaal de breedte en de uitgehakte voeg is rechthoekig van vorm;

- Druksterkte: 3-6 N/mm² (bepaald volgens NEN-EN 1015-11);
- Waterabsorptiecoëfficiënt (WAC): 0,3-0,9 kg/(m² · min^{0,5}) (bepaald volgens NEN-EN 1015-18);
- Thermische spanningscoëfficiënt: $\alpha \cdot E_{\text{dyn}} < 80-100$ (N/mm² × 10⁻³). Dit is een werkhypothese die, hoewel deze nog in de praktijk gevalideerd dient te worden, een duidelijke indicatie geeft of thermische spanningen hoog kunnen oplopen. Voor toe te passen nieuwe voegreparatiemortels is de thermische spanningscoëfficiënt eenvoudig te berekenen, via de bepaling van α (de lineaire uitzettingscoëfficiënt) en E_{dyn} (de dynamische elasticiteitsmodulus), op basis van standaard NEN-proeven;
- Vries-dooiproef: hierbij mag geen schade aan de voeg plaatsvinden; de voeg mag na de proef niet loszitten en er mag geen vorstschade zijn in de legmortel achter de voeg (bepaald volgens een gestandaardiseerde vries-dooiproef voor metselwerk).

Uit onderzoek en praktijkervaringen is duidelijk naar voren gekomen, dat er significante verschillen in gedrag bestaan tussen voegreparatiemortels op basis van (natuurlijke) hydraulische kalk en voegreparatiemortels op basis van cement. De verschillen liggen met name op het gebied van hygrisch gedrag (vochttransport) en (thermisch) vervormingsgedrag. Wat compatibiliteit betreft (aangepastheid aan het omringende materiaal) voldoen voegreparatiemortels op basis van kalk duidelijk beter in 'zacht' historisch metselwerk dan voegreparatiemortels op basis van cement.

Literatuur

- Balen, K. Van, et al., 2003. *Kalkboek. Het gebruik van kalk als bindmiddel voor metsel- en voegmortels in verleden en heden*, Rijksdienst voor de Monumentenzorg, Zeist.
- Groot, C., en J. Gunneweg, sept. 2002, *Onderzoek vochtproblematiek stenen molens*, TU Delft.
- Groot, C., en J. Gunneweg, 2012, *Rapportage Voegherstelmortels voor zoutbelast historisch metselwerk*, TU Delft, Fac CiTG.
- Copuroglu, O., 2006, *Frost Scaling of Cement based Materials with a High Slag Content*, Ph.D. thesis TU Delft.
- Hall, C., and W.D. Hoff, 2002, *Water transport in brick, stone and concrete*, Spon Press, London.
- Hees, R.P.J. van, et al. (eds.), 2001, *Maintenance of pointing in historic buildings; Decay and replacement*, Final report, EC Environment Programme, contract ENV4-CT98-706.
- Hees, R.P.J. van, et al., 2004, 'Damage analysis as a step towards compatible repair mortars', In: Groot, C., et al. (eds.), *Characterisa-*

tion of Old Mortars with Respect to their Repair - Final Report of RILEM TC 167-COM, pp. 107-152.

- Hens, H., 2001, *Toegepaste Bouwfysica 1, Randvoorwaarden, prestatie, materiaaleigenschappen*, Leuven.
- Thomson, M., et al., 2004, 'Porosity of mortars' In: Groot, C., et al. (eds.), *Characterisation of Old Mortars with Respect to their Repair* - Final Report of RILEM TC 167-COM, pp. 77-106.
- Wijffels, T.J., R.P.J. van Hees en L.J.A.R. van der Klugt, 2001, *Pointing Report nov. 2001, ENV4-CT98-706 paper 5.2*.

Noten

- 1 Voor een uitgebreide behandeling van de toepassingsmogelijkheden van de diverse bindmiddelen bij de aanwezigheid van zouten zie Groot en Gunneweg 2012.
- 2 Een portlandcement met voldoende ijzer en een niet te hoog aluminiumgehalte (weinig C₃A en meer C₄AF) is wel sulfaatresistent.
- 3 Voor verdere details betreffende vries-dooiproeven wordt verwezen naar 'Pointing Report nov. 2001, ENV4-CT98-706 paper 5.2' van Wijffels, Van Hees en Van der Klugt, en de rapportage over voegherstelmortels door Groot en Gunneweg (2012).
- 4 Met 'zacht' wordt bedoeld: metselwerk vervaardigd met matig sterke metselstenen verwerkt met metselmortels op basis van kalk.

18



Uitvoeren van constructief herstel

Balanceren tussen consolideren en vernieuwen

Metselwerk speelt in Nederland meestal een grote rol in de constructie en beleving van een monument en is vaak zelf van cultuurhistorische waarde. Dit hoofdstuk gaat over ingrijpend herstel van metselwerk. Schade aan historisch metselwerk kan bestaan uit erosie van het oppervlak, maar ook uit meer constructieve problemen met mogelijk grote gevolgen voor de stabiliteit.

Bij monumenten is het behoud van het aanwezige materiaal vrijwel altijd het uitgangspunt. Er is over het algemeen alleen een noodzaak om in te grijpen als schade aan metselwerk zich uitbreidt, als de stabiliteit in gevaar is of als de schade de cultuurhistorische waarde of beleving van een monument te sterk aantast. In de loop der jaren zijn steeds meer technieken ontwikkeld die behoud mogelijk maken. Toch blijven er situaties waarbij vervanging van materiaal nodig is. De keuze tussen behoud en vervangen is afhankelijk van een aantal factoren, zoals

- de cultuurhistorische waarde van het metselwerk;
- de technische staat van het metselwerk en technische mogelijkheden;
- de rol van het metselwerk in de architectonische expressie van het gebouw;
- de esthetische gevolgen van de ingreep;
- de levensduur van de gekozen oplossing;
- de mate waarin het probleem fundamenteel/structureel kan worden opgelost; en
- de kosten.

Afbeelding 1

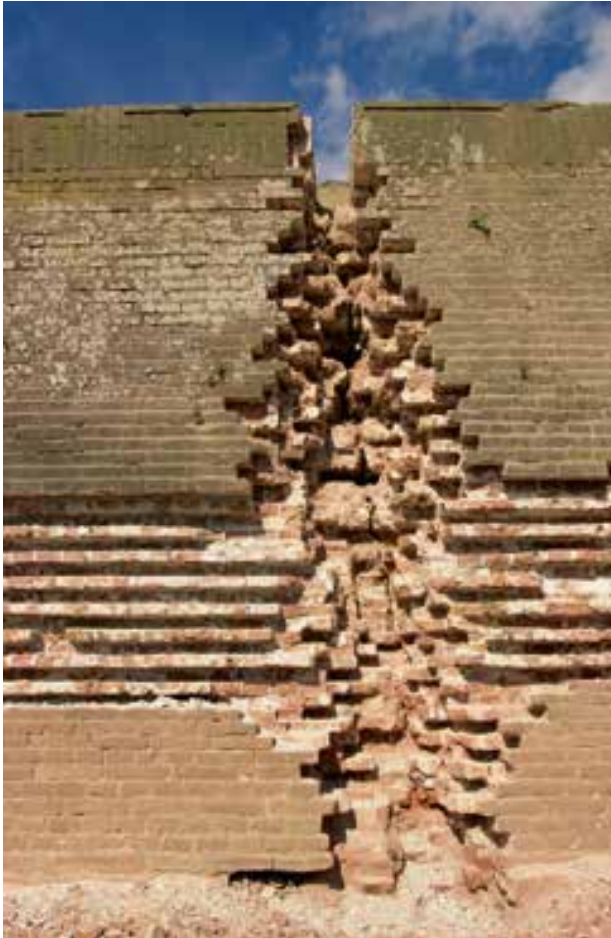
Het muurwerk verliest een halve tot eensteens dikke schil. De wortels zijn van achter door het metselwerk gedrongen (foto Rothuizen van Doorn 't Hooft).

Omdat veel van deze factoren elkaar ook beïnvloeden, is er geen vast recept voor een oplossing. Bij cultuurhistorisch zeer waardevol metselwerk zal men bijvoorbeeld meer pogingen doen materiaal te behouden dan wanneer sprake is van een hoge architectonische waarde die verstoord zou kunnen worden door een 'lappendeken' (zie kader op p. 221).

De oorzaak van schade moet (zo veel mogelijk) zijn weggenomen vóór het herstel van het metselwerk. Als dat niet mogelijk is, moet daarmee rekening gehouden worden bij het herstel. Roestend ijzer als oorzaak van schade is bijvoorbeeld vaak simpel te verhelpen. Maar bij thermische scheuren (natuurlijke dilatatie) is de oorzaak niet altijd weg te nemen en moet bij herstel rekening worden gehouden met een blijvende spanningsopbouw.

SCHADEVORMEN EN OORZAKEN

Naast erosie en afbrokkelen (loswerken) van het oppervlak van steen en voegwerk, of uitloging van het bindmiddel van het voegmateriaal, komt schade voor in de vorm van scheuren. Wanneer metselwerk alleen plastisch is vervormd, dan zal men dit in de monumentenzorg niet snel zien als schade. Vervormingen kunnen wel leiden tot instabiliteit van het gebouw. Door aanvullende maatregelen als extra verankeringen of ondersteuning kan de stabiliteit worden hersteld zonder het metselwerk te vervangen.



Afbeelding 2

Uitgetande scheur die later halfsteens is overbrugd en geïnjecteerd. Ter weerszijde worden schillen vervangen (foto Marcel Köppen fotografie, Gorinchem).

op het gevelvlak. Deze veroorzaakt trekspanningen in de koppenlaag, die daardoor op een halve steen diepte afscheurt. Door uitzetting onder invloed van chemische omzettingen van het voegwerk aan het oppervlak treden buig- en schuifspanningen op die een zelfde effect hebben.

Massief metselwerk zal de opwarming van de buitenste laag goed doorgeven naar de kern en de temperatuurgradiënt zal geleidelijk verlopen over de doorsnede. De luchtsponw achter een afgescheurde schil vormt echter een isolatie, waardoor de schil ten opzichte van de kern sneller opwarmt en afkoelt, en daardoor sneller en sterker uitzet en krimpt. Hierdoor zal de schil zich geleidelijk verder loswerken. Doordat er geen kracht is die de schil terugduwt, zal de ruimte tussen schil en kern zich vergroten. Dit wordt nog versterkt doordat in de scheur gevallen schilvers gaan werken als wiggen.

Wortelgroei wordt vaak aangewezen als veroorzaker van schade aan metselwerk, maar uit onderzoek blijkt dat wortels pas een kans krijgen als zich al scheurtjes en holtes gevormd hebben.¹ In 'gezonder' metselwerk kunnen geen wortels doordringen (afb. 1).

SOORTEN HERSTEL

Afhankelijk van de soort schade en op basis van de eerder genoemde afwegingen vindt herstel van het metselwerk plaats. Hieronder worden verschillende varianten besproken.

Herstel en consolidatie van scheuren

Bij scheuren loodrecht op het oppervlak zijn er twee herstelprincipes. Men kan de scheur uithakken, uittanden en daarna inboeten óf de scheur dichtzetten zonder de gescheurde stenen te vervangen, bijvoorbeeld door te injecteren.

Allereerst moet de oorzaak echter zijn vastgesteld en beoordeeld worden of er constructieve redenen zijn iets aan de scheur te doen. Vaak is dat namelijk voor de stabiliteit van het metselwerk niet nodig en hindert de scheur ook niet het gebruik van het gebouw. Metselwerk in met name oudere monumenten verdraagt vervormingen aanmerkelijk beter dan modern metselwerk, waardoor de noodzaak tot herstel vanuit technische grond minder vaak aanwezig is.

Oorzaken van schade zijn onder meer ongelijke zetting, door zwellend materiaal als roestend ijzer of chemische verbindingen, of door thermische uitzetting en krimp waardoor trekspanningen in het metselwerk optreden. Ook kunnen zich scheuren voordoen door de invloed van vocht en vorst.

Verschillen in materiaaleigenschappen (zoals elasticiteit en porositeit) van steen, voegmortel en achterliggende metselmortel (die vaak kalkrijk is) maken het metselwerk vaak extra gevoelig voor het ontstaan van schade. (Zie voor meer informatie over deze processen ook de hoofdstukken over schade door vocht etc. en over de diagnose van scheuren.)

Evenwijdig aan het oppervlak kunnen zich vooral bij dik metselwerk en lange constructies scheuren voordoen, die veroorzaakt kunnen worden door een combinatie van vocht, vorst, thermische spanningen en door vorming van zwellende verbindingen.

Door ijsvorming in de stootvoeg achter de strekken in zwaar muurwerk ontstaat een spanning loodrecht

BEHOUD OF VERVANGEN: VOORBEELDEN

Bij de afweging voor behoud of vervangen van metselwerk spelen tal van factoren mee. Drie voorbeelden:

1. Een zeventiende-eeuwse vestingmuur met een voornamelijk negentiende-eeuwse schil maakt onderdeel uit van de primaire waterkering. Er is een schil losgekomen. De Wet op de Waterkeringen stelt hoge eisen aan de kwaliteit van het metselwerk. Vervangen van de schil is onontkoombaar. Hier zijn technische eisen doorslaggevend.
2. Aan een vijftiende-eeuwse toren zijn delen van het metselwerk sterk geërodeerd. Er is eenmalig een restauratiesubsidie toegekend en men kan in de toekomst rekenen op een onderhoudssubsidie. Het metselwerk hoog aan de toren moet in zo goed mogelijke technische staat worden gebracht. Onder
3. aan de toren kan de nadruk meer liggen op behoud, omdat dit in het kader van onderhoud intensievere aandacht kan krijgen. Bij een toren zijn steigerkosten hoog; het budget beïnvloedt de afweging hier in sterke mate.
3. De gevels van een 'modern' gebouw met hoge architectuurhistorische waarde zijn ernstig gescheurd en kapotgevroren. De cultuurhistorische waarde ligt sterk bij de compositie van de verschillende massa's en de vlakwerking van de gevel. Omdat de monumentale waarde van het gevelmateriaal (vlakwerking) ondergeschikt is aan die van de expressie van de gevel, is besloten grote delen van het metselwerk te vervangen. Hier gaat architectonische expressie voor materiaalbehoud.

Belangrijk is te beseffen dat als een scheur zich heeft gevormd, de spanning weg is uit het metselwerk. Wanneer in de scheur geen beweging meer (te verwachten) is, kan de scheur behandeld worden. Maar zolang de oorzaak ervan nog aanwezig is en krachten blijft uitoefenen, kan de scheur op dezelfde plaats of (erger) ernaast weer terugkomen. Dan ligt niet-ingrijpen vaak meer voor de hand (zie ook hierna).

Besluit men niet in te boeten, maar alleen de scheur dicht te maken, dan kan men deze injecteren met een injectiemortel en afwerken met een mortel op kleur. De injectiemortel moet op de hardheid van de steen worden afgestemd en is bij voorkeur iets zachter. Dit zorgt ervoor dat de scheur een zwakke plek in het metselwerk blijft. Mocht er in de toekomst toch weer spanningsopbouw plaatsvinden, dan scheurt het metselwerk (hopelijk) weer op de zelfde plaats en blijft nog gaaf metselwerk gespaard.

Als de situatie stabiel is en het metselwerk uit constructieve grond homogeen moet zijn, dan kan door zorgvuldig uittanden en inboeten de samenhang van het metselwerk hersteld worden. Het metselwerk kan dan weer 'normale' spanningen aan. Denk bijvoorbeeld aan een borstwering waar een roestend (balk)anker, dat een verticale scheur veroorzaakte, is vervangen.

Plaatselijk aangebrachte wapening in metselwerk kan iets verhoogde spanning overdragen naar het omliggende werk. Een voorbeeld is een plek waar een boomwortel de fundering heeft opgedrukt. Na het verwijderen van de wortel krijgt het metselwerk boven

het stukje fundering met verminderde draagkracht dan wat versterking.

Indien de oorzaak niet kan worden weggenomen, zou de scheur kunnen blijven werken. Wanneer de scheur klein is en geen gevolgen heeft voor constructie of functionaliteit, is te overwegen de scheur ongemoeid te laten en deze hooguit esthetisch wat te verzachten door het repareren van afgesprongen schilfers van de baksteen.

Bouwt de spanning zich vermoedelijk weer op, dan hangt het af van de verwachte omvang daarvan of het beter is de scheur als definitieve dilatatie te gaan zien of ervoor te zorgen dat de spanning gelijkmatig wordt afgedragen naar het omliggende werk. Door een dilatatie het verband te laten volgen verstoort deze het beeld zo min mogelijk. Wanneer de scheur groter is en gesloten moet zijn, moet hij worden uitgehakt en het verband worden hersteld.

Als de scheur naar verwachting slechts heel geleidelijk terugkomt, is het een optie de scheur in het verband te overbruggen met een halve steen (afb. 2). Indien de scheur terugkomt, zal deze zich voordoen door het vervangen werk heen (zwakke plek). Dan is vervanging mogelijk zonder in het monumentale werk in te grijpen.

Herstel en consolidatie van schillen

Net als bij scheuren is het bij loskomende schillen van groot belang te weten of de oorzaak van het afkomen van de schil is weggenomen; bijvoorbeeld of de vocht-huishouding is verbeterd of dat te hard of zwellend



voegwerk is vervangen. Dan is het een optie de schil te laten zitten en vast te zetten. Dit door het injecteren van de holle ruimte, eventueel ondersteund met een verankering. Dit injecteren verbindt de schil met de kern. Daardoor krijgt ook de temperatuurgradiënt een gelijkmatiger verloop en treden er in zonbelaste situaties minder temperatuurspanningen op.

Wanneer de oorzaak van de spanning nog bestaat, maar de schil zelf voldoende samenhang heeft en temperatuurspanningen niet frequent optreden, is het wellicht mogelijk de schil aan de kern te koppelen met een verankering zonder te injecteren. Denk bijvoorbeeld aan een situatie waarbij de schil over een grote oppervlakte is losgekomen en er feitelijk een spouwmuur is ontstaan.

Vaak zal de schil echter een slechte samenhang hebben en kan men het voegwerk niet vervangen zonder gevaar dat de schil het begeeft. Dan is het noodzakelijk de schil te vervangen. Daarbij dient deze innig verbonden te worden met de kern. Dit kan door het uittanden van het achterliggende werk en het in

verband in metselen van de nieuwe steen. Wanneer het verband van de nieuwe steen afwijkt van dat van de schil, bijvoorbeeld omdat het een negentiende-eeuwse voormetseling is voor een oudere kern, dan zal men moeten trachten verbinding te krijgen door inkassingen te maken.

Herstel en consolidatie van geërodeerd metselwerk

Wanneer metselwerk is geërodeerd zijn er slechts twee opties: niets doen of vervangen. Ook hier is het belangrijk de oorzaak zo veel mogelijk weg te nemen. Erodeert het metselwerk doordat voegwerk te hard is, of springen er schollen af door spanning in het voegwerk, dan moet het voegwerk van het nog onbeschadigde deel worden vervangen, omdat dit naar verwachting op termijn ook wordt aangetast.

Is de oorzaak weggenomen en is de situatie constructief, functioneel en esthetisch acceptabel, dan is het een mogelijkheid het metselwerk niet te vervangen of te herstellen. Dit bijvoorbeeld in het gewelf van een brug, of een ander metselwerkdeel dat niet bepalend is



voor de beleving van het monument, of wanneer bouw-historische waarde of authenticiteit zwaarder wegen.

Het consolideren van aangetast metselwerk met steenversteigers blijkt in de praktijk moeilijk, zeker wanneer zouten aanwezig zijn. Versteigingsmiddel dringt soms niet ver genoeg in het materiaal of er vormt zich – als het materiaal zeer zacht is – een te harde laag aan het oppervlak (zie ook het hoofdstuk over oppervlaktebehandeling). Bij zeer monumentaal metselwerk kan versteviging een optie zijn, maar gedegen vooronderzoek is dan noodzakelijk.

Als metselwerk zijn samenhang heeft verloren door dat het bindmiddel uit de voeg is gespoeld, is het niet of nauwelijks mogelijk deze samenhang te herstellen. In specifieke gevallen en bij plaatselijke problemen kan geprobeerd worden de voeg te injecteren met een zeer dunne injectievloeistof. Dit blijkt in de praktijk moeilijk uitvoerbaar, omdat de vloeistof lastig gecontroleerd in te brengen is. Ook is de voeg vaak vervuild en niet goed te reinigen, waardoor de mortel onvoldoende hecht (afb. 3).

Bij herstel van geërodeerd metselwerk is vervanging van het aangetaste materiaal meestal noodzakelijk.

Bij een enkele geërodeerde steen of een steen waarvan een scherf is afgesprongen, is reparatie met mortel een goede mogelijkheid. Belangrijk voordeel is dat geen extra materiaalverlies ontstaat door hakwerkzaamheden.

ESTHETISCHE ASPECTEN

Na herstel van metselwerk kan de indruk ontstaan van een 'lappendeken'. Het nieuwe werk staat er fris bij, terwijl het omliggende werk een patina heeft. Ook is het vrijwel onmogelijk precies passende materialen toe te passen, al was het alleen maar omdat de huidige productiemethoden afwijken van die van het materiaal van het monument.

In het verleden stemde men de kleur van voegmortel en steen vaak af op het uiterlijk van het omliggende werk. Maar door verandering van de stoffen in de atmosfeer verandert ook de patina op de gevel. Gevels in de binnenstad van Schiedam zijn bijvoorbeeld de laatste vijftig jaar langzamerhand schoner geworden sinds het



Afbeelding 5

In de vorm gebakken en geslepen steen. Verglaasde koppen in glazuur gereconstrueerd (foto Rothuizen van Doorn 't Hooft).

UITVOERINGSTECHNIKEN

Mortelreparatie

Het is niet altijd nodig beschadigde stenen te vervangen. Soms is bijwerken met een reparatiemortel ook mogelijk. Daarvoor zijn prefab reparatiemortels verkrijgbaar in verschillende kleuren. Ook kunnen zelf samengestelde mortels met pigment op kleur worden gemaakt. Het zelf samenstellen van zo'n mortel is specialistenwerk en vraagt grote kennis van materiaal en techniek.

De eigenschappen van de reparatiemortel moeten zo veel mogelijk overeenkomen met die van de steen. Vooral het vochtgedrag is belangrijk, en bij grotere reparaties de thermische werking. De reparatie mag geen barrière vormen in de vochthuishouding. Reageert de mortel anders dan de steen op temperatuurveranderingen, dan zal de reparatie zich loswerken.

De meeste reparatiemortels hebben een aandeel cement om enerzijds de hechting goed te laten verlopen en anderzijds de reparatie niet te lang zacht te laten, maar hebben vaak ook hydraulische kalk als bindmiddel. Soms worden naast verschillende typen zand nog andere stoffen toegevoegd, zoals een acrylaat, om de hechting te vergroten. Deze toevoegingen beïnvloeden echter het vochtgedrag nadelig, waardoor deze toevoeging met beleid moeten worden ingezet, wat ook geldt voor voorstrijkmiddelen.

Wanneer pigmenten niet goed gebonden worden door de mortel, dan bestaat het gevaar dat zij na verloop van tijd uitspoelen. Daarnaast kunnen ze verkleuren onder invloed van zonlicht. Hierdoor zullen de reparatievlekken zich na verloop van tijd kunnen gaan aftekenen. Hierin presteren anorganische pigmenten, dus bijvoorbeeld aardokers, beter dan de organische, die zich minder hechten aan de anorganische bestanddelen.

Opsporen van holtes

Door metselwerk te bekloppen met een 'vuistje' of hamer kan men een eerste indruk krijgen van de samenhang van het metselwerk en het eventueel loskomen van een schil. Met een endoscoop, ook wel spouw kijker genoemd, kunnen grotere holtes worden bekeken. Soms is het nodig een gat te hakken om het karakter

verdwijnen van de jeneverstokerijen die veel roetvervuiling veroorzaakten. Hierdoor zijn reparaties die qua kleur waren afgestemd op de zwart aangeslagen gevels langzamerhand zichtbaar geworden.

Het is daarom gebruikelijk de kleur van de steen en de mortels af te stemmen op de schone materialen (afb. 4). In de hoofdstukken over voegwerk (zoals 'herstel stootvoegen') en baksteen wordt daar dieper op in gegaan. Door de vorming van een patina op het nieuwe metselwerk zal dit in de loop van de tijd in uiterlijk naar het omliggende werk opschuiven. De eerste jaren tekenen de herstelde plekken zich echter duidelijk af. Om dit beeld wat te verzachten kan men kiezen voor het bijkleuren of ontstoren van het metselwerk. Door een middel te kiezen dat na verloop van tijd verdwijnt, vervangt het natuurlijke patina op den duur het kunstmatig verkregen uiterlijk. Op plekken waar geen patina ontstaat, of als het niet mogelijk blijkt een passend materiaal te vinden, kan het nodig zijn de ontstoring toch een permanent karakter te geven (zie ook verderop).

Een ontstoring of speciale bewerking is niet altijd over het gehele vlak nodig. Soms moeten individuele stenen bewerkt worden om een patroon in het metselwerk te behouden nadat om technische redenen een deel is vervangen. Denk bijvoorbeeld aan het kleuren en vervolgens glazuren van koppen om metseltekens in een gevel leesbaar te houden (afb. 5).

Afbeelding 6

Injectievloeistof treedt uit hoger gelegen opening uit
(foto Bouwgroep Peters).

en de vorm van de holte en de eventuele mate van vervuiling te bepalen. Holtes zijn ook op te sporen met 'niet-destructieve' meetapparatuur, zoals impulsrader of ultrasone technieken.

Degelijk vooronderzoek is belangrijk. Het komt bijvoorbeeld voor dat een deel van de gevel, hoewel in uiterlijk niet te onderscheiden van de rest, is uitgevoerd als spouwmuur. En herstellingen van bijvoorbeeld oorlogsschade zijn vaak uitgevoerd in kistwerk, waarbij de ruimte tussen twee schillen is gevuld met los puin en soms zelfs aarde. De eerstgenoemde situatie geeft waarschijnlijk weinig reden om in te grijpen, de tweede mogelijk wel.

Soms staat een holte in verbinding met bijvoorbeeld een kruipruimte. Als dan mortel wordt geïnjecteerd, gaat veel daarvan op ongecontroleerde wijze verloren.

Injecteren van mortel

Injecteren is specialistenwerk. Een injectiemortel moet zijn afgestemd op de eigenschappen van het metselwerk en dient dezelfde fysische eigenschappen te hebben wat betreft hardheid (elasticiteit) en vochtgedrag. Ook kan de mortelkeuze afhankelijk zijn van het doel van de injectie. De mortel moet krimpvrij zijn en zal toevoegingen hebben om de krimp van de verharding te compenseren. Het materiaal kan een mineraal bindmiddel als basis hebben, zoals (micro)cement of (hydraulische) kalk, of een kunsthars.

Voor het (onder lage druk) vullen van grote holten – wat meestal het geval is – is een relatief eenvoudige hydraulische kalkmortel geschikt, eventueel met toevoegingen om de uitharding of de plasticiteit te reguleren. Maar als er heel fijne scheuren zijn, is soms een injectiemortel op basis van kunsthars nodig.

Injectie met opschuivende kunststoffen zoals polyurethaanschuim kan een optie zijn. Maar vanwege een mogelijk vochtafsluitend karakter is hierbij voorzichtigheid geboden. Voor een effectieve injectie met dergelijke kunststoffen kan een groot aantal injectiegaten nodig zijn, die een aantasting op zich vormen. Uitvoering vereist specialisme.²

De effectiviteit van mortelinjectie is sowieso sterk afhankelijk van een gedegen voorbereiding en kwaliteit bij uitvoering. Vooraf moet op grond van de grootte en vorm van de holten een patroon van injectiepunten



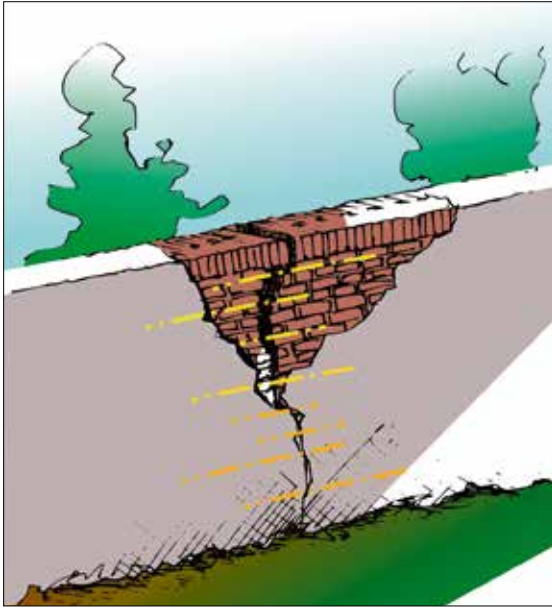
worden vastgesteld. Omdat vocht veel invloed heeft op de uitharding van hydraulische materialen is het bij gebruik daarvan nodig vooraf de holten te spoelen. Daarbij wordt ook zichtbaar waar mogelijk injectievloeistof zal weglekken. Ook wordt zo de mate van vervuiling van de holte duidelijk. Wortels of humus kunnen injectievloeistof tegenhouden. Humus kan ook water aan de mortel onttrekken. Als de holte te zeer vervuild is, zal men van injectie moeten afzien.

De injectie zelf moet langzaam onder lage druk van beneden naar boven worden opgebouwd om de holte gelijkmatig te kunnen vullen (afb. 6). Uitgelekte vloeistof wordt direct grondig weggespoeld om smetten te voorkomen. Uitgeharde mortel is alleen door afhakken te verwijderen.

Verankering en wapening

Het kan nodig zijn een extra verbinding te maken tussen de schil en de achterliggende massa. Dit kan door het inlijmen of mee-injecteren van pinnen (ankers) van bijvoorbeeld fiberglas of RVS. Hoeveel ankers nodig zijn, is sterk situatieafhankelijk. Voor het verankeren van een halfsteens schil is een behoorlijk dicht raster van kleine ankers nodig, zeker als deze is gescheurd. Voor dikkere schillen of schillen met een grotere samenhang zijn minder ankers vaak afdoende. De ankers worden in de voegen aangebracht zodat ze meerdere stenen vasthouden (afb. 7).

Voor het vastzetten van schillen metselwerk bestaan er speciale ankers met een holle rvs-buis met zijdelingse gaten, met daar omheen een nylon kous. Bij dit type anker boort men een gat tot in de kern, waarna het anker wordt ingebracht. De injectiemortel wordt door het hol-



Afbeelding 7

Verstevigen van een scheur door wapening in een lintvoeg (illustratie Rothuizen van Doorn 't Hooft).

In het vlak van de gevel kunnen rvs-ankers in de lintvoegen het metselwerk versterken en enige trekkracht verschaffen, bijvoorbeeld bij het overbruggen van een scheur. Het is daarbij wel van belang niet zó veel ankers aan te brengen dat het betreffende metselwerk onevenredig sterk wordt ten opzichte van het omliggende materiaal.

Hoeveel ankers er nodig zijn en over welke lengte ze in de voeg worden gebracht, is sterk afhankelijk van de hardheid en sterkte van het metselwerk. Belangrijk is dat de einden van de ankers niet op één lijn liggen maar sterk verspringen, zodat de krachten uit het metselwerk geleidelijk worden overgedragen op de ankers en vice versa. Dit voorkomt dat aan het eind van de ankers een nieuwe scheur ontstaat.

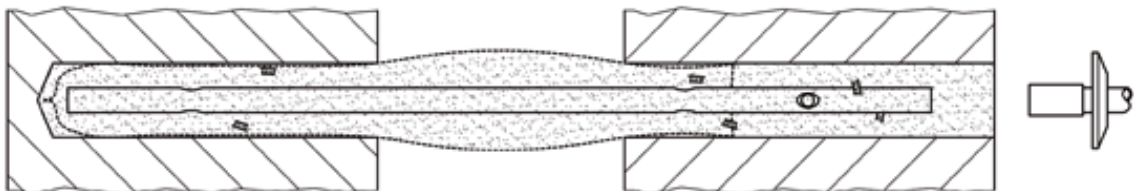
le anker gepompt tot in de achterliggende constructie. De kous voorkomt dat de mortel in de scheur of spouw weglekt (afb. 8). Met deze methode is het mogelijk losse schillen te verbinden met het achterliggende werk, zonder de holle ruimte of spouw volledig op te vullen. Dit kan een oplossing zijn voor situaties met omvangrijke achterliggende holtes die onevenredige hoeveelheden injectiemortel zouden vereisen. Dit type anker is ook bruikbaar om bestaande falende spouwverankering te vervangen.

Uittanden

Soms zijn de defecten aan het metselwerk zo groot, dat het nodig is delen te vervangen. Er bestaan verschillende methoden om grotere delen metselwerk te verwijderen. Zagen is het meest geëigend om grotere velden metselwerk uit te nemen, omdat dit relatief weinig trillingen veroorzaakt. Om nieuw metselwerk weer in verband te kunnen aanbrengen moet de zaagsnede worden bewerkt. Omdat een cirkelzaag rond is, blijven

Afbeelding 8

Speciaal anker met een holle rvs-buis met zijdelingse gaten, met daar omheen een nylon kous (illustraties Rothuizen van Doorn 't Hooft).





er bij gebruik daarvan hoeken staan bij begin en eind van de snede. Dit is te voorkomen door een kettingzaag te gebruiken.

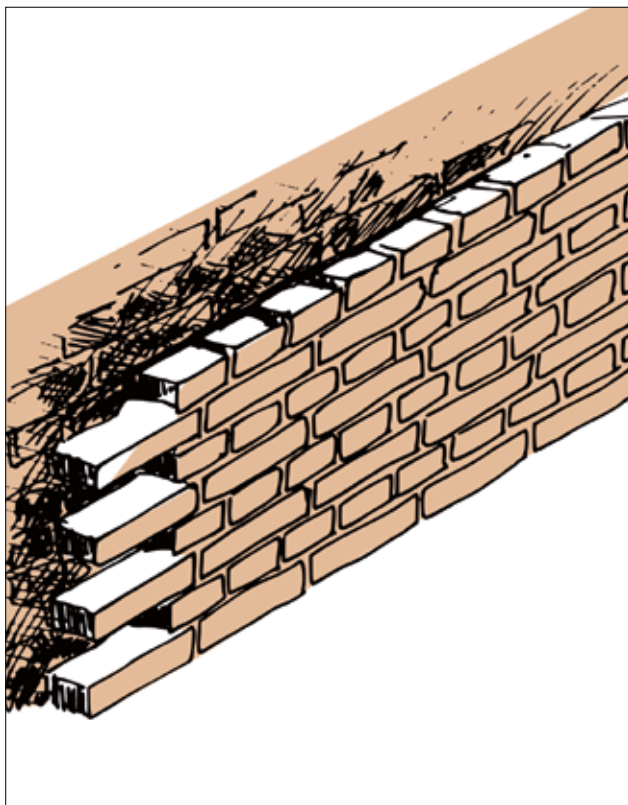
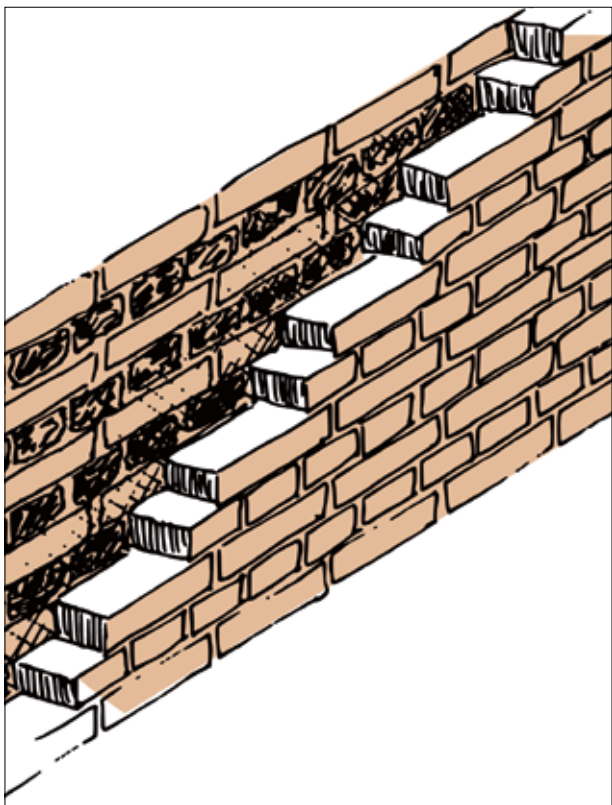
Kleine velden worden meestal uitgehakt. Het uithakken van de vertanding gebeurt meestal met de pneumatische beitel. Voor dit werk is ook een zaag bruikbaar waarbij twee zaagbladen tegen elkaar in werken (bijvoorbeeld Arbortech). Hiermee kunnen heel precies voegwerk en legmortel tussen stenen worden verwijderd, zodat stenen netjes kunnen worden uitgenomen voor bijvoorbeeld vertanding. Dit type zaag is vooral doeltreffend bij zachtere mortels (afb. 9).

Tijdens het uithakken van het in te boeten werk dient de man aan de beitel een goede voorstelling te hebben van hoe het herstel wordt uitgevoerd en verband zal ontstaan tussen het uitgehakte en nieuwe werk. Hij moet een goede balans zoeken tussen het zo min mogelijk weghalen van oorspronkelijk materiaal, het diep genoeg weghalen om voldoende massa te kunnen maken en het verkrijgen van een patroon dat hechte inpassing mogelijk maakt. Omdat het in de

praktijk ondoenlijk is om vooraf elke steen aan te geven die verwijderd moet worden, moet dit werk dus worden uitgevoerd door gespecialiseerde sloopbedrijven met vakkundige medewerkers. Idealiter bereidt de metselaar zijn werk zelf voor.

Inboeten

Inboeten is het herstellen van metselwerk in het verband van het omliggende werk. Dit betekent dat het steenformaat en de eigenschappen van de steen en de mortel moeten aansluiten bij het omliggende werk. Omdat vochttransport zo'n grote invloed heeft op de levensduur van metselwerk, is overeenkomstig vochtgedrag een van de belangrijkste eigenschappen. Het hoofdstuk over steen- en metselmortelkeuze gaat hier dieper op in. De grootte en vorm van de inboeting en de uitvoering ervan hebben invloed op het vochtgedrag van het metselwerk als geheel. Hoe groter het veld, hoe belangrijker het wordt dat het metselwerk mechanisch en hygrisch compatibel is. Als de inboeting enkele stenen groot is, gelden minder stringente eisen.



Wanneer het nodig is over de volle dikte van het muurwerk in te boeten, dient het nieuwe werk zo goed mogelijk aan te sluiten op het bestaande en daarmee één te worden. Dit kan door het oppervlak van de aansluiting zo groot mogelijk te maken, door de aansluiting in een tandvorm het verband te laten volgen. Dit maakt de kans kleiner dat het werk zich los werkt. Afhankelijk van de plaats en vorm van de inboeting wordt de vertanding in een vallende of staande tand uitgevoerd (afb. 10). Hoewel eenvoudiger aan te brengen is een bloktand, waarbij bloksgewijs wordt aangesloten, meestal niet geschikt omdat dit het verband verstoort.

Bij grotere inboetingen is het erg belangrijk dat de totale elasticiteit van het metselwerk overeenkomt met het omringende werk, of dat deze elastischer is. Als het nieuwe werk te hard is, en meer uitzet en krimpt onder invloed van temperatuurschommelingen, dan zal het nieuwe werk zich loswerken en het oude werk beschadigen.

Als sprake is van een losgekomen schil of geërodeerd metselwerk, wordt (worden) alleen de voorste laag (lagen) vervangen. Hierbij is niet alleen de aansluiting in het vlak een aandachtspunt, maar ook die in de dikte van de muur. Hoe aan de achterkant kan worden aangesloten, hangt af van het verband en de diepte van de inboeting. Ook hier geldt: hoe groter het oppervlak, hoe meer hechting mogelijk is. Een halfsteens vermeteling zal niet genoeg hechting geven.

Bij het inboeten zijn er twee methoden om nieuwe werk in het oude te werken: intanden of inkassen. Bij intanden wordt in het verticale vlak om en om een halve steen dieper uitgehakt. Wanneer bijvoorbeeld een halfsteens schil is afgevroren wordt de koppenlaag een halve steen dieper uitgehaald (steens-halfsteense intanding).

Bij heel dik werk zoals vestingmuren is het beter en vaak noodzakelijk om steens-anderhalfsteens diep in te boeten (afb. 11). Zo wordt direct een grotere nieuwe massa gecreëerd en komt het vlak waar het vaak mis

gaat (op halfsteens diepte) helemaal in het nieuwe werk te liggen.

Hoewel deze manier van inboeten een goede verbinding mogelijk maakt met het bestaande werk, kleven er toch nadelen aan. Om een laag van een halve steen diep uit het werk te halen, moet behoorlijk gehakt worden, zelfs als de lintvoeg gezaagd wordt. Hierdoor kan de uitstekende steen gaan scheuren en zelfs afbreken. Het is afhankelijk van de kwaliteit van de steen en de zorgvuldigheid van de hakker of dit het gewenste resultaat oplevert.

Lukt het in verband inwerken niet, dan is bloks-gewijs inkassen noodzakelijk. Hierbij worden kassen gehakt met zodanige afmetingen dat het nieuwe werk op lagen- en koppenmaat van het nieuwe werk kan aansluiten. De grootte van de kassen is afhankelijk het steenformaat. Denk aan inkassingen van zo'n vier koppen breed en acht lagen hoog (afb. 12).

Zorgvuldigheid bij de uitvoering bepaalt grotendeels de kwaliteit van het werk. Gestreefd moet worden naar een zo homogeen mogelijk metselwerk, met 'vol en zat' metselen. Bij het inboeten van scheuren in dik metselwerk kan het nodig zijn slangen mee in te metselen die het mogelijk maken later de achterzijde van het metselwerk te injecteren en er zo geen holtes achterblijven.

'Doorstrijken' voorkomt een overgang tussen metsel- en voegmortel en zorgt voor een homogene voeg. Hierbij wordt niet apart gevoegd, maar wordt de royaal aangebrachte metselspecie regelmatig tijdens het metselen afgewerkt.

Voorbevochtigen

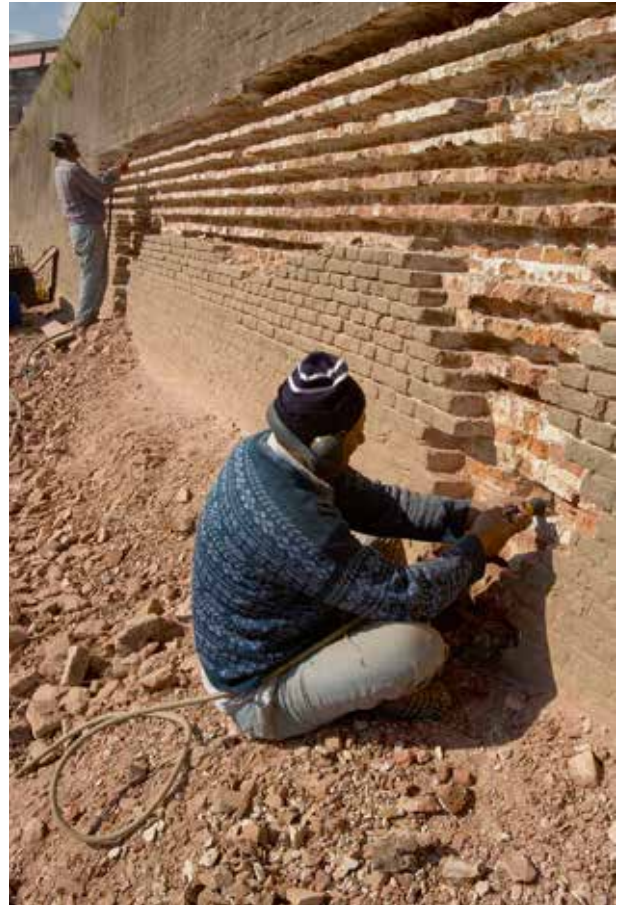
Doordat tijdens de bouw al bindmiddel in de steen is gezogen, 'zuigt' bestaand metselwerk minder dan nieuw aangebrachte steen en hecht dit minder goed. Daarom is het erg belangrijk het bestaande werk (en de nieuwe steen) goed voor te bevochtigen. Goed voorbevochtigen zorgt voor een goede hechting, voorkomt (bij hydraulische mortels) ook dat water snel uit de specie gezogen wordt en zorgt ervoor dat de chemische processen die de mortel doen uitharden goed verlopen. (Bij pure kalkmortels verlopen deze processen anders.) Het werk moet niet te nat zijn, want dan weerhoudt een waterfilmpe een goede migratie van bindmiddel naar de steen.

Voorbevochtigen kan bijvoorbeeld door het werk aan het eind van de werkdag lang nat te spuiten en dan afgedekt een nacht te laten staan. In droge tijden moet dan 's ochtends het werk van de middag nog even worden natgemaakt, maar niet zo veel dat zich een waterlaag vormt. Om 'verbranden' te voorkomen is het bij toepassing van traag uithardende mortels, zoals gebruikelijk in de restauratie, ook nodig het uitgevoerde metselwerk vochtig te houden door nabevochtiging of afdekken.

De levensduur van de herstelling blijkt in de praktijk net zo veel af te hangen van de kwaliteit van de uitvoering als van de fysische eigenschappen van de materialen. Een goed verwerkbaar mortel is daarvoor een voorwaarde.

BIJKLEUREN EN ONTSTOREN

Welke middel het meest geëigend is, is ervan afhankelijk of men het materiaal tijdelijk kunstmatig wil vervuilen of permanent wil bijkleuren, én van de mate van vervuiling van het metselwerk (zie ook het hoofd-



Afbeelding 11

Uittanden ten behoeve van een ingeboete nieuwe schil (foto Marcel Köppen fotografie, Gorinchem).

Afbeelding 12

Inkassingen ten behoeve van inboetwerk (foto Marcel Köppen fotografie, Gorinchem).



Afbeelding 13

Links: het verse metselwerk vóór het tijdelijk ontstoren. Rechts: het verse metselwerk na het tijdelijk ontstoren (foto's Rothuizen van Doorn 't Hooft).

stuk over 'herstel stootvoegen'). Als er kans bestaat dat de gevel op termijn wordt gereinigd, is een tijdelijk of reversibel product nodig (afb. 13). Bij lichte vervuiling kan gekozen worden voor een middel dat de plekken tijdelijk kunstmatig vervuult totdat een natuurlijk patina ontstaat. Wanneer de gevel sterk is vervuild en niet gereinigd zal worden, is bewerking met een meer permanent middel een optie, omdat het lang zal duren voor eenzelfde patina zich afzet op het nieuwe werk.

Voor het tijdelijk kunstmatig vervuilen worden van oudsher huis-tuin-en-keukenmiddeltjes gebruikt. Het meest eenvoudig is het insmeren van het muurwerk met prut uit de goot, eventueel aangevuld met koffiedik. Dit blijkt in de praktijk goed te werken en verrassend lang te blijven zitten. Het gebruik van een bindmiddel blijkt bij niet zwaar beregende situaties nauwelijks nodig.

De bezanding die de steen bij het vormen krijgt, verdwijnt na verloop van tijd. Een op zich goed passende nieuwe rode steen zal daarom tussen het verweerde oude werk vaak te blond overkomen. Om de steen een beetje rood te kleuren en daarmee de kleur van de bezanding wat te corrigeren, kan een oplossing van jodium worden toegevoegd.

In de handel zijn pigmenten verkrijgbaar om steen te kleuren; deze hebben echter de eigenschap na verloop van tijd te verbleken. Natuurlijke aardokers verbleken minder snel.

Wanneer een gevel bedekt is met (korst)mossen steekt de herstelling per definitie af. Het insmeren met voedingsstoffen voor (korst)mossen (zoals yoghurt of karnemelk) kan het 'ingroeien' van het herstelde werk helpen versnellen. Hierbij kan het gebeuren dat ook andere mossoorten zich nestelen dan op de omringende gevel. Om hierin iets te sturen kunnen fijngezevende korstmossen of sporen van mossen aan de vloeistof worden toegevoegd.

Voor het permanent bijkleuren van steen is niet alleen een kleurstof/pigment nodig, maar ook een bindmiddel dat zich duurzaam aan de steen hecht en weinig verkleurt. Men kan de steen bijvoorbeeld bijkleuren met krijt en daarna de pigmenten fixeren met een opgespoten bindmiddel. Ook kan een zeer dunne nevel mineraalverf (silicaatgebonden pigmenten) over de steen worden aangebracht (systeem airo silicaat). Beide systemen lenen zich goed voor het ontstoren met behoud van karakter van de steen, doordat de dosering en intensiteit van de kleuring goed is af te stemmen op de ondergrond.

TOT SLOT

Essentieel bij herstel van historisch metselwerk is het bepalen van nut en noodzaak van het herstel en de afweging tussen behoud en vervangen. In die afweging wegen veel factoren mee, zoals de rol van het metselwerk in het gevelbeeld, de cultuurhistorische waarde van het materiaal en natuurlijk de technische staat. Het is belangrijk om vooraf de oorzaak van de schade te kennen en daarop een herstelmethode af te stemmen. Scheuren of losgekomen schillen kunnen vaak zonder zwaar in te grijpen worden hersteld. Injecties of verankeringen kunnen ervoor zorgen dat de aantasting niet verder gaat. Bovendien zijn manieren beschreven om reparatieplekken optisch te verzachten.

Noten

- 1 Bijvoorbeeld RGD Praktijkreeks, aflevering 12: Onderzoek restauraties Vesting Naarden.
- 2 Groot C.J.W.P., Gunneweg J.T.M., 2011, *Rapportage deelproject Detectie en Injectie, februari*, TU Delft, CITG.

BAKSTEEN IN HET INTERIEUR

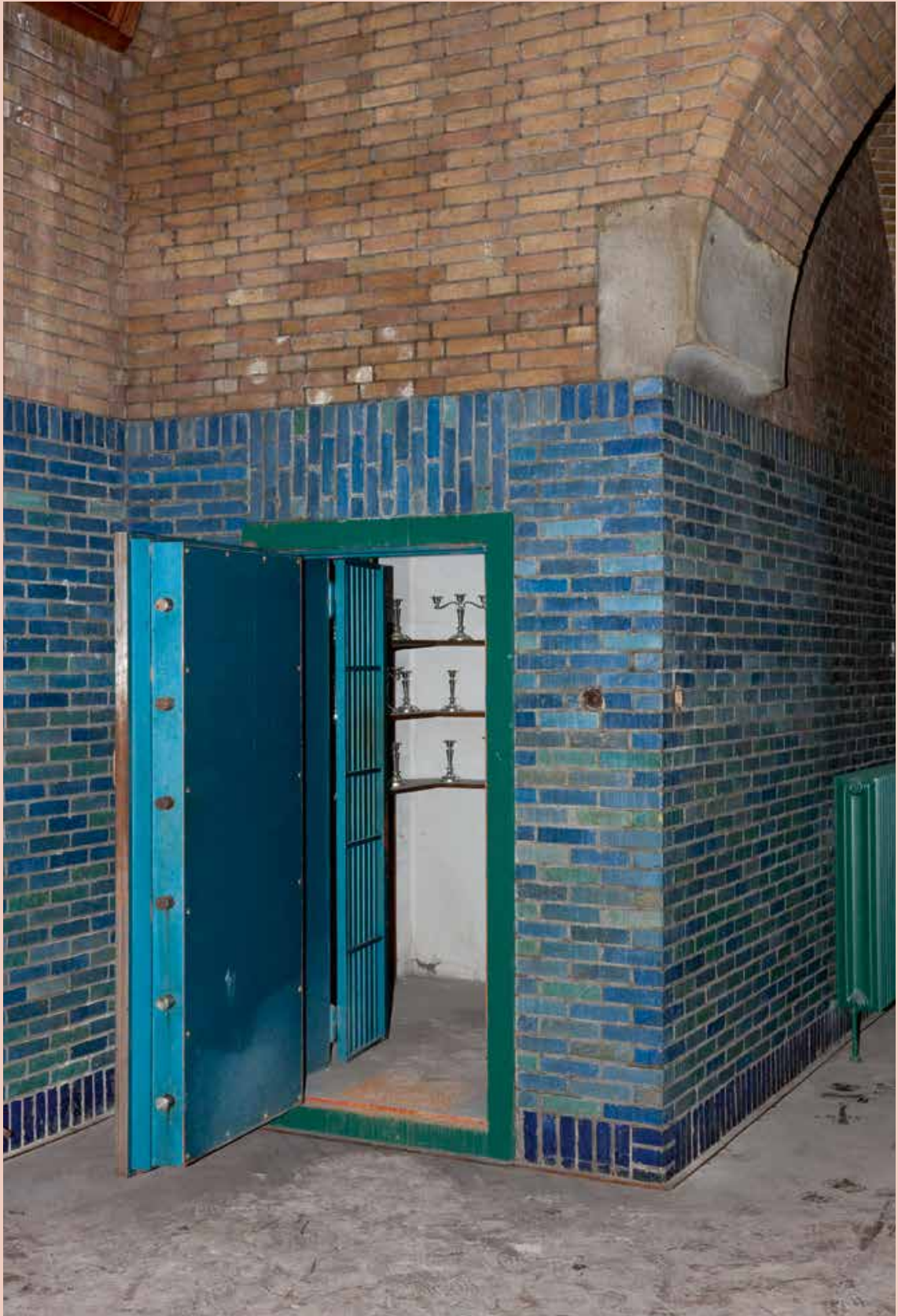
Schoonmetselwerk is niet alleen gebruikt in het exterieur, maar ook in het interieur. Soms gaat het om een monumentale ruimte, zoals de hal van het voormalige hoofdpstkantoor aan de Neude te Utrecht met accenten in zwart natuursteen (onder, foto RCE). Soms is het minder zichtbaar maar minstens zo fraai, zoals in de traptorens van de Kathedraal Sint Bavo in Haarlem (rechterpagina, foto auteur).

Soms is schoonmetselwerk functioneel, zoals in het voormalig Klein Seminarie te Apeldoorn waar geglazuurde stenen in verschillende kleuren zijn gebruikt en waar deze kleuren gerelateerd waren aan de functie en de toegankelijkheid van bepaalde ruimten (pagina 234, foto RCE). Ook op kleine schaal is schoonmetselwerk gebruikt, zoals bij deze schouw (pagina 235, foto RCE).

Taco Hermans









19



Oppervlaktebehandeling van historisch metselwerk

Mogelijkheden en beperkingen

Oppervlaktebehandelingen zijn beschermingsmaatregelen waarbij op of via het oppervlak van de gevel (veelal chemische) middelen worden aangebracht. Het doel van een oppervlaktebehandeling is schade te herstellen en/of het oppervlak van de materialen te beschermen tegen toekomstige aantasting. In dit hoofdstuk worden waterafstotende en steenverstevigende oppervlaktebehandelingen besproken. Dit kan steun bieden bij het keuzeproces met betrekking tot hydrofoberen en verstevigen van historisch metselwerk.

Er zijn verschillende vormen van oppervlaktebehandeling. Hier worden alleen waterafstotende en steenverstevigende behandelingen besproken. In dit hoofdstuk komen doel en de werkingsprincipes van deze oppervlaktebehandelingen aan de orde. Ook geeft het een overzicht van vroeger en tegenwoordig verkrijgbare producten, en van nieuwe ontwikkelingen. Verder wordt ingegaan op het beslissingsproces bij de keuze voor een bepaalde behandeling, evenals de praktische toepassing en evaluatie van de effectiviteit daarvan.

WATERAFSTOTENDE BEHANDELINGEN

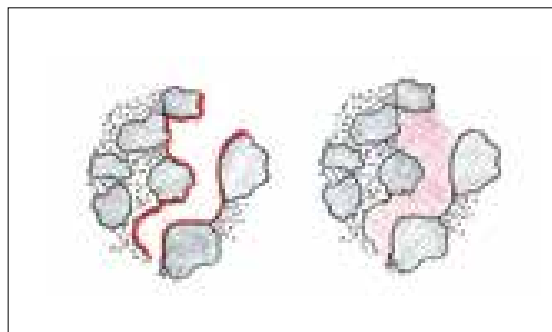
Een waterafstotende behandeling (ofwel hydrofoberen) is het impregneren van een materiaal met een hydrofoob product dat een waterafstotende laag vormt op de wanden van de poriën (afb. 2).

Het doel van hydrofoberen is het voorkomen dat water poreuze materialen binnendringt. Water speelt een belangrijke rol in vrijwel alle schadeprocessen, zoals zoutschade, sulfaataantasting, vorst en biologische groei. Bij hydrofoberen wordt de gevel behandeld;

deze waterafstotende oppervlaktebehandeling is alleen zinvol als opvallend regenwater de enige bron van vocht is. Zijn er andere vochtbronnen, zoals optrekkend vocht, dan is de behandeling niet nuttig en vaak zelfs schadelijk.

Absorptie van water door poreuze materialen is afhankelijk van onder andere:

- de totale porositeit: hoe hoger deze is, hoe hoger het watergehalte bij verzadiging;

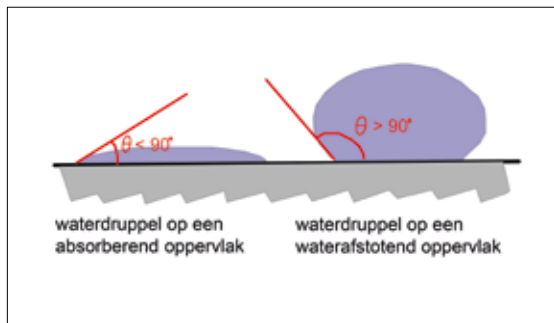


Afbeelding 1 (links)

Het doel van een oppervlaktebehandeling is het oppervlak van de materialen te beschermen tegen toekomstige aantasting door bijvoorbeeld inwatering, zoals bij het hellende metselwerk van steunberen (foto RCE, Michiel van Hunen).

Afbeelding 2

Schematische weergave van het verschil tussen hydrofoberen en verstevigen. Links: hydrofobe laag op poriewanden; rechts: porievulling met versteviger (bron: Barbara Lubelli).



Afbeelding 3

Contacthoek van waterdruppels op een oppervlak. Links: absorberend oppervlak; rechts: waterafstotend oppervlak (bron: Barbara Lubelli).

- de poriegrootteverdeling: hoe groter de poriën, des te sneller de (initiële) absorptie verloopt; hoe fijner de poriën, hoe hoger de capillaire werking;
- de contacthoek tussen water en de poriewanden. Is de contacthoek minder dan 90° , dan vindt absorptie van water plaats door capillaire werking.

De contacthoek tussen de meeste poreuze steenachtige materialen en water is 0° .

Een waterafstotende behandeling verandert de contacthoek zodat deze groter wordt dan 90° (zie afb. 3): vloeibaar water kan in dat geval niet in de poriën van een behandeld materiaal indringen, tenzij er sprake is van druk. Waterdamp kan nog steeds door de gehydrofobeerde laag heen. De mate waarin dat het geval is, verschilt van product tot product.

Hydrofoberen heeft niet alleen invloed op de wateropname, maar ook op de droging. Een onbehandeld materiaal droogt in twee fasen: in de eerste fase vindt transport van vloeibaar water naar het oppervlak plaats; in de tweede fase verschuift het droogfront verder naar binnen in het materiaal en vindt droging plaats door

waterdamptransport. De eerste fase is veel sneller dan de tweede. Wanneer een materiaal is behandeld en vloeibaar water dus niet door de behandelde laag heen kan, verloopt de droging alleen door waterdamp en dus veel langzamer (afb. 4). Dit betekent dat waterafstotende producten een belemmerd effect op de droging kunnen hebben, ook wanneer ze de waterdampdiffusie niet verhinderen (door een lage s_d -waarde). Dit kan negatieve consequenties hebben, denk aan meer kans op zout- en vorstschade.

Soms worden producten als superhydrofoob omschreven. Dit zijn producten die de contacthoek tussen water en materiaal groter maken dan 140° .

HYDROFOBEERMIDDELEN

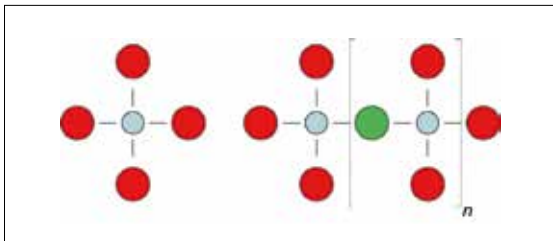
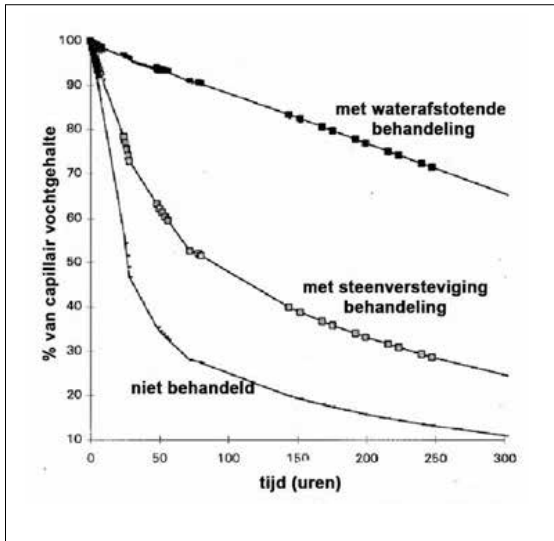
De meeste waterafstotende producten die tegenwoordig op de markt zijn, zijn op siliconenbasis. Siliconen zijn siliciumverbindingen met daaraan een organische groep.¹ Dit was niet altijd het geval. In Nederland gebruikte men vroeger om regendoorslag bij massief metselwerk tegen te gaan bijvoorbeeld vaak (gekookte) lijnolie of – veel minder frequent – op bijenwas gebaseerde producten. Lijnolie wordt ook nu nog toegepast bij restauraties, evenals (bijen)was.

Tabel 1 geeft de historische ontwikkeling weer van op siliconen gebaseerde hydrofobeermiddelen. De eerste op siliconen gebaseerde producten waren siliconenharsen. Deze konden, door hun grote moleculen, slechts een geringe indringingsdiepte in materialen bereiken. In de jaren 70 tot 90 kwamen oligomere siloxanen en alkoxysilanen op de markt, die een hogere impregnatiediepte konden bereiken.

Tabel 1

Historische ontwikkeling van siliconenproducten voor hydrofoberen.

Jaar	Product	Oplosmiddel	Toepassingsgebied	Percentage actieve stof
1960	Siliconen	Koolwaterstof	Zandsteen	< 5
1970	Oligomere siloxanen	Koolwaterstof	Natuursteen, baksteen	< 10
1980	Alkoxysilanen	Koolwaterstof	Idem en beton	10-100
1990	Mengsel van oligomere siloxanen en alkoxysilanen	Koolwaterstof of water (emulsie)	Idem	< 10
2000	Verdere ontwikkeling genoemde mengsel	Idem of als crème, ook in poedervorm	Idem; daarnaast als poeder gemengd in droge mortel	25-80



Afbeelding 4 (boven)

Effect van waterafstotende behandeling en steenversteviger op de droging van een materiaal (bron: Van Hees et al. 1998).

Afbeelding 5 (onder)

Schematische weergave van een silaan (links) en een siloxaan (rechts), waarin het blauwe bolletje het siliciumatoom is, de rode bolletjes een organische groep (bijvoorbeeld methyl, CH_3) voorstellen, en het groene bolletje een zuurstofatoom is. De siloxaan die hier is afgebeeld is een simpele dimeer, maar de omkaderde groep kan in principe 'n' keer herhaald worden in een polymere keten (bron: Timo Nijland).

Nieuwe ontwikkelingen

Ook tegenwoordig nog zijn de meeste producten gebaseerd op silaan (meestal voor beton) of siloxaan (meestal voor andere poreuze bouwmaterialen) of een mengsel daarvan (afb. 5). Silaan en siloxaan dringen als kleine verbindingen met laag moleculair gewicht in het bouw materiaal. Daar reageren ze met elkaar (polymerisatie-reactie) tot grotere moleculen (keten) en verbinden ze zich met de ondergrond.

De meeste producten zijn – vanwege gezondheids- of milieuredenen – op waterbasis; hetzij met vloeibaar



Afbeelding 6 (onder en boven)

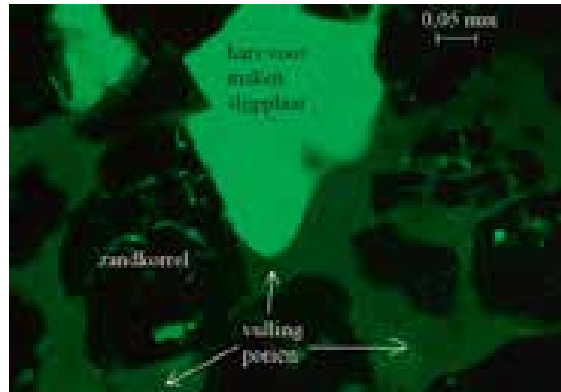
Voorbeelden van het poederen van baksteen (foto's Timo Nijland).

water, hetzij als crème. Door de lange contacttijd dringen crèmes dieper in het materiaal dan vloeibare producten.² De impregnatiediepte is hierdoor vaak hoger. Dit, en de makkelijke applicatie met een kwast, hebben het gebruik van crèmes bevorderd.

De laatste paar jaar maken producten met 'nano' in de naam opgang. Hierbij gaat het om producten die actieve bestanddelen bevatten van nanogrootte, dat wil zeggen in de orde van 10^{-9} m. Vaak worden ze nanocoatings genoemd. De coatings worden vaak geproduceerd door een sol-gelproces. Vaak zijn het anorganische componenten zoals oxides, bijvoorbeeld van silicium (SiO_2), aluminium (Al_2O_3) of tin (SnO_2), die gemengd worden met bijvoorbeeld siloxanen of andere siliconen.³ Door het gebruik van nano-deeltjes worden de eigenschappen van traditionele producten verbeterd.⁴ Bijvoorbeeld wordt zo het krimpen van ethylsilicaat (een porievullend steenverstevend middel) tegengegaan⁵ of worden nieuwe functies toegevoegd of verschillende bestaande functies gecombineerd, bijvoorbeeld een biocidale en een waterafstotende functie.⁶

Afbeelding 7

Microfoto's van met steenversteviger behandelde Bentheimer zandsteen. Afgebeeld is een zogeheten slijpplaatje. De linker foto is gemaakt met parallel gepolariseerd doorvallend licht. Zichtbaar zijn de witte zandkorrels, met daartussen een troebel geel-grijze massa. Dit is een steenversteviger die de poriën vult. Om de porositeit van het gesteente onder een microscoop te kunnen onderzoeken, is het plaatje voorzien van hars met een fluorescerende kleurstof. De rechter foto is gemaakt onder ultravioletfluorescentie. Alles wat oplicht is dus porositeit die nog aanwezig was na behandeling met de steenversteviger. De vulling met steenversteviger bleek niet volledig (foto's Timo Nijland).



STEENVERSTEVIGERS

Steenachtige materialen worden bij elkaar gehouden door het in elkaar grijpen van de korrels of, in het merendeel van de gevallen, door de aanwezigheid van een bindmiddel. Door verschillende schadeprocessen kan deze samenhang verminderen: materialen verweren, bijvoorbeeld in de vorm van poederen of afzanden (afb. 6).

Steenversteving is een behandeling waarbij deze samenhang wordt hersteld. Een product dringt daarbij tot zekere diepte door in een beschadigd materiaal, plakt de (bijna) losgekomen deeltjes weer aan elkaar en herstelt ook de samenhang tussen het beschadigde materiaal aan het oppervlak en het onderliggende onbeschadigde deel.

Poriën vullen

Bij steenversteving worden de poriën van en eventuele nauwe scheurtjes in het behandelde materiaal geheel of gedeeltelijk gevuld met het product (afb. 7 en 8). Steenverstevigingsmiddelen worden meestal in vloeibare vorm aangebracht om hun indringing mogelijk te maken. Sommige producten, zoals was en paraffine, worden daarom eerst verhit en verhard na indringen door afkoelen. Andere producten, zoals kiezelzure esters (ethylsilicaat), verhard door een chemische reactie; in moderne producten is vaak een katalysator aanwezig die de reactie versnelt. Tijdens het verhardingsproces ontstaat meestal krimp, die tot scheuren in het ontstane reactieproduct kan leiden (afb. 9).

Doordat het product de poriën vult, wordt de porositeit van het behandelende materiaal lager en de sterkte hoger. De lagere porositeit resulteert in een langzamere droging van het behandelde materiaal (afb. 4). Versteving kan alleen effectief zijn als er sprake is van schade in de vorm van poederen of afzanden. In het geval van afschilfering (exfoliatie) is versteving in het algemeen niet effectief of zelfs schadelijk.

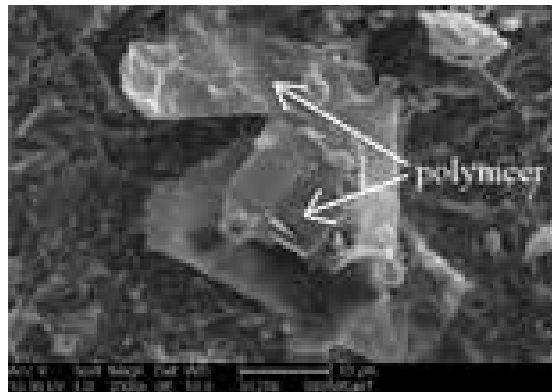
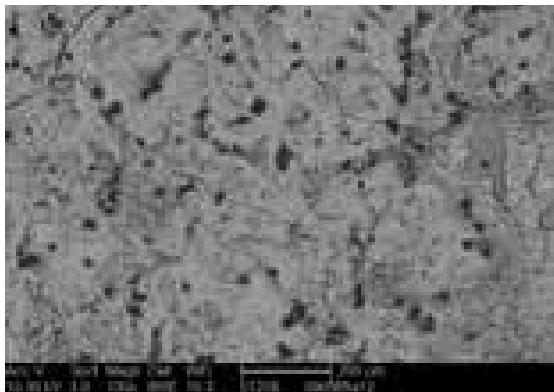
Historische en huidige producten

De eerste steenverstevigingsmiddelen dateren uit de negentiende eeuw. In 1863 werd een patent aangevraagd voor het gebruik van hexafluorkiezelzuur (H_2SiF_6) om steenachtige materialen te versteven.⁷ In de Duitstalige landen waren dergelijke producten in de handel onder de naam Kessler'sche Fluat.⁸ Dergelijke fluaten werden gebruikt voor onder meer zandsteen en beton. In de eerste helft van de twintigste eeuw werd vooral waterglas (silicaten van natrium en kalium) gebruikt,⁹ maar dit had als negatief bijverschijnsel onder meer het ontstaan van oplosbare zouten (zie ook het hoofdstuk over kleur op de gevel).

Voor het versteven van kalkgebonden materialen werd ook kalkwater ($\text{Ca}(\text{OH})_2$ opgelost in water) toegepast. Door carbonatatie wordt uiteindelijk calciumcarbonaat (CaCO_3) gevormd. De resultaten van behandelingen met kalkwater zijn meestal teleurstellend door een te geringe penetratiediepte¹⁰ en wegens het grote aantal herhalingen dat nodig is.

Afbeelding 8

Rasterelektronenmicroscopfoto's van beton behandeld met een steenversteviger. De linker foto is een overzichtsfoto gemaakt met teruggekaatste elektronen. Op een dergelijk beeld is de kleur gerelateerd aan het atoomgewicht van het monster: lichter is zwaarder, donkerder is lichter van gewicht. Een kunststofpolymeer is lichter van gewicht en zal dus zwart lijken op een dergelijk beeld. De donkere vlekken zijn opgevulde holtes. De rechter foto, in twintig keer meer detail, laat zien dat de poriewanden niet volledig bedekt zijn. De foto is genomen met secundaire elektronen die de morfologie beter laten zien. De opeengestapelde 'bladeren' op de foto zijn de als versteviger gebruikte polymeer (foto's Timo Nijland).



Een andere anorganische versteviger die in het verleden soms gebruikt werd, is bariumhydroxide ($\text{Ba}(\text{OH})_2$). Dit reageert in een kalk bevattende ondergrond tot onoplosbaar BaCO_3 , dat als versteviger kan werken. Daarnaast kan bariumhydroxide reageren met gips, waarbij eveneens onoplosbaar bariet (BaSO_4) gevormd wordt dat een vergelijkbaar verstevigend effect heeft. Ook over de effectiviteit van deze techniek bestaan twijfels.¹¹

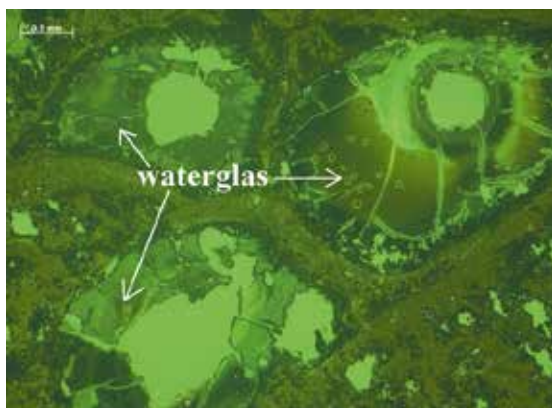
Een decennialang gangbare en in sommige landen op aanzienlijke schaal toegepaste groep verstevigers zijn de acrylaten, in het bijzonder de Paraloid B72. Veel acrylharsen hebben ook waterafstotende eigenschappen, maar de indringdiepte is meestal zeer gering. Voor fixatie aan het oppervlak, bijvoorbeeld van fresco's, kunnen ze een optie zijn.

Sinds circa dertig jaar zijn producten gebaseerd op kiezelzure esters, ook wel ethylsilicaat (TEOS; tetra-ethylorthosilicaat) genoemd, de meest gebruikte verstevigers (afb. 10). Bij contact met water in de te behandelen steen valt de kiezelzure ester uiteen. Er wordt kiezelzuur

gevormd en ethylalcohol. Deze laatste verdampt. Als het kiezelzuur het water weer afgeeft, ontstaat een silicagel die zich hecht aan het oppervlak en zorgt voor de vorming van een vervangend bindmiddel. Gelet de aard van dit nieuwe bindmiddel op silicabasis, is de behandeling het meest effectief op materialen die ook silica bevatten zoals zandsteen en baksteen.

Nieuwe ontwikkelingen

Eén van de beperkingen van kiezelzure esters als steenverstevigers is het ontstaan van krimp-scheuren tijdens het drogingsproces. De laatste jaren is gezocht naar gemodificeerde producten die dit nadeel minder hebben. Door bijvoorbeeld een oppervlakte-actieve stof toe te voegen, worden de poriën in de gel grover en wordt de



Afbeelding 9

UV-fluorescentiemicrofoto van travertijn, waar de poriën deels gevuld zijn met een steenversteviger, in dit geval waterglas. Krimp-scheuren zijn zichtbaar in de steenversteviger. Deze microscheuren zijn capillair actief. Het materiaal kan dus nog steeds water opnemen (foto Timo Nijland).

oppervlaktespanning lager. Zo wordt het risico op het ontstaan van scheuren tijdens de droging lager.¹² Een andere manier om scheurvorming tegen te gaan is het toevoegen van flexibele silanencomponenten en silica nanodeeltjes aan de TEOS.¹³

Een andere beperking van steenversterkingsmiddelen op basis van kiezelzure esters is hun geringe affiniteit met kalkgebonden materialen. Het nieuwe 'kiezelige' (silicium bevattend) bindmiddel hecht veel minder goed aan een kalkgebonden ondergrond dan aan een chemisch vergelijkbare SiO_2 bevattende ondergrond zoals zandsteen en baksteen. Om dit probleem te verhelpen, zijn in de laatste jaren verschillende oplossingen gezocht in de vorm van modificaties van ethylsilicaat die tot een grotere affiniteit met kalkgebonden materialen zou leiden¹⁴ of de toepassing van een voorbehandeling om de hechting tussen de silicagel en het carbonaat te verbeteren.¹⁵

Ook zijn er alternatieve versterkingsmiddelen gezocht voor kalkgebonden ondergronden. Net als bij de waterafstotende middelen speelt een deel van deze ontwikkelingen zich af op het gebied van de nanotechnologie. Zo zijn er pogingen gedaan om kalkwater met kalkdeeltjes van nanogrootte als versterker te gebruiken.¹⁶ Door de geringe grootte van deze nanokalkdeeltjes zou de penetratiediepte van de behandeling vergroot worden. Een andere veelbelovende ontwikkeling is het gebruik van nanogrote metaalalkoxides, zoals calciumalkoxides.¹⁷ Momenteel wordt dit principe verder ontwikkeld in het EU-project Nanomatch.

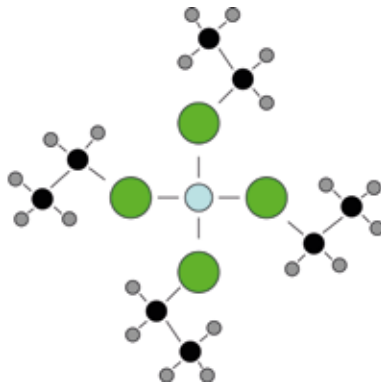
Een andere ontwikkeling die nog in de experimentele fase zit, is behandeling van de ondergrond met bacteriën die in hun metabolisme calciumcarbonaat vormen en op die manier de samenhang van het materiaal verbeteren.¹⁸ Dergelijke toepassingen zouden niet alleen op kalksteen maar ook voor pleisters¹⁹ en cementgebonden materialen als beton geschikt zijn.²⁰

BESLISMODEL

Na de grootschalige toepassing van oppervlaktebehandelingen in de jaren zestig en zeventig van de twintigste eeuw zijn de autoriteiten in Nederland – waaronder de RCE (en haar voorganger RDMZ) – zeer terughoudend geworden ten aanzien van nieuwe oppervlaktebehandelingen van monumenten.²¹ Dit als gevolg van de vele

Afbeelding 10

Schematische weergave van een kiezelzure ester, in dit geval het veel gebruikte tetra-ethylorthosilicaat (TEOS). Het blauwe bolletje in het midden is een siliciumatoom met daaromheen vier zuurstofatomen in het groen. Aan deze zuurstoffen is een organische ethylgroep verbonden, bestaande uit twee koolstof- en vijf waterstofatomen (C_2H_5).



gevallen van schade door ondoordachte en/of onzorgvuldige applicatie van deze producten. De angst voor nog meer schade is groot.

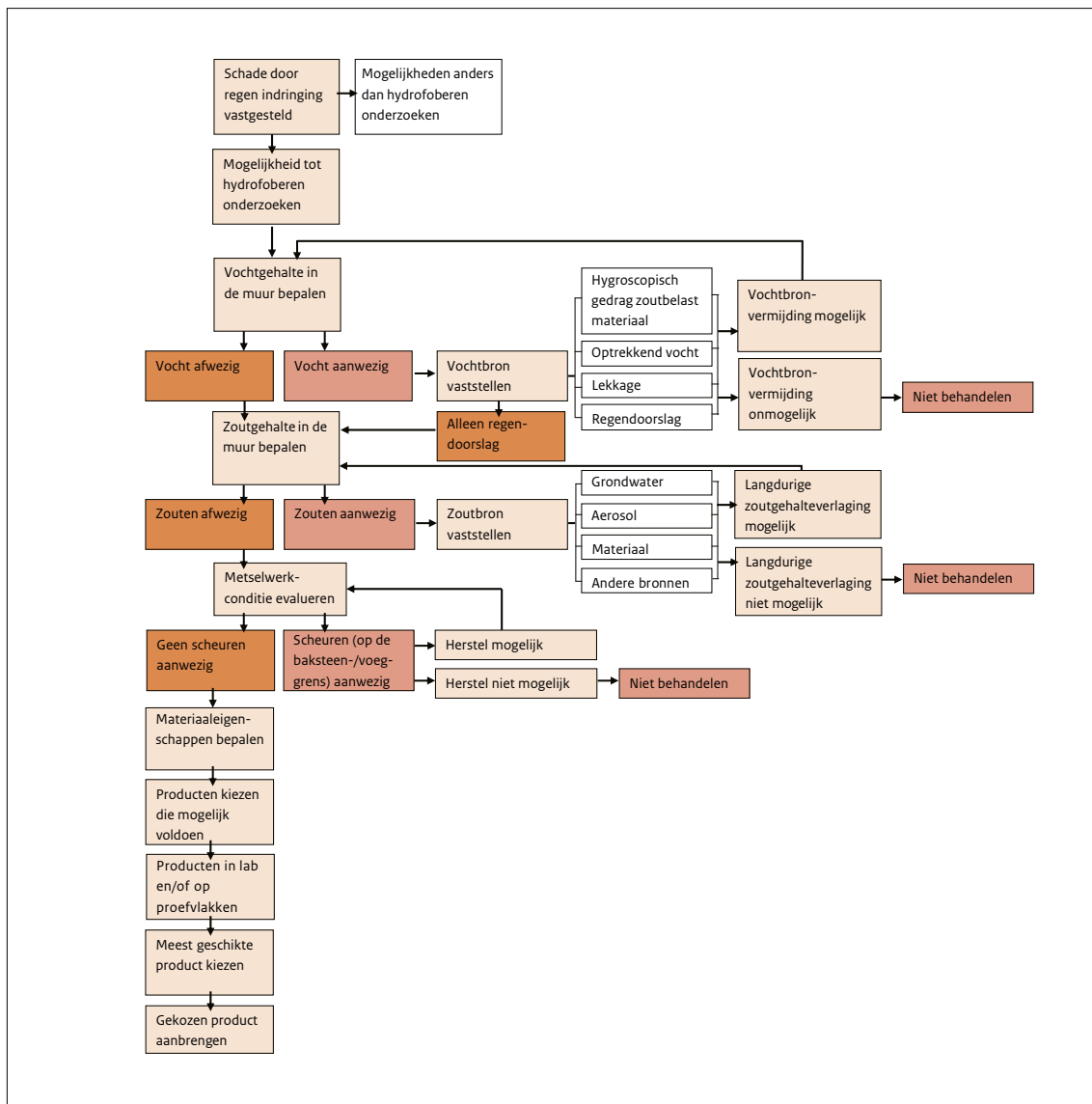
Tegelijk maakt het groeiende belang dat een eigenaar hecht aan een schone en mooie gevel het gebruik van oppervlaktebehandeling soms nodig. De wateropname van sommige gevels is na (lang niet altijd

schadevrije) reiniging soms zo hoog, dat een waterafstotende behandeling nodig is om regenwaterdoorslag te vermijden. Ook zijn er gevels waarin combinaties van materiaal gebruikt zijn, zoals metselwerk op uitkragende betonvloeren, waar om technische reden hydrofoberen gewenst kan zijn. Dit bijvoorbeeld als bij historisch beton met geringe en poreuze dekking het carbonaatiefront al tot achter de wapening ligt.

Een oppervlaktebehandeling kan schadelijk zijn, maar is dat niet per se. Het kan ook schade voorkomen of verminderen. De vraag is echter in alle gevallen of de schade die men hoopt te voorkomen zich verhoudt tot eventuele schade als gevolg van de behandeling.

Het is in alle gevallen van belang een bewuste keuze te maken tussen wel of niet behandelen, en met welk product. Een dergelijke keuze kan alleen verantwoord gebeuren als eerst een vooronderzoek plaatsvindt naar de verschillende factoren die het succes van een behandeling beïnvloeden, zoals het vocht- en zoutgehalte in het metselwerk, de aanwezigheid van en het type schade en de eigenschappen van het materiaal. Het is altijd aan te raden het gekozen product (of beter, een selectie van producten) vooraf in het laboratorium en vervolgens op proefvlakken te testen, voorafgaand aan de applicatie op de hele gevel.

Afbeelding 11 laat de verschillende stappen zien waaruit het beslisisproces met betrekking tot een waterafstotende behandeling zou moeten bestaan. Er zijn echter nog meer aspecten die in de uiteindelijke beslissing betrokken moeten worden. Van antigraf-



fitibehandelingen is algemeen bekend dat het uiterlijk van een materiaal kan beïnvloeden, maar dat geldt ook voor een hydrofobeermiddel. Treedt dat op en zo ja, is dat acceptabel?

Altijd rijst de vraag of de behandeling echt noodzakelijk is. Ze is vrijwel altijd irreversibel. De waarde (culturele, esthetische, authenticiteit, et cetera) van een monument kan erdoor aangetast worden, maar ook toekomstige herstel- of onderhoudsmogelijkheden worden erdoor beïnvloed.

WANNEER BETER NIET HYDROFOBEREN?

In de volgende gevallen wordt nadrukkelijk afgeraden een hydrofobeermiddel te gebruiken:

Afbeelding 11

Beslismodel voor toepassing van een waterafstotende behandeling.

- Indien optrekkend vocht aanwezig is. In dit geval zal – doordat het metselwerk aan de buitenkant na behandeling langzamer droogt door de aanwezigheid van een waterafstotende laag – het vochtgehalte in de muur hoger worden en zal vocht hoger in de muur optrekken. Het risico op vorstschade neemt toe, evenals het risico van vochtplekken en biologische groei aan de binnenkant van de gevel.
- Indien andere vochtbronnen dan regen aanwezig zijn. Als er toch water in het metselwerk komt, kan



dit verzadigd raken, waardoor het risico op vorstschade toeneemt.

- Indien zouten aanwezig zijn. Als in dit geval het metselwerk toch nat wordt, zullen de zouten zich tijdens de droging achter de behandelde laag verzamelen en deze mogelijk afdrukken (afb. 12). Omdat de muur moeilijk aan de buitenkant kan drogen, zal droging in grotere mate aan de binnenkant plaatsvinden, met verhoogd risico van zoutschade aan die zijde.
- Indien (haar)scheuren aanwezig zijn, bijvoorbeeld op de grens tussen baksteen en voeg. In dit geval zal regenwaterpenetratie door de scheurtjes mogelijk blijven, terwijl droging verhinderd wordt door de waterafstotende laag. De consequentie is een verhoogd vochtgehalte in de muur met alle reeds genoemde mogelijke nadelige gevolgen (afb. 13). Deze situatie is typisch voor (wind)molens waar microscheuren gevolg zijn van de dynamische belasting (zie ook hoofdstuk 21 over oplossen van vochtproblemen).²²

Het moge overigens duidelijk zijn dat ook als het hydrofoobeerproduct diep het metselwerk is ingedrongen in bovenstaande situaties schade kan plaatsvinden.

Herstel van hydrofobering

Soms komt het voor dat het metselwerk in het verleden al is behandeld. Het herstellen van voegen en/of inboeten van nieuwe bakstenen leidt dan tot een dilemma: als het metselwerk niet herbehandeld wordt, ontstaat een lekke regenjas. De nieuwe delen zullen wel regenwater absorberen, terwijl de droging van het hele metselwerk trager is door de waterafstotende rest van de bouwschil. Als het metselwerk opnieuw behandeld wordt, zullen de problemen die tot schade hebben geleid terugkomen, wanneer de behandeling op sommige plekken faalt. Wat te doen in deze situaties?

Er is helaas geen eenduidig antwoord op deze vraag te geven. Er moet voor elke situatie afzonderlijk gekeken worden naar de risicofactoren (gehalte en bron van vocht en zout, omvang van het herstelde oppervlak in vergelijking met het al behandelde oppervlak, et cetera). Wanneer risicofactoren als vocht uit een andere bron en zouten niet aanwezig zijn, dringt het herstellen van de oude (vaak nog effectieve) hydrofobering zich op.

Dat hydrofobering in de praktijk doorbroken kan worden, betekent ook dat het dus een illusie is te denken dat men naar een behandelde gevel jarenlang geen omkijken meer heeft. Een regelmatige controle

Afbeelding 12 (boven)

Links: waterdruppels rollen over het oppervlak van behandelde kalksteen: de behandeling is effectief. Ze is echter ook schadelijk: linksboven op het blok treedt al verpoedering en afschilfering op door zouten die zich achter het gehydrofobeerde zichtvlak verzamelen (foto Timo Nijland). Rechts: het zichtvlak van gehydrofobeerde bakstenen wordt afgedrukt door zouten (foto Barbara Lubelli).

Afbeelding 13 (midden boven)

Schade aan gehydrofobeerd zandsteenmetselwerk: water dringt toch binnen, bijvoorbeeld door de zichtbare scheurtjes, en het gehydrofobeerde zichtvlak wordt afgedrukt. De linker foto (en minder duidelijk onder op de rechter foto) laat de waterdruppels zien die afrollen over het oppervlak, hetgeen duidt op een hydrofoberende behandeling. De rechter foto geeft een beeld van de schade (foto's Timo Nijland).

Afbeelding 14 (midden onder)

Voorbeelden van laagsgewijze verwerking waarbij een steenverstevigende behandeling veelal niet zomaar uitgevoerd kan worden (foto's Timo Nijland).

Afbeelding 15 (onder)

Voorbeelden van een minder (links) en een meer effectieve (rechts) waterafstotende behandeling (foto's Barbara Lubelli).

van behandelde gevels dient deel uit te maken van een onderhoudsplan om eventuele schade (bijvoorbeeld loskomende voegen) te repareren en er zo voor te zorgen dat de hydrofobe laag intact blijft.

WANNEER BETER GEEN VERSTEVIGER?

In de volgende gevallen is een versteviger niet effectief en zelfs schadelijk en dus af te raden:

- Indien schade de vorm heeft van afbladderen, delaminatie of exfoliatie (afb. 14). Steenverstevigers zijn hier niet toepasbaar, omdat ze de open ruimte tussen de verschillende laagjes meestal niet kunnen overbruggen (capillariteit is de drijvende kracht en de ruimte tussen laagjes is meestal te groot, > 100 micrometer, om capillair zuigingskracht te hebben). De scheur wordt niet opgevuld, de samenhang eronder niet hersteld, terwijl er toch een dichte laag ontstaat die de droging van de ondergrond sterk hindert. Om in een dergelijke situatie een steenversteviger toe te passen, moeten de scheuren eerst opgevuld worden met een minerale injectiemortel. Pas daarna kan een steenversteviger worden aangebracht. Bij veel opeenvolgende nauwe scheuren is een dergelijke opvulling lang niet altijd mogelijk.



- Indien zouten aanwezig zijn. Verschillende steenverstevigingsmiddelen laten het transport van vloeibaar water wel toe; afhankelijk van de mate waarin zou het gebruik van steenverstevigingsmiddelen op zoutbelaste materialen geen probleem hoeven zijn. Echter, veel hedendaagse versterkers op basis van ethylsilicaat bevatten een katalysator die tijdens de verharding voor een waterafstotend effect zorgt. Dat verdwijnt normaal binnen enkele dagen na de applicatie; bij een zoutbelaste ondergrond kan het echter zeer lang blijven bestaan. Afhankelijk van de situatie kunnen dezelfde problemen ontstaan als aangegeven voor waterafstotende behandelingen.

EISEN AAN HET PRODUCT

Nadat besloten is om te behandelen, moet een geschikt product gekozen worden uit het grote marktaanbod. Om effectief te zijn moet een product (c.q. behandeling) technisch gezien voldoen aan de volgende eisen):²³

- Goede indringing in het materiaal: deze eis is extra van belang voor steenverstevigingsmiddelen. Een goede indringing wordt bevorderd door kleine moleculen, een lage viscositeit (N.B.: crèmes zijn visceus op het moment van aanbrengen, maar worden langzaam vloeibaar en worden makkelijk opgenomen) en een niet te snelle reactie, anders kan het product zich



Afbeelding 16 (links)

Voorbeeld van nog steeds aanwezige hydrofobering op diepte in een baksteen (foto Barbara Lubelli).

Afbeelding 17 (rechts)

Karstenbuis-absorptiemetingen op baksteen metselwerk. Bij een effectieve waterafstotende behandeling is de absorptie van een baksteen (bijna) nihil (foto Barbara Lubelli).

niet verspreiden voordat de polymerisatiereactie plaatsvindt.

- Zo gering mogelijke afname van de waterdamp-doorlatendheid: deze eis is vooral van belang, maar niet uitsluitend, voor hydrofobeermiddelen. Omdat transport van vloeibaar water niet meer mogelijk is bij een gehydrofobeerde gevel, is waterdamp de enige mogelijkheid voor het metselwerk om nog te drogen: als ook dit verhinderd wordt, zal droging onmogelijk worden.
- Goede waterafstotende werking (alleen voor hydrofobeermiddelen).
- Geschikte fysische en mechanische eigenschappen in relatie tot de ondergrond: het product moet goed aan de ondergrond hechten zonder schade aan te richten. De thermische en hygrische uitzettingscoëf-

ficiënten van het product (steenversteviger) moeten niet te veel afwijken van die van de ondergrond. Dit om te vermijden dat, onder invloed van temperatuurwisselingen of -verschillen, spanningen in het materiaal ontstaan.

- Geen kleverig oppervlak en geen ongewenste verandering van het uiterlijk van het metselwerk.
- Goede weerstand tegen alkalisch milieu en tegen UV. Het is overigens niet zo dat het hydrofobe effect weg is, als – door verwerking onder invloed van UV-licht – het waterwerende effect aan het directe buitenoppervlak van een behandeld materiaal verminderd of verdwenen is. Meestal is het waterafstotende product onder het oppervlak nog centimeter(s) diep aanwezig en effectief.
- Aan te brengen op enigszins vochtige ondergronden.
- Geen schadelijke bijproducten (bijvoorbeeld vorming van oplosbare zouten, zoals ontstaat na het gebruik van waterglas).
- Eenvoudig aan te brengen.
- Voldoen aan arbo- en milieuwetgeving.

Daarnaast zijn er eisen voor het gebruik op monumentaal metselwerk waaraan een oppervlaktebehandeling zou moeten voldoen: compatibiliteit en herbehandelbaarheid of zelfs reversibiliteit. De laatste is echter theoretisch; voor vrijwel alle waterafstotende en verstevigende producten geldt dat ze niet reversibel zijn. Het is dus vaak niet mogelijk aan deze eis te voldoen. Er moet dus zeer bewust en pas na een zeer zorgvuldige afweging voor gekozen worden; vaak zal het gaan om situaties waar het de enig mogelijke of laatste oplossing is om de instandhouding te garanderen.

Twee andere eisen in monumentale situaties, maar in feite net zo relevant bij regulier onderhoud, zijn compatibiliteit en herbehandelbaarheid. Compatibiliteit betekent dat de behandeling geen schade mag veroorzaken aan het historische materiaal en de historische constructie. Herbehandelbaarheid betekent dat wanneer de behandeling is gedegradeerd tot een niet-acceptabel niveau, het mogelijk moet zijn om een nieuwe behandeling aan te brengen.

Afbeelding 18

Indringingdiepte van een kiezelzure ester in poreuze kalksteen zichtbaar gemaakt met de indicatorvloeistof dithizone, vier weken na de behandeling. De oranje kleur geeft de diepte aan, die bereikt is door de versteviger (foto Barbara Lubelli).

Ten slotte dient overwogen te worden of toekomstige herstel- of onderhoudsmogelijkheden door de behandeling negatief worden beïnvloed. Denk aan de hechting van nieuw voegwerk op een gehydrofobeerde ondergrond.

VOORBEREIDING EN APPLICATIE

Een oppervlak moet zó worden voorbereid dat het behandelproduct voldoende impregnatiediepte kan bereiken. Eventueel vuil (zoals stof, vetresten) moet worden verwijderd; het kan dus nodig zijn om een oppervlak vóór de behandeling te reinigen. Wanneer een materiaal ernstig beschadigd is, kan versteviging ook vóór de reiniging plaatsvinden. Eventuele scheurtjes dienen opgevuld te worden. Bij steenverstevigders kan bovendien een chemische voorbehandeling wenselijk zijn.

Het is essentieel om altijd proefvlakken te maken met de gekozen producten. Op basis van de resultaten kunnen de voor- en nadelen van de beoogde behandeling beter worden afgewogen en kan een keuze gemaakt worden voor een product.

Afhankelijk van de viscositeit van het product zijn verschillende applicatietechnieken mogelijk. Vloeibare producten worden meestal door vloeien (zonder druk, bij voorkeur van beneden naar boven), of vernevelen (onder lage druk) op het oppervlak gebracht. Om de impregnatiediepte te verbeteren, kan een drukverschil gebruikt worden om het product makkelijker in de poriën te laten indringen. Dan moet het te bewerken materiaal echter ingepakt zijn, iets wat de applicatie op grote oppervlakken moeilijk maakt.

Om voldoende effect te hebben, moet behandeling met steenverstevigders vaak meerdere keren herhaald worden.²⁴ Een andere optie is het toevoegen van kata-





lysatoren die de reactie uitstellen totdat het product dieper in het materiaal is opgezogen.

De detaillering van de gevel kan om extra aandacht vragen. Hoe effectief is een behandeling bij verdiept voegwerk? Hoe om te gaan met situaties van overstek, bijvoorbeeld uitstekende dorpels of waterlijsten?

EVALUATIE

Om te beoordelen of een behandeling effectief is, is evaluatie nodig. Wat waren de effecten van een behandeling op het uiterlijk van het metselwerk? En voldoet het resultaat van de behandeling aan de specifieke eisen van hydrofoberen en versteviging?

Effectiviteit hydrofobe behandeling

Het is relatief makkelijk de effectiviteit van een hydrofobering te beoordelen. Een eerste test is om water tegen de behandelde gevel te sproeien. Het pareffect is een teken dat de behandeling aanwezig is. De vorm van de parel is afhankelijk van de contacthoek tussen het materiaal en het water en geeft een indicatie van de kwaliteit van de behandeling (afb. 15). Niettemin is het mogelijk dat – bij minder recente behandelingen – geen pareffect te zien is, terwijl de behandeling nog wel effectief is. Dit omdat het product aan het oppervlak door UV-stralen is beschadigd, terwijl het in de diepte nog

Afbeelding 19

Een weerstandsboor (DRMS) is een mogelijkheid om op het werk de effectiviteit van een verstevigende behandeling te evalueren. Links een vroege versie, in de jaren 90 door TNO ontwikkeld (foto Timo Nijland). Rechts de huidige generatie: commercieel verkrijgbare weerstandsboor (foto Barbara Lubelli).

aanwezig is. Een optie is dan het herhalen van de test op diepte, bijvoorbeeld op een plaats waar toch stenen ingeboet worden (afb. 16) of aan een boorkern.

Het is ook aan te raden de absorptie met behulp van een Karstenbuisje te meten (afb. 17).²⁵ Bij metselwerk is het verstandig de test niet alleen op baksteen en mortel afzonderlijk uit te voeren, maar ook op de grens tussen steen en voeg. Juist hier zijn vaak microscheurtjes aanwezig die de effectiviteit van een behandeling kunnen verminderen.

Als de impregnatiediepte van een hydrofobeermiddel onderzocht wordt, is het nodig materiaal te bemonsteren, bijvoorbeeld een boorkern. Ook in dit geval is het verstandig om zowel de steen als de mortel te bemonsteren. Door de kern nat te maken wordt de impregnatiediepte duidelijk, door het verschil in kleur tussen een donker (nat) en lichter (droog) deel. Verder kan de vorm van de druppel (en dus de contacthoek) op

verschillende diepten gemeten worden, als maat voor de effectiviteit van de behandeling.

Microscopisch is de aanwezigheid van de meeste hydrofobermiddelen moeilijk of niet vast te stellen. Alleen met geavanceerde laboratoriumtechnieken zoals röntgentomografie²⁶ of neutronenradiografie²⁷ kan in detail een 3D-beeld verkregen worden.

Effectiviteit van een versteviger

In sommige gevallen kan de penetratiediepte van een steenversteviger bepaald worden door direct na behandeling aan een boorkern het pareleffect (waterafstotende effect) te beoordelen – net als bij een hydrofobermiddel. Voor oudere behandelingen die niet meer waterafstotend zijn, kan bij kiezelzuuresters het oppervlak van de boorkern natgemaakt worden met een indicatorvloeistof, zoals een oplossing van dithizone. Het ontstaan van een oranje kleur helpt dan de geïmpregneerde zone te identificeren (afb. 18).

Doel van een versteviger is het verbeteren van de cohesie en dus de hardheid en mechanische sterkte van het beschadigde oppervlak. Daarom kan de effectiviteit van deze behandeling ook beoordeeld worden door de boorweerstand te bepalen. Er is voor dit doel een speciale gekalibreerde boor ontwikkeld die ook in situ gebruikt kan worden (DRMS – Drilling Resistance Measurement System; afb. 19).²⁸ Behalve de boorweerstand is ook de ultrasone geluidssnelheid te gebruiken om de indringing en de effectiviteit van verstevigers te meten, maar deze methode is tot nu alleen in het lab (dus op monsters uit het metselwerk) mogelijk.²⁹

In het laboratorium is de effectiviteit van een steenversteviger te bepalen met behulp van optische en/of elektronenmicroscopie (afb. 7 tot en met 9). Er kan dan informatie verkregen worden over de verdeling van de steenversteviger (vult deze alle poriën, scheurtjes, korrelgrenzen?), hechting aan de aanwezige korrels, het ontstaan van een (open) netwerk van krimp-scheurtjes, et cetera.

Onderhoud en het belang van documentatie

Zoals al opgemerkt, betekent een effectieve oppervlakbehandeling niet dat niet meer naar de gevel omgekeken hoeft te worden. Met name het doorbreken van de hydrofobering is een aandachtspunt. Als dit gebeurt, is herstel noodzakelijk. Met name niet planmatig ad-hoc onderhoud is in dit geval een risicofactor. Met het oog op dergelijk herstel van een hydrofobering of eventuele herbehandeling is grondige documentatie van de uitgangssituatie, overwegingen bij de uiteindelijke

keuze voor interventie en te gebruiken producten, de gebruikte producten zelf en de wijze van applicatie van groot belang.

Literatuur

- Ambrosi, M. (et al.), 2001, 'Colloidal particles of $\text{Ca}(\text{OH})_2$: Properties and applications to restoration of fresco's', in: *Langmuir*, nr. 17, pp. 4251-4255.
- Anne, S. (et al.), 2010, 'Evidence of a bacterial carbonate coating on plaster samples subjected to the Calcite Bioconcept biomineralization technique', in: *Construction & Building Materials*, nr. 24, pp. 1036-1042.
- Clercq, H. de, S. de Zanche & G. Biscontin, 2007, 'TEOS and time: the influence of application schedules on the effectiveness of ethyl silicate based consolidants', in: *Restoration of Buildings and Monuments*, nr. 13, pp. 305-318.
- Cnudde, V. (et al.), 2004, 'X-ray micro-CT used for the localization of water repellents and consolidants inside natural building stones', in: *Materials Characterization*, nr. 53, pp. 259-271.
- Cnudde, V. (et al.), 2007, 'Determination of the impregnation depth of siloxanes and ethylsilicates in porous material by neutron radiography', in: *Journal of Cultural Heritage*, nr. 8, pp. 331-338.
- Cnudde, V. (et al.), 2009, 'The use of X-ray tomography in the study of water repellents and consolidants', in: *Engineering Geology*, nr. 103, pp. 84-92.
- Coombs, J.C., 1864, *Improvement in indurating and preserving stone, cements, wood, etc.*, US Patent 38287.
- Daniele, V., G. Taglieri & R. Quaresima, 2008, 'The nanolimes in cultural heritage conservation: Characterisation and analysis of the carbonatation process', in: *Journal of Cultural Heritage*, nr. 9, pp. 294-301.
- Delgado Rodrigues, J., 2001, 'Consolidation of decayed stones. A delicate problem with few practical solutions', in: Lourenço, P.B. & P. Roca (red.) *Historical constructions*, Guimarães, pp. 3-14.
- Ditaranto, N. (et al.), 2011, 'Synthesis and analytical characterisation of copper-based nanocoatings for bioactive stone artworks treatment', in: *Analytical and Bioanalytical Chemistry*, nr. 399, pp. 473-481.
- Drdácý, M., Z. Slížková, G. Ziegenbalg, 2009, 'Nano-approach to consolidation of degraded historic lime mortar', in: *Journal of Nanoresearch*, nr. 8, pp. 13-22.
- Ettenauer, J. (et al.), 2011, 'Molecular monitoring of the microbial dynamics occurring on historical limestone buildings during and after the in situ application of different bio-consolidation treatments', in: *Science of the Total Environment*, nr. 409, pp. 5337-5352.
- Favaro, M. (et al.), 2000, 'New findings on past treatments effects on the lunette of San Giovanni Evangelista in Venice', in: Fassina, V. (red.), *Proceedings of the 9th International Congress on Deterioration and Conservation of Stone (Venetië)*, Amsterdam, pp. 623-632.

- Favaro, M. (et al.), 2008, 'A novel approach to consolidation of historical limestone: the calcium alkoxides', in: *Applied Organometallic Chemistry*, nr. 22, pp. 698-704.
- Ferreira Pinto, A.P., & J. Delgado Rodrigues, 2008, 'Hydroxylating conversion treatment and alkoxysilane coupling agent as pre-treatment for the consolidation of limestones with ethyl silicate', in: Delgado Rodrigues, J. & J.M. Mimoso. (red.), *Stone consolidation in cultural heritage: research and practice*, LNEC, Lissabon, pp. 131-140.
- Ferri, L. de (et al.), 2011, 'Study of silica nanoparticles – polysiloxane hydrophobic treatments for stone-based monument protection', in: *Journal of Cultural Heritage*, nr. 12, pp. 356-363.
- Groot, C., & J. Gunneweg, 2002, *Onderzoek Vochtproblematiek Stenen Molens, 1^e fase*, Zeist.
- Hauenschild, H., 1893, 'Die härtende Wirkung der Kesslerschen Fluete auf Sandsteine', in: *Centralblatt der Bauverwaltung*, nr. 13 (17), pp. 173-174.
- Hees, R.P.J. van (red.), 1998, *Evaluation of the performance of surface treatments for the conservation of historic brick masonry*, Research Report No 7. Europese Commissie, Brussel.
- Hees, R.P.J. van, B. Lubelli, B., H. Brocken, 2003, 'Hydrofobering van windmolens – effectieve behandeling of vragen om ellende', in: *Praktijkboek Instandhouding Monumenten*, nr. 14, pp. 2-11.
- Jimenez-Lopez, C. (et al.), 2008, 'Consolidation of quarry calcarenite by calcium carbonate precipitation induced by bacteria activated among the microbiota inhabiting the stone', in: *International Biodeterioration & Biodegradation*, nr. 62, pp. 352-363.
- Geich, H., 2004, 'Recent developments in protecting facades with silicones', in: Kwiatkowski, D., & R. Lofvendal (red.), *Proceedings of the 10th International Congress on Deterioration and Conservation of Stone*, ICOMOS Sweden, Stockholm, pp. 363-369.
- Kim, E.K. (et al.), 2009, 'Effect of silica nanoparticle and GPTMS addition on TEOS-based stone consolidants', in: *Journal of Cultural Heritage*, nr. 10, pp. 214-221.
- Larbi, J.A., & R.P.J. van Hees, 2009, 'Investigation of the conservation treatment methods of the Dutch national monument: the role of microscopy', in: *Heron*, nr. 44, pp. 271-284.
- Lazzarini, L., & M.L. Tabasso, 1986, *Il restauro della pietra*, Padua.
- Lubelli, B., & R.P.J. van Hees, 2004, *Laboratory tests on the behaviour of cream surface treatments applied on brick and stone*, 6th International Symposium on the Conservation of Monuments in the Mediterranean Basin, Lissabon.
- Mosquera, M.J. (et al.), 2008, 'New nanomaterials for consolidating stone', in: *Langmuir*, nr. 24, pp. 2772-2778.
- Muynck, W. de (et al.), 2008, 'Bacterial carbonate precipitation improves the durability of cementitious materials', in: *Cement & Concrete Research*, nr. 38, pp. 1005-1014.
- Nijland, T.G. (et al.), 2009, *Oppervlaktebehandelingen bij gevels*, SBR, Rotterdam.
- NORMAL 20/85, 1985, *Conservazione dei materiali lapidei, manutenzione ordinaria e straordinaria* CNR. ICR, Rome.
- Price, C.A., Ross, K. & White, G., 1988, 'A further appraisal of the lime technique for limestone consolidation using a radioactive tracer', in: *Studies in Conservation*, nr. 33, pp. 178-186.
- Price, C.A., 1995, *Stone conservation - An overview of current research*, Getty Conservation Institute, LA, USA.
- Rijksdienst voor het Cultureel Erfgoed, 2007, *Info Restauratie en Beheer 1. Hydrofoberen van gevels* (5^e druk), Amersfoort.
- Roos, M. (et al.), 2008, 'Evolution of silicone based water repellents for modern building protection', in: Clercq, H de & A. E. Charola (red.), *Proceedings of Hydrophobe V – Water repellent Treatment of Building Materials*, Brussel, pp. 3-15.
- Schnabel, L., 1992, *Evaluation of the barium hydroxide-urea consolidation method*, 7th International Congress on Deterioration and Conservation of Stone, Laboratório Nacional de Engenharia Civil, Lissabon, pp. 1063-1072.
- Steinhauser, U., & R. Wendler, 2004, 'Conservation of limestone by surfactants and modified ethylsilicate'. In: Kwiatkoski, D. & R. Lofvendhal (red.), *Proceedings of the 10th International Congress on Deterioration and Conservation of Stone*. ICOMOS Sweden, Stockholm, pp. 439-446.
- Tiano, P. (et al.), 2000, 'The conservation of monuments: A new method to evaluate consolidating treatments', in: *Restoration of Buildings and Monuments*, nr. 6, pp. 133-150.
- Torraca, G., 1976, 'Treatment of stone in monuments – a review of principles and processes', in: Rossi-Menaresi, R. (red.), *The conservation of stone I. Proceedings of the International Symposium, Centro per la Conservazione delle Sculture all'Aperto*, Bologna, pp. 297-313.
- Wheeler, G., S.A. Fleming, & S. Ebersole, 1992, 'Evaluation of some current treatments for marble'. In: *Proceedings of the 2nd International Symposium Conservation of Monuments in the Mediterranean Basin*, Genève, pp. 439-443.
- Wheeler, G. (et al.), 2000, 'Evaluation of alkoxy-silane coupling agents in the consolidation of limestone', in: Fassina, V. (red.), *Proceedings of the 9th International Congress on Deterioration and Conservation of Stone*, Venetië. Elsevier, Amsterdam, pp. 541-545.
- Weiss, N.R., I. Slavid, I. & G. Wheeler, 2000, 'Development and assessment of a conversion treatment for calcareous stone', in: Fassina, V. (red.), *Proceedings of the 9th International Congress on Deterioration and Conservation of Stone*, Venetië. Elsevier, Amsterdam, pp. 553-540.

Noten

- 1 Een organische verbinding is een verbinding die minstens één koolstofatoom bevat. Er zijn wel enkele uitzonderingen, zoals carbonaten (bijvoorbeeld CaCO_3), die hoewel ze een koolstofatoom bevatten toch tot de anorganische verbindingen gerekend worden. Organosiliciumverbindingen, die silicium in plaats van koolstof bevatten, worden wél tot de organische verbindingen gerekend.
- 2 Lubelli et al. 2004.

- 3 De Ferri et al. 2011.
- 4 Traditionele producten worden verbeterd, maar er is nog niet genoeg onderzoek gedaan naar de werking en effectiviteit van deze nieuwe producten. Daarom is nog onvoldoende duidelijk hoe de werking nu is en wat precies het voordeel is in de praktijk.
- 5 Mosquera et al. 2008.
- 6 Ditaranto et al. 2011.
- 7 Coombs 1863.
- 8 Zie b.v. Hauenschild 1893.
- 9 Torracca 1976.
- 10 Price 1988; Price 1995.
- 11 Schnabel 1992, Favaro et al. 2000.
- 12 Mosquera et al. 2008.
- 13 Kim et al. 2009.
- 14 Wheeler et al. 2000, Steinhäusser & Wendler 2004.
- 15 Ferreira Pinto & Delgado Rodrigues 2008.
- 16 Bijv. Ambrosi et al. 2001, Daniele et al. 2008, Drdácý et al. 2009.
- 17 Favaro et al. 2008.
- 18 Jimenez-Lopez et al. 2008, Ettenauer et al. 2011.
- 19 Anne et al. 2010.
- 20 De Muynck et al. 2008.
- 21 Rijksdienst voor het Cultureel Erfgoed 2007.
- 22 Van Hees et al. 2003.
- 23 Normal 20/85, Lazzerini & Tabasso 1986, Geich 2004.
- 24 De Clercq et al. 2007.
- 25 Van Hees 1998.
- 26 Cnudde et al. 2004, 2009.
- 27 Cnudde et al. 2007.
- 28 Tiano et al. 2000.
- 29 Delgado Rodrigues 2001.

20



Bestrijding van optrekkend vocht

Middelen en technieken

Optrekkend vocht is een belangrijke schadeoorzaak in de bestaande bouw en voor monumenten. De omvang van het probleem blijkt al uit het zeer grote aantal producten ter bestrijding van optrekkend vocht dat op de markt is. Dit hoofdstuk geeft een overzicht van de mogelijkheden, middelen en technieken om optrekkend vocht te diagnosticeren en te bestrijden. Er wordt daarbij kritisch gekeken naar de toepasbaarheid en succesfactoren op basis van de huidige stand van kennis.

Optrekkend vocht vormt voor de bestaande bouw en monumenten een bedreiging. Dat zal waarschijnlijk alleen nog maar toenemen, als gevolg van klimaatverandering. Een ongezonde leefomgeving is één van de mogelijke negatieve gevolgen van optrekkend vocht. Ook betekent het een aanzienlijk groter risico op zout- en vorstschade, en kan daarmee ook gevolgen hebben voor de duurzaamheid van materialen en constructies.

CAPILLAIR TRANSPORT

Als water uit de bodem wordt opgezogen door de capillairen van bouwmaterialen, spreken we van optrekkend vocht. Het capillair transport vindt tegen de zwaartekracht in plaats. In principe geldt: hoe fijner de capillairen, hoe groter de stijghoogte. Ook veranderingen in de grondwaterstand kunnen van invloed zijn op de stijghoogte. Bovendien kan de aanwezigheid van zouten in grondwater of bouwmaterialen de snelheid en de bereikte hoogte van optrekkend vocht beïnvloeden.

Door de toepassing van betonnen funderingen in nieuwbouw, is optrekkend vocht daar minder vaak aanwezig. Omdat capillair vochttransport alleen van grote

naar fijnere poriën kan plaatsvinden en niet andersom, kan het water niet vanuit het fijn poreuze beton aan het metselwerk 'doorgegeven' worden.

Oudere gebouwen hebben vaak funderingen van metselwerk en kunnen daardoor wel te maken krijgen met optrekkend vocht. We hebben het hier over een langzaam proces, waarvan de schade vaak pas na vele jaren zichtbaar wordt.

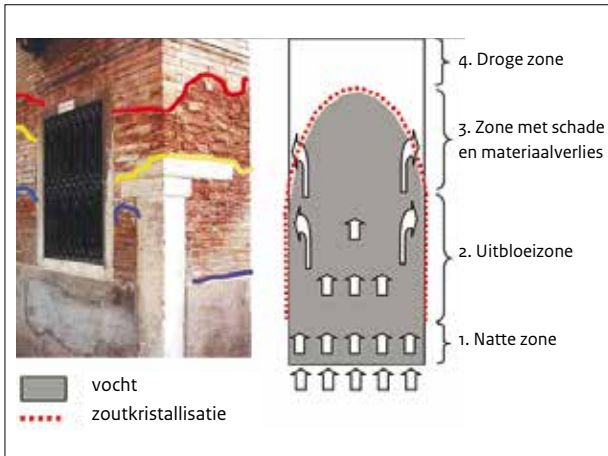
SYMPTOMEN

Het meest voorkomende symptoom van optrekkend vocht is de aanwezigheid van een vochtige zone in het onderste deel van de muur. Wanneer er zouten in het metselwerk zitten, is er aan de bovengrens van deze vochtige zone vaak sprake van (esthetische) schade in de vorm van zoutuitbloei (efflorescence). In de zone daarboven kan – wanneer zouten niet aan het oppervlak, maar dieper in het materiaal kristalliseren (crypto-florescence) – schade aan het materiaal optreden, waarbij soms zelfs hele schollen afgedrukt kunnen worden (afb. 2).

Houten onderdelen die in aanraking komen met vochtige muurconstructies kunnen gaan rotten. Rotende balkeinden kunnen daarom een symptoom zijn van optrekkend vocht. Schimmelgroei op (bepleisterd) metselwerk is echter bijvoorbeeld over het algemeen géén symptoom ervan. Want vaak gaat het optrekken van vocht samen met zouttransport in de muur, en een

Afbeelding 1

Optrekkend vocht is een belangrijke schadeoorzaak in de bestaande bouw en voor monumenten (foto Michiel van Hunen).

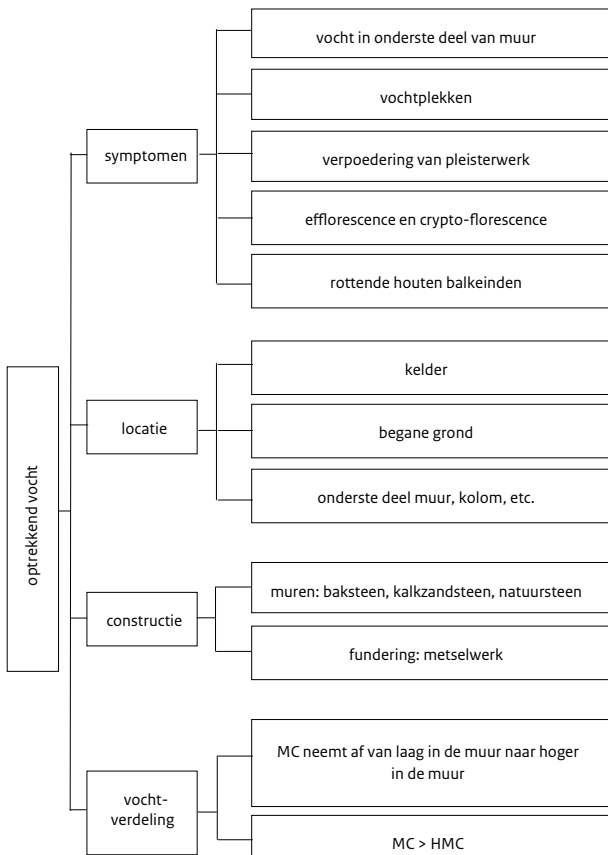


Afbeelding 2 (linksboven)

Globale weergave van het verschijnsel optrekkend vocht en gevolgschade. Foto en tekening Rob van Hees.

Afbeelding 3 (onder)

Relatie tussen symptomen, locatie, constructie en vochtverdeling bij optrekkend vocht (schema Rob van Hees). (MC= moisture content, HMC = hygroscopic moisture content; zie voor toelichting de tekst.)



Afbeelding 4

Is hier sprake van optrekkend vocht of wordt de schade door iets anders veroorzaakt (Curaçao, 2005)? Onderzoek naar de verdeling van het (hygroscopisch) vocht kan duidelijkheid verschaffen (foto auteur).

zoute omgeving is niet bevorderend voor schimmelgroei. Het verband tussen symptomen, locatie, constructie en vochtverdeling wordt weergegeven in afbeelding 3.

Hoewel bepaalde schadevormen en -patronen duidelijke aanwijzingen kunnen geven voor de aanwezigheid van optrekkend vocht, is een beoordeling aan de hand van bemonstering altijd aan te raden. Soms kan de vochtbron, ondanks alle symptomen die op optrekkend vocht wijzen, toch anders zijn (afb. 4).

METEN IS WETEN

Er bestaan verschillende meetmethodes om de vochtbron vast te stellen, zowel lichtdestructieve als niet-destructieve methodes. De vochtbron is vast te stellen aan de hand van verdeling van het vocht en hygroscopische vocht over de hoogte en de diepte van de muur. Het vochtgehalte (moisture content; MC) is de hoeveelheid water in het materiaal en het hygroscopisch vochtgehalte (hygroscopic moisture content; HMC) geeft een indicatie voor de aanwezigheid van hygroscopische zouten. Hygroscopische zouten zijn zouten die watermoleculen uit hun omgeving kunnen aantrekken en vasthouden wanneer de relatieve vochtigheid een bepaalde grenswaarde overschrijdt. Deze grenswaarde is afhankelijk van het type zout (zie ook het Referentiehoofdstuk).

Optrekkend vocht geeft een karakteristieke verdeling van het actuele en hygroscopisch vochtgehalte, die meestal goed te herkennen is (afb. 5). Het vochtgehalte is net boven de grond hoog en neemt naar boven toe

Afbeelding 5

Voorbeeld van een typische actuele en hygroscopische vochtverdeling bij aanwezigheid van optrekkend vocht in combinatie met oplosbare zouten: op de horizontale as worden MC en HMC vermeld; op de verticale as de hoogte van de bemonstering (bron: Rob van Hees).

af. Over de muurdikte gezien neemt het vochtgehalte af vanaf de binnenkant van de muur naar het oppervlak. De profielen van het vochtgehalte en hygroscopisch vochtgehalte kruisen elkaar. De meeste hygroscopische zouten accumuleren daar waar verdamping van vocht optreedt, dus aan de bovengrens van het optrekkend vocht. Er bestaan verschillende methodes om vocht- en hygroscopisch vochtgehalte vast te stellen, zie voor meer hierover het Referentiehoofdstuk.

BESTRIJDING VAN OPTREKKEND VOCHT

Aandacht voor de bestrijding van optrekkend vocht is geen nieuw verschijnsel. Bekende voorzorgsmaatregelen uit het verleden zijn de toepassing van een trasraam, bestaande uit enkele lagen metselwerk met specifieke types baksteen (trasraamklinkers) en hydraulische mortel (kalktrasmortel) en het aanbrengen van speciale lagen natuursteen met een heel lage porositeit. De tegenwoordig vaak toegepaste betonnen fundering verhindert optrekkend vocht op een soortgelijke wijze.

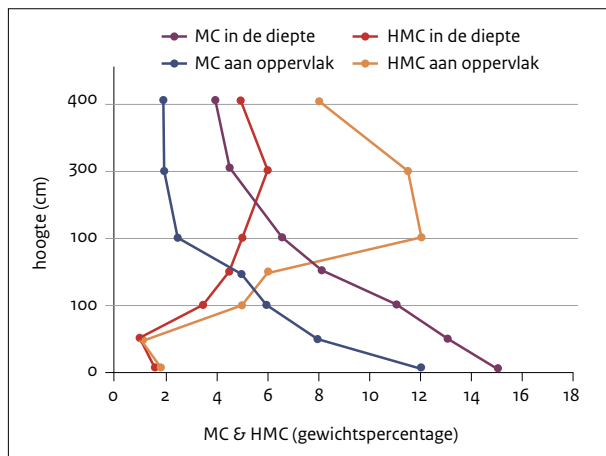
In oudere constructies waar de hiervoor genoemde speciale lagen of betonnen fundering niet aanwezig zijn, kan het echter noodzakelijk zijn optrekkend vocht te stoppen of beperken. Daarvoor bestaan verschillende methodes.

BARRIÈREVORMENDE SYSTEMEN

Het principe van barrièrevormende systemen is het creëren van een horizontale ondoordringbare laag over de gehele muurdoorsnede onder in de muur, die optrekkend vocht tegenhoudt. Veelgebruikte methodes zijn mechanische onderbreking en injectie of impregnatie met chemische producten.

Mechanische onderbreking

Bij mechanische onderbreking wordt onder in de muur een laag aanbracht van lood of andere metalen, glas, bitumen, polyester of beton (afb. 6). Wanneer de mechanische onderbreking onder het maaiveld wordt aangebracht, zijn de sporen van de ingreep niet zichtbaar, maar bestaat het risico dat vocht uit de aanaarding in de muur treedt. Om die reden wordt de mechanische onderbreking meestal boven maaiveld uitgevoerd.



Deze techniek is erg betrouwbaar, omdat de ondoordringbare laag het vochttransport volledig verhindert. De methode is in veel gevallen echter erg arbeidsintensief en daarmee erg kostbaar. Afhankelijk van de werkwijze en de staat van het metselwerk kan de methode tot scheurvorming leiden en de stabiliteit van de constructie in gevaar brengen. In sommige gevallen, bijvoorbeeld bij onregelmatig metselwerk, vereist uitvoering van deze techniek nogal wat moeite.

Er zijn verschillende manieren om een mechanische onderbreking tot stand te brengen. Van oudsher wordt de onderbreking verkregen door meter voor meter een laag baksteen of mortel weg te halen, waarna een loodslab in de ontstane ruimte aangebracht wordt. De stabiliteit van het gebouw wordt hierdoor niet in gevaar gebracht. Het nadeel van deze werkwijze is echter dat deze erg arbeidsintensief is.

Een werkwijze die hier erg op lijkt, is de wig-methode, waarbij eveneens meter voor meter gewerkt wordt. Verschil is dat in de ontstane ruimte een pvc-folie gelegd wordt en de baksteen vervangen wordt door betonnen wiggen. De voegen worden gevuld met een hars bevattende mortel.

Een andere werkwijze bestaat uit het boren van twee overlappende series gaten in de muur. Voordat de tweede serie gaten geboord wordt, moet de eerste gevuld zijn met een synthetische waterafstotende mortel. Deze methode wordt de Massari-methode genoemd, naar de Italiaan die deze methode ontwikkelde.

Voor muren opgebouwd uit relatief zachte materialen bestaat er nog een vierde methode, waarbij gegolfde roestvrijstalen platen in een mortellaag getrild worden. Het grote voordeel van deze methode is dat er vooraf geen materiaal verwijderd hoeft te worden.



Chemische producten: injectie en impregnatie

De meest gebruikte categorie bestrijdingssystemen is gebaseerd op het injecteren van chemische producten in de natte zone onder aan de muur, om op die manier een horizontale barrière tegen capillair vochttransport te creëren.

Bij deze methode worden chemische producten langs een horizontaal profiel in de muur aangebracht. Dit door gaten te boren op een afstand van 5 tot 40 cm (afhankelijk van product en materiaal), waarin het product met druk (injectie) of drukloos (impregnatie) wordt ingebracht. Vaak maakt men gebruik van hydrostatische druk om de impregnatie te bevorderen (afb. 7). Afhankelijk van de muurdikte en de bereikbaarheid van de muur kunnen de gaten vanaf één of twee zijdes van de muur geboord worden.

Het is van groot belang dat het product de mogelijkheid krijgt zich over de gehele muurdoorsnede te verspreiden en te reageren. Daarom moet het wegvloeien van het product via gaten en scheuren zo veel mogelijk

Afbeelding 6 (boven)

Mechanische onderbreking met een bitumineuze laag (links) en met RVS platen in Venetië (foto's Rob van Hees).

Afbeelding 7 (onder)

Behandeling van een muur met druk (injectie, links) en met hydrostatische druk (impregnatie, rechts) (foto's auteur en Rob van Hees).

voorkomen worden. Wanneer veel gaten en scheuren aanwezig zijn, is het een optie een voorbehandeling uit te voeren waarbij de gaten opgevuld worden met een gietmortel. Wanneer scheuren en gaten beperkt in omvang en aantal zijn, is het gebruik van een product in de vorm van een micro-emulsie, gel of crème te overwegen. Deze producten vloeien minder snel uit en hebben een langere contacttijd.

Het is van groot belang dat de injectiegaten op een dusdanige afstand van elkaar liggen, dat na reactie van

Klasse	Componenten	Oplosmiddel	Werkingsprincipe
Stearaat	Polyoxoaluminium stearaat	Organisch (isoparaffine)	WA
Siloxaan	Oligomere alkylsiloxaan	Organisch (gedearomatiseerde terpentine)	WA
	Siloxaan (3-(2-aminoethyl)aminopropyl) Methylsilesquioxaan	Met water te verdunnen	WA
	Oligomere siloxaan, gemodificeerde was, aluminiumstearaat, acrylhars	Organisch (isoparaffine)	WA
Siliconaat (K-methyl)silicaat en siliconaat	K-methylsiliconaat	Eventueel met water te verdunnen	WA
	K-methylsiliconaat, Na-metasilicaat	Met water te verdunnen	WA & PV
	K-silicaat-siliconaat	Niet vermeld (vermoedelijk water)	WA & PV
	K-methylsiliconaat, Na-metasilicaat, Aminosilesquioxaan	Met water te verdunnen	WA & PV
Crèmes en gels op basis van silaan of siloxaan	Alkylloxysilaan en amino-functional siloxaan	Water	WA
	Alkylalkoxysilaan en -siloxaan	Water	WA
	Silaan en siloxaan	Water	WA
Vloeibare (micro) emulsie op basis van silaan of siloxaan	Gemodificeerd methyl-ethoxysiloxaan	Water	WA
	Silaan en siloxaan	Met water te verdunnen	WA
	Alkoxysilaan, siloxaan, tetraethylsilicaat	Met water te verdunnen	WA

het product overlappende zones ontstaan, zodat de horizontale barrière ook echt gesloten is (afb. 8).

Er bestaan diverse producten, die van elkaar verschillen wat betreft vorm (zoals vloeibaar, crème, micro-emulsie, gel), chemische samenstelling, oplosmiddel en werkingsprincipe. Tabel 1 geeft een overzicht van verschillende producten die in onderzoek van TNO (2009) zijn gebruikt. Deze producten vormen een afspiegeling van het huidige aanbod aan producten.

Op basis van hun werkingsprincipe zijn chemische producten onder te verdelen in producten die de capillairen dichten (porievullende producten), producten die de capillairwanden waterafstotend maken en producten die beide werkingsprincipes combineren. Uit onderzoek van TNO komt naar voren dat in de meeste gevallen gekozen wordt voor producten die de capillairwanden waterafstotend maken.

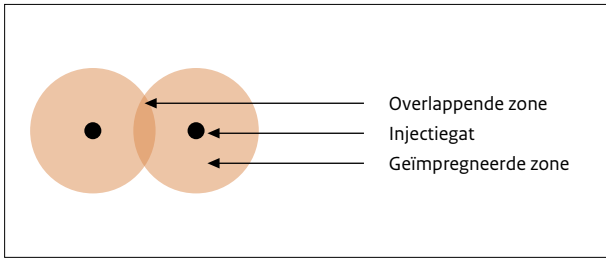
Wanneer er sprake is van hydrostatische druk van het grondwater, is een product met alleen een waterafstotend werkingsprincipe vaak niet afdoende en kunnen porievullende producten ingezet worden. In voorkomende gevallen (Rijksmuseum Amsterdam) wordt eerst een porievullend product geïnjecteerd en vervolgens een product met waterafstotende eigenschappen.¹

Tabel 1

Overzicht van injectieproducten die gebruikt zijn in TNO-onderzoek (WA = waterafstotend, PV = porievullend) (bron: Lubelli et al. 2011).

Het gebruik van crèmes heeft zowel voor- als nadelen. Applicatie van een crème is gemakkelijk en kost weinig tijd. Crèmes worden in gaten in de muur aangebracht, waarna de gaten direct gesloten worden. Hierdoor kan eventuele afwerking van de muur snel na applicatie van de crème gepland worden. Ook is het risico op wegvloeien bij een crème klein, vanwege hun hoge viscositeit. Crèmes hebben echter een lange tijd nodig om te verspreiden en te reageren. Bij hoge vochtgehaltes bestaat hierdoor het risico dat de crème erg verdund wordt.

Uit onderzoek van TNO naar de werkzaamheid van chemische producten blijkt dat het vochtgehalte van het te injecteren metselwerk een grote invloed heeft op de verspreiding van producten in organisch oplosmiddel. Deze producten kunnen namelijk niet met water mengen en zich dus niet via diffusie verspreiden. Dit betekent dat in de praktijk in natte ondergronden producten in organisch oplosmiddel altijd onder druk



Afbeelding 8

De afstand tussen de injectiegaten moet zo bepaald zijn, dat de behandelde zones elkaar overlappen (tekening auteur).

moeten worden aangebracht om te kunnen verspreiden. Watergedragen producten kunnen zich daarentegen meestal ook in met water gevulde poriën voldoende verspreiden en kunnen dus in principe ook bij drukloze applicatie effectief worden, mits polymerisatie tot stand kan komen.²

Voor alle producten geldt dat de verspreiding in de mortel slechter is dan in de baksteen, waardoor de mortel een zwakke schakel in de behandeling vormt. De literatuur vermeldt hierover dat de hogere alkaliteit van de mortel de effectiviteit van sommige injectieproducten (silicaten) kan verminderen.³

Uit recente laboratoriumexperimenten van TNO (2011) komen echter geen significante verschillen in effectiviteit naar voren tussen mortel met een hogere pH (ongecarbonateerde mortel) en mortel met een lagere pH (gecarbonateerde mortel). Uit het onderzoek blijkt echter wel dat de absorptie van het product in mortel veel trager is dan in baksteen. Dit doet vermoeden dat met name de poriegrootte van het substraat van grote invloed is op de verspreiding van een product.

De impregnatie van mortel kan dus moeilijk zijn, terwijl het behandelen van de mortel essentieel is voor het bereiken van een positief resultaat. Metselwerk bestaat immers per definitie uit mortel en (bak)steen. Het gebruik van hogere druk dan de hydrostatische druk kan helpen om een product in de mortel te krijgen, maar er moet dan wel rekening gehouden worden met de lage mechanische sterkte van de mortel, die door een te hoge druk beschadigd kan worden. Verlenging van de impregnatietijd kan in sommige gevallen (als het product niet te snel reageert) een alternatief bieden.⁴

De duurzaamheid van eenmaal werkzame producten lijkt geen probleem te zijn.⁵

Samengevat blijken de verzadigingsgraad van het metselwerk en de porieverdeling van de materialen waaruit het metselwerk bestaat, de factoren te zijn die de meeste invloed hebben op de verspreiding en daarmee op de effectiviteit van injectieproducten. De al-

kaliteit van de ondergrond en de aanwezigheid van een zoutoplossing in de poriën blijken minder belangrijke factoren te zijn.

WATERTERUGDRINGENDE SYSTEMEN

Deze methodes proberen de capillaire kracht te compenseren, waardoor water teruggedrongen wordt in het grondpakket en niet opnieuw in de muur kan stijgen. Om een permanente droging te bereiken, moeten de methodes permanent worden toegepast. Voorbeelden van deze systemen zijn elektro-osmotische en elektrokybernetische systemen. De effectiviteit van deze methodes in praktijksituaties is echter vooralsnog niet wetenschappelijk aangetoond.

Elektro-osmose

Droging door elektro-osmose is gebaseerd op het feit dat water door het creëren van een potentiaalverschil in beweging gebracht kan worden. Dit zou water uit het metselwerk terug de grond in kunnen drijven. De beweging van water door elektro-osmose moet de capillaire stijging van water compenseren. Bij deze methode worden elektrodes in de muur geplaatst. Als het potentiaalverschil wordt opgeheven, zal vocht opnieuw in de muurconstructie stijgen tot het oude niveau.

Het is de vraag of deze methode effectief kan zijn, omdat het elektrische circuit (van elektrode via vloeistof naar elektrode) tijdens droging al snel onderbroken wordt. Dan stopt het proces zichzelf voordat voldoende droging van het metselwerk is bereikt.⁶ Daarbij kan een te hoge stroomsterkte oxidatie van de elektrodes veroorzaken, wat eveneens kan leiden tot een onderbreking van het elektrisch circuit.

Bovendien is het al dan niet optreden van elektro-osmose afhankelijk van verschillende factoren. In aanwezigheid van hoge zoutconcentraties zal bijvoorbeeld elektro-osmose achterwege blijven. Bovendien blijkt het effect van de methode sterk afhankelijk van het type materiaal, aanwezigheid van verschillende materialen, de omgevingscondities en de toegepaste stroomsterkte.

Hoewel de literatuur enkele positieve resultaten vermeldt voor droging van losse materialen,⁷ moet met zo veel verschillende factoren rekening gehouden worden, dat het zeer moeilijk lijkt de methode succesvol toe te passen in de praktijk.



Elektrokybernetische systemen

Dit systeem, dat het water door magnetische impulsen terug zou dringen naar de bodem, is volgens producenten gebaseerd op het principe dat een constante en repetitieve toevoer van magnetische pulsen een verandering van de oppervlaktespanning tot gevolg zou hebben. Daardoor worden de capillaire krachten kleiner dan de zwaartekracht, waardoor het water met opgeloste zouten naar beneden wordt gedrongen. Hoewel sommige producenten dergelijke systemen als dé oplossing zien, bestaat er nog zeer veel onduidelijkheid over de werkingsprincipes. De effectiviteit van deze methode is nog niet wetenschappelijk aangetoond.

BEVORDEREN VAN VENTILATIE

Het idee van deze methodes is dat een versnelde verdamping de droging bevordert.

De eerste voorbeelden zijn de zogenaamde Knapen-sifons (afb. 9), die dateren van het begin van de twin-

Afbeelding 9 (boven)

Voorbeelden van Knapen-sifons (Amsterdam, Valkenburg) (foto's R. van Hees en auteur).

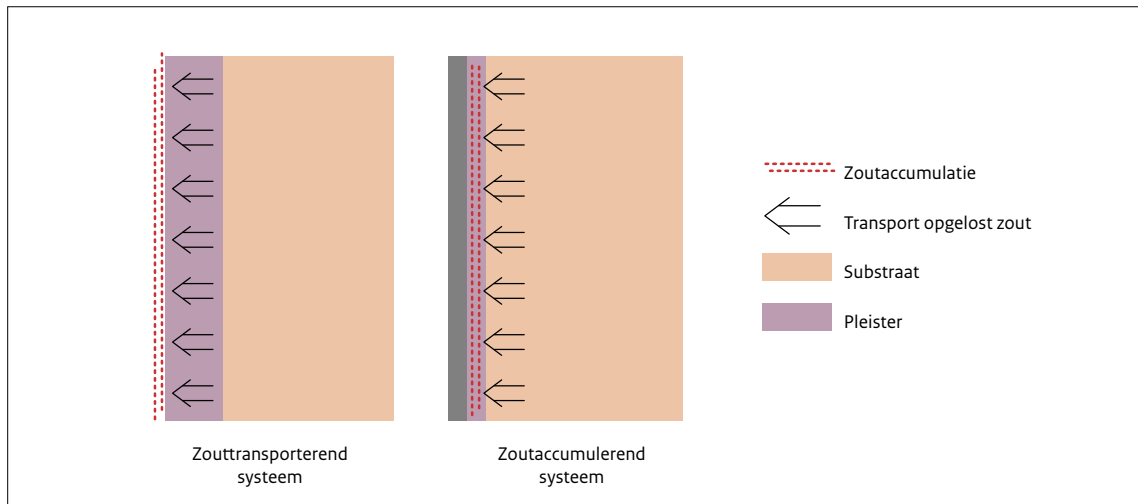
Afbeelding 10 (onder)

Rijte droogstenen (links) en detailfoto van een van deze droogstenen (rechts) (Lexmond) (foto's auteur).

tigste eeuw. Deze van oorsprong keramische buisjes worden in gaten in de muur geplaatst.

Een moderne versie van de Knapen-sifon zijn de 'droogstenen'. Deze op bakstenen lijkende stenen op cementbasis bevatten speciaal gevormde holtes. De vorm van deze holtes moet een geforceerde ventilatie veroorzaken, waardoor muur droogt. De stenen worden onder in de muur geplaatst op een onderlinge afstand van ongeveer 30 centimeter (afb. 10).

De effectiviteit van deze methodes is nooit weten-



Afbeelding 10

Zouttransporterende/zoutaccumulerende pleisters (bron: Van Hees et al. 2009).

schappelijk vastgesteld. Bovendien bestaat het risico op negatieve neveneffecten: in koude periodes kan de vergroote ventilatie tot koudebruggen leiden, met het risico op condensvorming aan de binnenzijde van de gevel.

PLAATSELIJKE DRAINAGE

Drainagepijpjes geplaatst onder in een natte muur geven in sommige gevallen positieve resultaten: het water kan effectief van de gevel worden weggevoerd en -gehouden. Echter, wanneer houten funderingen aanwezig zijn, kunnen veranderingen in het grondwaterpeil gevaarlijk zijn. Deze methode is niet effectief voor binnenwanden.

AANVULLENDE MAATREGELEN

Soms zijn aanvullende maatregelen noodzakelijk. Te denken valt aan het verhogen van de ventilatie, het verlagen van de relatieve vochtigheid, het verwijderen van een zoutbevattende pleisterlaag, het plaatsen van voorzetwanden om esthetische schade aan het zicht te ontnemen of het verschaffen van een adequate drainage.

Wanneer een muur een grote hoeveelheid oplosbare zouten bevat, kan het verstandig zijn een speciale restauratiepleister aan te brengen. Restauratiepleisters zijn speciaal ontwikkeld voor toepassing op zoutbelaste ondergronden. Deze pleisters hebben een grotere

weerstand tegen zoutschade dan traditionele pleisters. Restauratiepleisters kunnen zouttransporterend, dan wel zoutaccumulerend zijn (afb. 11):⁸

- Zouttransporterende systemen zijn bedoeld om zouten in oplossing naar het oppervlak van de pleisterlaag te transporteren. Het zout kristalliseert aan het oppervlak en de uitbloei kan eenvoudig afgeborsteld worden zonder de pleister te beschadigen.
- Bij zoutaccumulerende systemen (gebruikelijker dan zouttransporterende) accumuleren de zouten in de binnenste laag van de pleister, waar ze – door de hoge porositeit van de pleisters – kunnen kristalliseren zonder schade te veroorzaken. Migratie van het zout naar het oppervlak wordt verhindert door een waterafstotend product in de massa van de toplaag in te mengen.

CONCLUSIE BESTRIJDINGSMETHODES

Zoals uit het voorgaande blijkt, is het helaas niet eenvoudig optrekkend vocht te stoppen. De verschillende methodes hebben alle hun voor- en nadelen. Het is daarom van belang voor elke specifieke situatie te onderzoeken wat de meest geschikte methode is om optrekkend vocht te behandelen. De volgende aspecten moeten daarbij in ogenschouw genomen worden:

- opbouw en structuur van het metselwerk (massief metselwerk of aanwezigheid spouw, onregelmatigheden);
- type materiaal (alkaliteit, poriegrootte, hardheid);
- staat van conservering van het gebouw (stabiliteitsproblemen, scheuren);
- vochtgehalte in de muur;
- budget.

CONTROLE VAN HET EFFECT VAN DE BESTRIJDING

Een belangrijk onderdeel van de bestrijding van optrekkend vocht is controle van het resultaat na behandeling. Momenteel bestaat er geen geschikte methode om direct na behandeling vast te stellen of ook daadwerkelijk het gewenste resultaat is bereikt. Huidige methodes kunnen het actuele vochtgehalte vaststellen, maar direct na behandeling zal van verandering hierin nog geen sprake zijn: drogen van massief metselwerk vergt vaak jaren. Hierdoor is het ook niet mogelijk om vooraf resultaatgerichte afspraken te maken.

Om deze redenen is het belangrijk dat er een testmethode wordt ontwikkeld die direct na een behandeling onomstotelijk aantoonst of deze juist is uitgevoerd en ook daadwerkelijk het gewenste resultaat oplevert. Op dit moment werkt TNO aan de ontwikkeling van een dergelijke methode voor chemische producten. Een belangrijk uitgangspunt hierbij is dat de test de situatie in de praktijk zo goed mogelijk simuleert.

Literatuur

- Bertolini, L., et al., 2009, 'Electroosmotic transport in porous construction materials and dehumidification of masonry', in: *Construction and Building Materials*, 23(1), pp. 254-263.
- Hacquebord, A., R. van Hees & B. Lubelli, 2011, 'Resultaten verkennend onderzoek praktijksituatie. Op weg naar een testmethode voor de praktijk', in: *Praktijkreeks Cultureel Erfgoed*, aflevering 17, december, nr. 45, SDU Uitgevers, Den Haag.
- Hansen, H.K., et al., (2003), 'Electroosmotic Dewatering of Porous Materials – Experiences with Chalk, Iron Hydroxide and Biomass Sludges, and Wet Fly Ash', in: *Journal of Chemical Engineering of Japan*, Vol. 36. No. 6, pp. 689-694.
- Hees, R.P.J. van, J.A.G. Koek, 1995-1, *Bestrijding van optrekkend vocht in muren*, TNO rapport 94-BT-R0719.
- Hees, R.P.J. van, and Naldini, S., 1995-2, 'The Masonry Damage Diagnostic System', in: *International Journal for Restoration of Buildings and Monuments*, 1(6), pp. 461-473.
- Hees, R.P.J. van, J.A.G. Koek, 1996, *Optrekkend vocht. Handleiding voor de bestrijding*, SBR, Rotterdam.
- Hees, R.P.J. van, et al., 2008, 'The use of MDDS in the visual assessment of masonry and stone structures', in: *Proceedings of the First International RILEM Symposium On Site Assessment of Concrete, Masonry and Timber Structures*, L. Binda, M. di Prisco, and R. Felicetti, eds., RILEM Publications S.A.R.L., Varenna, Italy, pp. 651-660.
- Hees, R.P.J. van, Silvia Naldini, Jose Delgado Rodrigues, 2009, 'Plasters and renders for salt laden substrates', special issue Compass, in: *Construction and Building materials*, Vol 23, No 5, May 2009, pp. 1714-1718.
- Lubelli, B., R.P.J. van Hees & A. Hacquebord, 2011, 'Laboratorium-onderzoek naar factoren die de effectiviteit van producten tegen optrekkend vocht beïnvloeden', in: *Praktijkreeks Cultureel Erfgoed*, aflevering 17, december, nr. 45, SDU Uitgevers, Den Haag.
- Nasraoui, M., Nowik, W., Lubelli, B., 2009, 'A comparative study of hygroscopic moisture content, electrical conductivity and ion chromatography for salt assessment in plasters of historical buildings', in: *Construction and Building Materials*, 23, p. 1731-1735.
- Tammes, E., Vos, B.H., 1984, 'Warmte- en vochttransport in bouwconstructies', tweede druk (herziene druk), Kluwer Technische Boeken B.V. Deventer-Antwerpen. Balen, K. van, et al., 1999, *Expert system for the evaluation of the deterioration of ancient brick structures*, Research Report no.8, vol. 1, European Commission.
- Witteveen, A.J.M., 2002, 'Een nieuwe injectietechniek tegen optrekkend vocht- en zouttransport', in: *Praktijkboek Instandhouding Monumenten*, Deel II-4 Buitenwanden, aflevering 11 (september).

Noten

- 1 Witteveen 2002.
- 2 Lubelli et al. 2011.
- 3 Hees en Koek 1995-1.
- 4 Lubelli et al. 2011.
- 5 Hacquebord et al. 2011.
- 6 Bertolini et al. 2009.
- 7 Bijvoorbeeld Hanssen et al. 2003.
- 8 Hees et al. 2009.

21



Oplossen vochtproblemen: drie voorbeelden

Van afsluitend naar ademend

Vochtproblemen probeert men regelmatig te bestrijden door ‘afsluitende’ maatregelen. Men past materialen toe die de droging van het metselwerk beperken. Door meer ademende materialen te gebruiken, kan vochtoverlast worden verholpen. In dit hoofdstuk staan drie voorbeelden beschreven waarbij ingrepen zijn uitgevoerd met ademende materialen en waar het vochtgehalte over meerdere jaren is gemeten. De aanpak blijkt succesvol.

Oorspronkelijk was massief metselwerk altijd ademend. Maar daarvan waren de bouwers van toen zich niet bewust. De destijds voorhanden bouwmaterialen waren in principe dampopen en de bouwwijzen beperkten die kwaliteiten niet.

Met de uitvinding van het portlandcement, van kunstharsen als bindmiddel in verven en met name ook van oplosbare siliconenverbindingen die een hydrofobe werking hadden, kwam ‘afsluiten’ in zwang. Met harde gevelreinigingstechnieken werden patina en vervuiling verwijderd die de vochtopname op natuurlijke wijze beperken. Om de toename van vochtopname vervolgens weer te beperken werden op grote schaal hydrofo-beermiddelen toegepast. Dit was zeker dertig jaar lang staande praktijk. In de renovatiebouw overigens nog steeds. (Lees meer over hydrofo-beermiddelen in het hoofdstuk over oppervlaktebehandelingen.)

Ook het overnemen van materialen en uitvoeringswijzen uit de nieuwbouwsector (gebaseerd op spouwmu- ren) bij de restauratie van massief metselwerk droeg bij aan het ‘afsluiten’ van metselwerk. Dit leidde veelal tot meer vochtproblemen, met als gevolg daarvan houtrot

en vorst- en zoutschade aan metselwerk. Lekkages en hoge vochtgehalten hebben bovendien negatieve effec- ten op het leefklimaat en energieverbruik. De gevolgen waren vaak zo ernstig dat een nieuwe restauratieve ingreep nodig bleek om de vochtproblemen op te lossen.

Door voortschrijdend inzicht wordt inmiddels voor een omgekeerde benaderingswijze gekozen: maatre- gelen zijn erop gericht het ademend vermogen van de buitenschil te vergroten om zo het drogen van de constructie te optimaliseren (het ‘ademconcept’). Bovendien worden hoge eisen gesteld aan een vak- kundige uitvoering van de maatregelen.

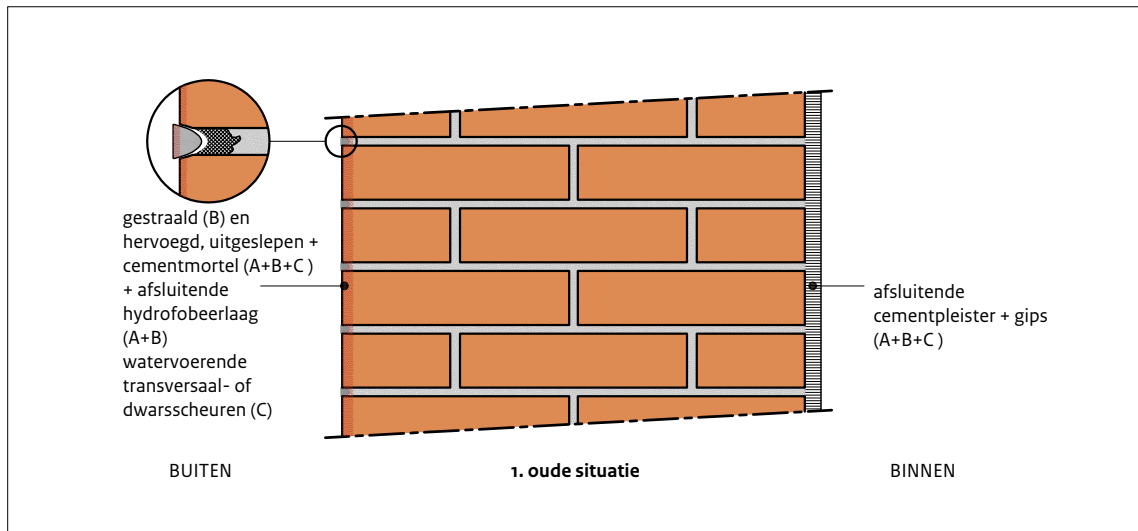
AFSLUITEN

Er bestaan veel voorbeelden van deze benaderingswijze. Op zich is het beperken van de vochtindringing van alle tijden. Van oudsher worden doorslaande muren afgewerkt met bijvoorbeeld pleisterlagen, teerlagen (op of onder pleisterwerk), of waterdichte verflagen direct op de buitenhuid. Door het nadeel van deze methoden – ze veranderen immers het uiterlijk van het gebouw drastisch – werden ze beperkt toegepast. Bijvoorbeeld op zuidwestelijk georiënteerde geveldelen of metsel- werk onder maaiveld niveau.

Hydrofo-beermiddelen zijn transparant en daardoor makkelijk op grote schaal toe te passen. Ze lijken aan- trekkelijk omdat deze middelen volgens de aanbeveling

Afbeelding 1

Restauratievoegwerk vereist vakmanschap (foto Vakgroep Restauratie).



Afbeelding 2

'Afsluiten': aan de binnenzijde een dampdichte pleisterlaag, aan de buitenzijde afsluiting door een combinatie hydrofoberen en dichte cementvoegen (afbeelding auteurs).

van de producten regen buitenhouden en het drogen niet belemmeren, zodat de muur in de loop der tijd steeds droger zou worden. De praktijk leert, zeker bij stenen molens, dat dit vaak niet het geval is.

In de jaren 2000-2001 vond een praktijkonderzoek plaats bij 25 gehydrofobeerde bakstenen molenrompen.¹ Daarbij bleek dat de vochtproblemen toenamen in plaats van afnemen. En dat was zó ernstig dat in kringen van molenaars en molenbeheerders de term 'de stenen molenziekte' ontstond.

Vergelijkbare bevindingen zijn er bij andere bouwwerken met massieve muren gemetseld met kalkgebaseerde mortels, zoals kerktorens (vóór circa 1880), kastelen en stadstorens. Een belangrijke reden voor vochtproblemen na hydrofoberen, is dat vaak op onvoorziene wijze toch vocht van buitenaf de muur indringt. Denk bijvoorbeeld aan lekkage van goten, micro-scheurvorming in het hechtvlak van te harde starre (cement)voegen door cyclische thermische spanningen en/of trillingen bijvoorbeeld bij molens (afb. 3). Daar komt bij dat hydrofoberen het drogen van muren sterk vertraagt (afb. 4).

Het kenmerk van een 'afsluitconcept' is dat het indringen van vocht van buitenaf wordt beperkt met water- en dampdichte materialen, wat de natuurlijke droging van het metselwerk sterk belemmert.

Ook dampopen impregneermiddelen kunnen dat effect hebben, zeker indien een dergelijke behandeling is gecombineerd met andere materialen of maatregelen die de droging beperken, zoals een dampdichte verf of pleisterlaag aan de binnenzijde. Vaak is er sprake van een combinatie van materialen of factoren die elkaar negatief versterken waardoor het metselwerk niet meer kan drogen. Het 'overjaseffect' (bufferwerking) van de muur gaat dan verloren. (Zie ook hoofdstuk 12 over vochtabsorptie en droging.)

Boven het kritisch vochtgehalte in de hele doorsnede gaat de muur doorslaan of – als de muur ook binnen is afgesloten door een waterdichte pleisterlaag – er gaat bij de dunste plekken (zoals balkopleggingen) water naar binnen lekken.

Afsluitende maatregelen leiden dus in de praktijk veelal niet tot een verlaging, maar tot een verhoging van het vochtgehalte in de muur.

ADEMEN

Gevoelsmatig lijkt het effectiever om door afsluiting vochtoverlast te bestrijden, dan door regenwaterindringing te accepteren door materialen te gebruiken die droging bevorderen. Die 'drogende' materialen nemen immers meestal ook gemakkelijk vocht op. Daarom definiëren we ademende materialen als volgt: Ademende materialen zijn materialen die, mits goed aangebracht, vocht (regenwater) relatief langzaam opnemen, maar bij wind en zon het in het materiaal aanwezige vocht ongehinderd laten uitdampen.

Het belang van het 'ademprincipe' is eigenlijk opnieuw ontdekt, door voortschrijdend inzicht. Waar-

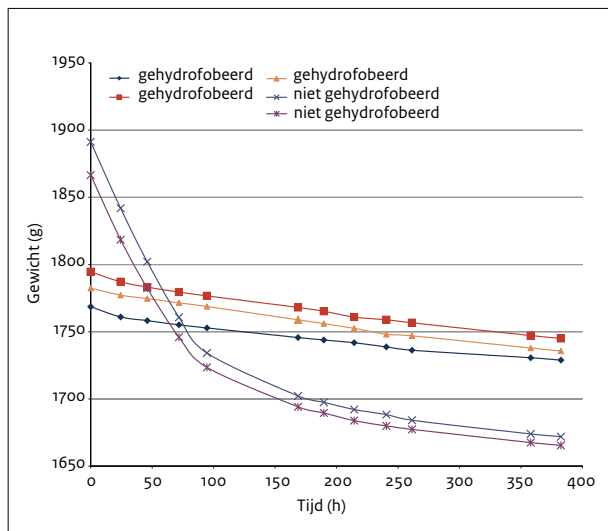


Afbeelding 3

Te harde cementvoeg worden om verschillende redenen uitgedrukt (foto auteurs).

nemingen en analyse van schadebeelden en laboratoriumonderzoeken als gevolg van de ernstige vochtproblemen aan monumentale bouwwerken in massief metselwerk in de jaren zestig en negentig, die volgens het 'afsluitprincipe' waren gerestaureerd, leidden tot een aantal wetenschappelijke onderzoeksprojecten in Nederland zowel als in Europees verband waaruit het belang van de toepassing van ademende materialen naar voren is gekomen.²

Let wel: bij het 'ademconcept' is vochtopname onder invloed van regen (en wind) bij goed metselwerk begrensd. Door via de restauratiemaatregelen zo veel mogelijk een goed contact tussen mortel en steen te realiseren en gaten op te vullen (vol-en-zat metselwerk zonder krimpnaad op het hechtvlak steen-mortel) bevordert men relatief langzaam vochttransport. Langzaam capillair vochttransport beperkt de vochtopname, maar draagt wel bij aan de droging. Terwijl spleten en holten leiden tot vrije vochtstroming en snelle opname, en droging belemmeren. In veel gevallen van baksteen-mortelcombinaties zal de mortel door zijn fijnere porositeit als een barrière gaan werken. Omdat de buitenste steen verzadigd raakt wordt het regenwater al heel snel niet meer in de muur gezogen en loopt het eerder van de muur af. Ook mag de toe te passen inboetsteen niet te sterk zuigend zijn. (Zie voor meer informatie ook het hoofdstuk over vochtabsorptie en droging.)



Afbeelding 4

Verschillen in drooggedrag tussen gehydrofobeerde en niet-gehydrofobeerde stenen (bron: Groot en Gunneweg 2002).

'ADEMENDE' OPLOSSINGEN

Hoe worden deze inzichten nu vertaald naar de praktijk, naar concreet toe te passen materialen, uitvoeringswijzen en bouwkundige detailleringen?

Een aantal maatregelen komt in aanmerking om het metselwerk weer 'ademende' eigenschappen te geven. Denk daarbij aan samenstelling en gedrag van het voegwerk, de binnenpleister en de toe te passen muurverf; daarnaast aan de effecten van ventilatie en vakmanschap (afb. 5, 6 en 7).

Voegwerkherstel

We moeten terug naar 'vroeger', toen vooral luchtkalk als bindmiddel werd gebruikt en er nog geen portlandcement bestond, zo wordt vaak beweerd in het veld. Deze gedachte ligt voor de hand, maar is om een aantal redenen te simpel: de omgevingscondities (met name zouten die zich hebben opgehoopt in het metselwerk) kunnen funest zijn voor een duurzame pure luchtkalkoplossing. Wat dan wel?

Bij traditioneel historisch metselwerk met kalkmortel kom je uit op het gebruik van natuurlijke hydraulische kalk, al dan niet versterkt met een beetje hoogovencement. Of als alternatief: luchtkalk, idem versterkt met een beetje hoogovencement. Pure luchtkalk zal niet voldoen.

Naast dit materiaalgebruik is van belang de oude voegen goed uit te hakken, naast een goede menging,



voorbevochtiging en adequate uithardingscondities voor de mortel. In projecten waar in de jaren 2005 -2011 harde cementvoegen zo zijn vervangen met dergelijke compatibele goed drogende voegmortels, bleken de voegen zich ook tijdens de vorst van twee winters goed te gedragen.

Binnenpleisterwerk

Binnenpleisters dienen eveneens goede drogende eigenschappen te hebben. In situaties waarin de zoutbelasting gering is, kan een poreuze pleister op basis van natuurlijke hydraulische kalk succesvol worden toegepast. Ook wanneer er wél zouten in de muur zitten, maar de muur droog is – dus wanneer er geen migratie plaatsvindt van de zouten –, is dit een mogelijkheid. Hebben we echter te maken met zouten én vocht (wat vaak voorkomt), dan blijkt in de praktijk de toepassing van een kalkpleister riskant. Een zogenaamde vocht- en zoutbestendige restauratiepleister (dat voldoet aan de WTA-normen daarvoor) heeft dan de voorkeur. Er bestaan zowel zoutbufferende als zoutdoorlatende systemen.

Muurverf

Om de muur beter te laten ademen, past men dampopen muurverven toe, dus met een lage dampdiffusieweerstand (S_d). Hiervoor komen mineraalverven of siloxaanverven in aanmerking met een door producenten geclaimde S_d -waarde van 0,01-0,05 m. Bij kunsthars-

Afbeelding 5 (linksboven)

Op de timmermansmanier gemaakte toevoer voor ventilatielucht in de molen te Maassluis (foto auteurs).

Afbeelding 6 (linksonder)

Zwart geleverde woningventilatie aangebracht in de molen te Maassluis (foto auteurs).

Afbeelding 7 (rechts)

Puur vakmanschap: voldoende diep uithakken zonder schade aan de baksteen. Het metselwerk is daarna voorzien van een prefabmortel op basis van luchtkalk en kunstmatige puzzolaan (foto auteurs).

gebonden verven moet deze waarde zeker tien keer zo hoog liggen. Binnen kan ook witkalk worden toegepast. Bij buitentoevoering is dit uit kostenoverweging meestal niet meer realistisch, omdat dit iedere twee jaar opnieuw moet gebeuren.

Ventilatie

Uit recent onderzoek blijkt dat bij massief metselwerk in onverwarmde ruimten een ventilatievoud of debiet (het aantal malen per uur dat de inhoud van een ruimte wordt ververs) nodig is van $n = 1,7$ tot 2, om van binnenuit voldoende droging te verkrijgen.³ Slimme aanpassingen van detailleringen van ramen, deuren en kozijnen kunnen ervoor zorgen dat het regenwater buiten blijft, maar er wel natuurlijke ventilatie plaatsvindt

ONDERHOUD ADEMEND BINNENPLEISTERWERK

Het komt voor dat bij onderhoud een zorgvuldig uitgekozen ademend binnenpleistersysteem wordt ondergekwest met latexverf. Dat gaat echter binnen een paar jaar bladderen, de pleisterlaag wordt vochtig, de muur wordt op de verfhuid in de winter nat door condens, en er komen schimmels en algen op. Dan moet er veel werk worden gedaan om deze goedbedoelde fout te verhelpen. Want dat betekent verf afsteken. En waar deze blijft zitten de afwerklaag van de pleister met de verflaag afbikken en vervangen door nieuwe ademende afwerklaag. En tot slot: afwerken met een damp-open muurverf.

(afb. 5). In een enkel geval kan men voor voldoende debiet zorgen, door een simpele elektrische woningventilatie-unit te installeren in combinatie met voldoende luchttoevoer op de begane grond (afb. 6).

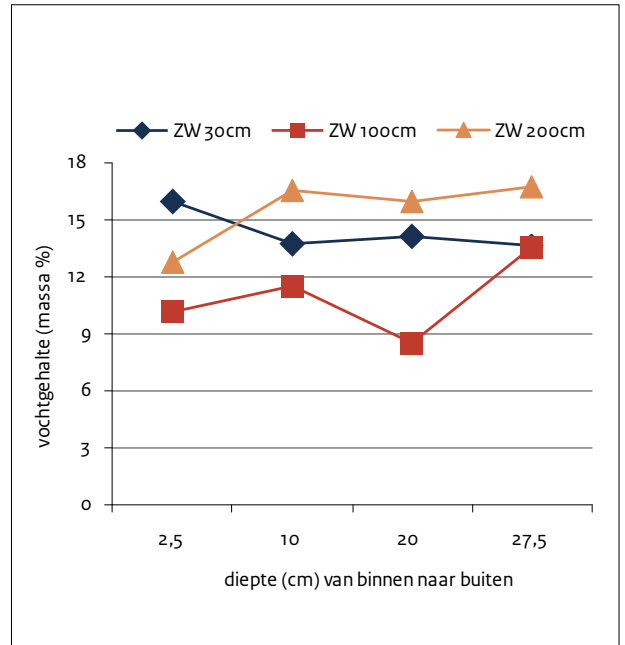
Vakmanschap

Telkens weer blijkt dat de slaagkans van vochtsanerende maatregelen globaal voor de ene helft afhangt van de juiste materiaalkeuzen, maar voor de andere helft van de factor 'vakmanschap' (afb. 7). Wat restauratievoegwerk betreft dit vereiste vakmanschap zeker ook het uithakwerk. Dit wordt nog steeds wel onderschat en vaak verder uitbesteed, waarbij het hakwerk wordt gezien als een vorm van 'sloopwerk'. Soms zijn de resultaten er dan ook naar.

Het is daarom belangrijk bij aanbesteding te streven naar voorselectie op vakmanschap. Men kan hierbij een per situatie aan te passen 'vakbekwaamheidsproef' hanteren; in dit geval het uithakken en voegen van een proefvak voor herstelvoegwerk. Men kan niet eisen dat dezelfde vakman die een goede proef heeft opgezet ook het werk uitvoert, maar in ieder geval is er dan een referentie van het niveau waarop gewerkt moet worden.

DRIE VOORBEELDEN

Hierna gaan we nader in op drie voorbeelden van de aanpak van vochtproblemen in molens: de Wippersmolens in Maassluis, het gemaal in Kwintsheul en de molen 'De vier winden' in Monster) (zie afb. 9).



Afbeelding 8

Voorbeeld vochtprofielen (van binnenuit) in zuid-westmuur (gemaal Kwintsheul); nulsituatie, 26 maart 2003 (afbeelding auteurs).

Vooronderzoek

Allereest is bij deze molens vooronderzoek uitgevoerd. Voor het herstellen van massief metselwerk volgens het 'ademprincipe' bestaat geen standaardformule, daarvoor zijn de uitgangscondities per project te zeer verschillend. Het is daarom aan te bevelen een bouwkundig en bouwfyfisch vooronderzoek uit te voeren dat op de situatie (omvang project, complexiteit schade-phenomenen, cultuurhistorische waarde) is toegesneden. Naast een gedegen bouwkundige inspectie behoort hiertoe (al naar gelang de situatie) ook het bepalen van de mate van zoutbelasting en het vaststellen van vochtprofielen op diverse goed gekozen plekken. Dit laatst kan door het gravimetrisch (via wegen) meten van vochtgehalten van gruismonsters uit verschillende muurdiepten (zie afb. 8). Wie ervaring heeft met het lezen van dergelijke vochtprofielen, kan hieruit belangrijke informatie halen over de aard van vochtproblemen.

Monitoring

En.... werkt het? Bij ideeën die eerst getest zijn met behulp van laboratoriumexperimenten (microsfeer) is het natuurlijk de vraag of de toepassing daarvan ook werkt in de praktijk (de macrosfeer). In een aantal



Afbeelding 9

Drie onderzochte molens: linksboven de Wippersmolen in Maassluis, onder het gemaal in Kwintsheul en rechtsboven de molen 'De vier winden' in Monster (foto's auteurs).

Afbeelding 10 (pagina hiernaast, boven)

Maatregelen in drie casussen om het drogen van metselwerk te bevorderen. A en B waren gehydrofobeerd, C niet. Geen van de drie objecten werd bij de herstelwerkzaamheden (opnieuw) gehydrofobeerd (afbeelding auteurs).

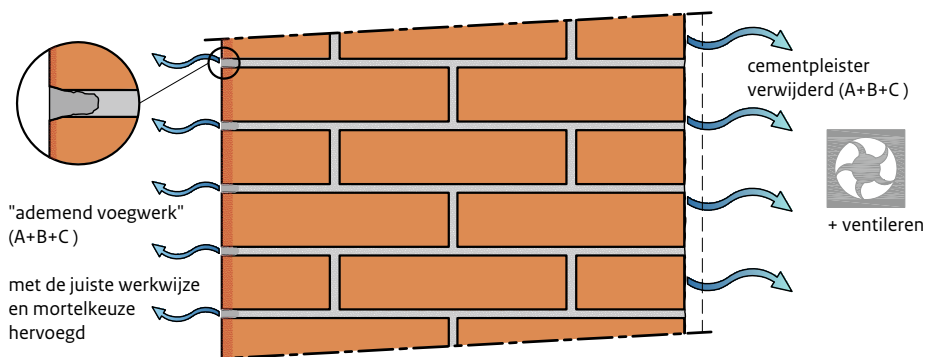
Afbeelding 11 (pagina hiernaast, midden)

Overgang 'afsluiten' naar 'ademen'; droging van binnenuit bevorderen (afbeelding auteurs).

Afbeelding 12 (pagina hiernaast, onder)

'Ademconcept', eindsituatie (afbeelding auteurs).

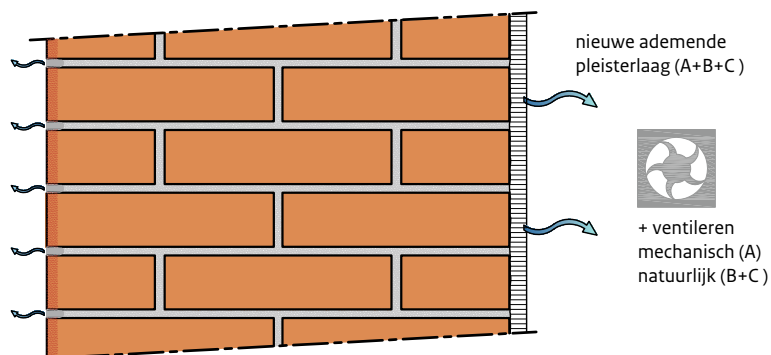
	oude situatie				nieuwe situatie		
	Maassluis	Kwintsheul	Monster		Maassluis	Kwintsheul	Monster
	A	B	C		A	B	C
voegwerk	afsluitend	afsluitend	afsluitend		ademend	ademend	ademend
	cement	cement	cement		zwak hydraulisch	zwak hydraulisch	zwak hydraulisch
pleisterwerk	afsluitend	afsluitend	afsluitend		ademend	ademend	ademend
	cement	cement	cement		NHL	WTA	WTA
ventilatie	natuurlijke ventilatie slecht	natuurlijke ventilatie matig	natuurlijke ventilatie matig		kunstmatige ventilatie goed	natuurlijke ventilatie verbeterd	natuurlijke ventilatie verbeterd



BUITEN

2. droogproces
na inwendig ontpleisteren
en uitwendig hervoegen

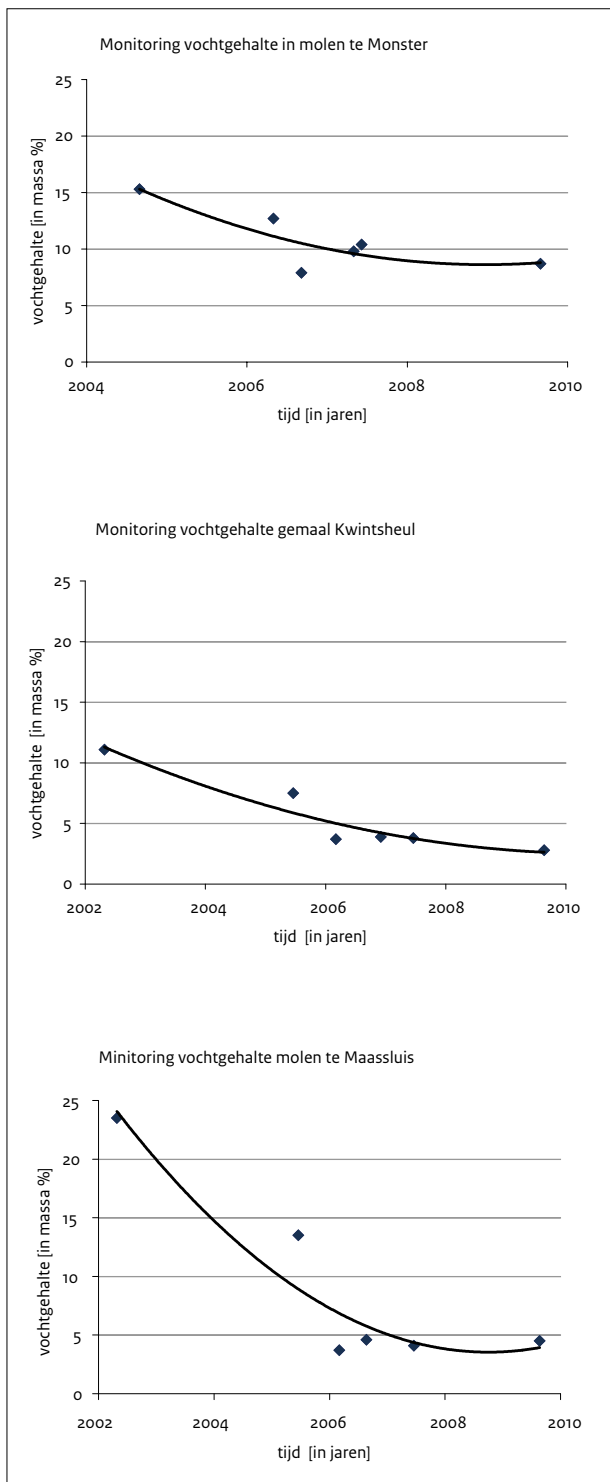
BINNEN



BUITEN

3. nieuwe situatie

BINNEN



Afbeelding 13

Grafieken monitoring vochtgehalte bij Wippersmolen (Maassluis), Gemaal (Kwintsheul) en molen De vier winden (Monster) (afbeeldingen auteurs).

projecten die in het verleden gerestaureerd waren met (zoals bleek) falende afsluitende maatregelen, werden de vochtproblemen nu aangepakt door maatregelen te treffen die droging bevorderen.

In drie van die gevallen (de hierboven genoemde voorbeelden) is in de periode 2002-2009 met enige regelmaat het vochtgehalte in de muur gemeten met een zogeheten TRIME-sensor (zie referentiehoofdstuk).

Hierbij werd op de oorspronkelijk meest natte locatie gemeten. En ten slotte is in augustus 2009, ter verificatie, nogmaals een gravimetrische vochtgehaltebepaling uitgevoerd. Het verloop is weergegeven in afbeelding 13.

TOT SLOT

De daling van het vochtgehalte door ingrepen volgens het 'ademconcept' blijkt aanzienlijk, onder meer bij de Wippersmolen. Het binnenklimaat is een stuk behaaglijker geworden, door het omkeren van de negatieve spiraal van elkaar versterkende factoren in de vochthuishouding in de muren.

Verbeterde ventilatie voert luchtvocht af. Poreuze, vochtabsorberende binnenpleister zorgt dat het weinige condens dat bij lage temperaturen nog ontstaat, door de pleister wordt geabsorbeerd en verdampt zodra de temperatuur weer stijgt. Daardoor zijn er dus geen klamme wanden meer of ontwikkeling van alg of schimmel.

Bij twintig andere projecten, niet gemonitord maar volgens dezelfde benaderingswijze hersteld (onder andere de torens van Goedereede, Domburg, Overschie, Balgoij, de kerk te Oirschot, en molens in Wijk bij Duurstede en Roozenburg), kon door een visuele inspectie en mededelingen van de gebruikers hetzelfde worden vastgesteld.

Naar aanleiding van deze resultaten kan men gerust ook een vraagteken plaatsen bij de regelmatig gehoorde opvatting dat men een eenmaal gehydrofobeerde muur van een historisch monument bij hervoegen opnieuw moet hydrofoberen. Opnieuw hydrofoberen blijkt uit de gemonitorde gevallen niet nodig en waarschijnlijk ook ongewenst.

Literatuur

- Balen, K. Van, et al., 2003, *Kalkboek – het gebruik van kalk als bindmiddel in verleden en heden*, Zeist.
- Banfill, P., and A. Foster, 1999, 'Breathing'a relationship between hydraulicity and permeability of hydraulic lime', paper 17, In : *Proceedings PRO 12, International RILEM workshop*, Paisley Scotland.
- Depraetere, W., et al., 'Moisture Transfer at Interfaces of Porous Materials: Measurements and Simulations', In: *Proceedings of the International RILEM Workshop*, Paisley, Scotland. pp. 249-259.
- Hall, C., and W. Hoff, 2002, *Water transport in brick, stone and concrete*, Londen.
- Hecht, C., et al., 2005, *WTA Merkblatt 2-9-04/D Sanierputzsysteme*, München.
- Groot, C.J.W.P., et al., 2001, 'Potential of the TRIME Probe for the determination of moisture content changes in monuments', In: *Proceedings International Millennium Congress, Icomos, Unesco*, Vol. 1-1b, No. 18.
- Groot, C.J.W.P., en J. Gunneweg, 2002, *Vochtproblematiek stenen molens*, TUD faculteit CiTG, Delft.
- Groot, C.J.W.P., en J. Gunneweg, 2007, *Kwaliteitseisen restauratiebaksteen en metselmortels in kalk*, TUD faculteit CiTG, Delft.
- Groot, C.J.W.P., en J. Gunneweg, okt. 2009, *Hydrofoberen – van de regen in de drup?*, Delft/Muiderberg.
- Groot, C.J.W.P., en J. Gunneweg, 2011, *Rapportage Detectie & injectie lekkageveroorzakende holten in massief metselwerk*, TU Delft, Fac CiTG, Delft.
- Groot, C.J.W.P., et al. 2011, *Rapportage Regenwateropvangende Bouwkundige Voorzieningen bakstenen windmolens*, TU Delft, Fac. CiTG, Delft.
- Groot, C.J.W.P., et al., 2012, *Rapportage Voegherstelmortels voor zoutbelast historisch metselwerk*, TU Delft, Fac CiTG, Delft.
- Künzel, H.M. van, K. Kieszl, 1996, 'Drying of brick walls after impregnation', in: *Bauinstandsetzen 2*, Ed 2, pp. 87-100.
- Lubelli, B., et al., 2001, 'The role of pointing mortar in the damage due to salt cristallisation', paper 5.6 in: *Maintenance of pointing in historic buildings; Decay and replacement*; EC Environment Programme ENV4-CT98-706.
- Sass, O., and H.A. Viles, 2010, 'Wetting and drying of Masonry walls', in: *Journal of Applied Geophysics*, Vol.70, Issue 1, Jan., pp.72-83.
- Thomson, M.L., et al., 2004, 'Porosity of historic mortars', 13TH *International Brick/Block Masonry Conference*, Amsterdam, TU-Eindhoven, pp. 1-10.
- Vermeltfoort, A., et al., 1999, 'Thermal strains in repointed masonry; preliminary investigations using ESPI' (paper 31), in: *Proceedings PRO 12, International RILEM workshop*, Paisley Scotland.
- Wijffels, T., et al., 2001, 'The influence of pointing mortar on the risk of frost damage to masonry' (paper 5.2.), in: *Maintenance of pointing in historic buildings; Decay and replacement*; EC Environment Programme ENV4-CT98-706.
- Wijffels, T., et al, 1997, 'Performance of Restoration Plasters Proceedings', 11th *International Brick-Block Masonry Conference*, Shanghai.

Noten

- 1 Groot en Gunneweg 2002.
- 2 Zie onder meer Banfill & Foster 1999, Sass & Viles 2010 en Wijffels et al. 2001.
- 3 Groot et al. 2011.

GAATJES

Een relatief zeldzaam fenomeen vormen de bakstenen met reeksen ondiepe gaatjes die tijdens het productieproces, voorafgaand aan het bakken, in de natte klei werden gedrukt (rechtsonder, foto auteur). De gaatjes zijn zowel op de strekken als de koppen waarneembaar en variëren per geval in aantal en vorm. Het gaat om grote partijen steen die zonder enige systematiek in relatie tot de nummers verwerkt zijn bij het metselen. Voorbeelden zijn vooral bekend uit Duitsland en de stad Groningen, waar in het bovendeel van de zeventiende-eeuwse rechterzijgevel van Ossemarkt zes bakstenen zijn verwerkt met de nummers 1 tot en met 6. De achttiende-eeuwse

uitbouw van de linkerzijgevel van het pand Oosterstraat 71 – zichtbaar vanaf het Gedempte Zuiderdiep – kent alleen stenen die 1 tot en met 4 nummers en eveneens willekeurig in het muurvlak zijn verwerkt (onder, foto auteur). De reden voor de gaatjes is vooralsnog onduidelijk. Mogelijk gaat het om partijen steen die vanwege de maatvoering, kwaliteit of afrekeningen traceerbaar/controleerbaar moesten zijn. Misschien ligt de sleutel voor de verklaring wel op de Nieuwmarkt in Amsterdam, waar de twintigste-eeuwse straatklinkers in het platte vlak van dezelfde soort gaatjes zijn voorzien (rechtsboven, foto Dirk de Vries).

Albert Reinstra





22



Het geveloppervlak van dichtbij bekeken

Eigenschappen en waarde van de huid

Bij de beleving en waardering van historische gebouwen spelen vorm, kleur, textuur en glansgraad van het materiaaloppervlak, al dan niet met patina, een belangrijke rol. Dit hoofdstuk gaat in op enkele materiaal-kundige aspecten die bepalend zijn voor de uitstraling van historisch metselwerk en het behoud daarvan. Het geeft ook de visie van de Rijksdienst voor het Cultureel Erfgoed op thema's die vaak aan de orde komen in het veld, zoals het geveloppervlak, de 'bakhuid', patina, gevelreiniging, hydrofoberen.

Aspecten die de beleving van een gevel bepalen, zijn niet altijd even grijpbaar. Het geveloppervlak wordt misschien daarom ook wel aangeduid als 'de huid' van het monument. Soms zijn aan het oppervlak sporen zichtbaar van fysisch-chemische processen die zich dieper in het materiaal voltrekken. De sporen laten zien dat metselwerk poreus is en dat 'de huid ademt'. De processen en het vochttransport in het materiaal beïnvloeden de uitstraling, het functioneren en de degradatie van het gevelmateriaal.

Aanpassingen en reparaties aan metselwerk zijn altijd mogelijk, maar laten zich moeilijk verbergen. In metselwerk is de geschiedenis afleesbaar. Het heeft daardoor een eerlijk karakter en toont zijn authenticiteit feilloos. Behoud van oorspronkelijk materiaal en details dragen niet alleen bij aan behoud van de cultuurhistorische waarde of duurzaam gebruik. Uit

onderzoek is gebleken dat behoud van authenticiteit en historische details ook medebepalend zijn voor de financiële waarde van het monument. Door een ondoordachte ingreep kan de waarde substantieel dalen.¹ Dat geldt zeker voor werkzaamheden aan de gevel.

DE BAKHUID BESTAAT NIET?

In de monumentensector spreekt men vaak over de bakhuid van baksteen. Dat gebeurt dan met name in een context waarbij het natuurlijk verouderde oppervlak van metselwerk beschadigd dreigt te raken door een ingreep. Verlies van de oorspronkelijke textuur van de steen en het vaak gekoesterde patina zijn dan een punt

Afbeelding 1 (links)

Kleurrijke schakering bakstenen en fraai rond venster met geslepen bakstenen bij de twaalfde eeuwse Nicolaaskerk in Oldenzijl (foto Michiel van Hunen).

Afbeelding 2 (rechts)

Baksteen met restanten van een gladde vormhuid die vaak als bakhuid wordt benoemd (foto Taco Hermans).





Afbeelding 3 (links)

Vakkundig en mooi geslepen en geschuurd metselwerk bij een metselaars(gilde)proef uit 1660, in de gildekamer van De Waag in Amsterdam (foto Michiel van Hunen).

Afbeelding 4 (onder)

De bijzonder strak- en holgeslepen voorgevel van het Van de Perrehuis in Middelburg, gebouwd in 1765 (foto RCE).

van zorg. Met de bakhuid wordt dan de dichte gladde toplaag van de baksteen bedoeld.

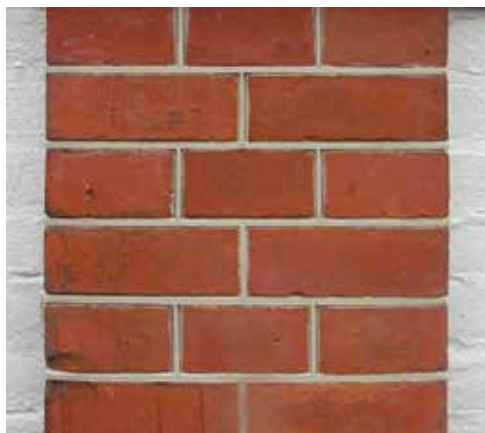
Vaak wordt ook verondersteld dat het oppervlak meer is gesinterd dan de kern van de steen waardoor een 'bakhuid' zou ontstaan. Maar een standaard baksteen heeft geen bakhuid in die zin.² Het bakken van de stenen gaat zo geleidelijk, dat in de gehele doorsnede

van de steen de klei in dezelfde mate sintert; de technische eigenschappen van het oppervlak zijn daardoor gelijk aan die van de kern (zie ook het hoofdstuk over baksteenproductie).

De homogene structuur over de doorsnede is overigens goed zichtbaar bij metselwerk dat is gemetseld met in vorm geslepen bakstenen³ of dat is geschuurd. Deze technieken zijn vooral in de zeventiende en achttiende eeuw toegepast, om bijzonder gevormd of zuiver metselwerk te realiseren. Bekende voorbeelden daarvan zijn de metselaars(gilde)proeven in de Waag in Amsterdam of de strak- en holgeslepen gevel van het Van de Perrehuis in Middelburg (afb. 3 en 4).

Echter, de term 'bakhuid' is in de monumentensector niet zomaar in zwang geraakt. Bij veel oud metselwerk heeft het oppervlak immers een andere uitstraling of andere eigenschappen dan de kern van de steen. Het oppervlak van een doorsnee baksteen kan door allerlei oorzaken extra glad en verdicht zijn, of zijn verglaasd





of een andere kleur hebben. En juist bij monumenten doet dat verschil ertoe. Niet alleen vanwege het beeld of de bouwhistorische informatie, maar ook omdat het de vochtopname kan beïnvloeden.

Vormhuid, verglazing en reductie

Bakstenen kunnen een glad en visueel verdicht oppervlak krijgen tijdens het vormen van de steen, afhankelijk van de productiewijze. Zo kan zich in de vorm of bij het vormen een verhoogd percentage fijne kleideeltjes aan het buitenoppervlak van de steen verzamelen.⁴ Kleideeltjes kunnen – met name bij strengperssteen⁵ – ook een oriëntatie krijgen, dat wil zeggen dat de plaatvormige mineralen in dezelfde richting komen te liggen. Dit kan een ‘vormhuid’ worden genoemd.

Door bijzondere omstandigheden kan de klei aan het oppervlak verglaasd en mogelijk ook een andere kleur krijgen. Dit kan in een historische oven ontstaan door een tijdelijk hogere oventemperatuur, een plaats direct naast de warmtebron of door chemische bestanddelen in klei, zand of ovenatmosfeer (vooral bepaald door brandstof).

Stoffen die tijdens het stoken in de oven aanwezig zijn, kunnen aan het oppervlak van de stenen reageren met de klei, waarbij een verglaasd oppervlak ontstaat. Met name in veldovens was dat vroeger regelmatig het geval, omdat de omstandigheden in zo’n oven minder goed kunnen worden gecontroleerd. Zo geeft turfstook een bijzonder verglaasd oppervlak met een zilverachtige kleur.

Het oppervlak van de steen kan ook een andere kleur krijgen door een ‘reducerende’ ovenatmosfeer, dat wil zeggen door de toevoer van zuurstof tijdens het bakken te beperken.

Afbeelding 5 (links)

Bakstenen met een glad en dicht oppervlak (foto Michiel van Hunen).

Afbeelding 6 (rechts)

Door de toevoer tijdens het bakken te beperken, ontstaat een ‘reducerende’ ovenatmosfeer waardoor de buitenschil rood kleurt (foto Rob Vermeulen).

Afbeelding 7 (onder)

Bakstenen met groen geglaazuurde koppen zijn bij de toren van de Hervormde kerk van Kapelle in de vijftiende eeuw gebruikt om het metselwerk te versieren (foto Michiel van Hunen).







Afbeelding 8 (links)

Voormalig postkantoor in Utrecht (1924), dat is opgetrokken met een rijke schakering aan bakstenen. Naast de gele en rode stenen zijn ook stenen met een sterk gesinterd oppervlak verwerkt (foto Taco Hermans).

Afbeelding 9 (boven)

Voormalig postkantoor in Utrecht, detail van de gevel. De kleurschakering is ontstaan door tijdens het bakken temperatuur en zuurstofgehalte te variëren (foto Taco Hermans).

Bakstenen met een (bewust gecreëerd of onbewust ontstaan) bijzonder oppervlak zijn door de eeuwen heen doelgericht gebruikt om metselwerk te versieren (zie afb. 7 en ook het hoofdstuk over vroeg metselwerk). Andere keren werden ze onbewust en willekeurig vermetseld. Maar stenen met een afwijkend oppervlak werden vaak ook uitgeselecteerd om ze uit te sluiten voor zichtwerk.

Het voormalige postkantoor in Utrecht is opgetrokken met een baksteen die een rijke schakering laat zien aan oppervlaktekleuren en texturen (afb. 8 en 9). In het gebouw zijn bewust stenen met een sterk gesinterd oppervlak (paarszwart) verwerkt naast stenen met een gele en rode kleur. De sprekende kleurschakering is ontstaan door tijdens het baken temperatuur en zuurstofgehalte te variëren.

Afbeelding 10 (rechts)

Het stoken van een (veld)oven met turf geeft een bijzonder wat verglaasd oppervlak met een zilverachtige kleur (foto Rob Vermeulen).

Historische bronnen over de baksteenheid

Architect en hoogleraar Van der Kloes schrijft in 1923 over Duitse stenen met een 'grootere volmaaktheid'. Bijvoorbeeld 'door het gebruik van ijzeren, met olie ingesmeerde vormen, waardoor de oppervlakken van den steen bijzonder effen en vlak worden'.⁶

Ook beschrijft hij een verschijnsel waarbij aan het oppervlak grotere en kleinere blaasjes ontstaan. 'Door een tijdelijk iets te hoge temperatuur, de oppervluid van den steen dicht gesinterd is, terwijl de steen inwendig nog niet een temperatuur van 900° tot 1.000° bereikt had en dus nog niet al het CO₂ uitgedreven was.'

Over het smoren van bakstenen schrijft hij: 'Ook werken de roet- en teerdeelen van den rook mede, om de kleur van het baksel te verdonkeren; het teer wordt aan de oppervlakte van de gloeiende steenen ontleed onder afscheiding van koolstof, die een glimmende potloodachtige laag op het baksel vormt.'

En: 'Tusschen het smoren door reductie en door roetrook bestaat dit verschil dat bij reductie de uitwer-





Afbeelding 11

Voeg met een meer verdicht geelwit oppervlaktelaagje
(foto Michiel van Hunen).

Wie er oogt voor heeft, herkent de in de historische bronnen beschreven bakstenen in het historisch metselwerk.

DE HUID VAN DE VOEG

Niet alleen de steen, maar ook de voeg kan een bijzondere 'huid' hebben. Bij ouder kalkgebonden voegwerk kan een meer verdicht geelwit laagje aanwezig zijn. Wanneer het bestaat uit kalksteen (calciumcarbonaat) spreekt men wel van een kalk- of calciethuidje, waaraan beschermende eigenschappen worden toegeschreven.¹⁰

Calciethuid versus gipskorst

Over het bestaan en ontstaan van het calciethuidje verschillen de meningen. Zo schrijven restauratievoerders het ontstaan van een kalkhuidje wel toe aan het afzetten van extra bindmiddel van het oppervlak, door het flink aandrukken en doorstrijken van de specie tijdens het voegen. Na verdamping van het speciewater en carbonatatie van het kalkhydraat ontstaat een dun laagje kalksteen. Vochttransport vanuit de metselmortel naar de voegmortel kan ook vrije of opgeloste kalk naar het oppervlak verplaatsen. Op den duur kan zich hierdoor ook een laagje vormen.

Het laagje kan ook deels bestaan uit gips. In (regen)-water opgelost zwaveldioxide (SO_2), zogenaamde zure regen, kan met kalk reageren tot gips.¹¹ Een gipskorst kan donker gekleurd zijn door ingesloten vervuiling zoals roetdeeltjes. Deze gipskorsten kunnen zeer dicht van structuur zijn en soms de poriën afdichten, waardoor het onderliggende materiaal afgeschermd wordt tegen water. Verwijdering van dit type korst leidt tot een hogere wateropname.¹²

Gipskorsten, en zeker donker gekleurde, kunnen echter ook een negatief effect hebben. Op sommige plekken van de gevel komt een te dicht en donkergekleurd laagje los van de ondergrond, mogelijk door thermische spanningen. Op die plekken komt de lichtere kleur van de voegmortel weer te voorschijn. Als het laagje het vochttransport belemmerde en daardoor is afgedrukt, is het ademend vermogen ter plaatse weer hersteld.

Soms kan zo'n laagje esthetisch ongunstig zijn, bijvoorbeeld wanneer het de oorspronkelijk kleur van de voeg aan het oog onttrekt. Dit is bijvoorbeeld het geval

king tot in het hart doorgaat, terwijl het roet slechts tot op geringe diepte doordringt, en dat voor smoren door reductie een zekere rijkdom aan ijzer vereischt wordt, terwijl roet ook op witte klei zijn invloed doet gelden. Door voortgezette reductie ontstaat ook in het eerste geval, als gevolg van de overmaat van kooldeelen, een glanzend oppervlak'.⁷

Ook Scholten schrijft over het wijzigen van de oorspronkelijke rode kleur van de stenen met koolstofhoudende dampen in grijsachtig blauw.⁸ 'Ten einde door verschillende kleuren versieringen te bewerken, wordt de oorspronkelijke kleur der steenen gewijzigd. Dit geschiedt door de steenen, als zij gaar gebakken zijn, bloot te stellen aan koolstofhoudende dampen. 'Die koolstofhoudende dampen worden ontwikkeld door op de vuren groen of harsachtig hout, natte turf, steenkolen of teer te werpen'.

En over in Engeland vervaardigde stenen waarbij door toevoeging van poeder van ijzerslakken de ijzerhoudende klei smeltbaarder wordt gemaakt schrijft hij dat ze 'in een oven tot smeltens toe [worden] verhit, waarbij de oppervlakte min of meer glasachtig wordt gebakken met eene donkerblauwachtige kleur met matten glans, terwijl het inwendige eene blauwachtige of roode kleur behoudt'.⁹

bij het veemgebouw op het Philipscomplex Strijp-S in Eindhoven (afb. 12 en 13). Onder een donker goed gehecht laagje zit een gele voegmortel. Bij een reinigingsproef werd de steen schoon en de voeg niet; een via die methode uitgevoerd gevelreiniging zou tot geen goed beeld van de gevel hebben opgeleverd.

Ook een vroegere oppervlaktebehandeling kan hebben geleid tot ook een verdicht, verhard of verkleurd oppervlak. De gevel kan behandeld zijn geweest met lijnolie, silicaatverf, waterglas. In de hoofdstukken over impregneren en historische afwerkingen is daar meer over geschreven.

Zo kan de gevel zelfs behandeld zijn met kalkmelk waaraan eiwitten zijn toegevoegd; Scholten schrijft in 1902 in zijn bouwkundig handboek over het toevoegen

van kaasstof (caseïne) aan kalkmortel om indringing van vocht te verminderen.¹³ ‘Ten einde het afgeven van de kalkmelk tegen te gaan, wordt deze wel vermengd met witte kaasstof, in verhouding van een deel goed gebluschte kalk en twee deelen kaasstof. De eiwitstoffen van de kaas gaan met de kalk eene verbinding aan en vormen eene kleverige, min of meer doorschijnende geelachtige saus. Met hetzelfde doel wordt de kalk, in plaats van met water, aangemengd met karnemelk, welke ook eiwitstoffen bevat’.¹⁴

PATINA, VERVUILING EN GEVELREINIGING

Patina, vervuiling en gevelreiniging zijn vaak onderwerp van discussie. Aanleiding is meestal een geplande gevelreiniging of een te sterk uitgevoerde reiniging, waarbij het steenoppervlak is beschadigd of als nieuw oogt. De Rijksdienst voor het Cultureel Erfgoed (RCE) en het Atelier Rijksbouwmeester bevelen al jaren terughoudendheid aan op het gebied van gevelreiniging.

De brochure van de Rijksdienst stelt: ‘De ouderdom van een monument mag afgelezen kunnen worden. Het patina dat zich in de loop van de geschiedenis op de gevel heeft gevormd, is een weerslag van de tijd en vormt juist een waarde die behouden dient te worden. Ook vage resten van een kleurige afwerking die ooit de gevel sierde, maken deel uit van de geschiedenis van het monument en zijn daardoor een waardebepalende factor’.¹⁵

Afbeelding 12 (links)

Gereinigd proefvlak van het Veemgebouw van het voormalige Philipscomplex Strijp-S in Eindhoven. De gele kleur van de bakstenen komt weer tevoorschijn, de voegen blijven donker (foto Michiel van Hunen).

Afbeelding 13 (rechts)

Detail van een voeg op de plek waar een steen is uitgehakt bij het Veemgebouw van het Philipscomplex. Achter het donkere voegoppervlak blijkt een helder gele voegmortel schuil te gaan (foto Michiel van Hunen).





De afgelopen jaren zijn in Nederland in het kader van enkele prominente projecten waarbij de wens leefde om te reinigen, diverse onderzoeken uitgevoerd naar patina, vervuiling en het effect van reiniging op het gevelmateriaal. De onderzoeksresultaten van die onderzoeken hebben geleid tot een beter en meer gedetailleerd inzicht in vervuiling, verkleuring en reiniging. Ook heeft het interessante publicaties opgeleverd waarin mogelijkheden en risico's worden benoemd en de relevante argumenten genuanceerd worden besproken.

De aandacht voor het onderwerp is onverminderd actueel. Er blijft nadrukkelijk vraag vanuit monument-eigenaren om gevels te reinigen.

Bredere beschikbaarheid van goede onderzoekstechnieken draagt bij aan een wetenschappelijke benadering van het vraagstuk en ondersteunen een zorgvuldiger aanpak. Er zijn meer en betere reinigingsmethoden ingeburgerd geraakt die schadevrij en gedoseerde reinigen mogelijk maken. Ook de bouwfysische gevolgen van een door reinigen of impregneren gewijzigde vochtthuishouding kunnen beter in kaart worden gebracht. Modellen en computersimulaties geven een beeld van het vochttransport en de hoeveelheid vocht die het metselwerk zal opnemen (zie ook het hoofdstuk

Afbeelding 14 (links)

Sterk vervuilde zandsteen. Lokaal is de donkere en verdichte laag losgewerkt van de ondergrond (Stadhuis Utrecht voorafgaand aan laserreiniging) (foto Michiel van Hunen).

Afbeelding 15 (rechts)

Metselwerk van de toren van museum Boijmans Van Beuningen in Rotterdam; de rode baksteen is aanzienlijk donkerder geworden in de loop der tijd. Bij de recente restauratie zijn oppervlakkig beschadigde stenen zorgvuldig bijgekleurd om de eenheid te herstellen (foto Michiel van Hunen).

over vooronderzoek). Meer inzicht in de bouwfysische gevolgen is ook noodzakelijk in gevallen waarbij aan de binnenzijde isolatie of dampdichte afwerklagen worden aangebracht in het kader van ander gebruik of duurzame monumentenzorg (i.c. energiezuiniger maken van monumenten).

Een toenemende discussie ontstaat mogelijk ook doordat het beleid binnen monumentensector erop is gericht monumenteigenaren meer verantwoordelijkheid te geven voor het in stand houden van hun

monument.¹⁶ Monumentenzorg is bovendien steeds minder alleen het domein van de specialist. Gevelreiniging blijkt een onderwerp waarover velen, en zeker monumenteigenaren, een uitgesproken mening hebben. Wanneer overheden niet tegemoet kunnen komen aan de wens van de eigenaar om de gevel te reinigen, moeten deze helder kunnen benoemen en onderbouwen waarom. Daarbij volstaat alleen 'gevelreiniging is niet toegestaan, want het beschadigt het oppervlak' niet meer als argument.

Onderzoek aan zandsteen

Een belangrijk deel van eerdergenoemd onderzoek naar vervuiling en reiniging was gericht op zandsteen in gevels. Bij dit onderwerp zijn parallellen te trekken tussen natuursteen en metselwerk. Zo geven de onderzoeksresultaten meer inzicht in waardoor de verkleuring ontstaat en wat er bij reiniging op microschaal aan het oppervlak gebeurt. Daarom wordt hier kort ingegaan op verkleuring en reiniging van zandsteen. Bovendien wordt zandsteen beschouwd als een van de lastigste materialen om te reinigen, waardoor bestudering daarvan leerzaam is.

Het onderzoek is uitgevoerd naar de donker verkleuring en vervuiling van Rakowicz zandsteen, Bentheimer en Obernkirchner en naar het effect van reiniging op het oppervlak.¹⁷ De onderzoeksresultaten geven meer inzicht in de opbouw en samenstelling van de donkere oppervlaktelaag. Zo blijkt dat de zwarte verweringslagen in hoofdzaak bestaan uit gips, ijzer-(hydr)oxides, ingevangen luchtgedragen deeltjes en stof waaronder vliegast. Dit vaak in combinatie met (afgestorven resten) micro-organismen en soms aangevuld met verbindingen van zware metalen.

Een belangrijk deel van de componenten in de zwarte verweringslaag is dus afkomstig uit externe bronnen. Een ander deel is in belangrijke mate afkomstig uit de steen; stoffen in het materiaal lossen op en worden naar het oppervlak getransporteerd (tijdens natuurlijke droging van het materiaal) en slaan daar, al dan niet na reactie met stoffen uit de lucht, neer als vaste stof. De zwarte verweringslaag kan grote invloed hebben op de hygrische eigenschappen van de steen en daarmee op de duurzaamheid. De zwarte verweringslaag is aanmerkelijk dichter dan de ondergrond of het oorspronkelijke oppervlak. Dit heeft een aanzienlijk effect op het vochttransport in de steen.¹⁸

Een van de conclusies uit het onderzoek is dat reiniging niet per se hoeft te leiden tot beschadiging van het oppervlak.¹⁹

Patina versus vervuiling

Met het verkregen inzicht kan een deskundige patina beter onderscheiden van vervuiling. In een situatie waar het onderscheid technisch gezien daadwerkelijk kan worden gemaakt, is het mogelijk alleen de vervuiling te verwijderen en niet het door veel monumentenzorgers zo gewaardeerde patina.

Uit alle onderzoeken blijkt echter dat patina, vervuiling en ondergrond vaak behoorlijk met elkaar zijn verweven. Bij een verweerd oppervlak kunnen stoffen die als vervuiling worden beschouwd, zoals gips, de plaats innemen van uitgespoelde bindmiddelen en zorgen voor een verkitting van de buitenste korrel van het bouw materiaal. Het is daarom de vraag hoe vaak het lukt patina en vervuiling goed van elkaar te onderscheiden.

PATINA

Patina wordt omschreven als de verkleuring van het materiaal zelf, zonder het effect van afzettingen of vervuiling. Patina is de chemische omgezette oppervlaktelaag van de steen waardoor de kleur veranderd is; het is een dunne compacte laag die goed aan het onderliggende materiaal is gehecht.²⁰ Patina ontstaat door onder meer door oplos- en neerslagprocessen in de steen; omzetting door micro-organismen zoals algen, bacteriën en schimmels en door oxidatie van organische componenten in oude afwerkingen. Patina wordt ook als verweringslaag aangeduid.²¹ Dat betekent dat daarmee ook het ruwer worden van het oppervlak wordt bedoeld, wat eveneens een verandering van kleurindruk tot gevolg heeft.²² Monumentenzorgers waarderen patina positief, omdat het bijdraagt aan de afleesbare ouderdom en een indruk geeft van de authenticiteit van het materiaal.



VERVUILING

Vervuiling op een gevel kan bestaan uit een groot aantal verschillende componenten en afkomstig zijn van een groot aantal bronnen:²³ bijvoorbeeld droge componenten uit de lucht waarbij geen omzetting optreden, zoals zand, stof, stuifmeel, vliegias en organisch vuil; componenten uit de lucht waarbij wel chemische omzetting optreden, zoals een gipskorst; biologische groei, zoals algen, schimmels en korstmossen; oliën en vetten, afkomstig van onvolledige verbranding, afzuigkappen, uitlaat van motoren of met een dierlijke of plantaardige oorsprong; of roet, een koolstofverbinding afkomstig van onvolledige verbranding van fossiele brandstoffen. Andere bronnen van vervuiling zijn bijvoorbeeld zoutuitbloei; neergeslagen mortelbestanddelen;²⁴ ijzeroxide; cementsluiser en graffiti.

Vervuiling wordt vaak negatief gewaardeerd, zeker door de monumenteigenaar.

Door verandering van kleur niet direct als vervuiling of patina te benoemen, worden discussies over definities vermeden. Van Bommel van het Atelier Rijksbouwmeester spreekt liever over vergrijzing. 'Bovendien heeft het woord vervuiling een negatieve gevoelswaarde en impliceert het een tegenactie in de vorm van reiniging'.²⁵ Ook bij metselwerk is het vaak geëigend om te spreken over vergrijzing of verkleuring in plaats van vervuiling.

Gevelreiniging

Onder gevelreiniging verstaat de RCE alle materiaalverwijderende behandelingen, zoals het spoelen of afsprengen met water, het toepassen van hoge- of lagedrukstraaltechnieken, het schoonmaken met (bio-) chemische middelen, schuren, slijpen, polijsten en laserreiniging.

Het reinigen van gevels kan de instandhouding van monumentwaarden nadelig beïnvloeden. Daarom beveelt de RCE al sinds jaar en dag terughoudendheid aan op dit gebied. Zeker wanneer het reinigen betreft die alleen worden uitgevoerd om esthetische redenen. Toch is er soms aanleiding om op esthetische grond te reinigen, bijvoorbeeld wanneer het behoud of herstel van het architectuurhistorisch aspect of de architectonische expressie van het monument in het geding is. Voor de RCE is het belangrijk dat instandhouding van monu-

Afbeelding 16 (boven)

Woonhuis in Den Haag waarbij schade is ontstaan nadat de spouw is geïsoleerd en de gevel is geïmpregneerd (foto J. Badoux).

Afbeelding 17 (onder)

Detail woonhuis in Den Haag waarbij te zien is dat bij een deel van de stenen het oppervlak versneld verweert (foto J. Badoux).

mentwaarden voorop staat; daaronder wordt zowel het fysiek behoud van historische materie verstaan als het behoud of herstel van 'de architectuur' van het object.²⁶

Natuurlijke veroudering en vervuiling kunnen bovendien een aanzienlijke invloed hebben op de hygrische eigenschappen. Zo kan de initiële wateropname van het oppervlak met een factor twee of drie afnemen ten opzichte van de rest van de baksteen.²⁷

Wanneer men gevelreiniging overweegt, is het raadzaam ook andere technieken te bekijken die de uitstraling kunnen verbeteren. Zo is bij het nastreven van een meer egaal gevelbeeld het aanbrengen van re-touches ook een goede optie (zie ook de hoofdstukken over herstel stootvoegen en constructief herstel). Men kan donkere geveldelen licht reinigen en lichte plekken kunstmatig donkerder kleuren.

Bij een aantal prominente monumenten is gevelreiniging gecombineerd met het bijkleuren van materiaal. Die laten zien dat een weloverwogen, zorgvuldige en gedoseerde aanpak tot breed gedragen verbetering kan leiden.

Bij het reinigen van een gevel is tot op zekere hoogte sprake van een wijziging van het monument in fysieke en esthetische zin. Om die reden zijn ook sinds 1 januari 2012 bijna alle vormen van gevelreiniging aangemerkt als activiteit waarvoor een vergunning (Wabo) nodig is. Ook voor het behandelen van een gevel met een impregneermiddel is een vergunning vereist.

IMPREGNEREN

Met een hydrofobeermiddel kan de buitenste zone van het gevelmateriaal waterwerend worden gemaakt. In het hoofdstuk over oppervlaktebehandeling wordt uitvoerig ingegaan op de behandeling, effecten en risico's. Er zijn serieuze risico's verbonden aan het laten uitvoeren van een dergelijke behandeling. Een oppervlaktebehandeling kan schadelijk zijn, maar is dat niet per se. Het kan ook schade voorkomen of verminderen. De vraag is wel of de schade die men hoopt te voorkomen met de behandeling zich verhoudt tot eventuele schade of nadelige gevolgen op korte of lange termijn.





Afbeelding 18

Metselwerk met een rijke schakering aan kleuren, waarbij verschillende oppervlakte-effecten zijn te herkennen (foto Michiel van Hunen).

Het beslismodel in het genoemde hoofdstuk helpt om te bepalen welk vooronderzoek en welke aanvullende bouwkundige maatregelen nodig zijn.

Zoals beschreven in de brochure over hydrofoberen beveelt de Rijksdienst terughoudendheid aan.²⁸ Hydrofoberen is een irreversibele, ofwel onomkeerbare, methode van conservering. Het kan de cultuurhistorische waarde van het monument op korte of langere termijn aantasten.

Met de juiste voorzorgs- en onderhoudsmaatregelen zijn risico's te beperken. De praktijk blijkt echter weerbarstig. Ondanks goede voornemens blijft voorgenomen onderhoud nogal eens achterwege en worden behandelingen niet goed gedocumenteerd. Bij ingrepen zoals hervoegen wordt nog te vaak geen rekening gehouden met een in het verleden uitgevoerde behandeling, vaak omdat de juiste informatie op het beslissingsmoment ontbreekt.

Het is helemaal jammer wanneer een gevel op onjuiste gronden wordt behandeld, bijvoorbeeld om vervuiling tegen te gaan. Dat effect van de behandeling

is namelijk slechts van korte duur (enkele jaren). Met het verdwijnen van het pareffect – het effect waarbij waterdruppels als bolletjes over het oppervlak rollen – is ook de bescherming tegen de vervuiling grotendeels verdwenen.

Impregneren bij isoleren

Keuzen worden complexer wanneer als gevolg van een andere of intensiever gebruik van het monument meerdere conflicterende eisen moeten worden verenigd. In het kader van energiebesparende maatregelen worden gevels aan de binnenzijde of in de spouw geïsoleerd. Bouwfysici verbinden aan het isoleren vaak de voorwaarde dat de gevel dan ook moet worden gehydrofobeerd. Argument daarvoor is dat door isoleren gevels langer nat kunnen blijven. Immers, de gemiddelde temperatuur van de gevel neemt af, evenals de mogelijkheid om via de binnenzijde te drogen. Om vorstschade te voorkomen, wordt voor de zekerheid geadviseerd om de gevels te laten impregneren. Bijkomend argument is dat een droge gevel een hogere isolatiewaarde heeft.

Op zich valide argumenten. Veel adviseurs gaan er echter vanuit dat producten precies doen waarvoor ze zijn ontwikkeld. In de praktijk, en zeker bij historische gebouwen, blijkt hydrofobering ook een averechts effect te kunnen hebben en te leiden tot een nattere gevel. Ondanks hydrofobering kan vocht immers binnendringen via neggen, afzaten, slecht voegwerk of (haar)scheuren. Het risico bestaat dat het vochtgehalte in de gevel verder toeneemt, doordat hydrofobering de droging vertraagt en het vocht ook niet kan verdampen via de binnenzijde. Het moet geen automatisme zijn te hydrofoberen omdat de gevel wordt geïsoleerd. Mogelijke scenario's en gevolgen moeten vooraf goed worden afgewogen; bij twijfel niet hydrofoberen.

TOT SLOT

Voor de appreciatie van metselwerk is de huid belangrijk. Voor wie goed naar het materiaaloppervlak kijkt, is er veel moois te beleven en nuttigs te leren, ook over wat er in het materiaal gebeurt. En voor diegene die ook de bewezen prestatie van het materiaal op waarde weet te schatten, valt er veel te besparen, zowel in kosten als aan authenticiteit.

Literatuur

- Baars, P., 2012, 'Eigenaren stimuleren om te kiezen voor kwaliteit', in: *Monumenten*, jaargang 33, nr. 1/2, pp. 18-19.
- Bommel, B. van, 2005, 'Assessment van ingrepen bij vergrijsde gevels', in: *Praktijkboek Instandhouding Monumenten*, Deel II-4 Buitenwanden, afl. 21 april.
- Campbell, J.W.P., 2003, *Baksteen, geschiedenis, architectuur, techniek*, Thoth, Bussum.
- Ende, Krijn van den, en Bert van Bommel, 2008, 'De gevels van het Koninklijk Paleis Amsterdam, essay over het voorgestelde herstel van de beleevingswaarde', in: *Praktijkreeks Cultureel Erfgoed*, 4 nr. 13, pp. 29-83.
- Hunen, M. van, M. van Rooden et al., 1999, 'Reinigen van gevels', in: *Praktijkboek Instandhouding Monumenten*, Deel II-4 Buitenwanden, afl. 4 december.
- Kloes, J.A. van der, 1923-1926, *Onze Bouwmaterialen, deel II Kunststeen*, Amsterdam.
- Naldini, Silvia, Rob P.J. van Hees & Timo G. Nijland, 2006, 'Definitie van schade aan metselwerk', in: *Praktijkboek Instandhouding Monumenten*, Deel II-4 Buitenwanden, afl. 28 augustus.
- Nijland, T.G., et al., 2004, 'Zwartverkleuring van Bentheimer, Oberrkirchener en Rokowicze zandsteen', in: *Praktijkboek Instandhouding Monumenten*, Deel II-4 Buitenwanden, afl. 20 oktober.
- Nijland, Timo G., et al., 2010, 'Zoutschade aan natuursteen en metselwerk; de ontwikkeling van ideeën en concepten ter verklaring van de verpoedering van gebouwd erfgoed', in: *Praktijkreeks Cultureel Erfgoed*, 10, maart 2010, nr. 27.
- Rijksdienst, 2001, *info Restauratie en beheer*, nr. 17 Het reinigen van gevels.
- Rijksdienst, 2003, *info Restauratie en beheer*, nr. 37 Het gebruik van kalkmortel.
- Rijksdienst, 2004, *info Restauratie en beheer*, nr. 39 Graffiti op monumenten.
- Rijksdienst, 2007, *info Restauratie en beheer*, nr. 1 Hydrofoberen van gevels.
- Rijksdienst, 2007, *info Restauratie en beheer*, nr. 2 Voegwerk.
- Scholten, G.A., 1902, *'De praktische metselaar'; handboek voor metselaars, onderbazen, opzichters en aanstaande architecten, de gebroeders van Cleef*, 's Gravenhagen.
- Vanhellemont, Yves, 'gevelreiniging' (WTCB) Wetenschappelijk en Technisch Centrum voor het Bouwbedrijf, www.curbain.be/download/gevelreiniging.
- Wijffels, T.J., 2002, 'Reinigen van gevels 2', in: *Praktijkboek Instandhouding Monumenten*, Deel II-4 Buitenwanden, afl. 10 juli.

Noten

- Baars 2012.
- Van Wijck, hoofdstuk 'Baksteenproductie en -eigenschappen' elders in deze publicatie.
- Hiervoor worden meestal stenen gebruikt met een fijne gelijkmatige structuur. Deze worden verkregen door gezeefde klei of klei te gebruiken die in een bezinkvijver ontdaan is van kiezelstenen en de stenen voorzichtig te bakken. De stenen worden vermetseld met een fijne smeulige kalkmortel, waarschijnlijk samengesteld met 'in de rot gezette' luchtkalk (bron: Campbell 2003).
- Ron Vermeulen is werkzaam bij de Stichting Historie Grofkeramiek en deskundig op het gebied van keramiek en baksteen.
- Van Wijk (zie noot 2).
- Kloes 1923, p.54.
- Kloes 1923, p.12.
- Scholten 1902, p.50.
- Scholten 1902, p.66.
- Vanhellemont 2004.
- Vanhellemont 2004 en Nijland 2010.
- Wijffels 2002.
- Caseïne, ook wel kaasstof genoemd, is een dierlijk eiwit dat voorkomt in melk. Caseïne wordt gewonnen door afgeroomde melk met water te verdunnen en er vervolgens azijnzuur aan toe te voegen zodat de caseïne neerslaat.
- Scholten 1902, p.339.
- Rijksdienst 2001, brochure 'Het reinigen van gevels'.
- Beleidsbrief MoMo.
- Nijland 2004.
- Nijland 2004, p.9.
- Ende 2008.
- Naldini 2006.
- Nijland 2004.
- Van Bommel 2005.
- Van Hunen 1999.
- Uitloogde mortelbestanddelen zoals alkalisilicaat en calciumhydroxide die aan het oppervlak reageren tot siliciumoxide en calciumcarbonaat.
- Ende 2008.
- RCE, info Restauratie en beheer, nr. 17, Het reinigen van gevels.
- Groot en Gunneweg, zie hoofdstuk steen- en metselmortelkeuze van dit boek. Ook Hans van Wijck (zie noot 2).
- Rijksdienst 2007, Hydrofoberen van gevels.

23



Metselwerk op waarde geschat

De waardering van metselwerk en het effect van ingrepen

Bij plannen voor restauratie of aanpassingen aan nieuw gebruik is het niet alleen belangrijk de technische conditie van een monument te doorgronden, maar ook om het cultuurhistorisch belang van onderdelen op waarde te schatten. Ook bij het ingrijpen in historisch metselwerk zijn deze aspecten niet los van elkaar te zien. Deze bijdrage gaat over de betekenis van historisch metselwerk en geeft voorbeelden van de rol van waardering daarvan in de praktijk van het gevelherstel.

In dit boek komen veel aspecten van historisch metselwerk aan de orde. Niet alleen de technische beoordeling, maar ook de esthetische en historische waardering van metselwerk, voegwerk, steen of constructie. Duidelijk wordt hierbij dat metselwerk meestal geen losstaand onderdeel is van een monument, maar samenhangt met de architectonische en historische betekenis van het gebouw als geheel.

Bij het waarderen van metselwerk gaat het erom de betekenis vast te stellen die het metselwerk heeft in architectonisch, bouwhistorisch of constructief opzicht. Bij het nemen van goede beslissingen bij de instandhouding van een monument of voor transformaties in gevels kun je niet voorbij gaan aan die betekenis. Toch wordt bij restauraties tot nog toe weinig aandacht besteed aan historische waarden. Dit terwijl een goede waardebeoordeling helpt bij het maken van keuzes bij restauratie, zoals het bewaren van de authenticiteit van het werk, het zichtbaar houden van waardevolle bouwhistorische sporen of het versterken van het architectonische beeld.

In dit hoofdstuk wordt specifiek ingegaan op de (cultuur)historische waardering van metselwerk. Ook geven de auteurs aan – met praktijkvoorbeelden van restauraties in 's-Hertogenbosch – hoe er met de waardstelling van historisch metselwerk kan worden omgegaan en welke aandachtspunten er zijn bij het bevorderen van een goede omgang met de cultuurhistorische waarden van metselwerk.¹

GEWAARDEERD METSELWERK

Naast hout – en sinds de jaren vijftig in toenemende mate staal, beton en glas – is geen bouw materiaal zo kenmerkend voor Nederland als de baksteen. Het materiaal maakt dan ook wezenlijk deel uit van de cultuurhistorische waarden van de meeste Nederlandse monumenten.

Het gebruik varieert van de onzichtbare toepassing in funderingen tot schoon metselwerk waarin een metselaar het hoogste van zijn kunnen laat zien, en van constructief metselwerk in gewelven tot de niet-dragende bekleding van een betonconstructie. Het metselwerk van gevels of binnenwanden is bovendien vaak een rijke bron bij het achterhalen van de bouwgeschiedenis van een gebouw, of zelfs de ontwikkeling van een straat.

Tegenwoordig wordt terecht veel nadruk gelegd op de overdracht op het publiek van verhalen over erfgoed. Maar verhalen kunnen niet verteld worden zonder

Afbeelding 1

Baksteen als materiaal om de Hollandse bouwtraditie te doen herleven. Het raadhuis en bijbehorende pleinbebouwing in Waalwijk werden ontworpen door A.J. Kropholler en gebouwd tussen 1929 en 1931 (foto RCE).

het materiaal als geschiedenisbron over technische of economische ontwikkelingen in de architectuur of over veranderingen in het gebruik van het pand. Architectuur is niet alleen een uiting van bouwtechniek; de gekozen vorm is niet altijd alleen een resultaat van de mogelijkheden en onmogelijkheden van een constructie. In de uitvoering van het metselwerk zijn ook vormgevingsaspecten, de vaardigheid van een ambachtsman en de organisatie van de bouw medebepalend voor het uiteindelijke architectonische beeld van het geheel. Het bestuderen van een monument op het niveau van zijn materiaal, zoals metselwerkconstructies, legt deze boeiende wisselwerking tussen bouwtechniek, architectonische uitgangspunten, tradities en economische omstandigheden bloot.

WAARDERINGSKRITERIA

Bij het vaststellen van de culturele waarde van gebouwd erfgoed wordt vanuit verschillende gezichtspunten gekeken naar de betekenis die het gebouw heeft. Volgens de communis opinio gebeurt dit volgens vijf criteria: de waarde van het gebouw of gebouwencomplex in de architectuurgeschiedenis of de ontwikkeling van de bouwtechniek, de waarde van het gebouw als uiting van een bepaalde cultuurhistorische ontwikkeling, de betekenis binnen een bijzonder stedenbouwkundig of ruimtelijk geheel, is er sprake van zeldzaamheid en is het monument of monumentonderdeel gaaf overgeleverd, compleet in zijn onderdelen of herkenbaar.

De aspecten waarop een monument op beoordeeld wordt, zijn uitgewerkt in waarderingscriteria die de rijksoverheid gebruikt om de cultuurhistorische waarde van een monument in kaart te brengen bij inventarisatie en bescherming van erfgoed (zie de Appendix aan het eind van dit hoofdstuk).

TRADITIONEEL MATERIAAL, REGIONALE ONTWIKKELINGEN EN WEDEROPBOUW

De architectuurhistorische waarde van metselwerk kan worden gerelateerd aan de waarde die de constructie heeft vanwege de ontwikkeling van de bouwtechniek of als specifiek vormgegeven onderdeel van de architectuur. Baksteen is als geen ander materiaal door architecten gebruikt met verwijzing naar de Nederlandse bouwcultuur en volksaard. Het is in de loop van de geschiedenis op verschillende momenten als nationaal bouw materiaal of 'eerlijk' materiaal door architecten of theoretici naar voren geschoven en herontdekt. Dit uit zich bij uitstek in de ontwikkeling en toepassing van veelkleurige baksteen in de tweede helft van de negen-

tiende eeuw of in de nadrukkelijk aan de bouwtraditie refererende traditionalistische architectuur uit de eerste helft van de twintigste eeuw (zie bijvoorbeeld afb. 1).

De belangrijkste gebouwen aan het begin van de vorige eeuw ontleen hun expressie voor een belangrijke deel aan de uitdrukingskracht van het metselwerk van hun gevels. Soms is het de kleur van de steen die het gebouw maakt, zoals de lichtgele baksteen van het Haagse gemeentemuseum van Berlage. De balans hiervan werd halverwege twintigste eeuw opgemaakt met de tentoonstelling 'Nederland bouwt in baksteen' in 1941 in Museum Boijmans in Rotterdam, samengesteld door een groep architecten waaronder Herman van der Kloot-Meijburg. Aan de hand van een grote serie voorbeelden werd het 'eigen karakter' van de Nederlandse architectuur in baksteen getoond.

Baksteen in de architectuur kan sterke regionale trekken hebben, of in een bepaalde periode het beeld in een wijk, stad of regio bepalen, zoals de expressieve Amsterdamse woningbouw uit de jaren tien en twintig van de vorige eeuw, die uitblinkt in sculpturale gevelbehandeling in baksteen met terugliggende voegen en het verwerken van monumentale kunst in gevels, en de esthetische toepassing laat zien van gesinterde steen. In de regio's verschenen eigen varianten van deze Amsterdamse School en in sommige gebieden is sprake van een behoorlijk samenhangende, herkenbare bouwproductie in deze stijl, waarin baksteen de boventoon voert (afb. 2).

In de wederopbouwperiode wordt metselwerk vaak in combinatie met zeer veel andere materialen gebruikt, niet meer dragend maar als bekleding of vulling van een betonskelet. Decoratieve patronen benadrukken de niet-constructieve rol van het materiaal. Materiaalschaarste en opvattingen over het verbinden van modernistische elementen en traditionele bouwtechnieken leidden tot gebouwen met soms verrassende combinaties van beton, metselwerk, natuursteen en metaal (zie afb. 3).

Baksteen wordt in deze gebouwen gelijkwaardig onderdeel van een gevarieerd materiaalgebruik dat veelal verrassend rijke vormen aanneemt en die periode kleurrijker maakt dan nu vaak wordt gesteld. Van binnen zorgt, als er geen natuursteen of een monumentaal kunstwerk wordt toegepast, een schoonmetselwerk-wand met sierpatronen vaak voor verlevendiging van de ruimte. Dit karakteristieke materiaalgebruik is mede bepalend voor de architectuurhistorische waarde van deze gebouwen.

Afbeelding 2

Het kantoorgebouw van de Groningse dienst Gemeentewerken uit 1928 is een van de fraaiste werken onder invloed van de Amsterdamse school van de gemeentearchitect S.J. Bouwma. In tegenstelling tot de kleurrijke voorzijde aan het Gedempte Zuiderdiep, overheerst aan de zijgevel aan de Ubbo Emmiusstraat het metselwerk in bruine mondsteen en de ritmische behandeling met vooruitspringende muurdammen (foto RCE).



Afbeelding 3

Bij de bouw van de voormalige redactiekantoren en drukkerij van het Vrije Volk en de Arbeiderspers in Rotterdam zijn veel verschillende materialen gebruikt. De gesloten kopgevels van het redactiegebouw aan de Slaak zijn uitgevoerd in sober siermetselwerk in Enzelenzer Tichels uit Groningen. De architecten J.J.M. Vegter en P.A. Leupen ontwierpen het gebouw uit 1954 (foto RCE, Guido Bogers).



Afbeelding 4

Voorbeeld van Bossche school-architectuur: Archief van het Bisdom 's-Hertogenbosch, Lange Putstraat 40, gebouwd in 1981 naar ontwerp van architect Jan de Jong. Kenmerkend metsel- en geborsteld voegwerk volgens de principes van deze stroming (foto's Harry Boekwijt).



DE BOSSCHE SCHOOL

Terwijl de baksteen bij moderne architectuur uit de jaren vijftig en zestig evenwichtig naast andere materialen gebruikt wordt, bepaalt baksteen in het traditionalisme juist nadrukkelijk het gevelbeeld. De Bossche School is zo'n exponent van de naoorlogse periode, die baksteen propageerde terwijl het materiaal in de tweede helft van de twintigste eeuw bij anderen juist een mindere rol ging spelen. De Bossche School heeft met name in Brabant zeer interessante voorbeelden opgeleverd en vooral in 's-Hertogenbosch vanaf de jaren vijftig vele sporen in de stad nagelaten.

Daarbij verdient de uitvoering van het metselwerk specifiek aandacht. Kenmerkend voor de Bossche School zijn niet alleen de maatverhoudingen van de architectuur – gebaseerd op de toepassing van het plastisch getal en opvattingen over de begrenzing van de ruimte. Eveneens bepalend zijn een robuust materiaalgebruik met het kenmerkende metsel- en voegwerk, soms gecementeerd ('geslemp') of door te keimen, met als doel de gevel als één massa te laten werken. Met opzet werd een groot formaat baksteen gekozen, om te komen tot ideale maatverhoudingen in de architectuur (afb. 4). Bij deze jonge bouwkunst

Afbeelding 5

Wandrelief in baksteen uit 1957 van de Engelse kunstenaar Henry Moore, opgenomen in de uitbreiding van het Rotterdamse Bouwcentrum aan het Weena. Het gebouw zal in de toekomst worden vervangen door nieuwbouw. Het kunstwerk wordt op de bestaande locatie teruggeplaatst (foto RCE).

draagt het metselwerk in belangrijke mate bij aan de monumentale waarde.

GEMETSELDE KUNST

Sculpturen in gebakken materiaal zijn door de eeuwen heen altijd al toegepast, maar kunstwerken uit metselwerk zijn relatief jong. Bijzondere kunsttoepassing draagt bij aan de architectuurhistorische en kunsthistorische waardering van historische gebouwen. Wandkunst in de periode na de Tweede Wereldoorlog neemt hierbij een bijzondere plek in, vanwege de hoge vlucht door stimuleringsregelingen vanuit de overheid, maar ook door de aandacht die de materialenindustrie schonk aan samenwerking met kunstenaars voor monumentale kunsttoepassingen in het materiaal van de betreffende industrie.

Afbeelding 6

Innovatieve Bossche volkswoningbouw in betonsteen, Oostwal-Kortenstraat (1924), later uitwendig sterk gewijzigd. Het wijkje is gesloopt omstreeks 1978 (foto Stadsarchief 's-Hertogenbosch).



Net als de aandacht voor materialen als beton en natuursteen werd ook metselwerk als medium gebruikt voor monumentale wandkunst, waarbij reliëfs of figuratieve en abstracte mozaïeken een gesloten gevelvlak verlevendigden of entrees markeerden.

Het grote gemetselde gevelkunstwerk in vormsteen van de beroemde kunstenaar Henry Moore in Rotterdam – dat in 1956 aan de boulevard het Weena verscheen (afb. 5) – wijkt in reliëfdiepte en uitbundigheid overigens duidelijk af van andere baksteenreliëfs uit deze tijd. Behalve als modern stedelijk kunstwerk fungeert het vanwege de situering aan een uitbreiding van het Bouwcentrum ook als uithangbord voor de toepassingsmogelijkheden van metselwerk.

Ondanks de hoge waardering die er soms wordt gehecht, staat het behoud van gemetselde kunstwerken uit deze periode regelmatig onder druk vanwege sloop- of verbouwplannen. Behoud in situ of herplaatsing is op dit moment een belangrijke opgave. Het op tijd betrekken van specifieke restauratiedeskundigheid is daarbij noodzakelijk, gezien de artistieke waarde van deze elementen.

BELEEFBARE OUDERDOM

De bouwhistorische waarde van een metselwerkconstructie kan ontleend worden aan de ontwikkeling van metselwerk als bouwtechniek. Denk aan een bijzondere constructie zoals de eerste spouwmuur.

Maar bij toepassing van dit waarde criterium wordt metselwerk ook als onderdeel gezien van de constructie van een gebouw. Of het metselwerk dragend is, of dat

Afbeelding 7

Detail van het metselwerk van de dertiende-eeuwse kleine zaalkerk van het dorp Krewerd bij Delfzijl (foto RCE).



het een decoratieve klamp betreft van een betonnen gebouw, zegt iets over de technische ontwikkeling en economie in een bepaalde periode.

Soms komt waardering voor een bouwwijze te laat. Een vroeg voorbeeld van volkswoningbouw in de stad 's-Hertogenbosch rond het Bossche Pad en Oostwal (1921-1923) was opgetrokken in een destijds innovatief bouwsysteem van lokaal geprefabriceerde betonsteen-elementen (afb. 6).² Het materiaal had ook een sociaal-historisch aspect; in het kader van de werkverschaffing voor werkeloze sigarenmakers werd deze betonsteen lokaal geproduceerd. De constructies werden echter al spoedig bekleed met baksteenmetselwerk en later ook verder geïsoleerd en bepleisterd. Bouwfysische en esthetische redenen lagen daaraan ten grondslag. Inmiddels zijn de woningen bijna allemaal gesloopt.

Bouwhistorische waarden liggen ook in de in metselwerk afleesbare bouwfasen. Metselwerk in gevels en binnenwanden geven door afwijkingen in materialen en het metselverband vaak zichtbaar de levensloop van een gebouw prijs. De waarde van de constructie ligt dan primair in de ouderdom, in de zeldzaamheid of de gaafheid. Een oude muur, met z'n gebreken en afwijkingen, draagt authenticiteit uit (afb. 7).

Bij restauraties moet dan de balans worden opgezocht tussen wat technisch mogelijk of wenselijk is en de ouderdomswaarde. Ook verwerping is bij monumenten vaak een te koesteren teken van de tijd. Dit bepaalt bijvoorbeeld de terughoudende omgang met het metselwerk van monumentale ruïnes.

In dit verband wordt ook wel het begrip historische gelaagdheid gebruikt. Hiermee wordt bedoeld op de aanwezigheid en afleesbaarheid van verschillende betekenisvolle tijdslagen in een gebouw. Ook op het niveau van metselwerk speelt dit een rol.

Een bijzonder voorbeeld is het benedictijnenklooster St. Benedictusberg in het gehucht Mamelis in het zuiden van Limburg. Het in oorsprong expressionistische baksteengebouw uit het einde van de jaren twintig werd vanaf eind jaren vijftig opnieuw bewoond door kloosterlingen en met bouwdelen uitgebreid naar de opvattingen van dom H. van der Laan. Het monument geldt echter nu vooral als een excellent gesamt-kunstwerk van architectuur, gebruiksvorwerpen en kloosterleven volgens de uitgangspunten van de Bossche School. Bij de verbouwingen werd ook het bestaande gebouw hier en daar van Bossche Schoolaccenten voorzien. Een van de aanpassingen bij de restauratie van

de gevels was het aanbrengen van de al eerder vermelde kenmerkende uitpuilende voeg (afb. 8).³ Als onderdeel van de bouw- en mentaliteitsgeschiedenis van het klooster en de bewoners kan deze aanpassing inmiddels worden gewaardeerd.

GEBRUIKSSPOREN EN ANDERE TIJDTEKENEN

Het gaat in het voorbeeld van Mamelis om toevoegingen met cultuurhistorische waarde. Cultuurhistorische waarden hebben betrekking op sociale aspecten of ontwikkelingen die het materiaalgebruik en de decoratie van metselwerk kunnen bepalen en die hierdoor een bijzondere herinneringswaarde hebben. Het kan daarbij gaan om een specifieke geografische, typologische of innovatief-technische ontwikkeling.

De toegevoegde waarde aan het metselwerk door extern toedoen, zelfs vervuiling of beschadiging door oorlogshandelingen, schade door herhaalde bewe-

Afbeelding 8

De rechter zijgevel van het klooster van de Benedictijnen in Mamelis uit 1928 laat goed zien dat delen van het oude gebouw bij de restauratie en uitbreiding zijn voorzien van een lichte voeg. Deze laat de oude gevel goed aansluiten op de naoorlogse uitbreiding aan het oude klooster, maar wijkt af van het oorspronkelijke donkere voegwerk van het expressionistische siermetselwerk (foto RCE).



Afbeelding 9

De zwarte aanslag op het metselwerk van gevels in het centrum van Schiedam wordt vaak in verband gebracht met de jeneverindustrie die de economie en het leven en werken in de stad eeuwenlang beheerste. Een detail van de zijgevel van een pand aan de Nieuwstraat (foto G. Roodbol, gemeente Schiedam).

gingen zoals het schampen van karren of eeuwenlang dezelfde weg nemen, de roetsporen tegen gevels die wijzen op vroegere rookkanalen, al deze gegevens zijn van documentaire waarde.

In de omgang met monumenten betekent schade niet altijd een gebrek dat moet worden verholpen. En vervuiling is niet per se vies; het patina van een gevel hoort bij de authenticiteit van een monument. Dit is een van de redenen om terughoudend te zijn bij het reinigen van gevels. Soms heeft die vervuiling bovendien nog een extra betekenis. In Schiedam bevonden zich tot aan het eerste kwart van de twintigste eeuw honderden kleine en grote branderijen en distilleerderijen die hun zware rook uitbliezen over de stad. Hoewel in de stad in het verleden veel gevels gereinigd zijn, wordt er nu voorzigtiger omgegaan met de donkere aanslag op huizen of industriegebouwen uit die tijd, die letterlijk verwijst naar de geschiedenis van 'Zwart Nazareth' (afb. 9).

OP STEDENBOUWKUNDIG NIVEAU

De toepassing van baksteen heeft in Nederland een belangrijke stedenbouwkundige betekenis. De samenhang kan gelegen zijn in het materiaalgebruik, overeenkomstige of op elkaar afgestemde volumes en stijlkenmerken. In de Nederlandse steden heeft baksteen altijd een rol in het aanzien van de omgeving.

Ook de vele arbeiders- en middenstandswijken in baksteen met sobere decoraties zijn hiervan een typisch voorbeeld. Omdat baksteen zo bijdraagt aan de identiteit van die wijken, wordt bij herstructureringsopgaven het opnieuw toepassen van dit materiaal in de visies vaak als voorwaarde gesteld voor het behoud van het karakter.

Het karakter van het metselwerk op stedenbouwkundig niveau voert ook de boventoon in de discussie rond de recente restauratie van het Justus van Effendijkcomplex in de wijk Spangen in Rotterdam. Door een renovatie aan het einde van de jaren tachtig ging dit van oorsprong kleurrijke woningbouwcomplex, dat jaarlijks door architectuurtoeristen wordt bezocht, onder een witte verflaag schuil. Hoewel terughoudend omgegaan moet worden met het schoonmaken van historische



gevels is na uitvoerig onderzoek gekozen voor het schoonmaken van de gevels. Dit om de oorspronkelijke bedoeling van de architectuur – een combinatie van genuanceerd metselwerk, onbehandeld beton, gepleisterde vlakken en kleurig houtwerk – weer terug te brengen (afb. 10). Het verwijderen van de relatief recente ingreep was in dit geval bovendien een manier om het woningbouwcomplex nieuw leven in te blazen.

ZELDZAAMHEID, HERKENBAARHEID

Zeldzaamheid en gaafheid of herkenbaarheid zijn aanvullende criteria bij het waarderen van monumenten. Die zeldzaamheid kan liggen in een bijzondere ouderdom van een stuk metselwerk, een zeldzaam voorkomen van een type steen. Als het metselwerk gewaardeerd wordt om z'n zeldzaamheid, dan zijn de mogelijkheden voor ingrijpen vaak beperkt. Dan wordt alles op alles gezet om het zeldzame werk te behouden. Het vernieuwen van metselwerk heeft altijd invloed op de authenticiteit van het monument, maar soms ontkom je er niet aan om een gevel opnieuw op te trekken.

Van de Heldense Steenfabriek in Panningen (afb. 11) is een groot deel van de stenen ombouw vrijwel geheel opnieuw opgetrokken. Hier heeft, behalve de zeer slechte staat en de toekomstige mogelijkheden voor toegankelijkheid van de fabriek, de betekenis van herkenbaarheid van het monument een doorslaggevende rol gespeeld. De oude ringoven (de kern van de fabriek) bleef bovendien in gave toestand behouden. Bij het opnieuw optrekken heeft men zich gehouden



Afbeelding 10

Het Justus van Effencomplex in Rotterdam is een van de belangrijkste toonbeelden van volkshuisvesting uit de vroege twintigste eeuw (1922). Bij een renovatie omstreeks 1990 werden de gevels aan de binnenhoven van het complex vanwege problemen bij het gevelherstel en redenen van volkshuisvesting gewit. De witte verflaag is weer verwijderd bij de meest recente restauratie die in 2012 is afgerond (foto's RCE (boven) en Guido Bogers (onder)).



aan de oorspronkelijke contouren van het gebouw. Het monument is daarmee als baken in het landschap van Maas en Peel herkenbaar gebleven.

INGRIJPEN IN METSELWERK

Veel hoofdstukken in dit boek behandelen de historische productie, ontwikkeling en toepassing van verschillende bouw- en metselstenen, voegwerk en afwerkingen. Ze laten zien dat niet alle historische aspecten van metselwerk bij restauraties altijd voldoende bekend zijn en in acht worden genomen. Zo gaat bij goedbedoeld herstel toch nog veel verloren. Op welke waarderingscriteria en achterliggende waarden kunnen ingrepen in metselwerk invloed hebben? Enkele praktijkvoorbeelden en gehanteerde restauratieuitgangspunten in de monumentenstad 's-Hertogenbosch laten het zien.

DE EIGENAAR CENTRAAL

Regelmatig worden oude gevels niet aangepakt als onderdeel van een goed voorbereide verbouwing onder leiding van een restauratiearchitect, maar ad hoc bij wijze van onderhoud of een nodig geachte visuele opknappbeurt. Als een eigenaar zelf niet deskundig is op dit gebied, is hij afhankelijk van de professionaliteit van het door hem ingeschakelde bouwbedrijf.

Afbeelding 11

De Helderse Steenfabriek in Panningen uit 1909 vóór restauratie (foto's RCE).

Elke gemeente kent wel voorbeelden uit de afgelopen decennia waar het een keer is misgegaan (afb. 12). Gevels werden blootgesteld aan een schurende Nederlandse schoonmaakdrift, gevolgd door een razendsnelle voegmishandeling met de slijptol en vervolgens een iets te royaal dichtsmen van voegen. De negatieve gevolgen van zo'n 'gevelrenovatie' worden door een eigenaar niet altijd herkend.

Bij de regelgeving voor monumenten wordt uitgegaan van een hoge mate van eigen verantwoordelijkheid van een eigenaar. Een onderdeel daarvan is goed opdrachtgeverschap. Het is daarom van belang het bewustzijn van monumenteigenaren te bevorderen. Tegenwoordig worden kersverse eigenaren van (rijks)monumenten goed geïnformeerd over wat een beschermde status betekent.

Een zorgvuldige ingreep begint met onderzoek naar de problematiek en de aanwezige waarden. Een investering in het voortraject betaalt zich meestal terug in tijd en kwaliteit in het natraject. Om hiervoor draagvlak te creëren, is het steeds opnieuw en goed informeren van

'Gevelherstel' aan de Citadellaan in 's-Hertogenbosch. Naar aanleiding van een op zich prijzenswaardig gemeenschappelijk initiatief van huiseigenaren is deze gevelwand in het beschermde stadsgezicht van de wijk De Muntel zonder vooroverleg onherstelbaar verminkt na inschakeling van een bedrijf voor 'gevelrenovatie' (foto Harry Boekwijt, BAM).



monumenteneigenaren over het belang van het inschakelen van goede partijen van belang, en die informatie kan de eigenaar helpen goede opdrachten te geven. Monumentenadviesbureaus, gemeenten, steunpunten en het rijk hebben hierin een belangrijke taak.

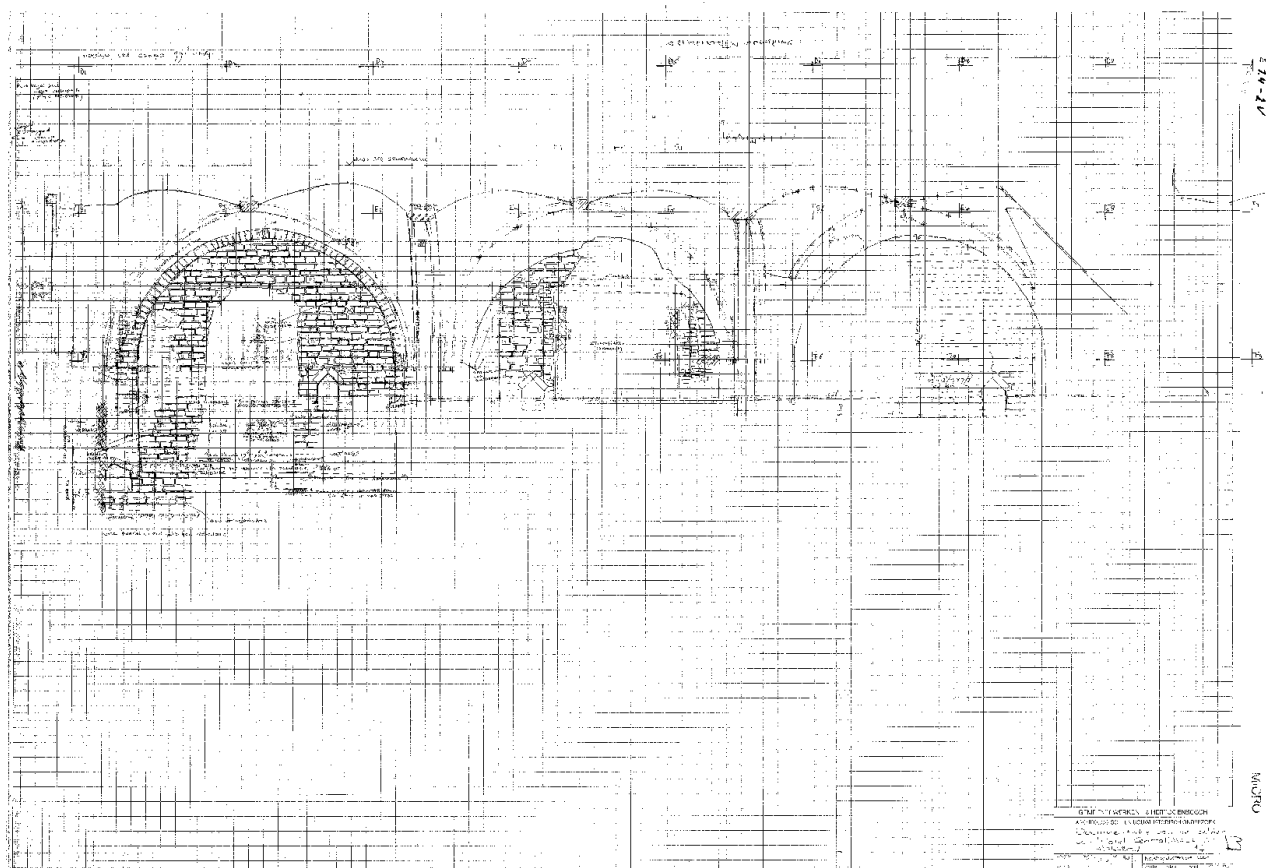
Soms betekent dit een opdrachtgever iets afremmen en laten zien dat snelheid niet altijd kwaliteit betekent. Voor monumenten is onder regie van de RCE een programma Restauratiekwaliteit gestart, dat een eigenaar in zijn rol kan helpen. Binnen dit programma worden onder andere normen voor goed restauratiewerk ontwikkeld. De inspanningen zijn erop gericht monumenteneigenaren te helpen de juiste deskundigheid te vinden. Natuurlijk met het uiteindelijke doel daarmee de kwaliteit van ingrepen in monumenten te verbeteren.

WAARDESTELLING

Monumenten zijn veranderlijk, net als de maatschappij die het monument heeft voortgebracht. Een monument heeft geen eenduidige en onveranderlijke betekenis. Voortdurend moet de betekenis van een monument

opnieuw worden bijgesteld. Dit betekent dat steeds opnieuw een waardestelling moet worden gemaakt als beslissingen nodig zijn over het in stand houden of wijzigen van een monument. Want ingrepen in de samenstelling of indeling van gevel, of een bouwfysische opwaardering of functionele aanpassing van het gebouw: ze kunnen steeds van invloed zijn op de cultuurhistorische waarde van het monument. En dit kan grote gevolgen hebben voor het gevelbeeld. Niet alleen als op ondeskundige wijze met bijvoorbeeld voegwerk wordt omgegaan; ook halve maatregelen bij restauraties kunnen doorwerken op de visuele waarde van de monumentale gevel.

Van oudsher vormt de redengevende omschrijving de primaire waardestelling en de juridische basis voor de bescherming van monumenten. Deze wordt dan ook als eerste en vaak ook als enige informatie ter kennis gesteld aan belanghebbenden van een beschermd monument. De korte omschrijvingen zijn regelmatig aanleiding voor het misverstand 'alleen mijn voorgevel staat onder monumentenzorg'. Een beoordeling van een



voorgenomen wijziging op basis van de redengevende omschrijving is echter niet mogelijk. De omschrijving is daar niet voor bedoeld. Voor die beoordeling is het nodig om architectuur- en bouwhistorisch onderzoek te doen als onderlegger voor het maken van plannen.

Voorafgaand aan gewenste of noodzakelijke ingrepen (zoals aanpassingen ten behoeve van gebruik of restauraties) worden globaal of in detail – afhankelijk van wat nodig is om keuzes en afwegingen te kunnen maken – cultuurhistorische waarden bepaald van het geheel en van onderdelen. Deze methodiek is vastgelegd in de Richtlijnen bouwhistorisch onderzoek, samengesteld door de Rijksgebouwendienst in samenwerking met onder meer Stichting Bouwhistorie Nederland en de RCE.

Ook voor kleurhistorisch onderzoek en tuinhistorisch onderzoek zijn specifieke methodes voor waardestelling ontwikkeld. Voor het bepalen van de waarde is relevante kennis en ervaring nodig. Het is werk voor een deskundige. Het waarden heeft immers een vergelijkend karakter. Hoe bijzonder of representatief is wat

Afbeelding 13

Bouwhistorische documentatietekening van het pand Markt 57 in 's-Hertogenbosch, fragment (bron: BAM, tekening van Harry Boekwijt).

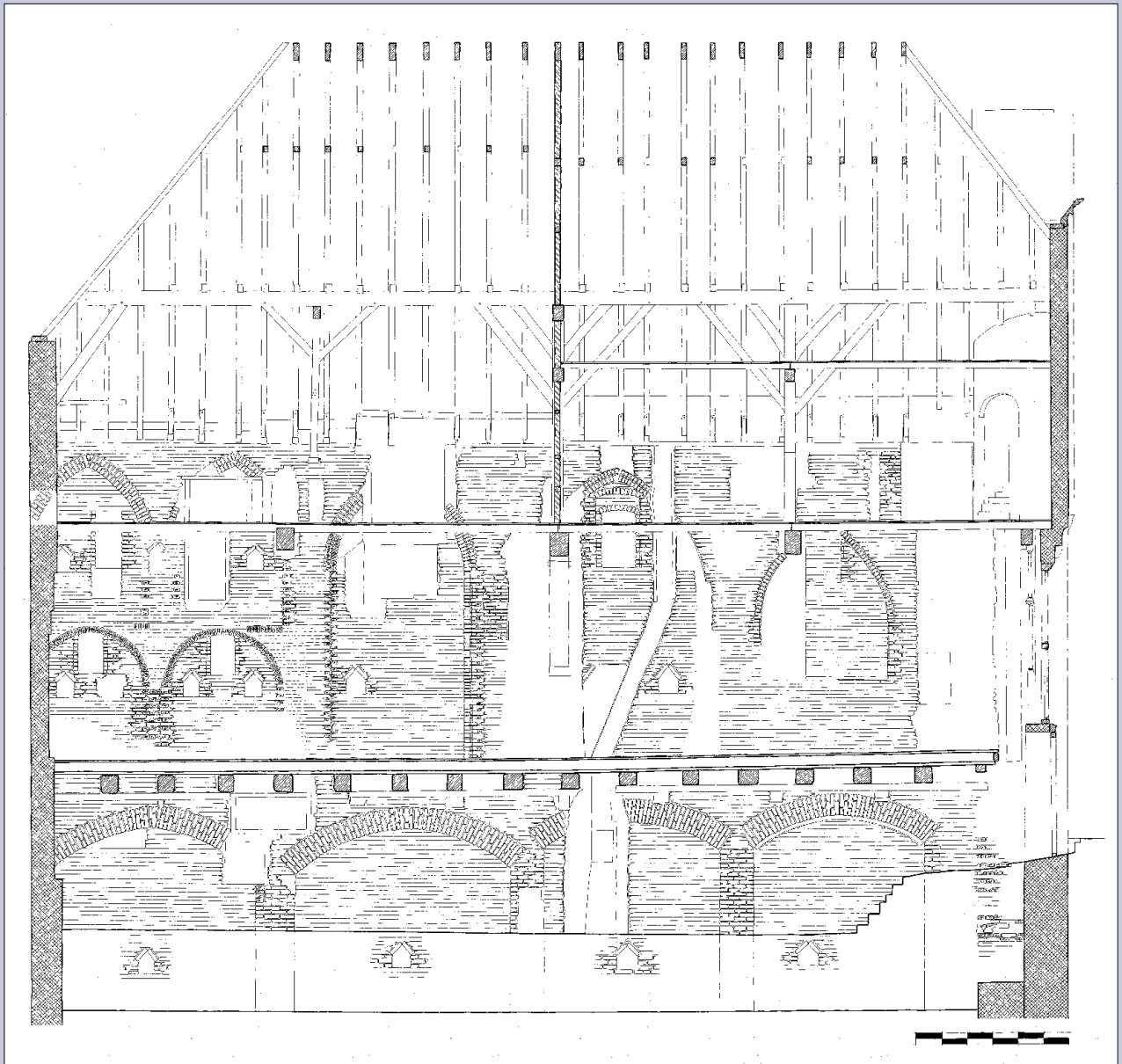
we zien, afgezet tegen andere voorbeelden op lokaal, regionaal of nationaal niveau?

VISUELE INSPECTIE

Voor het maken van een waardestelling gericht op de samenstelling van de gevel zijn drie stappen gedefinieerd: identificatie, betekenis en waardetoekenning. Om de waarde te bepalen, begint de onderzoeker met een visuele inspectie. De verschijningsvorm van schoonmetselwerk wordt bepaald door het samenspel van de steen en de voeg, en het verband waarin is gemetseld. Dit betekent een analyse van de kenmerken die van belang kunnen zijn en die hieronder aan de hand van enkele voorbeelden worden besproken. Bij het waarden van metselwerk spelen esthetische aspecten uiteraard een belangrijke rol. Het visuele beeld van metselwerk wordt

Afbeelding 14

Documentatietekening van de nog aanwezige authentieke bakstenen onderdelen in de zijmuur van het huis 'de Moriaan', Markt 77-79 (bron: BAM, tekening van R. Glaudemans).





Afbeelding 15

Soms gaat het mis. In dit voorbeeld uit een beschermd stadsgezicht in 's-Hertogenbosch werden de gevels van twee herenhuizen zonder vergunning geschilderd in een sterk afwijkende donkergrijze kleur. Na handhavend optreden is de afwijking gecorrigeerd in een lichtere kleur, om het pand weer iets beter te laten opgaan in het ensemble (foto Harry Boekwijt, BAM).

gevormd door de maat, kleur en textuur van de steen in combinatie met het effect en soort van de voeg. De samenstelling van de voegmortel en de manier waarop deze is aangebracht in het metselwerk qua dikte, diepte en afwerking, hebben er ook invloed op.

Bij een visuele inspectie van voegwerk stelt men zich verder vragen als: Zijn er decoraties in het metselwerk aangebracht? Zijn er meerdere soorten steen toegepast? Welke steensoort is er toegepast, in combinatie met welke voeg? Is het metselwerk als onderdeel van de constructie gebruikt of alleen in de bekleding van een betonnen skelet? Is het metselwerk gaaf, zijn er gebreken en herstellingen te zien? Zijn er verschillende bouwfasen te zien?

Vaak wordt hiervan een beschrijving gemaakt, geïllustreerd met foto's en/of tekeningen. Van sommige gebouwen is er archiefmateriaal dat extra informatie geeft over een vroegere uitmonstering. Maar een gedetailleerde inspectie in situ zal de meest essentiële kenmerken van het metselwerk aan het licht moeten brengen (afb. 13).

Naast bovengenoemde visuele aspecten is de oppervlaktewerking of textuur van de gevel een te beoordelen eigenschap. De textuur kan karakteristiek zijn voor de ouderdom, door verwerking ontstaan, of juist kenmer-

kend zijn voor een specifieke periode. Gaat het bijvoorbeeld om vlakke gevels – waarin de steen moet spreken en het voegwerk ondergeschikt is – dan moet men dit aspect bij een restauratie in acht nemen. Bij herstel gaat het erom deze aspecten – en daarmee ook de achterliggende waarden – te behouden.

BETEKENIS TOEKENNEN

De volgende stap is het toekennen van betekenis. Wat vertelt de visuele inspectie ons over bijvoorbeeld de datering van de gevel? Wanneer is een bepaalde steen of een bepaald verband toegepast? Is materiaal hergebruikt? Zijn er bouwsporen zichtbaar, wat zeggen die? Beschikbaarheid van materiaal? Heeft een decoratie een betekenis? Duidt een bepaald materiaalgebruik op rijkdom van de eigenaar? Zegt het iets over de functie van het gebouw? Wat wilde de opdrachtgever hiermee laten zien?

Voor het beantwoorden van deze vragen kan de hulp ingeschakeld worden van een bouw- of architectuurhistoricus die de relatieve betekenis kan bepalen van het metselwerk in relatie tot het gebouw als geheel. Of die een indicatie kan geven van de datering op basis van de steenformaten en lagenmaat. Daarbij helpen sinds kort ook nieuwe dateringstechnieken als ther-

Metselwerk van de panden Parade 12 (links) en Peperstraat 3 (rechts) in 's-Hertogenbosch. Het voegwerk van het linker voorbeeld is zorgvuldig aangevuld, het rechter voorbeeld is in dit opzicht duidelijk mislukt. Het beschermen van metselwerkconstructies is vooral ook een zaak van overleg en begeleiding bij de uitvoering. Soms komt daar handhaving aan te pas (foto's Harry Boekwijt, BAM).



oluminescentie, vooral bij de vroegste gemetselde constructies. Dit alles leidt tot een waardestelling, waarbij ervaring elders in het land als referentiekader wordt gebruikt.

Het komt overigens zelden voor dat opdracht wordt gegeven voor een afzonderlijke waardestelling voor het metselwerk van een monument. Meestal is die waardestelling onderdeel van een bouwhistorisch onderzoek voor een object als geheel, eventueel in samenhang met zijn omgeving. Als metselwerk moet worden gerestaureerd, is het – als het onderzoek hierop in detail ingaat – aan te bevelen specifiek daarop in te zoomen. De documentatie en de hierop gebaseerde waardestelling kan bijdragen aan een goed plan voor de aanpak van het metselwerk en geeft bovendien informatie die nuttig is bij het aanvragen van een omgevingsvergunning.

UITGANGSPUNTEN BIJ RESTAURATIE

Een van de meest fundamentele onderdelen van het gebouwde monumentale erfgoed is de buitenhuid van een gebouw (zie ook het hoofdstuk over geveloppervlak), die doorgaans bestaat uit gemetselde wanden. In ons land is de traditie van in baksteen gemetselde

constructies diep geworteld en het metselwerk bepaalt in belangrijke mate het uiterlijk van gebouwen.

Het behoud van waardevol historisch metselwerk zou dan ook een belangrijk uitgangspunt moeten zijn bij iedere verbouwing. Toch is deze aandacht niet altijd even vanzelfsprekend. Dit kan dit een gevolg zijn van het feit dat gemetselde (buiten)wanden bij een verbouwing op het eerste gezicht ongewijzigd blijven en daardoor aan de aandacht ontglippen, tenzij het herstel hiervan onderdeel is van gesubsidieerde restauratie.

Bij herstelwerkzaamheden is het bewaren van de gaafheid en herkenbaarheid van het oorspronkelijke metselwerk en de afleesbaarheid van de diverse bouwfaseringen (bouwsporen) daarin een belangrijk aandachtspunt. Het vroegere gebruik van het object en de aanpassingen die het heeft ondergaan, kunnen aanleiding zijn voor een hoge waardering van het metselwerk, als die ontwikkelingsgeschiedenis zich daarin laat aflezen.

Maar hoe deze herkenbaarheid of afleesbaarheid in het zicht wordt gelaten, leidt in de praktijk ook tot dilemma's. In het verleden waardeerden eigenaren verbouwingssporen in gevels immers vaak niet als

Twee tegenovergelegen voorbeelden met sporen van de beschietingen in 1944. Bij het linker voorbeeld van Oude Dieze 11 zijn de kogelinslagen nog duidelijk herkenbaar, maar bij Oude Dieze 6 (rechts) zijn deze gerepareerd (foto's Harry Boekwijt (BAM)).



bewijs van een rijke bouwgeschiedenis. Ze werkten deze liever weg achter een keurige kleurafwerking, raap- of pleisterlaag. Lenen de interessante, vaak na arbeidsintensieve bouwhistorische ontleding teruggevonden verbouwingssporen zich (na waardestelling) voor een museale benadering en worden zij nadrukkelijk in het zicht gebracht? Of bedekken we ze opnieuw na lezing van het gebouwarchief? Van beide benaderingswijzen zijn goede voorbeelden te geven. Belangrijk is dat goed onderzoek en een breed gedragen analyse aan de uiteindelijke keuze ten grondslag ligt.

In de restauratiepraktijk worden algemene uitgangspunten gehanteerd.⁴ Om deze goed te kunnen toepassen, is kennis van zaken nodig en een goede waardebeoordeling van het metselwerk. Zo is bij metselwerk met allerlei zichtbare reparaties en maar weinig oorspronkelijk werk 'terughoudend herstel' als uitgangspunt niet altijd aan de orde. Soms is de architectuurhistorische waarde en het daarmee samenhangende esthetische belang zo hoog dat het te verantwoorden is het voegwerk te vervangen door een esthetisch en technisch betere voeg. Vooral bij dergelijk vergaand ingrijpen is het belangrijk keuzes goed te documenteren en relevante delen van het bestaande voegwerk te behouden als referentie.

Zoals hierboven betoogd heeft een monument geen eenduidige betekenis. Het is moeilijk om in een waardestelling volledig te anticiperen op de consequenties van toekomstig gebruik van het gebouw. Het is dan ook inmiddels gebruikelijk dat bij functiewijziging een aanvullende waardestelling wordt verlangd. Uiteraard is een

bezoek in situ aan het betreffende object dan een vereiste om het monument in die toekomstige functie te kunnen beoordelen. Daarbij is maatwerk nodig, en waardestelling en advies 'in het veld' vooraf aan eigenaren.

Overigens hebben niet alleen ingrepen in metselwerk (steen en voegwerk) effect op de monumentale waarden van het metselwerk. Het wijzigen van de kleur van vensters kan bijvoorbeeld ingrijpend zijn en invloed hebben op hoe gekleurd siermetselwerk weer sprekend wordt in het totaalbeeld van de gevel.

HISTORISCHE STRUCTUUR EN SAMENHANG

In 's-Hertogenbosch zijn toepassingen van baksteenmetselwerk terug te vinden uit het begin van de dertiende eeuw. Die hangen samen met het ontstaan van de stad, maar vormen ook een schakel in de regionale technische (her)ontwikkeling van het bouw materiaal baksteen. Voorbeelden hiervan zijn de kern van de bakstenen toren van de Sint Janskathedraal, restanten van de vroegste stadsmuur verborgen in diverse huizen in de binnenstad, en restanten van de Leuvense poort (Hinthamerstraat 11) en de waterpoort aan het Herman Moerkerkplein. Maar ook het grotendeels bewaard gebleven authentieke bakstenen casco van het dertiende-eeuwse pand 'de Moriaan' (Markt 77-79) heeft een hoge bouw- en architectuurhistorische waarde, ondanks de ingrijpende restauratie in de jaren zestig van de vorige eeuw. Dit vroege metselwerk ligt voorts nog besloten in de bouwmuren van diverse panden van de Bossche binnenstad (afb. 14).

Afbeelding 18

De oude situatie en recente toestand van de vroeg zeventiende-eeuwse pastorie van de Sint Catharinakerk. In 1878 met cementpleister bedekt en voorzien van schuifvensters. Na bouwhistorisch onderzoek halverwege de jaren negentig is bij de restauratie gekozen voor het reconstrueren van delen van de oorspronkelijke architectuur (foto's RCE (oude situatie) en Harry Boekwijt, BAM (nieuwe situatie)).



Een hoge mate van samenhang door de toegepaste stijl en het gebruikte materiaal kan leiden tot een waardering als ensemble en aanleiding geven tot bescherming. Dit komt nadrukkelijk aan de orde binnen de jongere stadsdelen die horen bij het beschermde stadsgezicht, waar sprake is van een grote mate van eenvormigheid wat betreft toepassing, detaillering en kleur van het metselwerk binnen het ensemble. Dit is aanleiding geweest om ook een aantal qua architectuur minder opvallende panden te beschermen. In het kader van het (verhoogde) welstandsregime in de Bossche binnenstad wordt ook geprobeerd om het karakteristieke bakstenen gevelbeeld te bewaren. Zo adviseerde de welstandscommissie negatief over een aanvraag om de gemetselde gevel van een pand in een sterk afwijkende kleur te beschilderen. Zo werd het aanzien van metselwerk beschermd (afb. 15).

HERSTELLEN OF AFBLIJVEN

Gelukkig getuigen nog overal in den lande en ook in 's-Hertogenbosch patriciërshuizen uit de zeventiende

en achttiende eeuw van de kwaliteit van de toegepaste materialen en het vakmanschap van de metselaars uit die tijd. De architectonische betekenis van metselwerk is door de eeuwen heen in Nederland groot gebleven. Natuursteen kon hier alleen door import worden verkregen en werd daarom alleen spaarzaam door de 'happy few' toegepast.

In de loop der tijd werd in het metselwerk een hoge graad van perfectie bereikt. We zien dit al in de bouwkunst van de barok en het classicisme uit de zeventiende eeuw. Maar in de achttiende en negentiende eeuw kreeg metselwerk vaak een nog grotere mate van verfijning, door onder meer kruisverbanden in combinatie met bijgesneden en uiterst dunne linten vrijwel onzichtbare stootvoegen. Het is uiterst moeilijk dit ragfijne vakwerk te vervangen. Ingrijpen kan direct gevolgen hebben voor de architectonische betekenis van dit metselwerk. Vaak is het beter om dergelijk metsel- en voegwerk zo min mogelijk te beroeren en kleine imperfecties te tolereren, in plaats van in te grijpen (afb. 16).

SPOREN

Zoals we eerder zagen betreft een bijzonder cultuur-historisch aspect niet per se het materiaal zelf, maar datgene wat het heeft ondergaan: sporen die op het metselwerk zijn achtergebleven en een herinnering vormen aan een bijzondere gebeurtenis uit het verleden. Zo toont een aantal gebouwen in 's-Hertogenbosch nog duidelijk de gevolgen van de bevrijding van de stad in oktober 1944 in de vorm van kogelgaten in de gevels (afb. 17). In de afgelopen decennia werden deze sporen regelmatig uitgewist, omdat de wens om een gave façade te bezitten sterker was dan het historisch besef.

In een waardestelling worden behalve esthetische aspecten ook deze cultuurhistorische waarden meegenomen. Daarbij wordt afgewogen waar de prioriteit ligt: de gevel te herstellen vanuit bouwtechnische noodzaak of de esthetische wens om de gevel in oorspronkelijke staat te herstellen. In dit laatste geval wordt in 's-Hertogenbosch doorgaans geadviseerd om de sporen uit het verleden te behouden.

RECONSTRUCTIE OF EEN STENEN ARCHIEF

De waardestelling van een monument kan leiden tot verschillende accenten in het restauratieplan. Volgens de restauratieuitgangspunten is reconstructie (terugbrengen van een vroegere situatie) alleen geoorloofd op basis van voldoende aannemelijk bronnen. Het moet niet gaan om het terughalen van een ideaalplaatje van vroeger, maar bijdragen aan de benoemde waarden van het monument of die in elk geval niet verminderen. Natuurlijk levert dit in de praktijk veel discussie op en mag het Rijk bij het verlenen van een omgevingsvergunning vaak advies uitbrengen.

Uit die adviezen blijkt dat reconstructie kan ingrijpen in wezenlijke waarden en dat een zorgvuldige afweging altijd voorop staat. Tegenwoordig wordt vaker gekozen voor een terughoudende benadering die alle aanwezige waarden spaart.

Een voorbeeld uit de jaren negentig waar duidelijk voor één richting is gekozen, is de pastorie (uit 1619) van de Sint Catharinakerk. Deze is in 1878 ter wille van

Afbeelding 19

De voorgevel van het pand Louwsche Poort 4 in 's-Hertogenbosch. Gevonden bouwsporen leidde medio jaren zeventig tot een restauratie waarbij deze sporen bewust in het zicht werden gebracht. De gevel was vóór de restauratie bepleisterd, ongetwijfeld om ze aan het oog te onttrekken (foto Harry Boekwijt, BAM).



duurzaam onderhoud met cementpleister bedekt, zijn de kruisvensters vervangen door zesruits-schuifvensters en de is renaissance krulgevel gesimplificeerd bijgemodelleerd (afb. 18).

Tijdens het bouwhistorisch onderzoek in het kader van de restauratie van kerk en pastorie in de jaren 1994 tot en met 1996 legden de gemeentelijke monumentenzorgers H. Boekwijt en R. Glaudemans de oorspronkelijke architectuur bloot en reconstrueerden ze deze op papier. In de waardestelling is de oorspronkelijke architectuur hoger gewaardeerd dan de gepleisterde negentiende-eeuwse gevel. Bij de restauratie werd daarom gekozen voor reconstructie, waarbij – afgezien van het bovenste segment van de geveltop en de mergelstenen en zandstenen lijsten en ornamenten – al het (baksteen)metselwerk behouden is gebleven. Bouwhistorisch onderzoek kan dus tot gevolg hebben dat wordt teruggerestaureerd naar een specifieke periode.

De teruggevonden rijkdom aan bouwsporen in de gemetselde voorgevel van het pand Louwsche Poort 4 in de Brabantse hoofdstad leidde zo medio jaren zeventig van de vorige eeuw tot een restauratie door architect Jan van der Eerden, waarin al deze elementen – onder meer daterend van vóór en na de stadsbrand van 1419 – bewust in het zicht werden gebracht en het pleisterwerk van de gevel daarvoor werd verwijderd (afb. 19). Daarbij werd een vroeg vijftiende-eeuws kloostervenster gereconstrueerd.

TOT BESLUIT

Voor verantwoorde keuzes is het erfgoed afhankelijk van kennis van zaken bij de partijen die zich met dat erfgoed bezighouden en van draagvlak en begrip bij eigenaren. Behoud van kennis en de overdracht daarvan heeft daarbij een hoge prioriteit. Hoewel vaak de uitwendige en decoratieve aspecten de boventoon voeren bij beoordeling van metselwerk, kunnen gedegen onderzoek en een accurate waardestelling ook aanleiding geven tot boeiende keuzes. Denk aan het conserveren van een gegroeide situatie of het weer laten zien van schijnbaar verdwenen elementen door reconstructie. Of de keuze tussen een bouwsporen-expositie en een documentatie van de sporen en toedekking daarvan, zodat toekomstige generaties ze opnieuw kunnen ontdekken en interpreteren. Elke restauratie heeft te maken met een unieke situatie die zorgvuldig moet worden beoordeeld voordat een keuze van aanpak wordt gemaakt. Historisch onderzoek, analyse en waardestelling is voorwaardelijk voor een verantwoorde aanpak van de ingreep en is noodzakelijk om de uitgangspunten voor de restauratie goed te kunnen formuleren.

Literatuur

- Burkom, F., en Y. Spoelstra, 2007, *Monumentale Kunst, categoriaal onderzoek wederopbouw 1940-1965*, Zeist (p. 157 en 161-162).
- Rijksdienst voor de Monumentenzorg, 1991, *Het restaureren van gebouwen: algemene uitgangspunten*, Zeist [Overdruk uit het Restauratievademecum, aflevering 24, augustus 1991].
- Schiebroek, C.J.M., 1991, *Baksteen in Nederland; De Taal van het Metselwerk*, Den Haag.
- Stenvert, R., & G. van Tussenbroek (red.), 2009, *Inleiding in de bouwhistorie. Opmeten en onderzoeken van oude gebouwen*, Utrecht.
- Z.a., 1941, *Catalogus van de tentoonstelling Nederland Bouwt in baksteen 1800-1940, 26 juli – 15 november 1941*, Museum Boijmans, Rotterdam.
- Z.a., 2009, *Richtlijnen voor bouwhistorische onderzoek: Lezen en analyseren van cultuurhistorisch erfgoed*, Den Haag.

Noten

- 1 Een waardestelling richt zich op het benoemen van de historische waarden van een gebouw, gebouwencomplexen of een bepaald gebied. Het beargumenteert waarom bepaalde gebouwen of structuren het behouden waard zijn vanuit verschillende criteria (cultuurhistorie, architectuur, bouwhistorie, ensemblewaarde, stedenbouwkundige waarde).
- 2 Het zogenaamde Olbertz- en Isolasyستم.
- 3 Schiebroek 1991, p. 186.
- 4 *Het restaureren van gebouwen, algemene uitgangspunten*, Zeist 1991.

CRITERIA VOOR DE WAARDERING VAN HISTORISCHE BOUWKUNST

De Rijksdienst voor het Cultureel Erfgoed heeft een standaard ontwikkeld voor de waardering van bouwkunst. Daarmee kunnen de monumentale waarden van een gebouw helder en eenduidig worden vastgesteld. De waardering speelt een leidende rol bij de aanwijzing van een gebouw als monument én bij het wijzigen van het beschermde gebouw.

I cultuurhistorische waarden

1. bijzondere uitdrukking van (een) culturele, sociaal-economische en/of bestuurlijke/beleidsmatige en/of geestelijke ontwikkeling(en);
2. bijzondere uitdrukking van (een) geografische, landschappelijke en/of historisch ruimtelijke ontwikkeling;
3. bijzondere uitdrukking van (een) technische en/of typologische ontwikkeling(en);
4. innovatieve waarde of pionierskarakter;
5. bijzondere herinneringswaarde.

II architectuur- en kunsthistorische waarden

1. bijzonder belang voor de geschiedenis van de architectuur en/of bouwtechniek;
2. bijzonder belang voor het oeuvre van een bouwmeester, architect, ingenieur of kunstenaar;
3. hoogwaardige esthetische kwaliteiten van het ontwerp;
4. bijzonder materiaalgebruik, bijzondere ornamentiek en/of monumentale kunst;
5. bijzondere samenhang tussen exterieur en interieur (onderdelen).

III situationele en ensemblewaarden

1. essentieel (cultuurhistorisch, functioneel en/of architectuurhistorisch en visueel) onderdeel van een complex;
2. a. bijzondere, beeldbepalende betekenis voor het aanzien van zijn omgeving;
b. bijzondere betekenis voor het aanzien van zijn omgeving, wijk, stad of streek;
3. a. hoogwaardige kwaliteit van de bebouwing in relatie tot de onderlinge historisch-ruimtelijke context en de bijbehorende groenvoorzieningen, wegen, wateren, bodemgesteldheid en/of archeologie;
b. wijze van verkaveling, inrichting, voorzieningen.

De waardering is gebaseerd op vijf hoofdcriteria die zijn onderverdeeld in subcriteria. De grondslagen van de waardering van het gebouwde erfgoed liggen in de domeinen van kunst en geschiedenis. Daarnaast spelen geestelijke, geografische, sociaal-economische, bestuurlijke en technische ontwikkelingen een rol in de waardering. Ook gaafheid en zeldzaamheid zijn van invloed. Ieder monument heeft een eigen palet van waarden.

IV gaafheid en herkenbaarheid

1. architectonische gaafheid en/of herkenbaarheid van exterieur en/of interieur;
2. materiële, technische en/of constructieve gaafheid;
3. nog goed herkenbare uitdrukking van de oorspronkelijke of een belangrijke historische functie;
4. waardevolle accumulatie van belangwekkende historische bouwen/of gebruiksfasen;
5. gaafheden herkenbaarheid van het gehele ensemble (hoofd- en bijgebouwen, hekwerken, tuinaanleg en dergelijke);
6. in relatie tot de structurele en/of visuele gaafheid van de stedelijke, dorps- of landschappelijke omgeving.

V zeldzaamheid

1. absolute zeldzaamheid in architectuurhistorisch, bouwtechnisch, typologisch of functioneel opzicht;
2. relatieve zeldzaamheid in relatie tot een of meer van de onder I tot en met III genoemde kwaliteiten.

24



Het restauratieproces

Het herstel van historisch metselwerk in stappen

Restaureren betekent keuzes maken. Herstel van slecht metselwerk of toch behoud van historische materie? Totaal herstel of partieel? Een doorleefd beeld accepteren of de oorspronkelijke uitstraling herkrijgen? Impliciete en expliciete uitgangspunten bepalen uiteindelijk het resultaat. De restauratie die de maker van de restauratieplannen voor ogen staat, kan alleen gerealiseerd worden met de medewerking van alle partijen. Tenslotte staat of valt het resultaat van de restauratie met de deskundigheid van de uitvoerende partijen.

Voordat een aannemer een opdracht tot uitvoering krijgt, is een lang traject doorlopen met onderzoek naar historische kwaliteit en naar technische staat, het maken van een herstelplan, het vastleggen daarvan in een werkomschrijving of bestek, het vastleggen van hoeveelheden in opnamestaten en tekeningen, en tenslotte het opstellen van een begroting/prijsaanbieding door de inschrijvende aannemer(s). Deze stappen worden in dit hoofdstuk nader toegelicht.

ONDERZOEK EN WAARDERING

Zowel bij de voorbereiding als de uitvoering van restauraties is onderzoek belangrijk. Technisch onderzoek moet de kwaliteit van het metselwerk aantonen; welke kwalen aangepakt moeten worden en hoe. Daarnaast is het van even groot belang de geschiedenis van het metselwerk in een gebouw te doorgronden.

Metselwerk is bij uitstek de fysieke drager van die geschiedenis. Het behoud van het metselwerk als materie is dan ook van groot belang. In metselwerkconstruc-

ties (vooral in achter- en zijgevels) kunnen we lezen welke veranderingen een gebouw heeft ondergaan.

Tot een eeuw geleden was handhaven en hergebruik van metselwerk gebruikelijk bij verbouwingen en vernieuwing. Houtconstructies en kozijnstructuur van een pand werden dikwijls vernieuwd of sterk aangepast, maar gemetselde wanden – soms aan het oog onttrokken – bleven. Mode leidt vaak tot ingrijpende wijzigingen in zichtgevels, maar gaat meestal grotendeels voorbij aan het overige metselwerk.

Voor de zichtgevels bepalen het beeld van het monument. Men wil vaak graag dat zichtgevels representatief zijn; wat ook al het geval was tijdens het ontstaan van de panden. Daardoor is er altijd een grote druk om deze gevels ingrijpender te restaureren dan technisch noodzakelijk is.

Er is tegenwoordig veel belangstelling voor de geschiedenis van monumenten. En mede daardoor ook voor een restauratieaanpak waarbij de ouderdom en geschiedenis van het monument zichtbaar blijft.

Restauratie van een pand moet zo gebeuren dat alle daarin aanwezige waarden inzichtelijk zijn. De keuze voor herstelmethoden hangt niet alleen af van technische noodzaak, maar net zo goed van de mogelijkheid om authentiek werk te behouden. Tenslotte gaat behoud nog altijd voor vernieuwen.

Afbeelding 1

Er is tegenwoordig veel belangstelling voor de geschiedenis van monumenten. En mede daardoor ook voor een restauratieaanpak waarbij de ouderdom en geschiedenis van het monument zichtbaar blijft (foto Verlaan en Bouwstra architecten).

Afbeelding 2

Metselwerk is bij uitstek de fysieke drager van de bouwgeschiedenis, zoals hier bij een kerk in Grou (foto Verlaan en Bouwstra architecten).



Afbeelding 3

De steenovens van Klein Hitland in Capelle aan de IJssel. Dit is een voorbeeld van terughoudend herstel, hoofdzakelijk consoliderend. Problematisch voor de mortelkeuze voor het herstel was dat het muurwerk was gemetseld met klei als 'mortel' (foto Verlaan en Bouwstra architecten).



OPDRACHTVERLENING

Vaak zal een eigenaar bij het regelmatige klein onderhoud aan een monument steeds punten overhouden die dat klein onderhoud te boven gaan, en waarvoor een specialist nodig zou zijn. Vaak zijn de problemen nog klein en worden de ingrepen uitgesteld. Zo kan echter een stuwmeer aan problemen ontstaan dat op termijn voor een eigenaar toch aanleiding is – soms na steeds dringender rapporten van de Monumentenwacht – een deskundige als adviseur te betrekken bij 'groot' onderhoud. Met name bij groot onderhoud en restauratie wordt een architect betrokken bij de werkzaamheden. In gesprekken tussen architect en opdrachtgever zal een opdracht worden afgebakend, afhankelijk van

veel factoren zoals de kwaliteit van het monument, wensen van de opdrachtgever wat betreft wijzigingen en niet in het minst de hoogte van het budget.

Behalve uit technische noodzaak ontstaat een initiatief voor restauratie vaak uit behoefte aan aanpassing van een gebouw. Bij planvorming is de aanpassing van het gebouw dan vaak het belangrijkste gespreksonderwerp en de restauratie bijzaak. De adviseur moet dan scherp in de gaten houden wat de beoogde en geadviseerde aanpassingen betekenen voor het monument.

Consequente uitgangspunten bij planvorming geven ook richting aan de technische aanpak van onderdelen van het monument, zoals het metselwerk. Keuzes moeten gebaseerd zijn op het uitgangspunt dat aanpas-

Afbeelding 4

Uitvoering kan leiden tot bijzondere verrassingen. Bij het stadhuis te Schiedam bleek dat de huidige buitengevel een 'voorzetwand' was, geplaatst voor een oudere gevel met natuurstenen hoekblokken (foto Verlaan en Bouwstra architecten).

sen van een gebouw een continu proces is, waarbij de beoogde aanpassingen op termijn slechts één van velen blijken te zijn. Bij planvorming hoort dan het adagium 'behoud gaat voor vernieuwen'. Goed technisch- en bouwhistorisch onderzoek voorafgaand aan de restauratie moet richtinggevend zijn bij planvorming.

Opdrachtgevers willen vaak een te ingrijpende aanpak. Het is aan de architecten en monumentenzorgers in de breedste zin om te pleiten voor de letterlijk behoudende aanpak en de opdrachtgevers te informeren over de do's-and-don'ts van de restauratie en gezamenlijk een optimaal uitgangspunt te kiezen.

DE VOORBEREIDING VAN DE RESTAURATIE

Een eerste indruk van de kwaliteit van het metselwerk en de schade daaraan geschiedt door een visuele opname, meestal op enige afstand vanaf het maaiveld. Afhankelijk van soort en ouderdom van het monument kan een waardestellingstekening zinvol zijn. Dit op basis van bouwhistorisch onderzoek met aanduiding van de bouwfasen van het gebouw, waarbij voor gebouwdeelen snel af te lezen is uit welke periode deze stammen en in welk opzicht (en in hoeverre) zij waardevol zijn.

Opname bestaande toestand

Daarna is het zaak het metselwerk visueel nader te beoordelen. Twee relevante vragen daarbij zijn of het metselwerk nog gaaf is en of het originele voegwerk (deels) nog aanwezig is. In het laatste geval kan dat een reden zijn voorzichtiger om te gaan met voegherstel, en historische kwaliteit te laten prevaleren boven technische kwaliteit. Belangrijk is vast te leggen welke soorten voegen zijn aangetroffen; bijvoorbeeld terugliggend, plat-vol, gesneden of met daggestreek.

Een derde vraag is of het metselwerk uit verschillende fasen stamt. En zo ja: of het metselwerk bijdraagt aan de bouwhistorische 'leesbaarheid' van de geschiedenis van het gebouw of dat er juist verstorende herstellingen aanwezig zijn.

De kwaliteit van het metselwerk is ook afhankelijk van het soort metselwerk en de ouderdom van het monument. Metselwerk in kalkspecie is per definitie zachter en minder sterk gehecht dan in specie op basis



van portlandcement. Daardoor is ouder metselwerk over het algemeen zachter dan modern metselwerk. Het verschil is goed af te lezen aan het verloop van scheurvorming in een gevel. In oudere delen van een gebouw volgt de scheurvorming meestal de voegen, in modern metselwerk is de metselspecie zo hard dat de scheurvorming dwars door de stenen loopt. Soms is het wenselijk de samenstelling van bakstenen en voegmortel te laten analyseren door een gespecialiseerd bureau. Dit door het nemen van een boormonster en microscopisch onderzoek, in combinatie met chemische analyse.

Visueel te beoordelen aspecten van metselwerk zijn onder meer of het nog zijn oorspronkelijke samenhang (sterkte) heeft en of er zettingen in het metselwerk zichtbaar zijn. Het intekenen hiervan in geveltekeningen helpt bij het analyseren van eventuele funderingsproblemen – of andere constructieve problemen – en kan als hulpmiddel dienen bij het opstellen van een herstelplan. Waterpassing van een lintvoeg kan een hulpmiddel zijn om zettingen vast te stellen; doorgaans liepen de lintvoegen bij de bouw horizontaal liepen. Ook dient gelet te worden op uitbuikende delen in het metselwerk.

Het metselwerk kan ook worden beoordeeld op scheuren (zie ook het hoofdstuk over diagnose van scheuren etc.) en of daarin patronen herkenbaar zijn. Op basis van geconstateerde zettingen en intekening van scheuren in een geveltekening kan beoordeeld worden of dit zettingsscheuren zijn, of scheuren door thermische spanningen en het ontbreken van dilataties. In oude gebouwen zijn vaak geen dilataties aangebracht; door temperatuurverschillen in gevels ontstaan dan 'natuurlijke' dilataties die zich uiten als scheuren. Kalkmortel is flexibeler dan cementmortel, waardoor

minder dilataties nodig zijn. De afwezigheid van dilataties leidt bovendien minder sterk tot scheurvorming dan bij later in cementspecie uitgevoerd werk.

Wanneer metselwerk en voegwerk slechte plekken bevatten – zoals vergane voegen en uitspoelende metselspecie, losliggende stenen, loskomende rollagen of ezelsruggen – dan worden ook deze plekken gemarkeerd op geveltekeningen en wordt getracht een beeld te vormen van de oorzaken, bijvoorbeeld zon- of regenbelasting, lekkages of inwateren.

Schadeanalyse

Na het inventariseren van de zichtbare schades aan metselwerken wordt getracht de oorzaken op te sporen. Ook kan het nodig zijn de restauratie- of onderhoudshistorie te bestuderen om te achterhalen welke behandelingen zijn uitgevoerd.

Vocht is een van de belangrijkste schadeoorzaken. Daarom is het belangrijk eerst vochtbronnen op te sporen, zoals inwatering via het dak, goten of afvoeren, opspattend water en optrekkend vocht. Dringt bijvoor-

beeld vocht in door het ontbreken van de afdekking op topgevels. Ontstaat optrekkend vocht door een vochtbelasting via het maaiveld (als goten ontbreken of er een beperkt dakoverstek is) of door een hoge grondwaterstand. Bekijk hiervoor zo mogelijk hoe de grondwaterstand is en hoe de grondsoort of verharding rond het gebouw is. De vochtbelasting kan ook leiden tot vorstschade. Vorstschade kan leiden tot het verpoederen van de steen of delaminatie van de mortel.

Ook zouten leiden tot schade (zie ook het hoofdstuk over schade door vocht etc.). Vocht in het metselwerk transporteert zouten naar het oppervlak waar bij verdamping zoutkristallen achterblijven. Deze kunnen het stucwerk van de muur drukken of de baksteen of voegen verpoederen.

Roestend ijzer van bijvoorbeeld muurankers kan metselwerk kapot drukken; roest kan ijzer tot zeven maal in volume doen toenemen. Schade bij balkankers met schieters is meestal goed herkenbaar omdat deze in het zicht zijn. Lastiger op te sporen zijn de blinde ankers die in het metselwerk verborgen liggen, veelal



Afbeelding 5

Het wegwerken van ankers in het metselwerk is esthetisch fraai, maar als ze gaan roesten, heeft dat desastreuze gevolgen (foto Verlaan en Bouwstra architecten).



Afbeelding 6

Het vrijgelegde roestende blindanker laat zien welke schade is ontstaan aan het metselwerk (foto Verlaan en Bouwstra architecten).

Afbeelding 7

In beschadigde voegen krijgen plantenzaden soms een kans om te wortelen in de specie tussen de stenen (foto Verlaan en Bouwstra architecten).

ter plaatse van balkkoppen (op te sporen door gevelbeeld en plattegrond/balklagentekening te vergelijken). Ook horizontale verankering van kettingankers (zoals doorgekoppelde brugstaven tussen kerkramen) kan scheuren veroorzaken in een lintvoeg. Roestende blindankers zijn herkenbaar aan scheuren in combinatie met naar buiten gedrukt metselwerk.

Onvoldoende samenhang in zwaar muurwerk kan leiden tot uitbuikende delen. Dergelijke muren zijn soms opgebouwd met goede sterke stenen in de buitenste schillen, met daartussen zwakkere en halve stenen of soms zelfs puin en zand ('kistwerk'). De vulling van vijftiende- en zestiende-eeuwse 'kistwerkmuren' bevat soms onvoldoende bindmiddel, waardoor bij belasting de buitenschil losraakt. Holle ruimten zijn op te sporen door het metselwerk te bekloppen met een hamer. In metselwerken vanaf begin twintigste eeuw komen spouwen voor; uitbuiken kan hier ontstaan door het vergaan van de spouwankers.

Een verkeerde mortelsamenstelling in voegwerk kan ook tot schade leiden. In het verleden maakt men vaak de fout om in muren met kalkmortel-metselwerk cementmortel te gebruiken voor voegwerk. Een te dichte en harde voeg sluit vocht op in de muur en dit kan leiden tot vorstschade aan de stenen en het wegdrukken van de voeg. Ook thermische spanningen kunnen harde cementgebonden voegen loswerken. Dit geldt ook voor herstelde voegen die, vooral bij eerder herstel, te ondiep zijn aangebracht.

In beschadigde voegen krijgen plantenzaden soms een kans om te wortelen in de specie tussen de stenen. Ook hierdoor kan het verband in metselwerk verloren gaan.

PLANVORMING VOOR HERSTELWERKZAAMHEDEN

De restauratiearchitect opereert vaak op het snijvlak van wensen van de gebruiker en de zorg voor behoud van cultuurwaarden van het monument ('monumentwaarden'). Wanneer de opgave voor de architect niet alleen over bouwkundig herstel gaat, maar er ook wensen van de opdrachtgever moeten worden ingevuld in het gebouw, ontstaat direct een spanningsveld wanneer hiervoor aanpassingen in het casco van het monument



nodig zijn. De architect zal zijn kennis en visie moeten overbrengen op de opdrachtgever om samen tot een verantwoorde ingreep te komen.

De architect zal in de planfase rekening houden met belangen en wensen van de opdrachtgever en daarnaast de gevolgen ervan voor het monument afwegen en zoeken naar oplossingen die de waarde van het monument respecteren en zo mogelijk versterken. Het gaat daarbij niet alleen om een afweging van technische keuzes, maar ook om esthetische en historische aspecten.

Omdat veel opdrachtgevers onervaren zijn in het restaureren, ontstaat vaak de neiging een ideaalbeeld na te streven. Bij het overleg met de opdrachtgever zal de architect dus de algemene uitgangspunten van een restauratie moeten bespreken en moeten ingaan op de restauratie-ethische kant van keuzes. Ook later in de realisatiefase zullen discussies rond afwegingen zich nog regelmatig voordoen met de uitvoerende partijen...

De architect is in dit voortraject de schakel tussen opdrachtgever en vergunningverlenende instanties. Bij een planvoorbereiding waarbij de keuze voor de restauratieaanpak logisch voortkomt uit de kwaliteiten van het monument, zal het overleg met de monumentendiensten vooral collegiaal van aard zijn en gericht zijn op het optimaliseren van het plan.

Behoud van bouwhistorische waarde

Bij de uitgangspunten voor herstel geldt als eerste het behoud van de bouwhistorische waarde. Waar ligt de lastig te trekken grens tussen goed en slecht metselwerk? Het is belangrijk de juiste balans te vinden tussen de omvang van de ingreep en de te behouden waarden: een technisch noodzakelijke ingreep kan strijdig zijn met de wens om historisch materiaal te sparen.

Afbeelding 8

Voor de pijlers van de Moerputtenbrug te 's-Hertogenbosch zijn ronde en tapse stenen voor het halfronde kopse uiteinde bijgebakken (foto Verlaan en Bouwstra architecten).

Soms zijn ook natuurwaarden een probleem, wanneer beschermde plantensoorten (zoals steenbreekvaren) zich in het metselwerk hebben genesteld en er om een aangetaste plek moet worden heen gewerkt.

Herstel van esthetische waarde

Een tweede punt betreft het herstel van de esthetische en architectonische waarde. Vervuiling van metselwerk kan op zichzelf weinig kwaad. Bij inboeten is echter wel de vraag wat dan een bijpassende steen is: die in de kleur van de inmiddels gepatineerde omliggende steen, of een (lichtere) steen met de kleur van de oorspronkelijke steen 'op scherf'? Hier kan gevelreiniging wenselijk zijn om de eenheid van de gevel te behouden. Ook het langzaam vervagen van de architectonische vormgeving met vervuilde en daardoor niet meer herkenbare kleuraccenten in de gevelsteen kan een reden zijn voor reiniging.

Eveneens een esthetische keuze is om verstorende eerdere invullingen te verwijderen en te vervangen door beter ingepast inboetwerk. Dat houdt een afweging in tussen het zichtbaar houden van de geschiedenis van een gebouw en het wegwerken van verstoringen die de herkenbaarheid van de historische kwaliteit belemmeren.

Vooraf belangrijk is de wijze van schoonmaken. Dit mag geen schade veroorzaken aan steenoppervlak en voegen; onder hoge druk schoonspuiten kan desastreus zijn. Een steen waarvan het oppervlak is aangetast, verweert en vervuult daarna sneller. Te hard reinigen beschadigt de voegen vaak zo sterk, dat deze vernieuwd moeten worden. Voor gevelreiniging geldt als vuistregel dat reiniging die je niet op de eigen huid zou willen ook voor de gevel niet geschikt is.

Ook het herstel van voegwerk kent esthetische afwegingen, onder meer wat betreft kleur en type voeg (zie ook het hoofdstuk over herstel van stootvoegen). Als voegwerk niet passend (incompatibel) is, is dat vaak het gevolg van een verkeerde hardheid en verkeerd materiaalgebruik. Denk aan voegen in portlandcement die in een gevel met fijn voegwerk als (dikke) grijze strepen zichtbaar zijn. Vervangen is dan esthetisch wenselijk en daarnaast vaak noodzakelijk om vorstschade te voorkomen.

Hoe de voeg te verwijderen is soms een lastige afweging. Een portlandcementvoeg die harder is dan de steen is vaak niet zonder schade aan de stenen te verwij-



deren; dat leidt tot een bredere voeg en dus een minder strak voegbeeld. Als de tijd heeft aangetoond dat er door de cementvoegen geen beschadiging ontstaan aan de baksteen, is te overwegen de voeg te laten zitten. Soms is bij eerder voegherstel de voeg uitgehakt en daarbij verbreed. Die schade is niet meer echt te herstellen en hooguit visueel te verhullen door het werken met bijgekleurde mortels of een combinatie van het in kleur repareren van de baksteen en het aanbrengen van een tussenliggende voeg in voegkleur.

Uitgangspunt is dus de voegen niet te verbreden; smalle stootvoegen moeten smal blijven. Voegers zijn in nieuwbouw gewend aan een voegbreedte van 9 mm, in een monument is een stootvoeg soms maar 2 tot 3 mm breed of nog smaller. De samenstelling van de voegmortel – met zeer fijne kalk en fijn zand – kan helpen de smalle voeg uitvoerbaar te maken. Bij het verwijderen van voegen geeft hakwerk met de hand met een smalle kambeitel vaak de minste schade. Dit maakt ook diep genoeg uithakken mogelijk; als vuistregel geldt te streven naar een diepte van minimaal 2,5 maal de breedte van de voeg. Slijpen en frezen zijn uit den boze. Hakken met een lichte pneumatische handbeitel is een optie als bij een proef blijkt dat dit kan zonder schade aan de steen.

Afbeelding 9

Een kademuur bij kasteel de Haar te Haarzuilens: een extreem voorbeeld van schade door plantengroei (foto Verlaan en Bouwstra architecten).

Bij inboetwerk staat de vraag centraal: oude of nieuwe steen? Inboeten met oude stenen heeft altijd de voorkeur. Bij sloop van metselwerk moeten stenen worden gespaard voor hergebruik. Bij het verwerken van oude steen wordt waar mogelijk de oude zichtzijde weer in het zicht verwerkt; de speciezijde blijft altijd wat specieklekken tonen. Wanneer onvoldoende bijpassen de oude stenen beschikbaar zijn, kan invulling met een nieuwe steen nodig zijn uit een standaard leveringsprogramma of speciaal gebakken voor het project. Stenen bakken is tijdrovend; neem dus voldoende tijd om monsters te laten maken. Vervaardigen van een steen naar model door een gespecialiseerde steenbakkerij duurt circa vier weken voor een eerste monster en daarna nog eens vier weken voor de productie van de gekozen steen. Ook voor het zoeken naar bijpassende stenen op de werf van handelaren in oude bouwmaterialen moet tijd zijn ingeruimd.

Herstel van technische kwaliteit

Bij herstel van de technische kwaliteit moet de oorzaak van schade worden weggenomen. In de eerste plaats door de vochtbelasting te verminderen.

Bijvoorbeeld door het aanbrengen of verbeteren van de afdekking van topgevels met lood of een breed deel (bijvoorbeeld een plank van Western Red Cedar). De afdekking van topgevels moet afwateren naar de zijde van de dakpannen.

Gevelbehandelingen met hydrofobeermiddelen zijn doorgaans niet wenselijk (zie ook de hoofdstukken over oppervlaktebehandeling en over 'kleur op de gevel'). Deze behandeling is niet reversibel. De producten dringen in de gevel en geven in de toekomst problemen met later herstelwerk: voegwerk hecht veel minder goed aan geïmpregneerde steen.

Behandeling met een wasachtig product (bijenwas) kan helpen om vochtbelasting te verminderen. Voordeel is reversibiliteit. Nadeel is dat deze behandeling iedere vijf tot tien jaar herhaald moet worden. In steden zoals Amsterdam werd in het verleden de gevel vaak afgewerkt met een waterwerende laag: lijnolie waarin een kleurpigment als dodekop was verwerkt. Deze afwerking heeft goede eigenschappen – is ademend en waterafstotend – maar is wel zeer nadrukkelijk aanwezig.



Herstel van technische kwaliteit kan ook inhouden het herstellen van de fundering, eventueel door een nieuwe fundering toe te voegen. Daarbij moet worden gezocht naar een evenwicht tussen de draagkracht van de bestaande fundering en van de toe te voegen fundering. Voorkomen moet worden dat de bovenliggende bouwdelen mogelijk niet gelijkelijk verzakken, wat kan leiden tot scheurvorming. Voor afstemming tussen fundering en een eventueel aan te brengen dilatatie is nauw overleg nodig met een constructeur.

Schade door ijzerwerk wordt voorkomen door dit roestvrij te maken of te conserveren. Dat betekent reinigen door bikken en borstelen of door stralen (als uitnemen mogelijk is) tot op het blanke ijzer. Vervolgens uitgenomen delen verzinken, of delen die niet uit te nemen zijn behandelen met zinkcompoundverf of vergelijkbare bescherming. De vroeger toegepaste loodmenie was effectiever dan de huidige menie zonder lood. Schadelijke bomen en planten dienen zo mogelijk verwijderd te worden, tenzij het bijvoorbeeld een bedreigde soort betreft of leidt tot verlies van waardevol metselwerk. Wanneer wortels achterblijven en afsterven, leveren ze uiteindelijk holle ruimten die tot vorstschade kunnen leiden.

Soms leidt ook hard voegwerk of niet compatibel metselwerk tot duidelijke (technische) schade aan het monument. Dat kan dus aanleiding zijn het te verwijderen en te vervangen.

OMSCHRIJVING VAN HET WERK IN EEN BESTEK

Het doel van een werkomschrijving is te komen tot een duidelijke communicatie met de betrokken partijen: met opdrachtgevende en uitvoerende partijen, maar ook



met controlerende en subsidieverlenende instanties. In de werkschrijving of het bestek worden onder meer materiaalkeuze, materiaaleigenschappen en werkwijze vastgelegd. Een bestek is in feite een uitgebreide werkschrijving, gecombineerd met contractregels en verder gedefinieerde uitvoeringsvoorschriften.

Een STABU-bestek (bestekstelsel voor de woning- en utiliteitsbouw) kan behulpzaam zijn, omdat de structuur van de omschrijving in het STABU-raamwerk en de STABU-standaard vastligt, en binnen dit raamwerk al veel koppelingen naar actuele normeringen en beoordelingswijzen zijn vastgelegd. Stichting STABU heeft bij de ontwikkeling van de basisteksten meer en meer aandacht voor de opgave van aanpassing en herstel van bestaande bouwwerken, naast alleen nieuwbouw.

Omvang en afbakening van werkzaamheden

Een werkschrijving start bij het afbakenen van de te herstellen en handhaven delen en het inschatten

of bepalen van de omvang van het werk. De omvang is vaak moeilijk vast te stellen voor de aanvang van het werk, zeker wanneer niet alle metselwerk zonder een steiger te bereiken is – soms is daarvoor zelfs een hoogwerker nodig. Vanaf een afstand van het maaiveld is de schade moeilijker waarneembaar. Mogelijk is de zichtbare schade dus maar een deel van de uiteindelijk te herstellen schade.

In de bestekomschrijving is het aantal opgegeven vierkante meters (of percentage van het geveloppervlak) te restaureren werk dus noodgedwongen een aanname en er moet dus rekening gehouden worden met verrekening van meer- of minderwerk. Let bij het inschatten van de hoeveelheden ook op de dagkanten van kozijnopeningen en sprongen in metselwerk, hierin zitten 'verborgen' meters die een voeger wel wil verrekenen.

Zodra de steiger staat en het hakwerk kan beginnen is het zaak in overleg met de voeger het uit te voeren voegwerk op te nemen en in hoeveelheden vast te

Afbeelding 11

Detail van een pijler van de Moerputtenbrug met ingeboete nieuwe stenen en voegmonsters ter beoordeling (foto Verlaan en Bouwstra architecten).



Afbeelding 12

Voeger modelleert bij Kasteel Geldrop zorgvuldig de nog natte voegen (foto Verlaan en Bouwstra architecten).



leggen. Uit de praktijk blijkt dat er heel vaak discussie is over de wijze van verrekening, zeker bij herstelwerk waar het bestaande voegwerk zo veel mogelijk gespaard wordt en plaatselijk alleen uitgevallen voegjes worden vervangen. Een afspraak in een percentage te vervangen voegwerk werkt dan meestal voor beide partijen – opdrachtgever en aannemer – het beste.

Het is erg lastig goed vast te leggen waar de grens ligt tussen een 'slechte' (te vervangen) voeg en een 'goede' voeg. Bij aanvang van het herstelwerk kan een voeg die als te handhaven is aangewezen nog goed afsteken tegen het omringende vergane voegwerk, terwijl na herstel van het slechtste deel de eerst 'goede' voeg vervolgens vaak mager afsteekt tegen het herstelde werk.

Als bij de opname de hoeveelheid herstel is aangegeven in hoeveelheden in m² oppervlak, dan moet bovendien de diepte van het herstel worden bepaald. Het is niet wenselijk wanneer van een groot oppervlak

in steens of zwaarder metselwerk alleen de buitenschil halfsteens wordt hersteld. Het verband met het achterliggende werk is dan onvoldoende te garanderen. Het niet homogene metselwerk kan minder druk opnemen en het risico bestaat dat de vernieuwde schil door thermische spanningen los komt van het achterliggende werk. Inboeten van de strekken in halfsteens diepte en van een deel van de koppen in steens diepte garandeert een betere eenheid tussen bestaand en nieuw werk.

Bij het aangeven van een verrekenbare hoeveelheid te herstellen metselwerk is het zinvol onderscheid te maken tussen inboeten van vlakken en inboeten van enkele stenen; de enkele stenen zijn bewerkelijker.

Omschrijven van sloopwerkzaamheden

Het verwijderen van te vernieuwen delen van metselwerk zal moeten gebeuren door uitboren van individuele stenen of door handmatig uithakken. Grotere delen kunnen met licht mechanisch gereedschap uitgehakt



Afbeelding 13

Gevelreiniging kan wenselijk zijn om het langzaam vervagen van de architectonische vormgeving met kleuraccenten terug te draaien. Hier een voorbeeld van het reinigen met latexpasta (foto Verlaan en Bouwstra architecten).

worden, indien de uitvoerende voldoende beheersing heeft van het gereedschap om beschadiging van de te handhaven delen te voorkomen. Uithakken moet gebeuren tot op de kale steen, waarbij de resterende metselspecie wordt weggehakt om ruimte te maken voor voldoende specie voor het inboetwerk. Zie ook hiervoor over aanwijzingen voor het verwijderen van het voegwerk.

Omschrijving van materialen en herstelwerk

De aansluiting op resterend metselwerk vraagt de nodige aandacht. Dit dient te gebeuren met een zorgvuldige vertanding en in het juiste verband. Bij inboeten moet de steen goed vol aangewerkt zijn; achter de steen mag geen holle ruimte overblijven waarachter zich vocht ophoopt die kan leiden tot vorstschade.

Om inboetwerk te laten wegvallen, moet een goed bijpassende steen worden gezocht, overeenkomend in hardheid, formaat, structuur en kleur. Een terugkerend

probleem is de beschikbaarheid van de juiste steen. Vaak begint de aannemer te laat met het zoeken van de juiste stenen. Tijdsdruk kan dan als argument gebruikt worden om een makkelijk leverbare maar minder passende steen te kiezen. Dit is deels te voorkomen door een goede omschrijving in het bestek en door in de uitvoeringsfase de planning van de aannemer te controleren en te volgen.

Ook moet de herstmortel zo veel mogelijk aansluiten bij de bestaande mortel. Oud metselwerk is vaak uitgevoerd met een zuivere kalkmortel of een mortel met kalk en tras. Toepassen van cement kan alleen met de grootste terughoudendheid.

De nieuwe voeg moet goed omschreven zijn in type en uiterlijk. De omschrijving 'overeenkomend met het bestaande werk' is een riskante omschrijving, omdat in het bestaande werk vaak verschillende soorten voegen voorkomen die niet het gewenste uiterlijk of samenstelling hebben. Anders dan in nieuw metselwerk is het voegwerk niet goed te benoemen met een genormeerde hardheid. We accepteren een zachtere voeg, vaak ook noodzakelijk om de hardheid en dichtheid van de voeg te laten aansluiten bij de hardheid van de steen.

De samenstelling van de voegmortel moet overeenkomen met de gebruikte metselmortel, maar ook door

de voeger goed verwerkbaar zijn (zie ook het hoofdstuk 'Van bindmiddel tot mortel' en dat over voegherstel-mortels). De voeger moet het voegwerk kunnen uitvoeren uit de hand in plaats van af een bled; waarbij de voegmortel een kneedbare bal is.

Voor restauratiewerk is een mortel gebruikelijk met kalk, geel bergzand en een weinig tras, wat een lichte maar niet te witte voeg geeft. Soms kan bijkleuren met gebrande omber of een vergelijkbaar natuurlijk pigment een oplossing zijn om de nieuwe voegen niet te veel te laten afsteken tegen het bestaande voegwerk.

Herstel van scheuren

Roestend ijzer moet rondom worden vrijgehakt tot het ijzer afdoende bereikbaar is om het roest weg te kunnen blikken en het ijzer schoon te maken en te behandelen. Voor het anker weer wordt aangewerkt met specie is het raadzaam het in te pakken in een vette beschermmantel ('densoband') die maakt dat het anker niet in direct contact komt met de specie en deze ook beschermt tegen vocht. Wanneer het mogelijk is een anker geheel uit te nemen, is stralen en verzinken de beste optie om nieuwe roestvorming tegen te gaan. Nieuwe ankers zijn bij voorkeur verzinkt en tenminste twee keer gemenied. Zie ook het hoofdstuk over constructief herstel.

UITVOERINGSFASE

De uitvoering van het metselwerk is de belangrijkste fase. Het vakmanschap van de betrokken metselaar en voeger bepaalt immers of de restauratie slaagt of niet. Na de aanbesteding van de werkzaamheden is aan te bevelen de gevels opnieuw te inspecteren, samen met de uitvoerende partijen. Een inspectie van de architect samen met de uitvoerder is nuttig, maar het beste kan de architect het herstelwerk ook rechtstreeks bespreken met de uitvoerende voeger en metselaar. Dit wijkt wat af van de gewoonte dat de architect op de bouw communiceert met de uitvoerder, en niet rechtstreeks met diens medewerkers of met medewerkers van de onderaannemer.

Bij een verkenning van het werk met de uitvoerende partijen moeten de uitgangspunten goed gecommuniceerd worden. De metselaar en de voeger hebben ervaring die voor de uitvoering van het werk belangrijk is. De voeger kan behoudend herstelwerk om technische redenen inferieur vinden ten opzichte van het geheel opnieuw voegen. Als de opdrachtgever toch voor het laatste kiest, moeten de uitvoerenden die keuze kunnen begrijpen en dragen. De uitgangspunten van de voorbereiding moeten de uitgangspunten van de uitvoerende

partij worden. De omvang van het werk en de manier van herstel wordt uiteindelijk op de steiger vastgesteld.

Proeven

Bij de uitvoering is regelmatig sprake van het reinigen van metselwerk. Zoals eerder aangegeven brengt met hoge druk reinigen van de gevel risico's met zich mee. Het is daarom wenselijk een proef te laten uitvoeren op een stuk gevel uit het zicht.

Ook is aan te raden in overleg met de voeger een aantal monsters te laten opzetten om de voegkleur en voegstructuur te beoordelen. Laat de monsters minimaal vijf dagen drogen, want zolang de mortel nat is, is de uiteindelijke kleur nog niet goed zichtbaar. Ook kan zo beoordeeld worden of de voegstructuur van nieuwe voegen aansluit bij de oude voeg. Nieuwe voegen met een te strak en kantige vorm kunnen te veel afsteken tegen licht sleetse oude voegen.

TOT SLOT

Herstel van historisch metselwerk vraagt om een gedegen voorbereiding, het formuleren van duidelijke uitgangspunten en een goede omschrijving in het bestek. Daarbij moet het behoud van het oude metselwerk het uitgangspunt zijn. Deze voorbereiding geeft een goede basis voor de uitvoering. Vervolgens is in de uitvoeringsfase overleg met de uitvoerende vaklieden essentieel. Zij beschikken over onmisbare kennis en vaardigheden.



Referentiehoofdstuk

Het referentiehoofdstuk bevat beschrijvingen van nuttige onderzoeksmethoden en een verzameling referentiegegevens die als achtergrondinformatie kan dienen. Zo zijn kwantitatieve gegevens opgenomen over het hygroscopisch gedrag van materialen en zouten, over mechanisch gedrag van mortels en chemische formules en reactievergelijkingen van bindmiddelen. Deze gegevens vormen een referentiekader voor de lezer; ze kunnen helpen om formules of waarden die men in de praktijk tegenkomt te duiden.

INHOUD:

Bouwfysische gegevens over vocht en zouten

- Evenwichtsvochtgehalte van enkele bouwmaterialen
- Hygroscopisch evenwichtsvochtgehaltes individuele zouten

Meetmethoden, bepalen vocht- en zoutgehalte

- Gravimetische bepaling vocht- en zoutgehalte
- Zoutgehalte bepalen via elektrisch geleidingsvermogen
- Vochtgehalte bepalen via de calciumcarbidmethode
- Vochtgehalte bepalen met niet-destructieve methodes
- Vochtgehalte in situ monitoren met de Trime Sensor
- Overzicht bepalingsmethoden vochtgehalte

Meetmethoden, vochtopname baksteen

- Initiële Wateropzuiging (Hallergetal), bepaling op de bouwplaats
- Vrijwillige Wateropneming, bepaling op de bouwplaats
- Vochtopname bepalen met Karstenbuis

Praktijkproeven vochtgehalte specie en baksteen

- 1-minuut-hechtproef
- 10-minuten-hechtproef

Mortels en bindmiddelen

- Toeslagmaterialen
- Bindmiddelen
- Toevoegingen

Mechanische eigenschappen, bastaardmortels versus natuurlijk hydraulische kalkmortels

BOUWFYSISCHE GEGEVENS, VOCHT EN ZOUTEN¹

In deze paragraaf staan gegevens over het hygroscopisch gedrag van bouwmaterialen en zouten.

Alle poreuze materialen zijn in bepaalde mate hygroscopisch, dat wil zeggen dat ze vocht uit de lucht opnemen. Het vochtgehalte in het metselwerk hangt af van de relatieve vochtigheid en temperatuur van de omgeving en van mogelijk aanwezige zouten in het materiaal. Of bouwmaterialen snel of traag vocht opnemen of afgeven hangt af van de grootte van de poriën. Mortel is gewoonlijk hygroscopischer dan baksteen.

Evenwichtsvochtgehalte van enkele bouwmaterialen

Tabel 1 geeft een overzicht van het evenwichtsvochtgehalte van een aantal bouwmaterialen bij verschillende relatieve vochtigheid van de lucht.

Hygroscopisch evenwichtsvochtgehalte zouten

Hygroscopische zouten zijn zouten die watermoleculen uit hun omgeving kunnen aantrekken en vasthouden wanneer de relatieve vochtigheid van de lucht een bepaalde grenswaarde overschrijdt. Deze grenswaarde (kritische relatieve vochtigheid) is afhankelijk van het type zout. Het hygroscopisch evenwichtsvochtgehalte van een zout wordt gedefinieerd als de relatieve vochtig-

Tabel 1

Evenwichtsvochtgehalte van een aantal bouwmaterialen (ψ) bij verschillende relatieve vochtigheid van de lucht (φ) (Tammes & Vos, 1984).

Materiaal	ρ (10 ³ /m ³)	Ψ (vol.%) bij $\varphi =$			
		40%	65%	80%	95%
Baksteen	1,8	<1	<1	<1	<1
Cellenbeton	0,7	2	3	4	9
Grindbeton	2,4	3	4	6	10
Kalkzandsteen	1,9	2	4	6	10
Tufsteen	1,4	<1	<1	<1	<1
Zandsteen	2,0	<1	<1	<1	<1

heid van de omringende atmosfeer (bij een zekere temperatuur) waarbij een zout vocht begint te absorberen.

Een zoutmonster zal vocht opnemen totdat al het zout is opgelost en een verzadigde oplossing is verkregen, als de relatieve luchtvochtigheid van de atmo-

Tabel 2

Kritische relatieve vochtigheden van individuele zouten bij verschillende temperaturen (Van Hees et al, 1995 en 2008; Van Balen et al, 1999).

		Kritische relatieve vochtigheid			
Benaming zout	Chemische formule zout	bij 0 °C	bij 10 °C	bij 20 °C	bij 30 °C
Calciumchloride hexahydraat	CaCl ₂ ·6H ₂ O	41	33,7	30,8/31	22,4
Bischofiet	MgCl ₂ ·6H ₂ O	33,7	33,5/33,1	33,1/33/33,2	32,4/32,5
Kaliumcarbonaat dihydraat	K ₂ CO ₃ ·2H ₂ O	43,1	43,1	43,2/43	43,2
Calciumnitraat	Ca(NO ₃) ₂ ·4H ₂ O	59	56,5/58,4	53,6/54	46,8/47,1
Magnesiumnitraat	Mg(NO ₃) ₂ ·6H ₂ O	60,4	57,4	54,4	51,4
Ammoniumnitraat	NH ₄ NO ₃	-	-	61,8 bij 25 °C	-
Natriumnitraat (Chilisalpeter)	NaNO ₃	-	77,5	75,4/75	73,1
Natriumnitriet	NaNO ₂	-	-	64,4 bij 25 °C	-
Natriumchloride	NaCl	75,5	75,7	75,5/76	75,1
Natriumsulfaat	Na ₂ SO ₄	-	-	82/82	84,3
Kaliumchloride	KCl	88,6	86,8	85,1	83,6
Kieseriet	MgSO ₄ ·H ₂ O	-	-	65	-
Epsomiet	MgSO ₄ ·7H ₂ O	-	86,9	90,1/90	88
Natriumcarbonaat-decahydraat (kristalsoda)	Na ₂ CO ₃ ·10H ₂ O	-	-	97,9/98	83,2
Mirabiliet	Na ₂ SO ₄ ·10H ₂ O	-	-	93,6	87,9
Kaliumnitraat	KNO ₃	96,3	96	94,6	92,3
Kaliumnitriet	KNO ₂	-	-	48,2 bij 25 °C	-
Kaliumsulfaat	K ₂ SO ₄	98,8	98,2	97,6	97

sfeer gelijk is aan (of groter dan) de kritische relatieve vochtigheid van een zout. Alle wateroplosbare zouten en mengsels van zouten hebben een karakteristieke kritische relatieve vochtigheid. In de praktijk komen vaak mengsels van zouten voor. In Tabel 2 worden kritische relatieve vochtigheden gegeven van individuele zouten.

In de praktijk komen vaak mengsels van zouten voor. De kritische relatieve vochtigheid van een mengsel van zouten is anders dan de waarden per individueel zouttype.

MEETMETHODEN VOOR VOCHT- EN ZOUTGEHALTE

In deze paragraaf worden enkele meetmethoden beschreven waarmee het vocht- of zoutgehalte in steenachtig materiaal kan worden bepaald. Ter afsluiting wordt een overzicht gegeven van de voordelen en beperkingen van de meest gebruikte methoden om het vochtgehalte in metselwerk te bepalen.

Gravimetische bepaling vocht- en zoutgehalte²

Deze methode is betrouwbaar en eenvoudig uit te voeren. Door droog te boren worden gruismonsters verzameld op verschillende hoogtes en dieptes over hetzelfde verticale profiel. Elk gruismonster wordt afzonderlijk verzameld in zakjes of flesjes en tot verwerking goed lucht- en dampdicht afgesloten (afb. 1). In het laboratorium wordt elk monster gewogen (initiële massa) en in een oven gedroogd tot constant gewicht (afhankelijk van het materiaal bij 40, 60 of 105 °C). Het vochtgehalte wordt berekend uit het verschil tussen het gewicht van het monster voor en na droging, en uitgedrukt als gewichtspercentage:

$$MC \% = 100 * (m_i - m_d) / m_d$$

Waarbij:

MC = moisture content = vochtgehalte

m_i = initiële massa van het monster

m_d = droge massa van het monster

Om het hygroscopisch vochtgehalte (HMC, geeft indruk van zoutgehalte) te bepalen wordt het monster daarna voor circa vier weken in een klimaatkamer met 20 °C / 96% RV geplaatst. Bij een relatieve luchtvochtigheid van 96% zullen alle aanwezige hygroscopische zouten vocht aantrekken uit de lucht. Het HMC wordt berekend uit het gewichtsverschil tussen het droge monster en het monster ná het verblijf in de klimaatkamer en wordt eveneens uitgedrukt als gewichtspercentage:

Afbeelding 1

Flesjes met gedroogde stofmonsters van kalkmortel (midden) en baksteen (foto Anke Hacquebord).



$$HMC \% = 100 * (m_{96\%} - m_d) / m_d$$

Waarbij:

HMC = hygroscopic moisture content = hygroscopisch vochtgehalte

$m_{96\%}$ = massa van het monster na vier weken bij 96% RV

m_d = droge massa van het monster

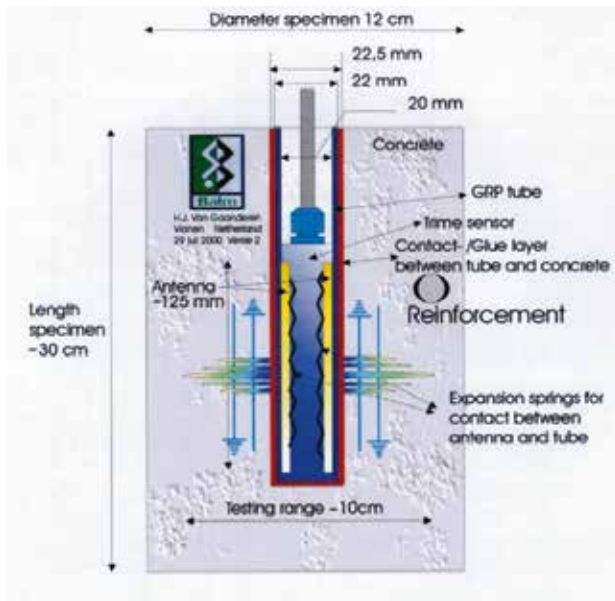
Zoutgehalte bepalen via elektrisch geleidingsvermogen³

Een andere methode om een indruk te krijgen van de hoeveelheid zouten in een materiaal, is het meten van de elektrische geleidbaarheid van een monster. Een bepaalde hoeveelheid gedemineraliseerd water wordt aan een gruismonster met een bepaald gewicht toegevoegd.⁴ Eventueel in het monster aanwezige zouten (bijvoorbeeld NaCl) gaan in oplossing (Na^+ en Cl^-). De verkregen oplossing wordt gefilterd waarna de geleidbaarheid wordt gemeten met een weerstandsmeter of elektrische geleidbaarheidmeter. Ter voorkoming van elektrolyse wordt gebruikgemaakt van wisselspanning in plaats van gelijkstroom.

De geleidbaarheid wordt uitgedrukt in mS/m (millisiemens per meter) of $\mu S/cm$ (microsiemens per centimeter).

Nadelen van deze methode zijn:

- Hoewel binnen korte tijd uit te voeren, tamelijk arbeidsintensief.
- Het risico bij het meten van metselwerk (dus baksteen inclusief mortel en/of pleister) is dat andere



ionen dan van zouten de geleidbaarheid, van de oplossing kunnen beïnvloeden: niet alleen de zouten bepalen de geleidbaarheid maar bindmiddelen hebben ook invloed.

In het kader van een Europees onderzoeksproject is de betrouwbaarheid van deze methode bepaald. Uit het onderzoek komt naar voren dat de methode niet betrouwbaar is om het zoutgehalte en de zoutdistributie te bepalen bij metselwerk. Bijvoorbeeld metselwerk met een hoog aandeel wateroplosbare componenten, zoals portlandiet (Ca(OH)_2 (bijvoorbeeld in een pleister op cementbasis)).⁵

Voor baksteen is de proef genormeerd (EN 772-5) (resultaat bij baksteen wordt niet beïnvloed door mortelbestanddelen). De norm gaat uit van 20 gram gruismonster op 200 ml demiwater en het schudden van het mengsel gedurende één uur. In de oplossing (diluaat) wordt daarna, naast de verschillende zouten, ook het elektrisch geleidingsvermogen gemeten volgens ISO 7888. Volgens de norm moet de waarde worden uitgedrukt in mS/m. De eenheid $\mu\text{S/cm}$ geeft waarden die een factor 10 maal zo hoog liggen. Nederlandse bakstenen komen in de regel uit op waarden tussen 20 en 50 mS/m (is dus 200-500 $\mu\text{S/cm}$).⁶

Mate van zoutbelasting⁷

Deze methode wordt door zijn eenvoud veel gebruikt in de restauratiepraktijk. Op basis van de waarde voor het elektrisch geleidingsvermogen kunnen de resultaten worden geclassificeerd. De klassering is echter niet genormeerd en daardoor niet eenduidig.

Er worden verschillende klasseringen gebruikt. Een van oudsher en ook door de Rijksdienst voor het Cultureel Erfgoed gebruikte klassering is:⁸

- 0 - 500 $\mu\text{S/cm}$: geen zoutbelasting;
- 500 - 1100 $\mu\text{S/cm}$: tussengebied, schade mogelijk;
- > 1100 $\mu\text{S/cm}$: zoutbelast werk.

Een uitgebreidere klassering die ook wel wordt gebruikt is:

- < 500 $\mu\text{S/cm}$ is geen zoutbelasting;
- 500 - 1200 $\mu\text{S/cm}$ is lichte zoutbelasting;
- 1200 - 2100 $\mu\text{S/cm}$ is matige zoutbelasting;
- 2100 - 4000 $\mu\text{S/cm}$ is hoge zoutbelasting;
- > 4000 $\mu\text{S/cm}$ is zeer hoge zoutbelasting.

De resultaten moeten als indicatief worden beschouwd, indicatief ten aanzien van de mate van zoutbelasting; de proef geeft geen informatie over de aard van de zoutbelasting. Bij hoge zoutbelasting dient de aard van de zouten te worden bepaald om een verantwoorde keuze voor herstel te kunnen maken.

Vochtgehalte via de calciumcarbide methode⁹

Bij deze methode wordt een gruismonster in een zorgvuldig gesloten flesje gemengd met een bepaalde bekende hoeveelheid calciumcarbide. Vocht uit het proefstuk zal met het calciumcarbide reageren onder vorming van acetyleen. Het vochtgehalte van het monster is vervolgens, met behulp van een kalibratiecurve, af te leiden uit de drukstijging die met de vorming van dit acetyleen gepaard gaat.

De methode is direct in de praktijk uit te voeren. De methode is echter niet erg nauwkeurig en kalibratie door middel van een gravimetrische methode is noodzakelijk. Bovendien kunnen verkeerde resultaten ontstaan als:

- het gruismonster onvoldoende verpulverd is of onvoldoende vermengd met het calciumcarbide;
- het flesje niet zorgvuldig gesloten is. Een klein lek heeft al een grote invloed op de druk en dus op de resultaten.

Bovendien zijn ook de lengte van de reactietijd en de temperatuur tijdens de reactie van invloed op de drukopbouw en daarmee op de resultaten.



Vochtgehalte bepalen met niet-destructieve methodes¹⁰

De voorgaande methodes zijn alle licht destructief: er zijn monsters voor nodig uit het materiaal van de muur. Er bestaan ook enkele niet-destructieve methodes om het vochtgehalte in een muur te bepalen. Zo is het vochtgehalte indicatief vast te stellen door bijvoorbeeld de elektrische geleidbaarheid of de capaciteit van een materiaal te meten. Er bestaan hiervoor verschillende apparaten.

De apparatuur is geschikt om lokaal hoge vochtgehaltes in de muur (bijvoorbeeld door lekkage) te detecteren, maar onregelmatigheden in de muur of de aanwezigheid van ankers kunnen een vertekend beeld geven. Bovendien wordt het resultaat sterk beïnvloed door de aanwezigheid van zouten, omdat de apparatuur geen onderscheid kan maken tussen oplosbare zouten en het actuele vochtgehalte. Een ander nadeel van deze methodes is, dat ze geen inzicht verschaffen in de verdeling van het vocht over de muurdoorsnede, terwijl deze informatie wel erg belangrijk is voor een diagnose.

Vochtgehalte in situ monitoren met de Trime Sensor¹¹

Met TRIME sensoren is het mogelijk vochtgehalten in muren te monitoren zonder veel schade aan te brengen. Bij een TRIME techniek (Time domain Reflectometry with Intelligent Micromodule Elements) wordt de tijd gemeten die een puls nodig heeft om zich door een materiaal te verplaatsen.

Om een puls het materiaal, zoals metselwerk, in te sturen zijn er op de zijkant van een sonde twee antennes aangebracht (zie afb. 2 en 3). Deze antennes zijn door middel van expansieveren in contact met een buis van kunststof die in het materiaal is ingelijmd.

De looptijd van de puls heen en terug door het materiaal geeft informatie over de aanwezigheid van water in het materiaal. De looptijd van de puls is een functie van de diëlektrische eigenschappen van het materiaal. Voor elk materiaal is ijking nodig.

De buis van kunststof blijft in de muur. De sonde kan gemakkelijk in de buis worden geschoven en weer worden verwijderd. De sensor kan periodiek het vochtgehalte meten; zo kan de ontwikkeling van het vochtgehalte in de muur over meerdere jaren worden gemonitord zonder voor elke meting het metselwerk te hoeven beschadigen.¹²

Overzicht bepalingsmethoden vochtgehalte¹³

Tabel 3 geeft een overzicht van de voordelen en beperkingen van de meestgebruikte methodes voor de evaluatie van het vochtgehalte in een muur.

Tabel 3

Principes, voordelen en beperkingen van gebruikelijke methodes voor de evaluatie van vochtgehalte in muren (Hees et al, 1996).

Methode	Principe	Voordelen	Beperkingen
Gravimetrische methode	Verschil in gewicht voor en na droging	Meest accurate methode ¹⁴	Licht destructief
Calciumcarbidemethode	Verschil in drukopbouw bij de reactie tussen calciumcarbid en water		Licht destructief Niet zo accuraat
Capaciteitsmetingen	Variatie van de diëlektrische constante van een materiaal in aanwezigheid van water	Niet-destructief	Voor elk materiaal is kalibratie noodzakelijk Lage vochtgehaltes kunnen niet gemeten worden Afwijkingen in aanwezigheid van zouten Uitvoering is moeilijk bij ruwe oppervlakken
Weerstandsmetingen	Toename van de elektrische weerstand van een materiaal in aanwezigheid van water	Niet-destructief Geschikt voor meten vochtgehalte van hout	De hoeveelheid druk die uitgevoerd wordt op de pennen is van invloed op de resultaten Niet geschikt voor niet-homogene materialen Niet geschikt voor niet-homogeen verdeelde vochtgehaltes Afwijkingen in aanwezigheid van zouten
Neutronensonde	Vertragingseffect van waterstof-atomen op neutronen	Metingen kunnen herhaald worden op hetzelfde punt	Lage radioactiviteit Variatie van het te analyseren volume: - Metselwerk droger = groter analyse-volume - Metselwerk natter = kleiner analyse-volume Aanwezigheid van extra waterstof (zoals bijv. in gips en cement) kan afwijkingen veroorzaken
Georadar	De golven laten de watermoleculen (dipolen) meebewegen; dit heeft een vertragend effect op de golven.	Niet-destructief	Afwijkingen in aanwezigheid van zouten Metaal componenten kunnen grote afwijkingen veroorzaken Kalibratie is noodzakelijk
Microgolvenmethode	Absorptie van kortegolfenergie in een materiaal als gevolg van de elektrische dipoolrelaxatie van watermoleculen	Niet-destructief Wordt niet beïnvloed door zouten (bij hoge frequentie > 10 GHz)	Beperkte indringingsdiepte bij erg natte materialen Moeilijkheden bij niet-homogene materialen (de materiaaldeeltjes moeten kleiner zijn dan de golflengte)
Trime sensor	Reflectie van een puls die door een materiaal gestuurd wordt met behulp van twee antennes, verbonden met buisjes die aan het materiaal gelijmd zijn	Continu meten mogelijk	Licht destructief Kalibratie noodzakelijk Temperatuur meten noodzakelijk (voor correctie)

MEETMETHODEN VOOR WATEROPNEMING BAKSTEEN¹⁵

De Initiële Wateropzuiging geeft de hoeveelheid water weer die een volledig droge steen in 60 seconden opneemt wanneer de zool van de steen 5 mm in het water ligt. Nederland kent hierbij vier klassen voor metselbakstenen: slecht zuigend (IW1), matig zuigend (IW2), normaal zuigend (IW3) en sterk zuigend (IW4). Bij bakstenen met KOMO-keur of met een CE-markering wordt deze informatie meegeleverd als klasse of waarden voor het gemiddelde van de betreffende bakstenen. Het wateropzuiggedrag is onderdeel van de Europese productnorm voor metselbaksteen: EN 771-1.

De Initiële Wateropzuiging wordt uitgedrukt in kg/(m².minuut). Indien de opzuigingsnelheid wordt bepaald van stenen met een bepaald (actueel) vochtgehalte dan wordt eventueel een wat lagere wateropzuiging vastgesteld. Deze waarde wordt het 'Hallergetal' genoemd. Deze waarde is niet genormeerd omdat deze niet alleen wordt bepaald door de steen zelf, maar ook door de hoeveelheid water daarin. Deze waarde wordt nog vaak uitgedrukt in de oude eenheid gram/dm².minuut. De getsalwaarde wordt dan wel 10 keer zo hoog.

Het bepalen van de IW-waarden volgens de norm stelt hoge eisen aan de uitvoering en vereist een goed ingericht laboratorium. Toch is het ook mogelijk om in de praktijk, op de bouwplaats, de IW-waarde bij benadering te bepalen (wanneer de stenen niet volkomen droog zijn dus eigenlijk het Hallergetal).¹⁶ Ook kan de Vrijwillige Wateropneming worden bepaald.

Initiële Wateropzuiging (Hallergetal), bepaling op de bouwplaats¹⁷

Voor het uitvoeren van de proef zijn de volgende materialen nodig: weegschaal (0 - 5.000 g); stopwatch (of horloge met secondewijzer); plastic bak (afwasteiltje); jerrycan water; afstandhouders (bijvoorbeeld rvs-moeren of -ringen); meetlat; watervaste viltstift; schrijfblok en balpen; afdroogdoek; de te onderzoeken bakstenen, op een cv-radiator minimaal 2 dagen gedroogd.

Het is verstandig eerst de Initiële Wateropzuiging (IW) te bepalen en daarop aansluitend de Vrijwillige Wateropneming (VW).

Werkwijze:

- Voorzie de stenen van een merkteken met de viltstift; meet en noteer l x b x d van elke steen in m.¹⁸
- Bereken oppervlak legvlak (zool) $O = l \times b$ (m²).
- Weeg de gedroogde stenen en noteer: G_d (gewicht droog).
- Leg afstandhouders in de bak zodanig dat daarop een steen op zijn platte zijde past.¹⁹
- Giet water in de bak tot circa 4 mm boven de afstandhouders.²⁰
- Leg de steen behoedzaam op de afstandhouders in het water en zet de stopwatch in werking.
- Na 60 seconden de steen uit het water nemen; aanhangend water afdeppen met vochtige doek, vervolgens wegen: G_n (gewicht nat).
- Bereken: $G_n - G_d$ = wateropzuiging.
- Delen door oppervlak geeft:
Initiële Wateropzuiging = $(G_n - G_d) / O$ in [kg / (m².min)].

Afbeelding 4

Proefopstelling bepaling Initiële Wateropzuiging, wegen droog proefstuk (foto Groot en Gunneweg).



Afbeelding 5

Opzuiging van vocht door proefstuk (foto Groot en Gunneweg).



Afbeelding 6

Wegen nat proefstuk (foto Groot en Gunneweg).



Rekenvoorbeeld (molen Monster) fm: 0,202 (L) x 0,093 (B) x 0,044 (D) [m];
 $O \text{ (opp. zool)} = L \times B = 0,0188 \text{ [m}^2\text{]}$
 $G_d = 1,539 \text{ kg}; G_n = 1,574 \text{ kg}; [G_n - G_d] = 0,035 \text{ [kg]}$
 Initiële Wateropzuiging = $0,035 : 0,0188 = 1,86 \text{ [kg/(m}^2\text{.min)]}$
 Hallergetal = $18,6 \text{ [gr/(dm}^2\text{.min)]}$
 Afronden op $1,9 \text{ [kg/(m}^2\text{.min)]}$ en $19 \text{ [gr/(dm}^2\text{.min)]}$

NB: Volgens de norm moet je tien stenen beproeven om een voldoende betrouwbaar gemiddeld resultaat en spreidingsinformatie te krijgen.

Vrijwillige Wateropneming, bepaling op de bouwplaats²¹

Indien uitgevoerd aansluitend op de Initiële Wateropneming:

- Vul de bak verder met water tot circa 5 mm onder de bovenkant van de stenen.
- Leg de stenen op afstandhouders in de bak en noteer tijdstip.
- Na 24 uur verder bijvullen tot circa 10 mm boven bovenkant stenen.
- Na nog 24 uur ($t_{\text{totaal}} = 48 \text{ uur}$), stenen uit de bak nemen, afdeppen en wegen: G_{n2} .
- Bereken volume steen $V = l \times b \times d$ in $\text{[dm}^3 \text{ (= liter)]}$.
- Bereken: $G_{n2} - G_d$ (gewicht droge steen, zie bij Initiële Wateropzuiging uitgedrukt in [kg]).

De Vrijwillige Wateropneming (VW) (vrije waterabsorptie) in volume % $[V/V]$ is dan: $VW = ([G_{n2} - G_d] / V) \times 100 \text{ \% } [V/V]$.

NB: Deze praktijkuitvoering wijkt op enkele punten af van de genormeerde proef (EN 772-21). Zo wordt de baksteen in de genormeerde proef direct volledig ondergedompeld in water van $20 \pm 2 \text{ }^\circ\text{C}$ en gewogen (gewicht natte steen) na 24 uur. De volumebepaling gebeurt door weging van de verzadigde steen onder water. Dit vereist echter speciale voorzieningen. Het berekenen van het volume zal een kleine afwijking geven in de VW-waarde. De afwijking voor handvormstenen²¹ kan oplopen tot 15 % maar zal meestal kleiner zijn. Bij bijzondere stenen, zoals stenen met een uitsparing in het legvlak of bij geperforeerde stenen kan het verschil groter zijn. De genormeerde waarde van wateropneming van de stenen wordt uitgedrukt in massa-procent.

Rekenvoorbeeld (molen Monster):

Afm: 2,02 (L) x 0,93 (B) x 0,44 (D) [dm]; volume is 0,827 $\text{[dm}^3 \text{ (=liter)]}$

$G_d = 1,539 \text{ kg}; G_{n2} = 1,710 \text{ kg}; G_{n2} - G_d = 0,171 \text{ [kg]}$

Vrijwillige Wateropneming (VW) = $([G_{n2} - G_d] / V) \times 100 \text{ \% } [V/V]$

$(0,171 : 0,827) \times 100 \text{ \%} = 20,4 \text{ \% } [V/V]$

Alternatief, indien uitgedrukt in massa % $[M/M]$:

Vrijwillige Wateropneming $([G_{n2} - G_d] / G_d) \times 100 \text{ \% } [M/M]$

$(0,171 : 1,539) \times 100 \text{ \%} = 11,1 \text{ \% } [M/M]$

Afbeelding 7

Onderdompeling in twee fasen: eerst gedeeltelijk zodat lucht uit het monster kan ontsnappen (foto Groot en Gunneweg).



Afbeelding 8

Tweede fase, stenen helemaal ondergedompeld (foto Groot en Gunneweg).





Vochtopname bepalen met Karstenbuis²³

De wateropname kan gemeten worden met behulp van het buisje van Karsten. Het kan een globale indruk geven van de wateropname van het gevelmateriaal. Vaak is het, afhankelijk van het doel van de proef, belangrijk om zowel de bakstenen als de voegmortel te meten. Ook de opname van de overgang steen-voegmortel moet worden gemeten, omdat juist via dat hechtvlak water kan worden opgenomen. Deze methode wordt ook regelmatig gebruikt om de effectiviteit van een oppervlaktebehandeling te controleren.

Het Karstenbuisje bestaat uit een glazen of kunststofbuisje met mondstuk (ook wel klok genoemd); op het buisje staat een maatverdeling. Het mondstuk wordt met een soort kneedbare kit tegen het metselwerk geplakt. Het buisje wordt gevuld met een bepaalde hoeveelheid water, waarna vervolgens wordt bepaald hoeveel milliliter water na een bepaalde tijd door het gevelmateriaal is opgenomen.

De waterkolom in het buisje geeft een bepaalde waterdruk op de gevel, waardoor het effect van winddruk op de wateropname wordt meegenomen.

De diameter van het mondstuk, en daarmee het meetoppervlak, is afhankelijk van de fabrikant. Er zijn Karstenbuizen met een meetoppervlak van circa 300 mm² en van circa 500 mm².



Afbeelding 9 (links)

Karstenbuis toegepast om een indruk te krijgen van de vochtopname van voegwerkproeven; in dit geval gevuld met groen gekleurd water (foto Michiel van Hunen).

Afbeelding 10 (rechts)

Set met Karstenbuizen voor verticaal en voor horizontaal metselwerk (bron: Haveka).

Het bepalen van de wateropname met een Karstenbuis kan op verschillende manieren worden uitgevoerd, afhankelijk van het doel van de proef. Er bestaat geen algemeen toepasbare (en aanvaarde) standaard. Verschillende fabrikanten en instellingen²⁴ werken met eigen voorschriften.²⁵

De resultaten zijn sterk afhankelijk van de uitvoering. Indien het mondstuk niet goed op de gevel wordt bevestigd kan water gemakkelijk weglekken. Ook via naden tussen voegmortel en baksteen kan water weglekken. De vochtopname is ook afhankelijk van de mate waarin het oppervlak is vervuild (vervuiling geeft lagere wateropname).

De Karstenbuis kan ook 'vergelijkendewijs' worden gebruikt, bijvoorbeeld om verschillen te bepalen in wateropname tussen verschillende materialen die in de gevel aanwezig zijn, zoals soorten baksteen of voegmortels.

Afbeelding 11

Het voor de 1-minuut-hechtproef spreiden van de specie op één steen (foto Erik Jan Brans).



Afbeelding 12

Specie blijft niet aan beide zijde van de steen kleven; dosering aanmaakwater in combinatie met vochtigheidsgraad stenen is niet goed (foto Erik Jan Brans).



PRAKTIJKPROEVEN BEPALING DOSERING AANMAAKWATER SPECIE EN VOORBEVOCHTING BAKSTENEN²⁶

Voor een goede hechting van mortel aan baksteen – met een goed hygrisch contact – is een juiste dosering van aanmaakwater voor de specie in relatie tot het zuiggedrag en de vochtigheidsgraad van de baksteen belangrijk. De juiste dosering kan worden gecontroleerd met twee eenvoudige praktijkproeven, de 1- en 10-minuten-hechtproef. De proeven worden ook buiten Nederland toegepast.

Deze proeven kunnen worden gebruikt voorafgaand aan de start van de werkzaamheden om overeenstemming te bereiken over de korrelgradering van het zand, de waterdosering van de mortel en de eventuele noodzaak tot voorbevochtigen van de metselstenen.

1- minuut-hechtproef

De proef moet in eerste instantie worden uitgevoerd met niet-voorbevochtigde stenen.

Maak een kleine hoeveelheid specie aan volgens de afgesproken receptuur die prettig en goed verwerkbaar is. Noteer de gebruikte hoeveelheid aanmaakwater.

Controleer vervolgens of deze receptuur en hoeveelheid aanmaakwater een goede hechting geeft van de specie aan de steen.

Uitvoering proef:

- Spreid de specie op één steen, zie afbeelding 11.
- Wrijf een tweede steen in de specie.
- Trek de twee stenen van elkaar na 1 minuut contact.

Resultaat:

De vochtigheid is goed als aan beide stenen specie blijft kleven. Indien dat niet het geval is, zie afbeelding 12, moet de waterdosering of de voorbevochtiging van de bakstenen worden aangepast. Bij te weinig water kunnen de stenen worden voorbevochtigd; bij te veel water (bij zwak zuigende stenen) kan de korrelgradering van het zand worden aangepast (grover zand). Net zo vaak herhalen tot de proef succesvol verloopt. Daarna ter controle de 10-minuten-hechtproef uitvoeren.

10- minuten-hechtproef

De proef moet in eerste instantie worden uitgevoerd met niet-voorbevochtigde stenen

Uitvoering proef:

- Spreid de specie op één steen.
- Wrijf een tweede steen in de specie.
- Laat 10 minuten staan.
- Til het proefstuk op aan de bovenste steen.

Afbeelding 13

Bij een goede dosering van het aanmaakwater blijft de onderste steen na de 10-minutenproef hangen (foto Erik Jan Brans).



Resultaat:

Als de onderste steen blijft hangen, zie afbeelding 13, is de waterdosering van de specie in combinatie met de voorbevochtiging van de stenen goed. Indien dat niet het geval is moeten waterdosering en voorbevochtiging worden aangepast. Net zo lang tot ook deze proef een goed resultaat geeft.

De resultaten van de proeven (de juiste receptuur en zandgradering, waterdosering en voorbevochtiging) moeten schriftelijk worden vastgelegd. Deze gegevens kunnen worden gebruikt om afspraken te maken over de uitvoering.

MORTELS EN BINDMIDDELEN²⁷

In deze paragraaf wordt een overzicht gegeven van de verschillende mortelcomponenten, chemische formules en reactievergelijkingen. Het dient als naslagwerk en als achtergrondinformatie bij het hoofdstuk 'Van binmiddel tot mortel', waarin het samenstellen, de functie van de componenten en het gedrag van mortel wordt beschreven.

Metsel- en voegmortels bestaan in principe uit vijf componentgroepen: toeslagmaterialen (zand); bindmiddelen (cement en/of kalk); toevoegingen (baksteenmeel, basaltmeel, kleurstoffen, kalksteenmeel e.d.); hulpstoffen (luchtbelvormers, polymeren, versnellers, vertragers, hydrofoberingsmiddelen, waterretentiemiddelen e.d., $\leq 5\%$ van de cementhoeveelheid) en water.

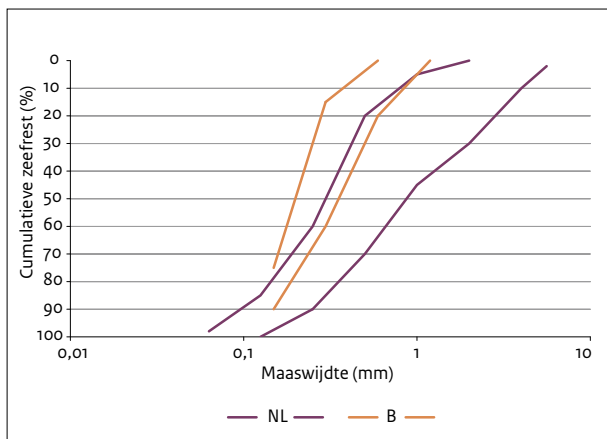
Toeslagmaterialen

De toeslagmaterialen zijn in feite het skelet van de mortel en hebben invloed op de verwerkbaarheid van de specie en de eigenschappen van de mortel, zoals sterkte en krimp. De vorm van de korrels en de korrelgrootteverdeling van het zand of andere toeslagmaterialen zijn in belangrijke mate bepalend voor de dichtheid (volumieke massa) van de mortel en de poriegrootteverdeling. Voor de grenswaarden in de korrelverdeling wordt verwezen naar afbeelding 14. Hierin zijn zowel de in Nederland als in België geldende grenswaarden opgenomen (NEN 3835, respectievelijk NBN 589-106). In de Europese Norm EN 998-2 zijn géén grenswaarden voor de korrelverdeling gedefinieerd.

De korrelgrootteverdeling wordt ook wel omgerekend naar een fijnheidsmodulus, waaraan dan specifieke

Afbeelding 14

Korrelgrootteverdeling metselzand.



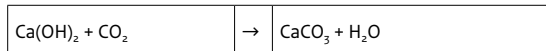
eisen worden gesteld. De fijnheidsmodulus bestaat uit de som van de cumulatieve zeefresten op gedefinieerde zeven, gedeeld door 100. Algemeen geldt: hoe lager het getal des te fijner het zand.

Naast de in afbeelding 14 opgenoemde korrelverdeling worden in België ook nog eisen gesteld aan de hoeveelheid in de fractie <74 en <20 µm (5%).

Bindmiddelen

Luchtkalk

Luchtkalk bestaat uit calciumhydroxide (Ca(OH)_2) dat ontstaat na het bij circa 1.000 °C branden van kalksteen (CaCO_3) of schelpen, en het daarna blussen met water van het CaO dat na het branden is ontstaan. Onderscheiden worden poederkalk, kalkdeeg en schelpkalk. De verharding in de mortel treedt op door de reactie met CO_2 uit de lucht, als volgt:



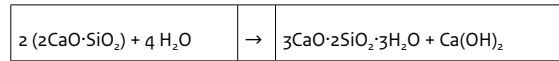
De eisen die gesteld worden aan kalk zijn opgenomen in NEN 931.

Luchtkalk heeft een beperkte sterkteontwikkeling en is relatief elastisch.

Hydraulische kalk

Hydraulische kalk ontstaat als, tijdens het bij circa 1.200 °C branden, de in de mergel of kalk aanwezige SiO_2 uit de klei met CaO reageert tot $2\text{CaO} \cdot \text{SiO}_2$ (C_2S).

Dit reageert relatief traag met water, als volgt:



Puzzolane bindmiddelen

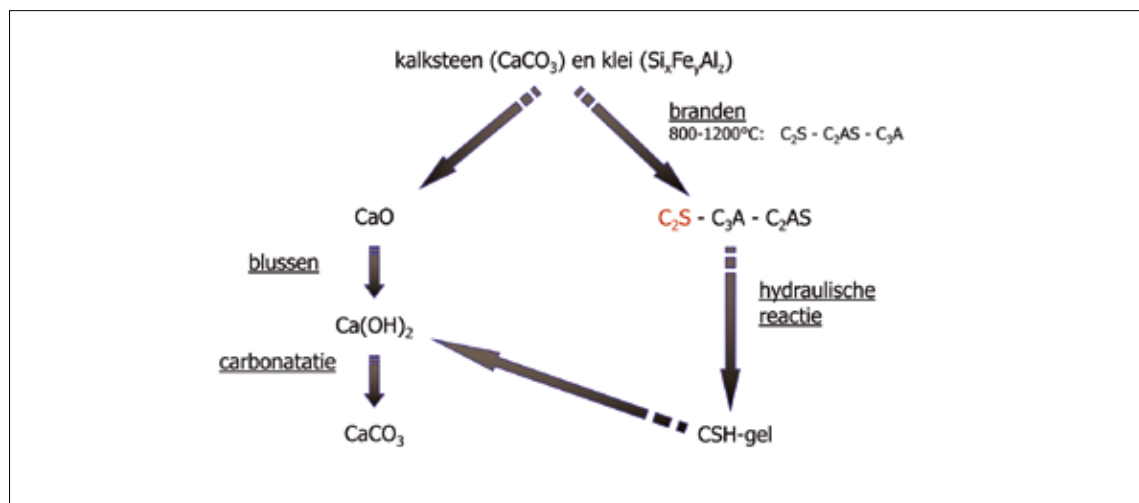
Diatomeënaarde, gemalen tufsteen (tras), poederkoolvliegias en boven 650 °C gebrande klei of leisteen bevatten reactief siliciumoxide dat met luchtkalk reageert. Omdat bijvoorbeeld (tufsteen bevattend) tras reageert met kalk (Ca(OH)_2), kan het de vorming van kalkuitbloeiingen tegengaan. Daarentegen zou de mobiliteit van alkalisulfaten kunnen toenemen.

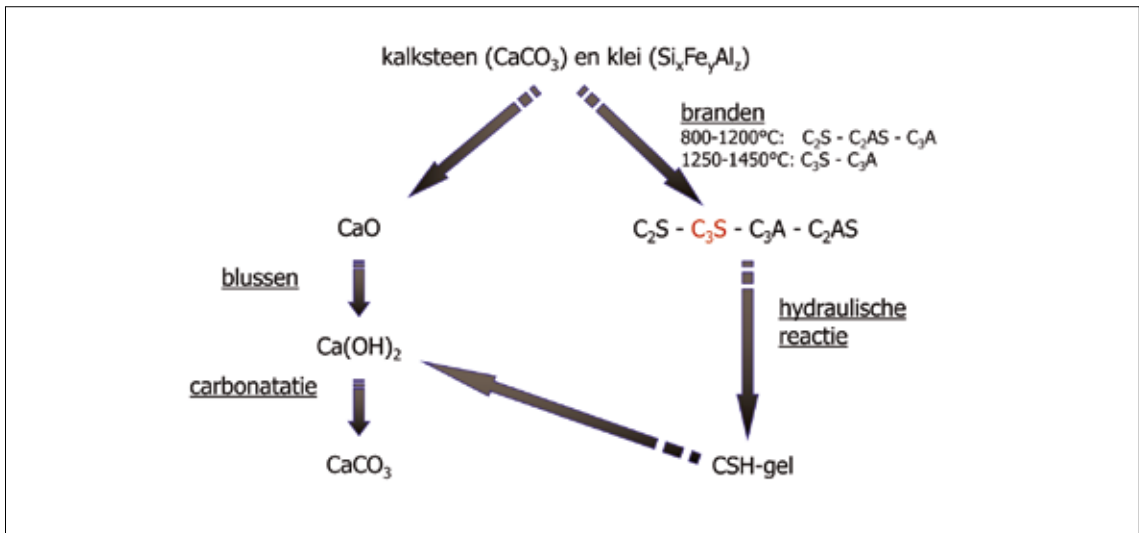
Portlandcement, CEM I

De belangrijkste grondstof voor de fabricage van portlandcement is kalksteen. Hieraan worden nog enkele andere grondstoffen toegevoegd, die silicium, aluminium en ijzer bevatten (doorgaans is dit klei). Deze grondstoffen worden vermalen tot meel. Dit meel wordt vervolgens in de cementoven gebracht. Zo'n oven is een lange draaiende buis. Daar wordt het materiaal geleidelijk verhit tot circa 1.400 °C. Bij deze hoge temperatuur treden scheikundige reacties op waarbij nieuwe verbindingen worden gevormd. Door de draaiende beweging van de oven verlaat de cementklinker de oven

Afbeelding 15

Reactieproducten natuurlijk hydraulische kalk (Roald Hayen, KIK/IRPA)





in de vorm van bolletjes met afmetingen van enkele centimeters.

Door het malen van deze klinkerbolletjes na toevoeging van enkele procenten gips, ontstaat portlandcement (CEM I). Gips dient om de bindtijd van het cement te regelen.

De hoofdmineralen van het cement zijn:

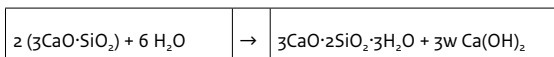
C_2S , dicalcium silicaat (ook beliet genoemd);

C_3S , tricalcium silicaat (ook aliet genoemd);

C_3A , tricalcium aluminaat;

C_4AF , tetraaluminium aluminaat ferriet (ook celiet genoemd)

C_3S reageert snel met water als volgt:



Indien een ijzer (en alkaliarme) klei wordt gebruikt ontstaat witte cement in plaats van grijze.

Een C_3A houdende cement is reactief naar sulfaten en chloriden onder de vorming van ettringiet ($3CaO \cdot Al_2O_3 \cdot 3CaSO_4 \cdot 31H_2O$) of Friedels' zout ($3CaO \cdot Al_2O_3 \cdot CaCl_2 \cdot 10H_2O$), beiden sterk zwellend. Bij sterk ijzerhoudend cement (donker gekleurd) ontstaat sulfaatresistentie doordat zich C_4AF vormt in plaats van C_3A .

C_3A reageert heel snel met water en doet de mortel snel opstijven wat de verwerkbaarheid belemmert. Om dit te voorkomen wordt aan het cement gips ($CaSO_4 \cdot 2H_2O$) toegevoegd waardoor ettringiet zich vormt voordat de verharding heeft plaatsgevonden. Om te voorkomen dat ook nog ettringietvorming na

Afbeelding 16

Reactieproducten bij cement (Roald Hayen, KIK/IRPA).

de verharding plaatsvindt wordt een ondermaat gips toegevoegd en ontstaat ook $3CaO \cdot Al_2O_3 \cdot CaSO_4 \cdot 10H_2O$ (monosulfaat) en gehydrateerd- $3CaO \cdot Al_2O_3$. Na verloop van tijd vindt het water toch zijn weg naar de cementdeeltjes en valt het laagje ettringiet uit elkaar. De calciumsilicaten ($3CaO \cdot SiO_2$ en $2CaO \cdot SiO_2$) reageren dan met water en vormen een calciumsilicaathydrat-gel, afgekort CSH-gel. Die CSH-gel is de belangrijkste cementerende verbinding. Naast de CSH-gel wordt ook vrije kalk gevormd, $Ca(OH)_2$. Bij portlandcement bestaat circa 25% van het gereageerde cement uit deze kalk.

Hoogovencement, CEM III

Bij de productie van ruwijzer ontstaat het bijproduct hoogovenslak. Als de gloeiende slak snel wordt afgekoeld met veel water (granuleren), is ze geschikt voor de productie van hoogovencement. Gegraneerde slak kan met water reageren tot een verhard product. Dit gebeurt heel traag. Deze reactie wordt versneld door toevoegen van portlandcementklinker.

De samenstelling varieert met de samenstelling van het ijzererts en met de kalk die toegevoegd wordt in het ijzersmeltproces. In vergelijking met portlandcement is het kalkgehalte lager, wordt meer magnesium aangetroffen en is het ijzerarm. Ook wordt meer sulfide (S) aangetroffen die afkomstig is uit de cokes waarmee gestookt wordt.

De gemalen slak wordt pas hydraulisch bij aanwezigheid van $Ca(OH)_2$.

Het vrijkomen van Ca(OH)_2 bij de hydratatie blijft echter achterwege waardoor in principe minder risico op kalkuitbloei zal bestaan. Hoogovencement wordt relatief fijn gemalen en er wordt slechts 1 à 1,5% gips aan toegevoegd (bij portlandcement circa 3% gips).

Hoogovencement bestaat uit een mengsel van portlandcementklinker, gegranuleerde hoogovenslak en enkele procenten gips, toegevoegd als bindtijdregelaar. Hoogovencement is meer temperatuurafhankelijk dan portlandcement, bij lage temperaturen is de sterkteontwikkeling langzamer. Bij vroegtijdig waterverlies (verbranden) bestaat een groter risico op onvoldoende verharding.

Aluminiumcement

Aluminiumcement ontstaat uit de grondstoffen kalk en bauxiet nadat deze bij circa 1.600 °C worden gesmolten. Afhankelijk van de samenstelling en de verhouding van de grondstoffen, ontstaan verschillende calcium-aluminaten die met relatief veel water, zeer snel hydraulisch verhard en de hydratatieproducten $2\text{CaO} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 8\text{H}_2\text{O}$ en $\text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 3\text{H}_2\text{O}$ (C_2AH_8 en AH_3) vormen.

Het cement is snelhardend, zuurresistent en bij de verharding komt geen kalk vrij. De ongunstige verwerkingseigenschappen en de prijs vormen een belemmering voor een brede toepassing.

Portland-vliegascement, CEM II

Dit is een mengsel van portlandcement en vliegias als toevoeging. Enerzijds wordt door vervanging van Portlandcement door vliegias bespaard op energie- en productiekosten, anderzijds zou door het puzzolane karakter van vliegias minder vrije kalk ontstaan. Onduidelijk is in hoeverre de samenstelling van de vliegias kan bijdragen aan andere vormen van uitslag en uitbloeiingen (met name sulfaatuitslag). Bij de verwerking van vliegias als toevoeging dient een zeer goede controle op de kwaliteit van de vliegias plaats te vinden. Met name wisseling in het koolstofgehalte kan ervoor zorg dragen dat hulpstoffen hieraan wisselend worden geadsorbeerd, hetgeen direct van invloed zal zijn op de diverse verwerkingseigenschappen.

Metselcement, MC 12,5

Metselcement is een hydraulisch bindmiddel, op basis van portlandcementklinker. Bij de fabricage worden een zeer fijne fractie kalksteenmeel en een luchtbelvormer toegevoegd, waardoor het cement zijn specifieke eigenschappen verkrijgt. De samenstelling is zodanig, dat wordt voldaan aan de speciale eisen die aan een bind-

middel voor metselwerk worden gesteld. Het metselcement is ongeschikt als bindmiddel voor voegmortel.

Tabel 4 geeft een overzicht van cementsoort en aanduidingen volgens de Europese norm voor cement: EN 197-1.

Cementen moeten voldoen aan diverse mechanische, fysische en chemische eisen. Gekoppeld aan de soort cement worden eisen gesteld aan sulfaat- en chloridengehaltes.

Toevoegingen

De toevoegingen dienen er veelal toe de metsel- en voegmortel specifieke eigenschappen te geven. In deze groep van grondstoffen zijn ook de vulstoffen zoals kalksteenmeel, vliegias, tras en hoogovenslak ingedeeld, maar ook baksteenmeel en basaltmeel behoren tot deze groep. Verder behoren kleurstoffen, vezels en polymeren tot deze groep.

Afhankelijk van het effect dat een mortelfabrikant wil bereiken zal uit deze groep een keuze gemaakt worden. Een veelvoorkomende toevoeging voor metselmortel is fijn gemalen kalksteenmeel, dat ook als toevoeging aan metselcement wordt toegevoegd.

Hulpstoffen

Onder additieven of hulpstoffen worden verstaan materialen die in kleine hoeveelheid, in de regel minder dan 5% van de cementhoeveelheid, worden toegevoegd aan de metselmortel. Het doel van deze hulpstoffen is om één of meerdere eigenschappen van zowel de metselspecie als de metselmortel te beïnvloeden.

Hulpstoffen kunnen worden ingedeeld naar het doel, dat bij het gebruik ervan wordt beoogd. De meest gebruikte typen hulpstoffen zijn: luchtbelvormers, vertragers, waterretentiemiddelen en versnellers.

De eisen die gesteld worden aan hulpstoffen zijn opgenomen in NEN 3532.

Versnellers

Versnellers bekorten de verwerkingsduur en bindtijd, doordat zij de reactie tussen cement en water beïnvloeden.

Versnellers worden zelden toegepast, hooguit om te voorkomen dat bij het vermetelen van erg dichte stenen het metselwerk gaat 'drijven'.

Versnelling is te bewerkstelligen met aluminiumcement en (theoretisch) door een extra maalfijnheid van het cement.

Daarnaast kunnen in principe diverse stoffen leiden tot een versnelling (calciumformiaat, (Ca-katalysator),

Tabel 4

Overzicht cementsoorten (bron: EN 197-1)

Benaming	Aanduiding	Portlandcement %	Andere hoofdbestanddelen %
Portlandcement	CEM I	95-100	geen
Portlandslakement	CEM II/A-S	80-94	6-20 S
	CEM II/B-S	65-79	21-35 S
Portlandpuzzolaancement	CEM II/A-P	80-94	6-20 P
	CEM II/B-P	65-79	21-35 P
Portlandvliegascement	CEM II/A-V	80-94	6-20 V
	CEM II/B-V	65-79	21-35 V
Portlandlesteencement	CEM II/A-T	80-94	6-20 T
	CEM II/B-T	65-79	21-35 T
Portlandkalksteencement	CEM II/A-L	80-94	6-20 L
Portlandcomposietcement	CEM II/A-M	80-94	6-20 SPVTL
	CEM II/B-M	65-79	21-35 SPVTL
Hoogovencement	CEM III/A	35-64	36-65 S
	CEM III/B	20-34	66-80 S
	CEM III/C	5-19	81-95 S
Puzzolaancement	CEM IV/A	65-89	11-35 PV
	CEM IV/B	45-64	36-55 PV
Composietcement	CEM V/A	40-64	18-30 S 18-30 PV
	CEM V/B	20-39	31-50 S 31-50 PV

S = gegranuleerde hoogovenslak

V = poederkoolvliegascement

L = kalksteen

T = gebrande leste

P = puzzolaan

M = mengsel

lithium-carbonaat, chloriden en hydroxiden. In metselmortels komen ze zelden voor.

Vertragers

Vertragers verlengen de verwerkingsduur en de bindtijd, doordat zij een reactie tussen cement en water beïnvloeden.

Vertragers hebben hun intrede gedaan met de introductie van de zogenaamde 'natte prefab'-mortels. Het betreft zowel organische verbindingen (stijfsels, arabische gom, suikers (glucanaten), humuszuur en sulfietloog), als anorganische verbindingen (bariumverbindingen en natriumfosfaten). Veelal worden glucanaten toegevoegd omdat ze goedkoop zijn. De werking ervan is te vergelijken met de werking van gips in die zin dat het cement (tijdelijk) wordt afgeschermd van de reactie met water.

Luchtbelvormers

Bij de verwerking dient de metselmortel voldoende smeug te zijn en voldoende mengstabiliteit te hebben. Hiertoe worden luchtbelvormers toegevoegd. Deze zijn geïntroduceerd in de jaren vijftig van de vorige eeuw. Een bekende luchtbelvormer is op basis van een fenolhars. Ook kan een afwasmiddel worden toegevoegd. In algemene zin zijn het oppervlakteactieve stoffen (tensiden).

Door toevoeging van een luchtbelvormer ontstaat maximaal 15% porieruimte in de natte specie. De luchtbelletjes hebben een diameter van 10 tot maximaal 200 µm. Deze luchtbelletjes fungeren als 'kogellagertjes'. In nagenoeg alle metselmortels worden ze toegepast. Onduidelijk is of ze na de verharding van de mortel hun oppervlakteactieve stofwerking nog behouden en bijvoorbeeld het transport van vocht en zouten door het metselwerk kunnen beïnvloeden.

MECHANISCHE EIGENSCHAPPEN, BASTAARDMORTELS VERSUS NATUURLIJK HYDRAULISCHE KALKMORTELS²⁸

In Nederland is er betrekkelijk weinig ervaring met mortels die natuurlijk hydraulische kalk als bindmiddel bevatten. Om een indruk te krijgen van het gedrag van dit type mortels, worden ze met betrekking tot druksterkte en elasticiteitsmodulus vergeleken met twee samenstellingen bastaardmortels, waar meer ervaring mee bestaat in de Nederlandse bouwpraktijk. Beide typen mortel hebben water nodig voor uitharding.

Van de hier gepresenteerde bastaardmortels heeft de eerste de samenstelling 1:1:6 (1 cement, 1 luchtkalk en 6 zand); deze mortel heeft een wat lagere druksterkte dan een metselcementmortel. De tweede bastaardmortel heeft de samenstelling 1:2:9 (1 cement, 2 luchtkalk, 9 zand). De natuurlijk hydraulische kalkmortels hebben alle een bindmiddel-zandverhouding van 1 op 2,5.

Uit afbeelding 17 en 18 is op te maken dat de uiteindelijke druksterkten van de bastaardmortel 1:2:9 ongeveer gelijk is aan die van de Natural Hydraulic Lime (NHL) 3,5-mortel. Zo ook is de druksterkte van de bastaardmortel 1:1:6 na verloop van tijd gelijk aan die van de NHL5. De NHL2-mortel geeft druksterktewaarden die vergelijkbaar zijn met die van gewone luchtkalk.

Uit het vervormingsgedrag van de mortels blijkt dat de NHL-mortels minder stijf (lagere E-modulus) te zijn dan de bastaardmortels. Dit houdt in dat de NHL-mortels grotere vervormingen kunnen opvangen zonder

scheurvorming. Ook is de spanningsontwikkeling als gevolg van temperatuursverschillen bij de NHL-mortels lager dan bij de bastaardmortels.

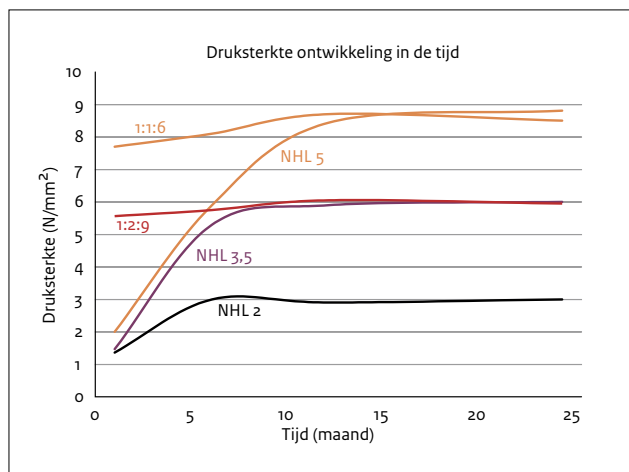
Opvallend verschil, zie afbeelding 17, tussen de bastaardmortels en de NHL-mortels is dat de NHL-mortels maanden nodig hebben om op sterkte komen; de bastaardmortels zijn na een week vaak al op 70% van hun eindsterkte. Met andere woorden: NHL-mortels dienen niet te laat in het seizoen te worden verwerkt om ze goed de eerste winter door te laten komen (of ze moeten worden beschermd tegen vorst).

TOT SLOT

In Nederland bestaat geen aanbeveling waarin de combinatie van invloedfactoren (type bindmiddel, soort metselwerk, conditie van het metselwerk en weersinvloeden) gewogen wordt en indicaties worden gegeven over gewenste mortelsamenstellingen. Recent is door English Heritage een interessant boek uitgegeven waarin suggesties worden gedaan voor de selectie van mortelsamenstellingen als functie van genoemde invloedsfactoren.²⁹

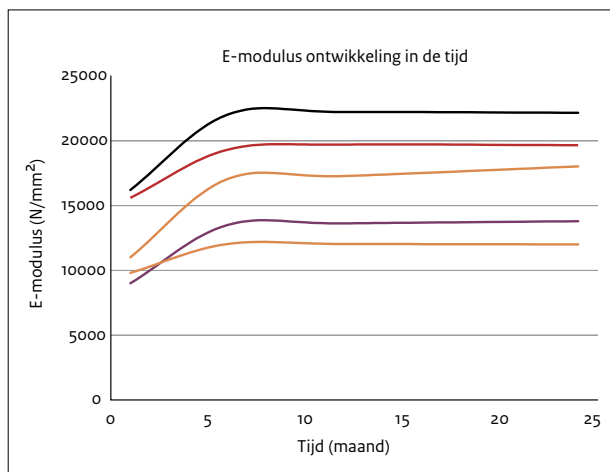
Afbeelding 17

Ontwikkeling van druksterkte van drie op natuurlijk hydraulische kalk gebaseerde mortels en twee bastaardmortels (bron: www.stastier.co.uk).



Afbeelding 18

Ontwikkeling van E-modulus van drie op natuurlijk hydraulische kalk gebaseerde mortels en twee bastaardmortels (bron: www.stastier.co.uk).



Literatuur

- Balen, K. van, J. Mateus, L. Binda, et al., 1999, *Expert system for the evaluation of the deterioration of ancient brick structures*, Luxemburg. (Research Report no.8, vol. 1, European Commission).
 - Hees, Rob van, Silvia Naldini, Luigia Binda, et al., 2008, 'The use of MDDS in the visual assessment of masonry and stone structures', in: L. Binda, M. di Prisco en R. Felicetti, red., *Proceedings of the First International RILEM Symposium On Site Assessment of Concrete, Masonry and Timber Structures*, Varenna, pp. 651-660.
 - Hees, R.P.J. van, J.A.G. Koek, 1996, *Optrekkend vocht. Handleiding voor de bestrijding*, Rotterdam.
 - Hees, R. P. J. van, en S. Naldini, 1995, 'The Masonry Damage Diagnostic System', in: *International Journal for Restoration of Buildings and Monuments*, 6(1), pp. 461-473.
 - Henry, Alison, en John Stewart, red., 2011, *Mortars, Renders & Plasters*, Ashgate.
 - Tammes, E., en B.H. Vos, 1984, *Warmte- en vochttransport in bouwconstructies*, Deventer-Antwerpen.
 - Groot, C.J.W.P., H.J. van Gaanderen en R.S. van der Veen, 2001, 'Time domain reflectometry for moisture measurement in porous materials', in: Binda, L., en R. C. de Vekey, red., *On-Site Control and Evaluation of Masonry Structures*, Mantova, pp. 129-135. (Proceedings RILEM TC 177-MDT Workshop on On-Site Control and Non-Destructive Evaluation of Masonry Structures, 12-14 November 2001)
 - Nasraoui, M., W. Nowik en B. Lubelli, 2009, 'A comparative study of hygroscopic moisture content, electrical conductivity and ion chromatography for salt assessment in plasters of historical buildings', in: *Construction and Building Materials*, 23, pp. 1731-1735.
 - Rijksdienst, 2005, *info Restauratie en beheer*, nr. 8 *Vocht en zouten in metselwerk*.
- 15 Hans van Wijck.
 - 16 Caspar Groot.
 - 17 Caspar Groot en Jos Gunneweg.
 - 18 In de norm EN 772-16 is vastgelegd hoe de dimensies van een steen moet worden bepaald, hierover kan discussie ontstaan.
 - 19 De bak moet waterpas staan en de diepte beïnvloedt het resultaat; de genormeerde diepte is 5±1 mm.
 - 20 De bak moet relatief groot zijn anders zakt het waterniveau door het opzuigen van de steen en wordt een lagere waarde gevonden; in het laboratorium wordt de wateropname gecompenseerd.
 - 21 Caspar Groot en Jos Gunneweg.
 - 22 De afwijking ontstaat doordat bij het bepalen van de inhoud via opmeten van lengte, breedte en hoogte wordt uitgegaan van een zuivere rechthoek, in de praktijk kan de inhoud daar behoorlijk van afwijken.
 - 23 Michiel van Hunen.
 - 24 Zoals TNO, WTCB, RILEM 25 PEM werkgroep, Chemtec, Remmers. Vriendelijke mededeling J. Koek.
 - 25 Mogelijk wordt in de herziene versie van CUR 61 een werkwijze opgenomen om de effectiviteit van een waterwerende behandeling te bepalen. Vriendelijke mededeling J. Koek.
 - 26 Caspar Groot en Jos Gunneweg.
 - 27 Hans van Wijck.
 - 28 Caspar Groot en Jos Gunneweg.
 - 29 Henry en Stewart 2011, pp. 316-319.

Noten

- 1 Rob van Hees.
- 2 Anke Hacquebord.
- 3 Anke Hacquebord.
- 4 Bij het uitvoeren kan 10 g gruismonster worden toegevoegd aan 100 ml demiwater. Ook andere hoeveelheden zijn mogelijk zolang de verhouding gruismonster:water maar gelijk is aan 1:10. Hoe groter de hoeveelheden, des te kleiner de meetfout.
- 5 Nasraoui et al, 2009.
- 6 Hans van Wijck.
- 7 Caspar Groot en Michiel van Hunen.
- 8 Rijksdienst, 2005. Klassering gebaseerd op gegevens van Koning & Bienfait.
- 9 Anke Hacquebord.
- 10 Anke Hacquebord.
- 11 Caspar Groot.
- 12 Groot et al, 2001.
- 13 Rob van Hees.
- 14 Als de methode met beleid wordt uitgevoerd, is er geen risico van



BEGRIPPENLIJST

In de rechterkolom: pagina's waar deze begrippen voorkomen (in vet: Referentiehoofdstuk)

(water)absorptie- (gedrag)	Manier waarop en de mate waarin materiaal water opneemt.	129, 130, 133-139, 151-158, 163-164, 108, 214, 237, 238, 246, 248, 258, 328
achterwerkers	Bakstenen die niet in het zicht komen. Doorgaans minder harde, slechtere of krommere steen.	31,33
acrylaat, acrylaten, acrylhars	Toegepast als steenversteigers, in het bijzonder de Paraloid B72, en als hulpstof in mortel. Veel acrylharsen hebben ook waterafstotende eigenschappen en beperkte indringdiepte. Gebruikt voor fixatie aan het oppervlak, bijvoorbeeld van fresco's.	115, 224, 241, 257
ademend vermogen (van materialen) aggregaten	Gemak waarmee vocht door materialen kan bewegen en waarmee materialen vocht opnemen en weer afgeven aan de lucht. Toeslagstoffen voor mortel, voornamelijk zand. Kunnen voor mortel worden gedefinieerd als korrels of deeltjes steen met een grootte variërend van 63 µm tot 8 mm (soms wordt het maximum gesteld op 4 mm). Behalve uit deeltjes steen kunnen aggregaten ook bestaan uit lichte toeslagmaterialen zoals geëxpandeerde klei, vermiculiet of perliet.	158, 263-265, 267, 269, 280, 315 109-116, 190
aliet	$3\text{CaO}\cdot\text{SiO}_2$ (tricalciumsilicaat) afgekort C_3S .	333
alveolisatie	Schadeproces veroorzaakt door zeezout. Bij alveolisatie ontstaan gaten in de mortel of op de overgang tussen voeg en steen.	147
anti-smetmortel	Een mortel die wordt geleverd (door een mortelcentrale) in de kleur van de steen (bij benadering), waardoor eventuele specievervuiling op de steen minder opvalt.	122, 125
architectonische waarde, architectoni- sche expressie	Uitdrukking van het ontworpen gebouw, zeggingskracht van de architectuur.	219, 221, 284, 314
architectuurhistorische waarde	Betekenis gezien vanuit het perspectief van de geschiedenis van de architectuur.	221, 290, 303
bakhuid	Benaming voor een hardere of dichtere oppervlaktelaag van baksteen, ontstaan tijdens het bakken. Echter, de meeste bakstenen hebben geen bakhuid.	107, 275, 276
bakkleur	Kleur van de baksteen die ontstaat in het bakproces	103, 105
barrièrewerking, barrière-effect (mortel- hechtvlak)	Een verdichte grenslaag (hechtvlak) met zeer fijne porositeit tussen mortel en steen. Kan als een barrière werken voor vochttransport.	153, 157, 187, 193, 193-195, 191
beliet	$2\text{CaO}\cdot\text{SiO}_2$ (bicalciumsilicaat) afgekort C_2S .	124, 333
bestek	Uitgebreide werkomschrijving in de bouw, gecombineerd met contractregels en uitvoeringsvoorschriften. Zie ook werkomschrijving en STABU.	44, 85-87, 154, 161, 199, 205, 309, 315, 316, 318, 319

bindmiddel	De component in specie, zoals (luchthardende of hydraulische) kalk of cement, die zorgt voor de binding tussen de andere componenten zoals zand.	131, 133, 138, 144, 147, 149, 191, 195, 203, 205, 207-210, 212, 213, 216, 219, 223-225, 229, 231, 240-242, 263, 265, 280, 284, 313, 318, 324, 331-336
blindeersteen of bekledingssteen	Een aan de buitenzijde toegepaste mooiere kwaliteit bakstenen.	31, 33
blussen	Proces waarbij water wordt toegevoegd aan ongebluste kalk (calciumoxide) om dit om te zetten in gebluste kalk (calciumhydroxide), dat als bindmiddel fungeert.	55, 110, 185, 332
boomschorssteen	Strengperssteen die na het persen is bezand en met een roller van een structuur (ingeperste nerf) is voorzien.	35
bouwaardewerk	Term voor terracotta die sinds het begin van de twintigste eeuw vaak wordt gebruikt. Kan zowel geglaazuurd als ongeglazuurd zijn.	57, 62-65
bouwhistorisch onderzoek	Onderzoek waarbij de bouw- en gebruiksgeschiedenis van een bouwwerk of ensemble wordt geanalyseerd en in kaart gebracht en de cultuurhistorische waarden worden benoemd.	24, 299, 302, 304, 306, 311
bouwhistorische waarde	Betekenis gezien vanuit het perspectief van de bouwhistorie.	223, 293, 313
bouwspoor	Zichtbaar restant van een in het verleden uitgevoerde wijziging van het gebouw.	24, 203, 301, 302, 305, 306
breuksteen of klissteen	Kalkzandsteen die in de lengterichting is gebroken. Veel toegepast in de jaren zestig en zeventig.	43, 51
bricornasteen	Kantige nageperste steen (van witte klei gebakken) met een patroonschildering in engobe.	33
Brunssumer klei	Klei uit Brunssum, oude kleiafzetting in Nederland. Dit is een kaolinitische klei met heel specifieke (vuurvaste) eigenschappen en een gele bakkleur.	96, 103
calciumsilicaathydraat (CSH)	Reactieproduct van cement, de belangrijkste cementerende verbinding.	42, 91, 117, 124, 148, 333
capillair	Kanaalvormige ruimte met een kleine binnendiameter in een vaste stof; het geheel heeft vaak de vorm van een buisje. Een capillair zuigt door capillaire werking vloeistof op.	153, 154, 166, 188, 253, 257
capillair vochtgehalte (w_{cap})	De hoeveelheid vocht die in het materiaal wordt opgenomen door vrije wateropname. Het materiaal raakt niet volledig verzadigd omdat bij vrije waterabsorptie lucht in de poriën van het materiaal blijft ingesloten.	130, 131, 133, 164, 168, 169

capillaire condensatie	In poreuze materialen hechten waterdampmoleculen zich aan de poriënwallen, waardoor een zeer dun waterfilmje wordt gevormd. Als de relatieve vochtigheid van de lucht in de omgeving toeneemt, neemt ook de dikte van het waterfilmje op de poriënwand toe. In de nauwste plekken in de poriën kunnen de waterfilmjes elkaar gaan raken en zullen dan samenvloeien; er ontstaat vloeibaar water. Dat proces heet capillaire condensatie. Materialen met kleinere poriën (mortel) hebben door capillaire condensatie een hoger evenwichtsvochtgehalte dan materialen met grotere poriën (baksteen).	136, 166
capillair contact	Verbinding tussen twee materialen waarbij de capillaren met elkaar zijn verbonden, zodat vocht van de ene (grote) in de andere (fijne) kan worden gezogen. Zie ook hygrische aansluiting.	104, 133, 156, 209
capillaire waterabsorptiecoëfficiënt	Maat voor de wateropname die wordt gemeten over een periode van enkele uren. Het resultaat de absorptiecoëfficiënt A wordt uitgedrukt in $\text{kg/m}^2\text{s}^{0.5}$. De proef is een uitgebreide versie van initiële wateropzuiging.	163, 164, 168
capillaire werking	Het vermogen van poriën om met eigen zuigkracht water op te nemen. De capillaire werking treedt bij steenachtige bouwmaterialen op in buisjes met poriëndiameter tussen 0,1 μm en 100 μm .	130, 131, 153, 188, 238
carbonatatie	Reactieproces waarbij kalkhydraat ($\text{Ca}(\text{OH})_2$) door de reactie met kooldioxide (CO_2) uit de lucht wordt omgezet in calciumcarbonaat, ofwel kalksteen (CaCO_3).	49, 133, 135, 138, 139, 145, 240, 241, 258, 280
caseïne	Ook wel kaasstof genoemd, een dierlijk eiwit dat voorkomt in melk. Wordt soms toegevoegd aan kalkmortel voor extra binding of verdichting.	115, 281, 287
celiet cement	$4\text{CaO}\cdot\text{Al}_2\text{O}_3\cdot\text{Fe}_2\text{O}_3$ (tetracalciumaluminaatferriet) afgekort C_4AF . Hydraulisch bindmiddel dat ontstaat door het malen van cementklinker. Deze klinker ontstaat door het tussen 1.250 ° en 1.600 °C branden van kleirijke kalk of een mengsel van kalk en klei. Cement bevat met name tricalciumsilicaat (C_3S) en tricalciumaluminaat (C_3A).	233 9, 12, 22, 69, 77, 82, 89, 110, 111, 113, 114-116, 119-125, 131-139, 142, 144, 145, 147-149, 152, 156-158, 175, 176, 188, 190, 191, 195, 202, 203, 207, 208, 210, 212-215, 217, 224, 225, 242, 259, 263-266, 269, 283, 292, 304, 305, 311, 312-314, 318, 324 , 326 , 331-336
cementsteen	Cementsteen is de vaste stof die wordt gevormd uit de reactie van cement met water. Deze vaste stof verbindt de toeslagmaterialen.	31, 57, 125, 131, 133, 134-136, 138, 139
compatibiliteit, compatibel	Een compatibel(e) materiaal of behandeling sluit goed aan bij de omgeving. Het toegevoegde materiaal of de uitgevoerde behandeling functioneert goed samen met of veroorzaakt geen schade aan het aanwezige of oorspronkelijke materiaal.	12, 110, 115-117, 121, 125, 141, 157, 161, 162, 187, 194, 195, 207, 212, 216, 217, 227, 247, 266, 314, 315

consolideren, consolidatie	Werkzaamheden die tot doel hebben het proces van verval te stoppen en eventuele dreigende instorting te voorkomen.	219-223, 310
crypto-(ef)fluorescentie, crypto-fluorescence	Zoutkristallisatie in de poriën van het materiaal. Zie ook zoutkristallisatie.	142-145, 147, 210, 253, 254
cultuurhistorische waarde	Cultuurhistorische waarden hebben betrekking op sociale aspecten of ontwikkelingen die het materiaalgebruik en de decoratie van metselwerk kunnen bepalen en die hierdoor een bijzondere herinneringswaarde hebben. Het kan daarbij gaan om een specifieke geografische, typologische of innovatietechnische ontwikkeling.	10, 75, 219, 221, 231, 267, 275, 286, 289, 290, 294, 298, 299, 305, 307
delaminatie	Laagsgewijs (meer dan één laag) verlies aan samenhang in een materiaal met een oorspronkelijk gelaagde structuur.	142, 143, 245, 312
DENSO-band	Vettige beschermmantel (vetbandage) waarmee ijzer kan worden omwikkeld ter conservering en bescherming.	319
diagnose	Een diagnose stellen ('het nauwkeurig leren kennen') is de kunst, techniek of handeling om een oorzaak te vinden van een proces aan de hand van de optredende verschijnselen.	141, 142, 154, 161, 173-181, 220, 311
dilatatie(voeg)	Opening of open voeg die als functie heeft het uitzetten en krimpen van materialen, door thermische werking of belasting, op te vangen. Het voorkomt spanningopbouw en scheurvorming in het materiaal.	125, 180, 195, 219, 221, 311, 312, 315
doorstrijken	Doorstrijken is een uitvoeringswijze waarbij de metselaar de voeg in één werkgang afmaakt. Hij vermetselt de stenen vol en zat en werkt de voeg na het aantrekken van de mortel af met voegijzer of zogeheten pointmaster. Een doorgestreken voeg is technisch gezien duurzamer en bevordert een optimale natuurlijke droging van het metselwerk.	121, 122, 159, 197, 229, 280
doorstrijkmortel	Een mortel die zo is samengesteld dat er doorstrijkwerk mee kan worden uitgevoerd.	121, 122
driekleזור droging	Een baksteen met driekwart van de oorspronkelijke lengte. Het drogen van poreuze materialen verloopt vaak in twee fasen. Een eerste snelle droogfase met aanvoer van vocht in vloeibare fase naar het oppervlak (verdamping vanaf het oppervlak). En een tweede trage droogfase met langzamer vochtaanvoer in dampvorm vanaf het droogfront in het poriesysteem.	19, 20, 23, 84, 46, 92, 99, 129, 130, 132-134, 138, 139, 148, 151-154, 156, 158, 159, 162, 164, 166, 170, 187-190, 192, 208, 213, 214, 216, 238-242, 245, 246, 258, 259, 263-266, 268, 270, 284, 286
droogfront	Het scheidingsvlak in een poreus materiaal dat de grens markeert tussen al gedroogd en nog vochtig materiaal.	133, 151, 153, 156, 162, 238
efflorescentie, efflorescence	Zoutuitbloei, afzetting van zoutkristallen op het oppervlak van het materiaal.	49, 142, 143, 145, 253, 254
elasticiteitsmodulus of E-modulus	Een materiaalkundige eigenschap die een maat is voor de stijfheid of starheid van een materiaal. Die bepaalt ten dele de rek van het materiaal onder een trekbelasting (lage stijfheid geeft hoge rek). De eenheid is een kracht op een oppervlak of N/m ² of Pa. Vaak uitgedrukt in N/mm ² = MPa. Hoe lager de E-modulus, des te elastischer is het materiaal en hoe gemakkelijker het kan vervormen.	115, 116, 123-125, 212, 215, 217, 336

elektrokybernetisch systeem	Methode om metselwerk te drogen of om optrekkend vocht tegen te gaan, gebaseerd op magnetische impulsen. Volgens producenten gebaseerd op het principe dat magnetische pulsen tot een verandering van de oppervlaktespanning leidt.	258, 259
elektro-osmose	Methode om metselwerk te drogen of om optrekkend vocht tegen te gaan, gebaseerd op het feit dat water door het creëren van een potentiaalverschil in beweging gebracht kan worden.	258
EN 771-1	Europese productnorm voor metselbaksteen. Hierin worden de volgende parameters genoemd: (druk)sterkte, de dichtheid (of totale porositeit), de vrijwillige wateropneming, het wateropzuiggedrag ('initiële wateropzuiging'), het gehalte aan bepaalde wateroplosbare zouten en de vorstbestandheid.	102, 188
Engels verband	Kettingverband waarbij in een laag drie strekken en een kop elkaar afwisselen.	19
engobe	Specifieke klei en toegevoegde kleurende oxiden die als toplaag op de baksteen wordt gebakken en die daarbij niet volledig verglaast.	33, 103
ethylsilicaat	Verbinding die als steenversteviger wordt gebruikt. Zie bij steenversteviger.	239-242, 246
ettringiet	Ettringiet ($3\text{CaO} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 3\text{CaSO}_4 \cdot 32\text{H}_2\text{O}$) is een sterk zwellende verbinding. Kan ontstaan in aanwezigheid van sulfaat door reactie met mortelcomponenten (met name C_3A) uit hydraulische bindmiddelen en traskalkmortel. Zie ook thaumasiet.	147, 148, 333
evenwichtsvochtgehalte materiaal	Het vochtgehalte in het materiaal in evenwicht met de omgevingsconditie (relatieve luchtvochtigheid en temperatuur).	134, 136, 322
exfoliatie of afbladeren	Laagvormig loslaten (meer dan één laag) van materiaal bestaande uit een oorspronkelijk niet gelaagde structuur.	142-144, 240, 245
Falconniersteen	Holle geblazen zeshoekige of gegolfde stenen die verkrijgbaar waren in verschillende kleuren (patent Frankrijk 1886).	71, 72, 77
fluaten	Fluaten zijn zouten van fluorkieselzuur (H_2SiF_6).	89, 91, 240
gesmoord product	Baksteen of dakpan die door gebrek aan zuurstof tijdens de koeling in een afgesloten oven in plaats van een rode een grijze of zwarte kleur krijgt.	21, 23, 28, 31
gestreken steen	Steen gemaakt met vettere klei gevormd in een nat gemaakte vorm, waardoor een glad onbezand oppervlak ontstaat. Duitse naam: 'Wasserstrich'.	31
gevelreiniging	Materiaalverwijderende behandelingen om een gevel schoon te maken. Zoals het spoelen of afsprengen met water, het toepassen van hoge- of lagedrukstraaltechnieken, het schoonmaken met (bio)chemische middelen, schuren, slijpen, polijsten en laserreiniging.	86, 90, 149, 190, 263, 275, 281, 283, 284, 314, 318
gipskorst	Een gipsgebonden laag op het oppervlak van een kalkgebonden materiaal. Gevormd door een reactie van in (regen)water opgelost zwaveldioxide (SO_2) met kalk. Een gipskorst is vaak donker gekleurd door ingesloten vervuiling zoals roetdeeltjes.	280, 283
glazuur	Een specifieke samenstelling van oxiden die voor het bakproces op het productoppervlak is aangebracht en die tijdens het bakproces verglaast tot een waterdichte en vaak gekleurde toplaag op het product.	23, 24, 28, 33, 36, 37, 57, 62-67, 104, 224, 232, 277
grenslaag	Zie hechtvlak.	

groene of rauwe steen, groenling	De ongebakken baksteen.	15, 16, 53, 98, 99, 183
halfsteensverband	Metselverband met alleen strekkenlagen die afwisselend een halve strek verspringen.	31
Hallergetal	Het Hallergetal is een maat voor de wateropzuiging van baksteen in de vochtconditie waarin deze verkeert; een maat voor de zuigkracht of de snelheid van wateropname van een baksteen. Het Hallergetal is het gewicht aan water in grammen dat de steen in 1 minuut opneemt per dm ² oppervlak [g/dm ² /min]. Zie ook initiële wateropzuiging.	105, 122, 130, 131, 133, 195, 327, 328
handvormsteen	Baksteen waarbij een bezande bal klei handmatig in een (bezande) bakvorm wordt gedrukt of geworpen. De zandinsluitingen die hierbij ontstaan zorgen naderhand (als het zand er weer uit is gevallen) voor de typische nerfstructuur in de baksteen. Veel van de productie van handvormstenen vindt tegenwoordig machinaal plaats.	28, 31, 34, 35, 37, 95, 97, 101
hardgrauw	Oude benaming voor een kwaliteitsaanduiding van een bepaalde mate van sintering in de baksteen die een toepassing onder zwaarder belaste omstandigheden mogelijk maakt (ook: gevelgrauw en boerengrauw).	28
hechtvlak of grenslaag	De 'interface' tussen baksteen en mortel; zeer bepalend voor vochttransport tussen steen en mortel. Kwaliteit en gedrag worden bepaald door eigenschappen specie, mortel en vakmanschap metselaar en voeger.	136, 138, 139, 151, 152, 156, 157, 158, 187, 188, 190, 192, 264, 265
herbehandelbaar(heid)	Herbehandelbaarheid betekent dat wanneer de behandeling is gedegradeerd tot een niet-acceptabel niveau, het mogelijk moet zijn om een nieuwe behandeling aan te brengen.	247
historische gelaagdheid	De aanwezigheid en afleesbaarheid van verschillende betekenisvolle tijdslagen in een gebouw.	24, 203, 294
hoekverband	Metselverband bij een hoek van de gevel, om te bewerkstelligen dat de stootvoegen in opeenvolgende lagen niet boven elkaar komen. Veelal met behulp van een klezoor en later ook met een drieklezoor.	19, 20, 23, 24
hoogovencement	Type cement waarbij naast portlandcement ook gemalen hoogovenslak als grondstof is gebruikt (CEM III). Zie ook cement.	210, 212, 215, 265
hulpstoffen	Kleine toevoegingen aan mortels die van invloed zijn op de eigenschappen van de specie (niet-verharde mortel) of mortel, zoals de verwerkbaarheid.	115, 120-123, 125,
hydrauliciteit	Vermogen van een bindmiddel om met water te verharden.	113
hydrauliciteitsindex	Maat voor de hydrauliciteit (H.I.) van een bindmiddel volgens de formule van Boynton: $H.I. = (2,8 * \%SiO_2) + (1,1 * \%Al_2O_3) + (0,7 * \%Fe_2O_3) / (\%CaO + (1,4 * \%MgO))$. Daarbij worden vier hydrauliciteitsklassen onderscheiden: niet hydraulisch < 0,3 zwak hydraulisch 0,3 – 0,5 gematigd hydraulisch 0,5 – 0,7 sterk hydraulisch 0,7 – 1,1	113

hydraulisch bindmiddel	Een bindmiddel dat verhardt door een chemische reactie met water.	113
hydraulisch contact	Hygrisch contact, capillair contact, zie aldaar.	156, 158
hydrofobeermiddel	Chemisch middel waarmee steenachtig materiaal waterafstotend kan worden gemaakt. Producten op basis van bijvoorbeeld siliconen, siloxanen of alkoxysilanen.	115, 214, 238, 243, 246, 248, 249, 263, 284, 315
hydrofoberen, hydrofobe behandeling	Aanbrengen van een waterafstotend middel.	51, 145, 147, 156, 237, 238, 242, 243, 245, 248, 264, 270, 275, 286
hygrisch contact, hygrische aansluiting	De mate waarin het ene materiaal zodanig contact heeft met het andere materiaal dat goed vochttransport kan plaatsvinden. Zie ook capillair contact.	134, 139, 330
hygrisch gedrag	De wijze waarop een poreus materiaal water opneemt, geleidt en verliest door verdamping.	95, 129, 139, 151, 188, 217
hygrische kenmerken, eigenschappen	Eigenschappen van het materiaal die het vochtgedrag bepalen (opname en droging), zoals: de wateropneming, het wateropzuiggedrag, waterdoorlatendheid en het watervasthoudend vermogen.	104, 129, 283
hygroscopiciteit	De eigenschap dat een materiaal om waterdamp aan te trekken en op te nemen (in het materiaal als vloeibaar water aanwezig).	167
hygroscopisch vochtgehalte, HVG, hygroscopic moisture content, HMC	Vochtgehalte als gevolg van de aanwezigheid van hygroscopische zouten. De hoeveelheid hygroscopisch vocht in het materiaal geeft een indicatie voor de hoeveelheid aanwezige (hygroscopische) zouten.	136, 254, 255, 322, 323
ijzeroxiden	Fe_2O_3 (rood) en Fe_3O_4 (bruin/zwart).	87, 103, 122
inboeten, inboeting	Herstellen van metselwerk in het verband van het omliggende werk.	51, 198, 205, 220, 221, 227-229, 245, 314-317, 318
initiële wateropzuiging	De gewichtstoename door wateropzuiging van een volledig droge steen die gedurende één minuut met zijn zool in 5 mm diep water ligt. Het wordt uitgedrukt in $\text{kg/m}^2 \cdot \text{minuut}$. Wordt ook wel het Hallergetal genoemd. Als gevolg van het veranderen van de te hanteren eenheid is de waarde een factor 10 kleiner geworden dan van het Hallergetal. Initiële wateropzuiging wordt bepaald aan droge stenen. Het Hallergetal wordt bepaald aan stenen met een actueel vochtgehalte (kan droog zijn maar ook nat), zie aldaar.	102, 104, 105, 107, 159, 188-191, 195, 327, 328
injecteren van chemische producten (tegen optrekkend vocht)	Het door injectie of impregnatie met een chemisch product creëren van een vochtbarrière over de gehele muurdoorsnede.	256
inkassing, inkassen	Opening of kas die een metselaar in een (bestaande) muur open laat of maakt om nieuw metselwerk goed en stevig te kunnen laten aansluiten of in te boeten.	222, 228-230

kalk	In de bouwkunde: het bindmiddel in kalkmortel: gebluste kalk ($\text{Ca}(\text{OH})_2$). Het bindmiddel kan zowel hydraulisch zijn als lucht-hardend. Hydraulische kalk bestaat met name uit dicalciumsilicaat (C_2S). In het algemeen: calciumverbinding, zoals: ongebluste kalk (calciumoxide), gebluste kalk (calciumhydroxide ($\text{Ca}(\text{OH})_2$)), kalksteen (calciumcarbonaat), hydraulische kalk. In de geologie: kalksteen, die voornamelijk uit calciumcarbonaat (Ca_2CO_3) bestaat.	9, 12, 18, 27, 42, 52, 55, 86-91, 93, 98, 100, 103, 105, 109-111, 113-117, 119, 123-125, 131, 133, 136, 138, 139, 144, 145, 147, 154, 156, 158, 159, 171, 182-185, 187, 188, 191, 207, 208, 210, 212-217, 220, 224, 225, 240-242, 264-266, 280, 281, 287, 311, 314, 318, 319, 331, 336
kalkhuid, calciethuid	Een op ouder kalkgebonden voegwerk aanwezig meer verdicht en hard geelwit laagje dat bestaat uit kalksteen (calciumcarbonaat). Kan deels uit gips bestaan, zie gipskorst.	280
kalksteenmeel	Gemalen kalksteen (CaCO_3), toeslagstof.	120, 123, 195, 331, 334, 335
kalkzandsteen	Steen vervaardigd uit een mengsel van zand, kalk en water, waarbij de geperste vorm in een autoclaaf onder hoge druk wordt verhit.	12, 35, 41-51, 129, 130-134, 136, 254, 332
kalkzandsteenklinker	Kalkzandsteen speciaal voor toepassing in trasramen, met een beperkte wateropname.	46
kettingverband	Metselverband waarbij per laag één of meerdere strekken worden afgewisseld met een kop. Het oudste metselverband in Nederland. Soorten zijn: Vlaams, Noords en Engels.	19
kieselzure ester, kieselzuurester, TEOS	Ethylsilicaat (TEOS; tetra-ethylorthosilicaat), veelgebruikt als steenversteviger.	240-242, 247, 249
kistwerk	Bestaande uit een binnen- en buitenschil met daartussen een mengsel van mortel met puin, grind of keien.	19, 154, 159, 225, 313
kleimineralen	Kleimineralen zijn waterhoudende aluminosilicaten (verbindingen van SiO_2 en Al_2O_3) met een plaatvormige geometrie. De lengte en de breedte van een dergelijk mineraal bedraagt maximaal 10 μm (0.01 mm) en de dikte is vaak niet meer dan een fractie daarvan.	95, 96, 99, 100
klezoor	Een baksteen met een kwart van de oorspronkelijke lengte.	19, 20, 22, 23, 31, 84
klinker, trasraamklinker	Zeer harde baksteenkwaliteit. Steen met geringe wateropname.	28, 35, 46, 48, 120, 147, 157, 188, 189, 255, 272
klisklezoor	In de lengte doorgehakte baksteen, dus met de breedte van een klezoor en de lengte van een strek.	22, 23
Knapen-sifon	Keramische buis geplaatst in gaten in de muur. Tegenwoordig in de vorm van 'droogstenen'. Op bakstenen lijkende stenen op cementbasis met speciaal gevormde holtes. Volgens de producent leidt het tot een geforceerde ventilatie waardoor de muur droogt.	259
kop (van een baksteen)	Korte zijde van een baksteen.	18-20, 23, 30, 31, 48, 106, 107, 224, 228, 229, 272, 277, 317

koppenlaag, koppenlagen	Een laag in het metselwerk waarin enkel baksteenkoppen zichtbaar zijn.	19, 20, 84, 220, 228
korrelopbouw, korrelgradering	Korrelgrootteverdeling, gewichtsaandeel in de verschillende korreldiameterfracties ('groepen' met bepaalde korreldiameter).	114, 116, 120-122, 330-332
koudglazuur	Verzamelnamen voor producten op basis van synthetische hoogglanslak of kunsthars om beschadigde glazuurlagen mee te herstellen; technisch niet te vergelijken met een keramische glazuur.	65, 67
kritisch vochtgehalte	Het vochtgehalte waaronder geen en waarboven wel watertransport in vloeibare vorm optreedt. Het vochtgehalte vormt dus de overgang tussen capillair vochttransport en damptransport.	133, 152, 164, 165, 171, 264, 332
kruisverband	Metselverband van afwisselend koppen- en strekkenlagen waarbij de strek elke opvolgende strekkenlaag een halve steen of kop verspringt.	19, 20, 22, 30, 31, 84, 304
kwikintrusie, kwikporosimetrie	Meetmethode om een poriegrootteverdeling te bepalen. De hoeveelheid kwik die als functie van de druk in de poriën wordt geperst is een maat voor het porievolume. Het geeft informatie over: porositeit, porievolume, poriegrootteverdeling en dichtheid.	104, 129
lateraalscheuren lekkage (doorslag)	Langsscheuren, evenwijdig aan de muur. Treedt op als het kritisch vochtgehalte lokaal dwars door de hele muur wordt overschreden en vocht van het buitenoppervlak naar het binnenoppervlak van de muur gaat stromen onder invloed van drukverschillen, bijvoorbeeld door wind of ventilatie.	154 151-154, 157-159, 187, 188, 192, 193-195, 243, 263, 312, 325
lijnolie	Olie geperst uit lijnzaad. Er bestaat blanke, rauwe, ongekookte en gekookte lijnolie. Het bestaat uit glyceriden: scheikundige verbindingen van glycerine en vetzuren. Het vormt een linoxynehuidje. Gekookte lijnolie is dikker vloeibaar en donkerder. Standolie is weer dikker en beter tegen weersinvloeden bestand.	86, 87, 91, 199, 238, 281, 315
lintvoeg	De horizontale voeg tussen twee lagen metselwerk.	31, 154, 157, 176, 198, 199, 202, 226, 229, 311, 313
luchtbelvormer	Hulpstof die tijdens het mengproces vorming toestaat van een gecontroleerde hoeveelheid (tussen 12 en 20%) fijn verdeelde luchtbelletjes in specie die na verharding in de mortel aanwezig blijven. Het kan de verwerkbaarheid van de mortel en de vorstbestandheid verbeteren, maar kan mogelijk nadelig zijn voor hechtsterkte en duurzaamheid.	115, 117, 120, 123, 131, 195
luchthardend bindmiddel	Bindmiddel dat langzaam verhardt aan de lucht, zoals luchtkalk. De vrije kalk in de mortel (Ca(OH)_2) reageert met koolzuur (CO_2) uit de lucht tot CaCO_3 (carbonatatatieproces, zie ook daar).	113
luchtkalk	Kalk (bindmiddel) die verhardt door reactie aan de lucht (reactie met CO_2). Zie ook onder kalk.	116, 117, 125, 131, 210, 212, 215, 265, 266, 287, 332, 336

magnetische resonantie	Meettechniek waarmee op niet-destructieve wijze op een bepaald punt in het materiaal het vochtgehalte kan worden bepaald.	133
Massari-methode	Methode waarbij mechanische onderbreking wordt aangebracht tegen optrekkend vocht door twee overlappende series gaten in de muur te boren en te vullen met een synthetische waterafstotende mortel.	255
(maximale) waterdampconcentratie, verzadigingsdampspanning	De hoeveelheid waterdamp die maximaal in lucht van een bepaalde temperatuur kan worden opgenomen.	134, 136
metselcement	Bindmiddel dat naast portlandcement ook kalksteenmeel (CaCO_3) bevat (en een luchtbelvormer). De kalksteen wordt samen met de portlandcementklinker gemalen tot een bindmiddel met een hoge fijnheid.	120, 121, 125, 191, 195, 334, 336
metseltekens	Patronen in de vorm van bijvoorbeeld ruiten, harten en kruisen door het vermetselen van verglaasde of gesmoorde bakstenen in een contrasterend kleur.	21, 22, 24, 224
metselverband	Wijze waarop (bak)stenen in muurwerk zijn gerangschikt.	15, 18-20, 27, 31, 35, 38, 85, 121, 139, 293, 88, 89, 231, 266, 281
mineraalverf, silicaatverf, 'keimverf'	Minerale verf op basis van een met kiezelzuur verzadigd waterglas waaraan kleurpigmenten zijn toegevoegd. Deze is zeer dampopen. Keim is een lang bestaande merknaam en daardoor ook wel gebruikt als productnaam.	
morfologie	De vorm en structuur van een materiaal.	131, 136, 138, 139, 241
mortelcentrale, beton(mortel)centrale	Fabriek waar (beton)specie wordt gemaakt. Een mortelcentrale kent drie hoofdonderdelen: opslag; wegen/mengen; transport. Bepaalde centrales leveren naast beton ook natte metselmortel, semidroge mortel en droge mortel.	119-121
nanocoating	Product met actieve bestanddelen van nanogrootte, dat wil zeggen in de orde van 10^{-9} m. Wordt ook gebruikt als hydrofoobeermiddel.	239
Noords verband	Kettingverband waarbij in een laag twee strekken en een kop elkaar afwisselen.	18-20
nuancering (baksteenkleuren)	Aanduiding voor kleurverschillen die binnen één partij bakstenen voorkomen door variaties in temperatuur en zuurstofgehalte (over- en ondermaat zuurstof).	102, 107
oliën	Aanbrengen van een laag lijnolie.	86, 87
oppervlaktebehandeling	Beschermingsmaatregel waarbij op of via het oppervlak van de gevel (veelal chemische) middelen worden aangebracht. Het doel van een oppervlaktebehandeling is schade te herstellen of het oppervlak te beschermen.	51, 89, 200, 223, 237, 242, 247, 249, 263, 281, 284, 315, 329
optrekkend vocht	Water dat uit de bodem wordt opgezogen door de capillairen van bouwmaterialen.	137, 139, 151, 152, 156, 157, 237, 243, 253-255, 260, 261, 312
overbelasting	Een situatie waarbij schade ontstaat door een te zware belasting, het draait om evenwicht tussen bouwdelen. De constructie van een gebouw moet allerlei belastingen opvangen en naar fundering en ondergrond afdragen. Daarbij zullen de krachten altijd het pad volgen dat de meeste weerstand biedt.	143, 147, 177-179, 181

patina	Patina is de chemische omgezette oppervlaktelaag van de steen waardoor de kleur (en textuur) is veranderd; het is een dunne compacte laag die goed aan het onderliggende materiaal is gehecht.	49, 84, 106, 223, 224, 231, 263, 275, 281-285
porie	Een porie is een (buisvormige) opening in het materiaal en materiaaloppervlak. Poriën kunnen naar hun grootte worden geclassificeerd als micro- (<10 nm), meso- (tussen 10 en 100 nm) of macroporiën. Een andere onderverdeling is die in sorptieporiën (<100 nm), capillaire poriën (tussen 0,1 µm en 100 µm) en grove poriën (> 100 µm).	43, 100, 104-107, 115-117, 129-131, 133, 134, 136, 138, 139, 151-154, 156, 158, 162, 164-171, 188, 189, 191, 237-241, 247, 249, 253, 258, 260, 280
poriegrootteverdeling, porieverdeling, poriënverdeling	De rangschikking van het open (porie)volume als functie van de grootte van afzonderlijke poriën, uitgaande van een denkmodel met kanaalvormige poriën met verschillende diameters.	100, 104, 113, 117, 129, 130, 135, 136, 138, 163, 165, 168, 169, 171, 238, 258
porievolume, porositeit	Porositeit is het volume aan open ruimten tussen gesteendeeltjes, resp. het percentage hiervan van het volume van een materiaal. De porositeit wordt tevens als kengetal bepaald voor het totale porievolume.	100, 102, 104, 106, 113-117, 129-131, 133, 138, 151-153, 156, 158, 163, 169, 187-189, 213, 214, 220, 237, 240, 255, 260, 265
porisosteën	Poreuze baksteen, al dan niet met holten, op basis van een mengsel van klei en bijv. zaagsel, kolenslib, slik of vlieg-as. De toeslagstoffen zorgen voor een betere geluidsisolatie en isolatie.	39
portlandcement	Type cement, CEM 1. Zie ook cement.	22, 57, 82, 119, 120, 195, 210, 217, 263, 265, 311, 314, 332-335
portlandcementklinker	Het nog niet gemalen portlandproduct direct na het brandproces.	120
puzzolaan	Chemisch actieve stof die aan specie wordt toegevoegd en met de vrije kalk en water reageert tot een reactieproduct dat bijdraagt aan de sterkte en waterdichtheid. Door toevoeging van een puzzolaan, bijvoorbeeld tras, aan een luchthardende kalkmortel krijgt de mortel hydraulische eigenschappen.	113, 266, 335
pyriet	FeS ₂ , zwavelverbinding in klei.	105
reduceren, reducerende atmosfeer	Stoken met een ondermaat aan (relatief weinig) zuurstof. De meest voorkomende omzetting in baksteen daarbij is die van Fe ₂ O ₃ (rood) naar Fe ₃ O ₄ (bruin/zwart).	93, 102, 277
restauratievoeger	Voeger met de kennis, ervaring en het vakmanschap om voegwerk uit te voeren zoals dat voorkomt bij historisch gebouwen (zoals knipvoegen, snijvoegen of voeg met daggestreep). Voldoende kennis over het gebruik van kalkmortel is daarbij vereist.	198, 280
reversibel, reversibiliteit	Dit wil zeggen dat een behandeling of ingreep ongedaan gemaakt kan worden.	162, 231, 243, 247, 315

rijpen van klei	Door inwerking van vocht, maar ook zuurstof uit intredende lucht waardoor oxidatieprocessen en humusomzettingen kunnen plaatsvinden, krijgt de klei betere plastische eigenschappen waardoor de verwerkbaarheid en de materiaalsamenhang worden verbeterd.	96, 98
ringoven	Baksteenoven die uit drie concentrische ringen bestaat, waarvan de binnenste ring de schoorsteen zelf is. Die staat door enkele openingen in verbinding met de middelste ring of het rookkanaal. Dit rookkanaal heeft verbinding met de veel grotere buitenste ring, het stookkanaal, met openingen aan de buitenzijde. Door een 'lopend vuur' was een (semi)continu proces mogelijk.	31, 95, 101, 295
schil (metselwerk)	Een deel (half)steens metselwerk dat evenwijdig aan het oppervlak is losgescheurd van het achterliggende metselwerk.	154, 219, 313, 317, 318
semidroge mortel	Prefab mortel van een mortelcentrale, geleverd in een mobiele silo met twee compartimenten, een met bindmiddel en een met metselzand. De silo heeft een menger.	120, 121, 125
sierverband	In sierlijke patronen vermetselde stenen; veelal in nissen, spaarvelden, boogvelden en borstweringvelden.	20, 30
siliconen	Siliciumverbindingen met daaraan een organische groep (gebruikt als hydrofobeermiddel).	238, 239, 263
sintering (oversintering) sinterproces	Klei-verdichtingsproces in een oven bij hoge temperatuur waarbij verdichting optreedt en de porie-opbouw van de klei verandert. Door een (beperkte) glasvorming kit het materiaal na koelen aan elkaar. Bij oversintering gaat de verglazing zo ver, dat poriën gaan insnoeren en ogenschijnlijk kleinere poriën ontstaan.	64, 100, 106, 107, 129, 93, 188
slijpplaatje	Zeer dun geslepen proefstuk aangebracht op een glasplaatje, zodat het geschikt is voor speciaal microscopisch onderzoek (PFM) naar de morfologie en eventuele onvolkomenheden.	192, 240
staand verband	Metselverband van afwisselend koppen- en strekkenlagen met de strekken en koppen steeds recht boven elkaar.	20, 22, 31, 197
STABU-bestek	Een bestekstelsel voor de woning- en utiliteitsbouw, met vaste structuur van de omschrijvingen. Binnen het STABU-raamwerk en de STABU-standaard zijn koppelingen gemaakt naar actuele normen, uitvoeringsrichtlijnen en beoordelingswijzen.	316
standolie	Een dik en donker gekookt lijnolieproduct.	87, 91
steenverstevigende behandeling, steen- versteviger	Behandeling waarbij steenachtig materiaal dat afpoedert of is verzand wordt geïmpregneerd met als doel de samenhang te herstellen. Producten zijn vaak gebaseerd op een kiezelzure ester (ethylsilicaat).	51, 223, 237, 239-242, 245-247, 249
stootvoeg	Verticale voeg tussen twee bakstenen.	20, 31, 85, 154, 157, 197-203, 205, 220, 224, 231, 284, 304, 314
strek (van een bak- steen)	Lange zijde van een baksteen.	18-20, 22, 23, 31, 106, 107, 220, 272, 317

strengperssteen	Een baksteen gemaakt door een meer plastische en compactere klei door een rechthoekig mondstuk te persen. De streng klei wordt vervolgens met draden versneden tot baksteenformaat. Deze manier van bewerken geeft strengpersstenen een strakke, kantige vorm. De onderlinge afstand van de draden bepaalt de dikte van de baksteen. Door kernen in het mondstuk te plaatsen, ontstaan geperforeerde stenen. Bij strengpersstenen kunnen de poriën een richtingsafhankelijkheid hebben.	32, 33, 35-37, 39, 99, 106, 130, 277
terracotta	Ornamenten van gebakken klei, zowel geglaazuurd als ongeglazuurd. In Nederland vaak van roodbakkende klei bij lage temperatuur (800°C tot 1.100°C) gebakken. Vrij zachte en poreuze scherf.	12, 57-67, 82
thauumasiet	Thauumasiet ($\text{CaCO}_3 \cdot \text{CaSiO}_3 \cdot \text{CaSO}_4 \cdot 15\text{H}_2\text{O}$) is een sterk zwellende verbinding. Kan ontstaan in aanwezigheid van sulfaat en tricalciumaluminaat (C_3A) door reactie met calciumsilicaathydraat uit het bindmiddel. Zie ook ettringiet.	147, 148
toeslagstof, toeslagmateriaal	Zie aggregaten.	33, 37, 109, 111, 115
transversalscheuren	Dwarsscheuren, loodrecht op het muurvlak.	154, 264
trekspanning	De mechanische kracht per oppervlakte-eenheid die door uitrekken ontstaat. Als de trekspanning de treksterkte overschrijdt, ontstaan scheuren. De richting van de scheur staat daarbij altijd loodrecht op die van de trekkracht of, om precies te zijn, de richting van de grootste trekspanning.	175, 176, 220
(tri)calciumaluminaat	$3\text{CaO} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3$ (tricalciumaluminaat) afgekort C_3A .	147-149
trichloride	Trichloride ($\text{CaO} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 3\text{CaCl}_2 \cdot 31\text{H}_2\text{O}$) is een sterk zwellende verbinding. Kan ontstaan in aanwezigheid van zeezout en tri-calciumaluminaat (C_3A zit in wit cement). Kan leiden tot het openbarsten van de voeg. Kan ook ontstaan na gevelreiniging met zoutzuur.	148, 149
tunneloven	Type baksteenoven in tunnelvorm, waarbij het baksel door een tunnel beweegt met in het midden een vast vuur.	38, 100-102
uitloging	Bij uitloging worden mortelbestanddelen (meestal kalk) naar het muuroppervlak getransporteerd en daar afgezet.	124, 142-145, 147, 149, 154, 156, 219
uittanden, vertanding	Verspringend verwijderen van (beschadigde) stenen zo dat een 'getande' aansluiting ontstaat waar stenen in verband kunnen worden ingeboet.	220-222, 226-229, 318
veldbrand-, loegen- of meilerovens	De meest eenvoudige ovens om bakstenen te bakken die per keer werden opgebouwd en afgebroken. De gedroogde groenlingen werden op een stenen vloer gestapeld, alle op hun kant en met tussenruimten. Onderin liet men stookgangen open voor de brandstof, voornamelijk turf. De steenstapel werd afgedicht met baksteen (misbaksels), plaggen en klei, waarbij slechts de stookopeningen en rookgaten openbleven. Deze bakmethode geeft grote variëteit in kwaliteit.	15-17
Vera-Lux	Merknaam van de geperste glazen bouwsteen van de glasfabriek in Leerdam, geproduceerd vanaf circa 1920 tot circa 1940.	72-75, 77
verblendsteen	Hardere en geperforeerde variant van strengperssteen, gemaakt uit zeer fijne klei (Duitse benaming voor een strengperssteen).	31, 33, 34

verbranden (van mortel)	Het in specie (en mortel) vroegtijdig stoppen van verhardingsreacties waaraan water deelneemt door het te snel onttrekken van water aan de specie (door de zuiging van de steen of door verdamping door wind of zon). Het bindmiddel hardt niet volledig uit, waardoor de mortel weinig samenhang heeft.	119, 123, 229, 334
verglasde (steen), verglazen	Steen die tijdens het bakken een glasachtig oppervlak heeft gekregen vooral door de aanwezigheid van zouten in de (zee) klei en gebruik van zouthoudende turf als brandstof.	23, 66, 103, 224, 277
vervormingscapaciteit	De mate waarin een materiaal kan vervormen zonder dat het bezwijkt. Zie ook elasticiteitsmodulus.	114, 116, 175, 194, 195, 212, 215
vervuiling (op een gevel)	Donkere aanslag op een gevel, met zeer uiteenlopende samenstelling en herkomst. Zoals: zand, stof, stuifmeel, vliegias, organisch vuil, gips, algen, schimmels en korstmossen, oliën en vetten en roet.	106, 107, 125, 168, 190, 194, 224, 225, 229, 231, 263, 280-284, 286, 294, 295, 314
verzadigingsvochtgehalte	Vochtgehalte waarbij alle poriën volledig gevuld zijn met water (alleen te bereiken onder vacuüm).	152, 163-165, 168, 169
Vlaams verband	Kettingverband waarbij in een laag een strek en een kop elkaar afwisselen.	19, 20, 31
vlamoven	Type baksteenoven, dat bestaat uit geschakelde aparte kamers met een eigen ingangspoort en gewelf. Door het schakelen van de kamers kan de warme lucht over de koude producten in de kamers daarvoor stromen en deze dus door middel van warmtewisseling opwarmen.	102, 130
vochtfront	Het scheidingsvlak in een poreus materiaal dat de grens markeert tussen vochtig materiaal en nog droog materiaal. Zie ook droogfront.	133, 164, 169
vochtgehalte, VG, moisture content, MC	hoeveelheid water in het materiaal uitgedrukt in gewichtsperscentage van het droge materiaal of als volumepercentage van het totale volume.	99, 130, 131, 133, 134, 136, 142, 148, 151, 152, 163-166, 169-171, 178, 191, 194, 208, 243, 245, 254, 255, 257, 260, 261, 263, 264, 267, 270, 286, 324-327
vormbaksteen	Bakstenen waarbij de klei tijdens het vormen met behulp van een persblok in een speciale vormbak wordt gedrukt. Stenen met een glad, maar wel bezand oppervlak.	28, 30, 32, 34, 37
vormhuid	Benaming (officieus) voor een glad en visueel verdicht baksteenoppervlak, dat is ontstaan tijdens het vormen van de steen. Mogelijk door een verhoogd percentage fijne kleideeltjes of oriëntatie van de plaatvormige kleimineralen.	275, 277
vorstbestandheid	Mate waarin een baksteen bestand is tegen de inwerking van vorst. In Nederland testen we de producten volgens de Europese vorstproef CEN/TS 772-22.	46, 48, 102, 104, 105, 107, 117, 120, 124, 214

vorstschade	Vorstschade is een verlies aan samenhang van het materiaal als gevolg van het uitzetten van bevroren water in de poriën. Beginnend stadium kan verkrumming zijn, een verder gevorderd stadium wordt gekenmerkt door horizontale laagvorming (evenwijdig aan de baksteen). Vorstschade kan ook leiden tot uitdrukken van hard voegwerk of bol staan van (half)steens metselwerk.	46, 64, 104, 141, 142, 144, 145, 147, 151, 158, 162, 179, 202, 207, 208, 214, 216, 217, 238, 243, 245, 253, 268, 312-315, 318
vrij vochttransport	Vochttransport in poriebuisjes groter dan 100 µm, vooral bepaald door zwaartekracht en wind. Capillaire werking is klein en ondergeschikt.	153, 154
vrije kalk	Kalkhydraat Ca(OH)_2 .	48, 113, 138, 139, 145
vrije waterabsorptie, vrijwillige wateropneming	Hoeveelheid vocht die wordt opgenomen na 24 uur onderdompeling, uitgedrukt in massaprocenten.	102, 106, 107, 130, 133, 158, 188, 189, 191, 328
waarderingscriteria	De criteria die de basis vormen voor een waardestelling.	290, 297
waardestelling, waardebeoordeling	Het vaststellen van de culturele waarde (monumentale waarden) van gebouw, gebouwencomplex of een bepaald gebied. Het beargumenteert waarom bepaalde gebouwen of structuren het behouden waard zijn. De RCE hanteert daarbij vijf hoofdcriteria: cultuurhistorische waarden, architectuur- en kunsthistorische waarden, situationele en ensemblewaarden, gaafheid en herkenbaarheid en zeldzaamheid.	289, 290, 298, 299, 302, 303, 305, 306, 311
waterabsorptiecoëfficiënt ($S_{28\text{dgn}}$)	Zie capillaire waterabsorptiecoëfficiënt.	130, 131, 133, 163-165, 168, 169, 213, 214, 216, 217
waterafstotende behandeling	Een waterafstotende behandeling (ofwel hydrofoberen) is het impregneren van een materiaal met een hydrofoob product dat een waterafstotende laag vormt op de wanden van de poriën. Een waterafstotende behandeling verandert de contacthoek zodat deze groter wordt dan 90°.	237, 239, 242, 243, 245, 246
waterdampdiffusie	De diffusie-equivalente luchtdikte S_d geeft aan hoe groot de diffusieweerstand van een bouw materiaal is afhankelijk van zijn materiaaldikte (m). $S_d = \mu \cdot d$ (laagdikte).	238
waterdampdiffusieweerstandsgetal (waterdampweerstand)	Het diffusieweerstandsgetal μ (μ_d) geeft aan met welke factor de diffusieweerstand van een bouw materiaal verhoogt in vergelijking met de lucht.	169, 170
waterglas	Naam voor de (strokerige) vloeistof die ontstaat wanneer de chemische verbindingen kaliumsilicaat (K_2SiO_3) of natriumsilicaat (Na_2SiO_3) worden opgelost in water.	240, 241, 247, 281
wateropname, waterabsorptie	De hoeveelheid water en de snelheid waarmee water wordt opgenomen kan op verschillende manieren worden bepaald en in verschillende eenheden worden uitgedrukt. Veelgebruikt zijn de Initiële Wateropneming en de Vrijwillige Wateropneming. Ook gebruikt wordt de capillaire waterabsorptie en de Karstenbuis om een (globale) indruk te krijgen van wateropname.	122, 129-131, 133, 134, 136, 137, 139, 158, 163-166, 168, 169, 213, 214, 216, 217, 238, 242, 280, 284
wateropneming	Zie vrije waterabsorptie.	46, 48, 102, 106, 107, 152, 188, 189, 191
waterretentie	Vochtvasthoudend vermogen.	123, 138

waterretentiemiddelen	Hulpstof die het waterverlies door bleeding vermindert. Veelal cellulose-ethers. Het watervasthoudend vermogen van een mortel moet zijn afgestemd op het wateropzuigsgedrag van de baksteen.	120, 122
watervasthoudend vermogen	Het vermogen om water in zich te blijven binden en niet te laten verdwijnen door verdamping en geleiding.	96, 104, 119, 120
werkschrijving	In de werkschrijving of het bestek worden onder meer materiaalkeuze, materiaaleigenschappen en werkwijze vastgelegd. Zie ook bestek en STABU.	309, 315, 316
zeezout	Zouten als NaCl, afkomstig uit zeewater of dooizouten. Leiden bij metselwerk tot diverse schadeprocessen, die leiden tot zanden, poederen, alveolisatie of vorming zwellende verbindingen.	147-149, 216
zettingen (in metselwerk)	Zetting is het proces waar grond onder invloed van een belasting wordt samengedrukt. Zettingen vormen een groot probleem voor funderingen en kunnen grote schade aan gebouwen veroorzaken. Er is geen probleem zolang de zettingen niet te groot worden en vooral als er geen ongelijke zetting optreedt.	124, 311
zoutkristallisatie	Proces waarbij door verdamping van vocht (waarin zouten zijn opgelost) zoutkristallen worden gevormd. Zoutkristallisatie is de meest voorkomende oorzaak van schade aan metselwerk in monumenten. Belangrijke schadelijke zouten zijn sulfaten, chloriden en nitraten. Kristallisatie kan optreden aan het muuroppervlak (efflorescentie) en in het materiaal (cryptoflorescentie).	117, 142, 145, 147, 149, 210, 254
zwarte verweringslaag	Donkergekleurde oppervlaktelaag, veel aanwezig op zandsteen.	283, 284



AUTEURS

Jan Blaakmeer (1959) studeerde moleculaire wetenschappen aan de Landbouwniversiteit in Wageningen (tegenwoordig Wageningen University), waarna hij aan de toenmalige Vakgroep Fysische en Kolloïdchemie promoveerde op de adsorptie van zwakke polyelectrolyten op tegenovergesteld geladen oppervlakken. Na een aanstelling bij ENCI met als aandachtsgebied de ontwikkeling van hydraulische bindmiddelen werkt hij nu bij Weber Beamix en is daar verantwoordelijk voor productontwikkeling, operationele kwaliteitszorg en de aansturing van technische adviseurs. Zijn expertise ligt op het gebied van chemische reacties in cementgebonden producten, vooral toegespitst op duurzaamheidsvraagstukken bij het gebruik van latent hydraulische en puzzolane grondstoffen.

Harry Boekwijt (1952) studeerde Bouwkunde met specialisatie Restauratie aan de TH-Delft. Hij was tijdens en na zijn studie enkele jaren werkzaam bij architectenbureau Kooreman en Raue in Delft voor diverse restauratieprojecten. Sinds 1982 werkt hij als bouwhistoricus van de gemeente 's-Hertogenbosch op de dienst Bouwhistorie, Archeologie en Monumenten en is hij vanuit deze functie als adviseur verbonden bij diverse instandhoudingsprojecten, variërend van kleine verbouwingen tot de restauratie van de Sint Janskathedraal en het project Vestingwerken. Hij heeft diverse publicaties op zijn naam staan op het gebied van bouwhistorie.

Erik Jan Brans (1956) studeerde Bouwkunde met specialisatie Restauratie aan de TH-Delft. Na een korte tijd als freelancer trad hij in dienst bij de Rijksgebouwendienst, waar hij aan diverse restauraties een bijdrage leverde. Sinds 1998 werkt hij bij Rothuizen Architecten en Stedenbouwkundigen als architect restauratie. Dit bureau heeft een groot aantal restauratie- en consolidatieprojecten voorbereid en begeleid – waaronder kerken, verdedigingswerken, ruïnes en civiele werken – waarbij metselwerk een dominante plaats inneemt. Recente projecten zijn onder meer de consolidaties van de Stads-muurresten van Zaltbommel en fase 1 van de Ruïne van Brederode, de restauratie van de Oostpoort van Sluis, kerken te Zierikzee en Nisse en de consolidatie van het zeefort Rammekens.

Harold Brocken is afgestudeerd (1994) en gepromoveerd (1998) aan de TU Eindhoven richting Bouwfysica - Materiaalkunde. Na zijn promotie werkte hij bijna tien jaar als onderzoeker bij TNO Bouw in Delft. Daar werkte hij mee aan projecten op het gebied van Europese standaardisering, onderzoek-toetsing van bouwmaterialen en expertise van bouwschades, met veel aandacht voor poreuze steenachtige materialen zoals metsel- en pleisterwerk. Sinds 2006 geeft hij vanuit adviesbureau Gevelsupport ondersteunend advies in de afbouwsector, met onder meer als focus het verbeteren van kwaliteit en duurzaamheid van materiaaltoepassingen in de gebouwschil. Belangrijke aandachtspunten daarbij zijn het inzetten van kennis in bouw/renovatie en integraal werken.

Paul Broekema (1950) studeerde in 1983 af als restauratiearchitect aan de Technische Universiteit Delft. Sindsdien is hij werkzaam als zelfstandig architect en als freelance medewerker bij Verlaan en Bouwstra architecten. Zijn werkzaamheden liggen daarbij vooral op het gebied van opname, planvoorbereiding en (STABU)bestekken voor grotere en kleinere restauratieprojecten.

Cor Bouwstra (1952) studeerde in 1981 af als restauratiearchitect aan de Technische Universiteit Delft. Sinds 1979 is hij werkzaam bij Verlaan en Bouwstra architecten in Vianen. Hij heeft inmiddels veel restauraties van kerken, kastelen, woonhuizen en bijzondere objecten voorbereid en uitgevoerd. Daarnaast is hij lid van een aantal welstand- en monumentencommissies en werkt hij mee aan cursussen op het gebied van restauratie. Ook levert hij regelmatig bijdragen aan publicaties.

Tijn Coppens (1948) studeerde scheikunde aan de TU in Eindhoven. Hij was werkzaam bij ingenieursbureau Fugro, bouwonderneming HBG en in de kalkzandsteen-industrie, steeds op het gebied van materiaalonderzoek. Tegenwoordig werkt hij vanuit zijn bureau Cascant als adviseur voor VNK (Vereniging Nederlands Kalkzandsteenplatform).

Hilde De Clercq behaalde in 1994 de graad van doctor in de wetenschappen, richting scheikunde aan de Universiteit te Gent. Zij is sinds 1 oktober 1994 werkzaam als wetenschappelijk medewerkster in het Departement 'Laboratoria' van het Koninklijk Instituut voor het Kunstpatrimonium te Brussel. Sinds 1 december 2006 bekleedt zij de functie Hoofd van het Departement 'Laboratoria'.

Caspar Groot is senior onderzoeker aan de Technische Universiteit Delft (faculteit Civiele Techniek en Geowetenschappen) en zelfstandig adviseur. Hij deed onderzoek aan de toepassing van uiteenlopende bouwmaterialen, van adobe tot glasvezelpolyester, en promoveerde in 1993 op vochttransport tussen voeg en steen. Werkzaamheden voor langere perioden in het buitenland (in het bijzonder in Mali, Peru en India) en de meer recente advieswerkzaamheden in Nederland hebben hem gesterkt in de overtuiging dat vooruitgang in de restauratietechniek in belangrijke mate bepaald wordt en zal worden door kruisbestuiving tussen onderzoekers en uitvoerders in de praktijk.

Jos Gunneweg (1946) noemt zichzelf allround autodidact op het gebied van restauratietechnologie en monumenten. Hij werkte jarenlang als consulent bij (toen nog) de Rijksdienst voor de Monumentenzorg. Daarna onder meer als initiator en directeur van Stichting De Schiedamse Molens. Zijn passie is het onderzoeken van de relaties tussen enerzijds schadeverschijnselen en anderzijds bouwfysische processen en herstelmaterialen. Sinds 2000 is hij onderzoeker aan de TU Delft (faculteit Civiele Techniek & Geowetenschappen) en werkt hij samen met Caspar Groot in het totaalonderzoeksproject Aanpak Vochtproblematiek Massief Metselwerk. Daarnaast heeft hij een eigen particuliere adviespraktijk.

Anke Hacquebord (1983) studeerde eind 2008 af aan de faculteit Bouwkunde TU Delft, RMIT (restauratie en renovatie). Sinds 2009 is zij werkzaam bij TNO, waar zij werkt aan verschillende onderwerpen met betrekking tot de conservering van monumentale gebouwen en bouwmaterialen. Het vierjarige project Optrekkend Vocht waaraan zij werkt, loopt tot 2013.

Rob van Hees is senior onderzoeker bij TNO en tevens hoogleraar Conserveringstechnieken van gebouwen aan de Technische Universiteit Delft. Als senioronderzoeker coördineert hij projecten op gebieden als diagnostische technieken, aantastingsmechanismen aan bouwmaterialen en conserverende technieken voor steenachtige materialen. Hij was onder meer betrokken bij het Nationaal Monument op de Dam, de St. Servaas in Maastricht, de Waag in Amsterdam, de Pieterskerk in Leiden en vele andere monumenten in Nederland en daarbuiten. Hij is verder actief in nationale en internationale organisaties op het gebied van gebouwd erfgoed, onder andere als voorzitter van WTA Nederland-Vlaanderen en van het Centraal College van Deskundigen voor de Restauratiekwaliteit.

Paula van der Heiden (1958) studeerde kunstgeschiedenis aan de Rijksuniversiteit van Groningen. Zij is werkzaam voor haar Bureau Voor Bouwhistorisch Onderzoek (BVBO) te Den Haag en verricht onderzoek op het gebied van bouw- en architectuurhistorie.

Roel Hendrickx (1977) werkt als onderzoeker in de cel Monumenten van het Koninklijk Instituut voor het Kunstpatrimonium in Brussel. Als ingenieur-architect werkte hij enkele jaren in de praktijk, waarna hij aan de KU Leuven een doctoraat schreef over de verwerkbaarheid van kalkmortels. Daarna werkte hij als stabiliteitsingenieur, als postdoc-onderzoeker aan de afdeling Bouwfysica van de KU Leuven en als adviseur bij Monumentenwacht Vlaanderen.

Taco Hermans (1955) studeerde in 1984 af als restauratiearchitect aan de Technische Universiteit Delft. In 1985 was hij medeoprichter van het bureau Hermans en Kamphuis, bouwhistorici. Vanaf 1990 was hij werkzaam als adviseur monumenten bij het Gelders Genootschap in Arnhem. Hij werkt sinds 2001 als senior onderzoeker en specialist kastelen bij de Rijksdienst voor het Cultureel Erfgoed, afdeling Instandhouding. Hij adviseert over onder meer kastelen, glas, vensterisolatie en stalen ramen.

Jan van der Hoeve (1960) werkt vanuit zijn eigen bureau voor bouwhistorisch onderzoek. Belangrijkste opdrachten zijn 'waardestellend onderzoek', documentatie van gebouwen tijdens restauraties en verbouwingen, en uitvoeringsadviezen bij restauraties.

Robert Frank Houbaer (1971) studeerde Nederlands Recht aan de Universiteit van Utrecht. Na een aantal jaren als consultant te hebben gewerkt, is hij sinds 2004 betrokken bij de landelijke werkgeversverenigingen voor dakdekkers en voegers in de gespecialiseerde bouw, vanaf 2007 in de rol van secretaris. Hij schreef zijn bijdrage aan deze publicatie vanuit de Vereniging Nederlandse Voegbedrijven en het Gevelgilde.

Michiel van Hunen (1969) studeerde materiaalkunde aan de Technische Universiteit Delft. Aansluitend werkte hij ruim een jaar als materiaaldeskundige bij een ingenieurbureau. Sinds 1997 is hij werkzaam als coördinator instandhoudingstechnologie en later als senior onderzoeker bij de afdeling Instandhouding van de Rijksdienst voor het Cultureel Erfgoed. Hij adviseert over metalen, baksteen, mortel, beton, gevelreiniging, vocht en conserveringstechnieken. Sinds 2010 werkt hij als programmaleider aan het programma Restauratiekwaliteit, in welk kader normering en certificering van werkzaamheden of partijen wordt gestimuleerd.

Barbara Lubelli (1971) is architect en promoveerde in 2006 aan de Technische Universiteit Delft op een proefschrift over zoutschade aan bouwmaterialen. Ze is universitair docent bij de Technische Universiteit Delft, Faculteit Bouwkunde, en onderzoeker bij TNO in Delft. Haar onderzoek- en onderwijsactiviteiten zijn gericht op het bestuderen en verbeteren van de duurzaamheid van bouwmaterialen, het onderzoeken van schadeprocessen in metselwerk en het ontwikkelen en evalueren van conserveringstechnieken.

Michiel Nieuwenhuys (1951) is opgeleid als architect aan de E.T.H. in Zürich (Zwitserland). Hij heeft gewerkt in de bouwpraktijk als architect en als welstandsarchitect. Daarnaast was hij 22 jaar werkzaam bij verschillende brancheorganisaties in de bouw. Sinds 2011 is hij directeur van VNK (Vereniging Nederlands Kalkzandsteenplatform).

Timo Nijland is geoloog. Hij is als senior onderzoeker verbonden aan TNO in Delft. Zijn specialisatie is materiaalkundig onderzoek naar steenachtige materialen zoals beton, metselwerk en natuursteen ten behoeve van conservering en restauratie.

Jacqueline von Santen (1975) studeerde Taal- en Cultuurstudies met als specialisaties bouwkunst en cultuureducatie. Sinds 2002 is zij werkzaam bij de Rijksdienst voor het Cultureel Erfgoed, momenteel als senior consulent architectuurhistorie voor Zeeland, Breda, 's-Hertogenbosch en Strijp S (Eindhoven).

Ronald Stenvert (1955) studeerde bouwkunde aan de HTS te Zwolle en kunstgeschiedenis aan de Rijksuniversiteit Utrecht, waar hij in 1991 promoveerde. In 1995 was hij medeoprichter van het Bureau voor Bouwhistorie en Architectuurgeschiedenis (BBA) te Utrecht. Hij was hoofdauteur van de twaalfdelige serie Monumenten in Nederland (1995-2006) en daarnaast auteur van boeken over bouwstijlen, bouwhistorie, bouwmaterialen, baksteen, raadhuisen en architectenbureaus.

Meindert Stokroos (1944) studeerde sociologie en planologie aan de Vrije Universiteit te Amsterdam. Hij was gedurende 25 jaar verbonden aan het Gemeentelijk Bureau Monumentenzorg van Amsterdam; aanvankelijk in het kader van de stadsvernieuwing, later als hoofd van de afdeling Communicatie en Onderzoek. Hij is (co-)auteur van verschillende publicaties in zijn vakgebied en schreef talrijke artikelen in vaktijdschriften en -boeken. De laatste jaren verricht hij onderzoek naar de geschiedenis van de installatietechniek, onder meer op kasteel De Haar te Haarzuilens en de voormalige bioscoop Luxor te Arnhem.

Danielle Takens (1970) studeerde Kunstgeschiedenis & Archeologie in Nijmegen en is werkzaam bij de Rijksdienst voor het Cultureel Erfgoed als consulent architectuurhistorie voor Zuid-Holland.

Ilse de Vent (1980) studeerde Architectuur en Bouwtechnologie aan de TU Delft. Na gewerkt te hebben als architect en toegevoegd onderzoeker, deed zij bij dezelfde universiteit promotieonderzoek naar constructieve schade in metselwerk. Dit heeft geresulteerd in een diagnosehulpmiddel dat ondersteuning biedt bij visuele inspecties. Sinds 2010 werkt zij bij de rijksinspectiedienst Staatstoezicht op de Mijnen, waar zij zich bezig houdt met nazorg op de steenkolenwinning en bodembeweging door mijnbouw.

Hans van Wijck (1958) is van huis uit bodemkundige (Landbouwuniversiteit Wageningen) en al 26 jaar verbonden aan het Technisch Centrum voor de Keramische Industrie (TCKI) in Velp bij Arnhem, tegenwoordig als directeur. TCKI is een adviesbureau en onderzoekslaboratorium voor de keramische industrie en andere bouwtoeleveranciers. Op basis van onderzoek, ervaring en kennis geeft hij adviezen aan producenten én gebruikers van bouwmaterialen.



COLOFON

Verschenen ter gelegenheid van het gelijknamige symposium op 10 oktober 2012
in De Philharmonie te Haarlem

Uitgave

WBOOKS, Zwolle

info@wbooks.com

www.wbooks.com

i.s.m.

Rijksdienst voor het Cultureel Erfgoed

info@cultureelerfgoed.nl

www.cultureelerfgoed.nl

Eindredactie: Michiel van Hunen

Redactie: Caspar Groot, Rob van Hees, Taco Hermans, Michiel van Hunen,
Danielle Takens, Hans van Wijck

Tekstredactie: Anne Marij Postel, Ubbergen

Vormgeving: Richard Bos, Wergea

Lithografie: PRDigitaal, Meppel

Druk: Printer Trento, Italië

De afbeelding op p. 338 is afkomstig uit Roman de Girart de Roussillon van Jean Wauquelin
(1447) (bron: Bildarchiv d. Österreichische Nationalbibliothek, Wenen).

© 2012 WBOOKS /Rijksdienst voor het Cultureel Erfgoed/ de auteurs

Alle rechten voorbehouden. Niets uit deze uitgave mag worden verveelvoudigd, opgeslagen
in een geautomatiseerd gegevensbestand, of openbaar gemaakt, in enige vorm of op enige
wijze, hetzij elektronisch, mechanisch, door fotokopieën, opnamen of op enige andere
wijze, zonder voorafgaande schriftelijke toestemming van de uitgever.

De uitgever heeft ernaar gestreefd de rechten met betrekking tot de illustraties volgens de
wettelijke bepalingen te regelen. Degenen die desondanks menen zekere rechten te kunnen
doen gelden, kunnen zich alsnog tot de uitgever wenden.

ISBN 978 90 400 0757 6

NUR 648



Het meest veelzijdige, zichtbare en karakteristieke bouw materiaal van historische gebouwen is baksteen. Het principe van metselwerk, bakstenen bijeengehouden met mortel, is even eenvoudig als geniaal. Het materiaal is oerdegelijk en tegelijkertijd kwetsbaar. Het genadeloos eerlijke karakter toont zijn geschiedenis en authenticiteit immers feilloos. Aanpassingen en reparaties zijn goed mogelijk maar laten zich moeilijk verbergen. Metselwerk is als een open boek. Bouwhistorici maken daar graag gebruik van. Een verkeerde behandeling, materiaalkeuze of uitvoeringstechniek kan tot een dramatische achteruitgang van de gevel leiden. Materiaalkeuze en uitvoeringstechniek lijken eenvoudig maar vragen meer specialistische kennis en vakmanschap dan vaak gedacht.

De instandhouding van historisch metselwerk vormt een fascinerend thema dat van belang is voor iedereen in de monumentenzorg, in de architectuur, in de metsel- en voegbranche en in de wetenschappelijke advisering. In deze uitgave, die zowel is geschreven voor de leek, de vakman als de adviseur, gaat het over de cultuurhistorische en de technische aspecten van herstel en conservering van historisch metselwerk. Aan de orde komen onder andere: verschijningsvormen van bakstenen, glazen bouwstenen, terracotta, historische afwerklagen, cultuurhistorische waardering, productie en eigenschappen van baksteen, mechanisch en bouwfysisch gedrag van bakstenen en mortel, het samenstellen van metsel- en voegmortels en behandelingen tegen vochtoverlast.



9 789040 007576



Rijksdienst voor het Cultureel Erfgoed
Ministerie van Onderwijs, Cultuur en
Wetenschap

WWW.WBOOKS.COM