Rijksdienst voor Ondernemend Nederland

>> Duurzaam, Agrarisch, Innovatief en Internationaal Ondernemen

Technieken voor een energieneutrale woning

Inleiding

Er is al veel kennis beschikbaar over het op duurzame wijze energie-neutraal maken van gebouwen. Deze kennis over innovatieve technieken is echter nog gefragmenteerd. Daarnaast is de kennis over integrale toepassing van bouwkundige en installatietechnische componenten nog voor verbetering vatbaar.
In deze brochure geven we een beknopt overzicht van innovatieve technieken die al in de bouwwereld worden gebruikt om woningen met een EPC = 0 te realiseren. Meer informatie over deze technieken is te vinden in recente onderzoeksrapporten of publicaties.
Daarnaast worden in deze brochure trends en gewenste ontwikkelingen geschetst die richting kunnen geven aan nog gewenst onderzoek om de stap naar een energieleverend gebouw te zetten of te bespoedigen.

Regelgeving

Zowel het Nederlandse als het Europese beleid is gericht op vergaande energie-besparing en het vergroten van het aandeel duurzame energie. Het streven is een 'energieneutrale' nieuwbouw in 2020. Overheidsgebouwen moeten al vanaf 2018 energieneutraal zijn. Bij de bestaande bouw kan het meest bespaard worden; op termijn wordt deze naar energieneutraal gerenoveerd.
Op dit moment is voorzien dat de energieprestatiecoëfficiënt (EPC) verder aangescherpt wordt naar 0,4 in 2015 en uiteindelijk naar 0 in 2020.

In het Nationaal Plan bijna-energieneutrale gebouwen (BENG) is bepaald dat een volledig energieneutraal gebouw een EPC = 0 heeft. De EPC wordt hierbij bepaald aan de hand van de norm NEN 7120: Energieprestatie van gebouwen – Bepalingsmethode (EPG). Hierbij wordt gebruikgemaakt van de voornorm NVN 7125 Energieprestatienorm Maatregelen op Gebiedsniveau (EMG).
Kenmerken van deze bepalingsmethoden zijn:

- Het energiegebruik wordt bepaald onder standaard gebruik- en klimaatcondities.
- Alleen het gebouwgebonden energiegebruik wordt gewaardeerd in de energieprestatie.
- Indien van toepassing kunnen gebiedsgebonden maatregelen worden gewaardeerd.
- De opwekking van energie kan in en buiten het gebouw plaatsvinden.
- Hernieuwbare energiebronnen worden gewaardeerd.
- Het netto-energiegebruik wordt bepaald over een jaar.

In de Techniek Inventarisatie E-neutrale woning wordt uitgegaan van de volgende definitie van energieneutraal.

Definitie energieneutraal

Er bestaat onduidelijkheid over wat het begrip energieneutraal precies inhoudt én er worden diverse termen voor dit begrip gebruikt, wat de duidelijkheid evenmin ten goede komt. Termen die worden gebruikt, zijn: CO_2-neutraal, klimaatneutraal, energienul, energieplus, energieleverend en energienota-nul of energienotaloos. De laatste twee termen komt men met name bij woningen tegen.

Inleiding

De Rijksdienst voor Ondernemend Nederland (RVO.nl) voerde een aantal studies uit om duidelijkheid over de definitie te scheppen. Met name de studie 'Stevige ambites, klare taal' (2009) van het Platform Energietransitie Gebouwde Omgeving (PEGO) zorgt voor duidelijkheid. In deze studie staat de volgende definitie van energieneutraal:
"Een project is energieneutraal als er op jaarbasis geen netto-import van fossiele of nucleaire brandstof van buiten de systeemgrens nodig is om het gebouw op te richten, te gebruiken en af te breken. Dit betekent dat het energiegebruik binnen de projectgrens gelijk is aan de hoeveelheid duurzame energie die binnen de projectgrens wordt opgewekt of die op basis van externe maatregelen aan het project mag worden toegerekend. Het energiegebruik dat voortkomt uit de oprichting en sloop van het gebouw wordt verrekend naar een jaarlijkse bijdrage op basis van de verwachte levensduur van het gebouw."

In deze definitie worden dus gebouwgebonden, gebruiksgebonden en ook de materiaalgebonden energie (oprichting en sloop) meegenomen.

Energie-innovatiebeleid in de afgelopen jaren

De afgelopen jaren is in de markt gewerkt aan innovatie rond energiebesparing. Deels is die ontwikkeling gestimuleerd door het reguliere beleid vanuit de overheid met periodieke aanscherpingen van de EPC, voor een ander deel is de markt gestimuleerd door overheidsprogramma's als Energie Onderzoek Subsidies (EOS) en de Innovatie Agenda Energie in de Gebouwde Omgeving. Daarnaast hebben EnergieSprong en Gebieden EnergieNeutraal (GEN) een impuls gegeven aan de innovatie. www.rvo.nl/duurzaamondernemen.

Bovengenoemde stimulansen en programma's hebben onder andere geleid tot een belangrijk aantal nieuwe technieken, op zowel componentniveau als op conceptniveau. De stand van zaken van deze ontwikkelingen op nationaal niveau en internationale kennis en ervaringen, vormen de basis voor verdere onderzoeks- en ontwikkelingsprojecten.
Medio 2011 heeft de overheid het topsectorenbeleid in het leven geroepen. Een van die topsectoren is de Topsector Energie. Daarnaast zijn Topconsortia Kennis en Innovatie (TKI) ingesteld, waaronder het TKI voor de Gebouwde Omgeving: TKI EnerGO. Binnen de TKI's werken bedrijfsleven, kennisinstellingen en overheid gezamenlijk aan een Innovatieagenda, op basis waarvan de komende jaren via een tender van de subsidieregeling van het ministerie van Economische Zaken projecten kunnen worden ingediend.
Binnen de Innovatieagenda van de TKI EnerGO zijn de volgende programma-lijnen bepaald:

- Duurzame compacte conversie
- Duurzame compacte opslag
- Regeling energieprestatie en control
- Multifunctionele bouwdelen
- Energieopwekking, distributie en opslag op gebiedsniveau

De eerste tenderregeling is in 2012 gepubliceerd. Sindsdien zijn diverse projecten gehonoreerd binnen de Innovatieagenda. Voor volgende tenders is het echter van belang de stand van zaken anno 2013-2014 rond de technische ontwikkelingen in kaart te brengen en te onderbouwen op basis van beschikbare rapporten, referenties en ervaringen.

Inleiding

Referentiewoningen en doorkijk naar bestaande bouw

Deze brochure geeft de status quo weer van gangbare technieken bij het realiseren van een woning met een EPC = 0.
Dit wordt gedaan aan de hand van in 2013 afgeronde woningbouwprojecten die RVO.nl heeft gedocumenteerd en gedefinieerd. Op basis van deze projecten zijn drie referentiewoningen samengesteld met een EPC = 0, met de bijbehorende technieken en componenten. De keuze van de referentiewoningen is gebaseerd op de tot nu toe toegepaste en gangbare concepten en voorkomende typologieën bij nieuwbouw:

- eengezinswoning met optimale gebruikmaking van zonne-energie, zowel passief als actief;
- eengezinswoning volgens het passiefhuisconcept;
- appartementengebouw met een collectieve duurzame energievoorziening.

Inmiddels zijn in Nederland de eerste ervaringen opgedaan met energieneutrale woningen, c.q. woningen met een EPC rond nul.
Een evaluatie van dertig voorbeeldprojecten in opdracht van RVO.nl laat zien dat een grote variatie aan oplossingsrichtingen mogelijk is. Dit beeld komt ook naar voren bij een inventarisatie van energienotanul-woningen van Platform 31.
Er is dus geen sprake van één voorkeursrichting. Wel is het van belang om te kiezen voor maatregelen in een onderlinge samenhang, c.q. een integrale benadering van het ontwerp.

De brochure gaat specifiek in op technieken op woningniveau. In elk hoofdstuk wordt na een korte omschrijving van de techniek doorverwezen naar de bijbehorende actuele onderzoeks- en techniekrapporten en andere relevante referenties. Hoewel het bij de referentiewoningen om nieuwbouw gaat, is er bij de toegepaste technieken en componenten ook vooruitgekeken naar de betekenis voor de bestaande woningbouw en de wijze waarop deze energieneutraal kan worden gemaakt. Dit speelt vooral bij de programmalijn ‘multifunctionele gevel-elementen’, die een doorbraak kan zijn in de transitie naar een energieneutrale bestaande woningvoorraad.

p.1/3

Overzicht maatregelen drie referentiewoningen

	Referentie 1	Referentie 2	Referentie 3
Energieconcept	**Optimaal zongericht bouwen – all-electric**	**Passiefhuis concept**	**Collectieve duurzame energievoorziening**
Woningtypologie	**Eengezins (tussen)**	**Eengezins rij (hoek)**	**Meergezins woongebouw (appartementen)**
	Voorbeeld Ecocredo te Borger	Voorbeeld E-neutrale woningen te Borne	Voorbeeld Kopstukken te Amstelveen
Oriëntatie	zongericht	zongericht	-
Warmteopwekking	combiwarmtepomp, gesloten grondcollector	combigasketel	collectieve warmtepomp, open bron
Afgiftesysteem	LTV (lage temperatuur verwarming), vloerverwarming begane grond, convectoren eerste verdieping	LTV, lucht en radiatoren	LTV, vloerverwarming en koeling
Bereiding warm tapwater	combiwarmtepomp, zonneboiler, voorverwarming door zon	voorverwarming zon	individuele combiwarmtepomp
Opslag	buffervat warm tapwater	buffervat warm tapwater	-
Zon thermisch	9,4 m²	4	92 m²
Photo Voltaïsch (PV)	33 m²	16,3	440 m²
Ventilatie	Systeem C, winddruk en CO_2-gestuurd per kamer. Op verdieping gecombineerd met afgiftesysteem	Systeem D, n = 0,95	Systeem D

Energieconcepten referentiewoningen

p.2/3

	Referentie 1	Referentie 2	Referentie 3
Energieconcept	**Optimaal zongericht bouwen – all-electric**	**Passiefhuis concept**	**Collectieve duurzame energievoorziening**
Woningtypologie	**Eengezins (tussen)**	**Eengezins rij (hoek)**	**Meergezins woongebouw (appartementen)**
	Voorbeeld Ecocredo te Borger	Voorbeeld E-neutrale woningen te Borne	Voorbeeld Kopstukken te Amstelveen
Luchtdoorlatendheid (dm^3/sm^2)	< 0,625	0,15	0,4
Rc (m^2K/W) Gevel Dak Vloer	 5 8 4,5	 8,7 9,4 6,5	 3,5 5 4
U (W/m^2K) Raam Deur	 1,0 1,5	 0,8 1,0	 0,8 2,0
Huishoudelijk gebruik	-	hotfill	hotfill
Bijzonderheden	monitoring en feedback		
EPC	0	0	0
Relatie met TKI-programma-lijnen voor verdere optimalisering			

Energieconcepten referentiewoningen

p.3/3

	Referentie 1	Referentie 2	Referentie 3
Energieconcept	**Optimaal zongericht bouwen – all-electric**	**Passiefhuis concept**	**Collectieve duurzame energievoorziening**
Woningtypologie	**Eengezins (tussen)**	**Eengezins rij (hoek)**	**Meergezins woongebouw (appartementen)**
	Voorbeeld Ecocredo te Borger	Voorbeeld E-neutrale woningen te Borne	Voorbeeld Kopstukken te Amstelveen
Duurzame compacte conversie	ja	ja	nee
Duurzame compacte opslag	ja	ja	ja
Multifunctionele bouwdelen	mogelijk	ja	mogelijk
Regeling & control en energieopwekking	ja	ja	ja
Distributie en opslag op gebiedsniveau	nee	nee	ja

p.1/2

Referentie 1: **Optimaal zongericht**

Energieconcept: optimaal zongericht bouwen – 'all electric'
Woningtypologie: eengezinswoning, rij
Voorbeeld: Ecocredo, Borger

Dit concept laat zien dat het mogelijk is om energieneutraal te bouwen vanuit een ecologisch concept. De woningen zijn voor het grootste deel opgetrokken in houtskeletbouw met op de begane grond baksteen gevels. Hoewel een HSB-systeem zich goed leent voor het passiefhuis concept hier niet gekozen voor een volledige houtskeletbouw.
Bij een passiefhuis concept is het primaire uitgangspunt het beperken van de energievraag, terwijl bij dit zongericht concept het uitgangspunt is dat het energie moet leveren. Hiervoor is een zongericht ontwerp nodig, voor optimaal gebruik van zowel passieve als actieve zonne-energie. Daarnaast moet aandacht worden geschonken aan het voorkomen van beschaduwing van zonne-panelen en voor zonlicht bedoelde raampartijen.
Met betrekking tot de passieve zonne-energie worden grote raamoppervlakken op het zuiden geplaatst en kleinere raamoppervlakken op het noorden.
Om oververhitting te voorkomen, wordt een automatische zonwering toegepast.

Bouwkundige detaillering

De bouwkundige detaillering van energieneutrale woningen let zeer nauw. Met name waar het gaat om het het voorkomen van koudebruggen en het beperken van de luchtdoorlatendheid. De toepassing van een gedeeltelijk HSB-systeem voor dit project is een goede keuze omdat het koudebruggen voorkomt en er hoge isolatiewaarden kunnen worden bereikt.

Het niveau van thermische isolatie is Rc = 5 m²K/W voor de dichte geveldelen, Rc = 8 m²K/W voor het dak en Rc = 4,5 m²K/W voor de vloer op de begane grond. Daarnaast is er HR++ beglazing toegepast met een U-waarde van 1,49 W/m²K.
Het beperken van de luchtdoorlatendheid is een tweede belangrijke stap. Het gekozen niveau van qv10;spec = 0,625 dm³/s.m² is beter dan in het Bouwbesluit wordt voorgeschreven, maar minder stringent dan bij passiefhuizen (0,15 dm³s/m²).

Energielevering

De actieve energielevering in dit voorbeeld wordt verzorgd door:

- 21 PV-panelen (multikristallijn) met een oppervlakte van 33 m² met een (theoretische) jaaropbrengst van 3600 kWh. Er zijn geen verdere maatregelen genomen voor gebouwintegratie (niet geventileerd, niet geïntegreerd in dakconstructie).
- 2 zonnecollectoren met een totaaloppervlak van 9,4 m². Hierbij gaat het om standaardzonnepanelen.

p.2/2

Warmteopwekking, warmtapwater- en afgiftesystemen

Dit concept gaat uit van een all-electric warmteopwekking. Voor de verwarming en de bereiding van warm tapwater wordt gebruikgemaakt van een combiwarmte-pomp met een vermogen van 3500 W en een koelmodule. Als bron wordt een verticale bodemsonde gebruikt van 80 meter diep. Voor de bereiding van warm tapwater wordt de warmtepomp gecombineerd met een zonneboiler als voorverwarming. Het opslagvat heeft een inhoud van 350 liter. Voor de bereiding van warm water in de keuken wordt gebruikgemaakt van een close-in boiler. Dat heeft als voordeel dat er geen leidingverliezen optreden en de bereiding kortstondig en direct op de plaats van gebruik plaatsvindt.
Als afgiftesysteem wordt vloerverwarming toegepast op de begane grond en in de badkamer.
Op de verdieping is er sprake van een gecombineerd systeem van convectoren en luchttoevoer via de gevel.

Ventilatie

Deze woning gaat uit van natuurlijke ventilatie door middel van systeem C, maar met een toevoer via convectoren. De toevoer is vraaggestuurd door middel van CO_2-sensoren en winddrukafhankelijk geregeld. De afzuiging gebeurt via een traditioneel afzuigsysteem. CO_2-sturing is een manier om energie te besparen door middel van vraagsturing. Daarnaast zorgt het voor een gezonde binnenlucht-kwaliteit in zeer luchtdichte woningen doordat de ventilatie naar behoefte wordt gecontroleerd.

Gebruikersgedrag en huishoudelijk energiegebruik

Het energiegebruik van deze woningen wordt via een internetverbinding geregistreerd en teruggekoppeld naar de bewoners. Deze wijze van feedback is van invloed op het bewonersgedrag ten aanzien van energiezuinigheid. Hoewel dit niet in een EPG-berekening wordt verwerkt, heeft dit wel invloed op het werkelijke energiegebruik. Zie hoofdstuk 5 voor meer informatie.

p.1/2

Referentie 2: **Passiefhuis**

Energieconcept: passiefhuis concept
Woningtypologie: eengezinswoning, rij (hoek)
Voorbeeld: E-neutrale woningen, Borne

Dit concept laat zien hoe er vanuit het passiefbouwenprincipe tot een energie-neutraal concept kan worden gekomen.
Het primaire uitgangspunt is het vergaand beperken van de energievraag.
Een passiefhuis heeft een hoge mate van thermische isolatie met een thermisch onderbroken constructie, goede kierdichting en maakt gebruik van passieve zonne-energie. Een goed binnenklimaat is verzekerd door gebalanceerde ventilatie met een hoge mate van warmteterugwinning. De richtlijnen voor een passiefhuis zijn als volgt:

- Er is maximaal 15 kWh/m² nodig voor ruimteverwarming/-koeling per jaar bij nieuwbouw en 25 kWh/m² bij renovatie.
- Er is maximaal 120 $kWh_{primair}/m^2$ nodig voor de totale woning (inclusief huishoudelijk gebruik) per jaar en bij bestaande bouw maximaal 130 $kWh_{primair}/m^2$.

Hiermee is in principe de verwarmingscapaciteit beperkt tot de capaciteit die door de vereiste hoeveelheid ventilatielucht kan worden gedragen.
De oriëntatie is zongericht met grote raamoppervlakken op het zuiden. Verder is er bewust voor gekozen om de woning in architectonische zin een traditioneel uiterlijk te geven om te benadrukken dat energieneutrale woningen er 'niet anders dan anders' uitzien.

Bouwkundige detaillering

De bouwkundige detaillering van passiefhuizen let zeer nauw waar het gaat om het voorkomen van koudebruggen en het beperken van de luchtdoorlatendheid.
Er is gekozen voor een traditionele steenachtige bouw.
Het niveau van thermische isolatie is Rc = 8,7 m²K/W voor de dichte geveldelen, Rc = 9,4 m²K/W voor het dak en Rc = 6,5 m²K/W voor de vloer op de begane grond.
Er is drievoudige beglazing met een U-waarde van 0,8 W/m²K toegepast alsmede buitendeuren op passiefhuis niveau.

Een stringente beperking van de luchtdoorlatendheid is een van de belangrijkste uitgangspunten bij de bouw van passiefhuizen. Het vereiste niveau is een qv10;spec = 0,15 dm³/s.m². In bijlage 2 wordt nader ingegaan op het aspect luchtdicht bouwen.

p.2/2

Energielevering

De actieve energielevering wordt verzorgd door:

- PV-panelen met een oppervlakte van 16,3 m² met een theoretische jaar-opbrengst van circa 2000 kWh;
- zonnecollectoren met een totaaloppervlak van 4 m² .

Warmteopwekking, warm tapwater en afgiftesystemen

De E-neutrale woningen maken gebruik van een gasaansluiting. Aangezien de resterende warmtevraag gering is, wordt in dit concept gebruikgemaakt van een HR-cv-ketel in combinatie met gebalanceerde ventilatie met warmteterugwinning (wtw) waarbij de lucht wordt naverwarmd. De maximale capaciteit van de wtw-unit is hierbij vergroot tot 300 m3/h. Dit is in principe voldoende om de warmtevraag te dekken. In de woonkamer is een extra radiator geplaatst.
De voorziening voor warm tapwater bestaat uit een zonneboiler met naverwarming door de HR-cv-ketel en een opslagvat van 200 liter.

Ventilatie

In de E-neutrale woningen is systeem D toegepast. Systeem D is een gebalanceerd ventilatiesysteem met tegenstroomwisselaars en gelijkstroomventilatoren.
Er zijn geen verdere opties aanwezig zoals vraagsturing of zonering. Voor de rekenwaarden is gebruikgemaakt van een gelijkwaardigheidsverklaring waarbij een rendement voor de warmteterugwinning van 95 procent is gehanteerd.

Comfort in de zomerperiode

In een passiefhuisconcept moet extra aandacht worden besteed aan het comfort in de zomerperiode. Zo worden er voorzieningen aangebracht in de vorm van een bouwkundige overstek voor de zomerperiode en variabele zonwering door middel van externe zonwering (screens) voor het voor- en najaar. Daarnaast zijn er voorzieningen aangebracht voor nachtventilatie door middel van draaibare luiken in de gevels en een elektrisch bedienbaar luik in het dak.

Gebruikersgedrag en huishoudelijk energiegebruik

Er is gebruik gemaakt van hotfill-aansluitingen voor wasmachine en vaatwasser waarbij de waterinlaat gebruikmaakt van warmwater via het warmtapwatersysteem, in plaats van koud water dat direct elektrisch wordt opgewarmd. Daarnaast geven de buitendeuren niet direct toegang tot de woonkamer, zodat er altijd sprake is van een sluis.

p.1/2

Referentie 3: **Collectief duurzaam**

Energieconcept: collectieve duurzame energievoorziening
Woningtypologie: meergezins woongebouw (appartementen)
Voorbeeld: Kopstukken. Amstelveen

Dit concept is een (nagenoeg) energieneutraal concept voor meergezinswoongebouwen (appartementen) uitgaande van een all-electric concept met een collectieve warmtepomp installatie. Bij dit concept is geen sprake van een optimaal zongericht ontwerp. In het oorspronkelijke ontwerp werd dan ook geen gebruikgemaakt van actieve zonne-energie. Het heeft daarmee een EPC van 0,4 en is daardoor niet geheel energieneutraal. Door de toevoeging van 440 m² PV en veertig zonnecollectoren van 2,3 m² (92 m²) heeft dit concept echter een EPC van 0.

Bouwkundige detaillering

Het complex is traditioneel in gietbouw gebouwd. Het niveau van thermische isolatie is Rc = 3,5 m²K/W voor de dichte geveldelen, Rc = 5 m²K/W voor het dak, Rc = 4 m²K/W voor de vloer op de begane grond en Rc = 3m²K/W voor de wanden van het trappenhuis. Er is drievoudige beglazing toegepast met een U-waarde van 0,8 W/m²K.
Het beperken van de luchtdoorlatendheid is ook bij meergezinswoongebouwen belangrijk. Het gehanteerde niveau van qv10;spec = 0,4 dm³/s.m² is weliswaar beter dan het Bouwbesluit maar redelijk eenvoudig haalbaar. Dit komt doordat het aantal aansluitdetails en de lengte van naden en kieren beperkt is.

De belangrijkste aandachtspunten voor dit niveau van luchtdoorlatendheid bij meergezinswoongebouwen zijn het toepassen van dubbele kierdichting en vooral het dichten van interne lekken, bijvoorbeeld via leidingschachten.

Energielevering

Om een EPC van 0 te bereiken worden aanvullend 440 m² PV en veertig zonnecollectoren van 2,3 m² (92 m²) toegepast.

Warmteopwekking, warm tapwater en afgiftesystemen

Dit concept gaat uit van een all-electric warmteopwekking met een collectieve warmtepomp en warmtekoudeopslag in een open bron. Voor de bereiding van warm tapwater wordt een combiwarmtepomp gebruikt. Daarnaast wordt warmteterugwinning op douchewater toegepast. Als afgiftesysteem wordt vloerverwarming/-koeling toegepast.

p.2/2

Ventilatie

De appartementen maken gebruik van systeem D. Systeem D is een gebalanceerd ventilatiesysteem met tegenstroomwisselaars en gelijkstroomventilatoren. Er zijn geen verdere opties aanwezig zoals vraagsturing of zonering.

Gebruikersgedrag en huishoudelijk energiegebruik

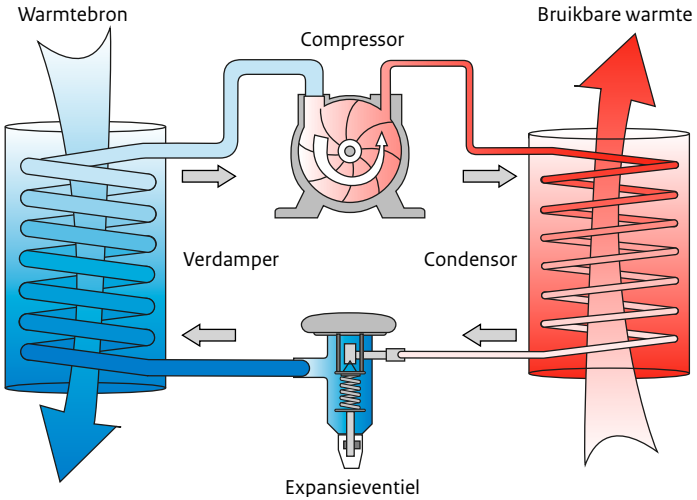
Er is gebruikgemaakt van hotfill-aansluitingen voor wasmachine en vaatwasser waarbij de waterinlaat gebruikmaakt van warmwater via het warmtapwatersysteem, in plaats van koud water dat direct elektrisch wordt opgewarmd.

p.1/5

Warmtepompen

Algemeen

De meeste energieneutrale woningconcepten gaan inmiddels uit van warmtepompen - tegenwoordig vrijwel altijd opgenomen in een all-electric concept. Tot nu toe was de hybride warmtepomp of een hybride warmtepomptoepassing de trend, die als individuele installatie en in collectieve concepten wordt gebruikt. Een aantal nieuwe technische ontwikkelingen, zoals de flash-injectie, de tweetrapscompressiecyclus en de invertertechnologie, laat een verschuiving naar all-electric concepten zien. Deze technieken maken het ook mogelijk om buitenlucht als bron te gebruiken met behoud van een efficiënte opwekking.



Principeschema warmtepomp (bron IEA)

Algemene informatie:
Statusrapportage warmtepompen, RvO, 2013

Algemene leveranciersinformatie:
De Dutch Heat Pump Association (DHPA). DHPA is de brancheorganisatie voor fabrikanten en importeurs van warmtepompen in de woningbouw en utiliteitsbouw. Deelnemers in de DHPA zijn gerenommeerde fabrikanten en importeurs van alle typen warmtepompen.

Individuele concepten

Voor individuele concepten gaat het hierbij in het algemeen om lucht-water-warmtepompen voor de basisverwarming, met een gasketel voor de hoge (piek) temperaturen en voor warm tapwater. Het is daarbij mogelijk losse apparaten te combineren, of de apparaten te integreren in één behuizing. Hoewel de hybride-oplossing in energieneutrale nieuwbouwconcepten tegenwoordig niet vaak wordt gekozen – vanwege de keuze voor all-electric en de afwezigheid van een gasaansluiting –, heeft het zeker betekenis voor bestaande bouw waar vaak wel een gasaansluiting aanwezig is. Meerdere grote leveranciers hebben nu hybride warmtepompen die geschikt zijn voor de renovatiemarkt.

Informatie:
ISSO-publicatie 72 Ontwerpen van individuele en kleine elektrische warmtepompsystemen voor woningen

p.2/5

Collectieve concepten

Voor collectieve concepten wordt eveneens vaak van een hybrideconcept uitgegaan waarbij de warmtepomp de basislast dekt. Doorgaans wordt door middel van een jaarbelastingduurcurve de verhouding duurzaam (warmtepomp) – niet duurzaam (gas) bepaald, waarbij de warmtepomp vaak op 20 tot 30 procent van het totaalvermogen wordt gedimensioneerd en daarmee tot 70 à 80 procent van de warmtevraag kan dekken. Het voordeel hiervan is dat de warmtepomp veel kleiner kan worden gedimensioneerd en meer draaiuren maakt. Bovendien kan de gasketel voor hogere temperaturen zorgen en voor warmtapwaterbereiding. Nadeel is dat een gasaansluiting nodig is.

Nieuwe ontwikkelingen die van belang zijn voor collectieve concepten en die een alternatief bieden voor hybridetoepassingen zijn:

- Warmtepompen met een tweetrapscompressiecyclus. Hiermee kunnen ook hoge temperaturen worden bereikt, bijvoorbeeld voor warm tapwater en voor pieken in de warmtevraag.
- Warmtepompen met invertertechniek waarmee de warmtepomp traploos zonder rendementsverlies naar 10 procent van de capaciteit kan worden teruggeregeld. Hiermee kan een grotere capaciteit worden neergezet voor pieklast en warm tapwater, maar ook effectief aan de basislast worden voldaan.

Informatie:
ISSO-publicatie 80 Handboek integraal ontwerpen van collectieve installaties met warmtepompen in de woningbouw
ISSO-publicatie 39 Ontwerp, realisatie en beheer van een Energiecentrale met warmte en koude opslag (WKO)

Bronnen

In de woningbouw gaat men voor de ruimteverwarming vrijwel altijd uit van water-waterwarmtepompen. Voor individuele woningen is de bron hiervoor meestal een gesloten systeem van grondcollectoren (horizontale of verticale bodemwisselaars). Voor collectieve systemen wordt doorgaans een open systeem met warmte-koudeopslag gebruikt. Varianten hierop zijn bronnen als ondiepe geothermie, zoals bij het mijnwaterproject in Heerlen, laagwaardige restwarmte en het monobronconcept (koude en warme bron boven elkaar). Het monobronconcept wordt tot nu toe vooral in binnenstedelijk gebied toegepast bij renovatieprojecten, met name in theaters. Het is echter ook interessant bij renovatie van woongebouwen of bij functieverandering van een gebouw, bijvoorbeeld van kantoorbouw naar woongebouw.

Informatie:
ISSO-publicatie 73 Ontwerp en uitvoering van verticale bodemwarmtewisselaars
Toolkit Duurzame Woningbouw – Themablad Bronnen voor warmte- en koudeopslag

Tot voor kort was het gebruiken van de buitenlucht als bron niet geschikt, vanwege de matige energieprestatie en vooral doordat er onvoldoende capaciteit werd bereikt bij lage buitentemperaturen. Nieuwe ontwikkelingen maken het inmiddels mogelijk om een constant vermogen te leveren bij buitentemperaturen tot -15 °C, zoals de flash-injectietechniek van koudemiddelen in de compressor. Bij die techniek kan de buitenlucht zelfs gebruikt worden tot temperaturen van -20 °C. Ook deze ontwikkeling maakt hybrideoplossingen voor het Nederlandse klimaat overbodig. Een belangrijk voordeel hiervan is dat er geen bodembron meer nodig is. Daarmee wordt niet alleen een kostenbesparing bereikt, maar

p.3/5

ook een belangrijk voordeel behaald bij de toepassing in renovatieprojecten (geen grondwerkzaamheden in de tuin). De verwachting is dan ook dat voor individuele woningen, zowel nieuwbouw als renovatie, een verschuiving op zal treden van warmtepompen met bodem als bron naar warmtepompen met de (buiten)lucht als bron.
Inmiddels zijn er al enkele leveranciers die warmtepompen met flash-injectie aanbieden. Nieuwe ontwikkelingen zijn verder systemen met een gecombineerde afgifte naar zowel water als lucht.

Informatie:
ISSO-publicatie 98 Lucht-waterwarmtepompen in woningen

Warmtepompen en warm tapwater

Een belangrijke beperking van warmtepompen is de levering van hoge temperaturen voor warm tapwater in relatie tot het rendement. Dit heeft in het verleden vaak geleid tot hybride systemen waarbij de hoge temperaturen door een cv-ketel worden geleverd of door elektrische naverwarming, al dan niet in combinatie met een zonnesysteem.
De nieuwe ontwikkelingen rondom de innovaties, zoals flash-technologie en inverters, zorgen ervoor dat nu ook hoge tapwatertemperaturen kunnen worden bereikt. Zelfs met buitenlucht als bron kan dit bereikt worden.
Naast de flash-injectietechniek zijn er ook concepten die gebruikmaken van cascadering (twee gescheiden koudemiddelcircuits). Hierbij wordt buitenlucht als bron gebruikt. Dit kan interessant zijn voor woningen die zijn aangesloten op een lagetemperatuurwarmtenet, waardoor er geen hoge temperatuur voor warm tapwater verkregen kan worden.

Een interessant alternatief voor een situatie met lage temperatuur warmtelevering (LTV) is een kleine water-waterwarmtepomp die het LTV-net als bron gebruikt (maximaal 40 °C), in combinatie met een buffervat.

Buffering is altijd nodig, omdat de capaciteit van de warmtepompen voor ruimteverwarming beperkt is. In energieneutrale woningen is de benodigde capaciteit ten hoogste zo'n 4 kW. Nederlandse leveranciers hebben concepten ontwikkeld specifiek voor de Nederlandse markt. Het volume van de buffering ligt hierbij op zo'n 150 liter, in combinatie met slimme regel- en laadstrategieën.

Aandachtspunten bij toepassing warmtepompen

Het belangrijkste aandachtspunt tot nu toe is het achterblijven van de energieprestaties in de praktijk, doordat een warmtepomp een integraal onderdeel is van een totaal energieconcept waarbij bron, gebouw, installaties en afgiftesystemen nauwkeurig op elkaar moeten worden afgestemd.

Informatie:
ISSO KennisKaart 40 Warmtepompboiler installeren

Verdere ontwikkelingen

Typerend voor warmtepompen is dat de praktische en technische onderzoeken en ontwikkelingen wereldwijd door de fabrikanten zelf worden opgepakt. De omschreven innovaties, zoals de flash-injectie en invertertechnologie, zijn hier een voorbeeld van.
Er is echter behoefte aan optimalisatie van de toepassingen, standaardisatie van systeemconcepten – vooral integrale concepten –, praktische

installatievoorschriften en opleidingen, rekenregels en praktijkrichtlijnen. Hier kan nog een verbeterslag worden gemaakt die van groot belang is voor zowel de acceptatie door de eindgebruikers als voor een verdere brede marktimplementatie in Nederland. In het verlengde hiervan zijn ook voor de eindgebruiker prestatie- en energiekostengaranties van belang, in combinatie met hierop aansluitende energiediensten en Energie Service Contract (ESCO)-concepten. Hier kan aansluiting gevonden worden op de TKI EnerGO-programmalijn Regeling energieprestatie en control. In deze programmalijn wordt aandacht besteed aan het ontwikkelen van prestatiegarantiesystemen, op basis van het meten en analyseren van werkelijke prestaties van systemen en hieruit verder te ontwikkelen service-producten (ESCO) en demand side management.

Fundamenteel onderzoek is vooral gewenst op het gebied van nieuwe principes, zoals de magnetocalorische warmtepomp en compacte warmtepompen op basis van Peltier-elementen. Deze ontwikkelingen kunnen ook een rol spelen bij de miniaturisatie van installaties. Dit sluit aan bij TKI EnerGO-programmalijn Compacte conversie.

Onderzoek en kennis

Het IEA Heat Pump Implementing Agreement maakt gestructureerd onderzoek mogelijk. Deze kennis is toegankelijk via het Heat Pump Centre
Voor de ontwikkelingen en inpassing in energieneutrale woningen is vooral van belang IEA HPC Annex 40: Heat pump concepts for Nearly Zero-Energy Buildings (NZEB). Hierin wordt onder andere onderzoek gedaan naar optimalisering van NZEB-concepten op basis van warmtepompen, gebouw- en systeemintegratie, randvoorwaarden en eisen voor verdere praktische marktimplementatie.

In Annex 32: Economical Heating and Cooling Systems for Low Energy Houses, zijn verschillende configuraties zijn onderzocht en getest voor verwarming, koeling, warm tapwater en ventilatie van energie-efficiënte woningen. Hierin is gekeken naar de optimalisatie van zowel energie-efficiëntie, als kosten en thermisch comfort.
Voor de inpassing van warmtepomptechnologieën in gebouwen op gebieds-niveau is Annex 42: Heat Pumps in Smart grids van belang. Hierin komen vraagstukken aan de orde, zoals tijdsafhankelijke energievraag op gebieds-niveau en de inpassing van warmtepompen in smart grids en 'smart cities'.
Op het gebied van kwaliteit en prestatiebewaking is Annex 36: Quality installation and maintenance van belang. In deze Annex wordt aandacht besteed aan kwaliteits-bewaking, onderhoud en prestatiegaranties van warmtepompen. Er wordt onderzoek gedaan naar de gevoeligheid van bepaalde factoren en de invloed op prestaties.

Literatuur

Delta-ee (2013). *Heat Pump Research Service Domestic Hot Water Heat Pumps*. London.
Deltares (2012). *Meer met Bodemenergie, Interferentie, Effecten van bodemenergiesystemen op hun omgeving – modellering grootschalige inpassing in stedelijke gebieden*. Gouda.
Fraunhofer Institute for Solar Energy (2012). *Annex 34 Thermally Driven Heat Pumps – final report*. Freiburg.
Hall, F. (1990). *Buildings Services and Equipment*. Longman Scientific & Technical.
Harvey, L.D.D. (2006). *A handbook on Low-Energy Buildings and District-Energy Systems*. Earthscan, UK.
Jayamaha, L. (2007). *Energy-Efficient Building Systems*. New York: McGraw-Hill.

P.5/5

Lenz, B., Schreiber, J, Stark, T. (2011). *Sustainable building services.* Detail Green Books, Germany.
Merosch (2013). *Integrale renovatieoplossingen (voor verwarming, koeling, ventilatie en warm tapwater) in de bestaande bouw* (18 oktober 2013), Projectnr: 1180. Bodegraven.
Smith, Peter (2012). *Energy Piles, Renewable Energy from Foundation.* Presentation at IEA Workshop, november 2012. Sanska.
Wagener, P. & Mosterd, D. (MsC) (2013). *Positioning paper: Warmtepompen & load management.* Rapportage in opdracht van AgNL. Harderwijk: BDH.
Wagener, P. & Mosterd, D. (MsC) (2013). *Positioning paper: Warmtepompen en economie.* Rapportage in opdracht van AgNL. Harderwijk: BDH.
Wijck, Armand van (2012). Bronproblemen, 70 procent van de warmte-/koudeopslagsystemen functioneert slecht. *De Ingenieur* (2 nov 2012).

Lesmateriaal IDES-EDU (www.ides-edu.eu)
EP Energy Production, lecture 3 Heat Pumps
EP Heating and Cooling, lectures 4 and 5 Active Heating and Cooling

p.1/3

Gastoepassingen

Algemeen

Hoewel in energieneutrale woningconcepten de all-electric concepten en warmtepomptechnieken een dominante positie krijgen, kunnen ook gastoepassingen nog in beschouwing worden genomen. In 25 procent van de projecten worden nog HR-ketels toegepast. De HR-ketel zelf is een uitontwikkeld product. Wel zijn nieuwe ontwikkelingen op het gebied van micro-WKK (HRe-ketel) en kleine brandstofcellen interessant, met name ook voor de bestaande bouw.

Micro-WKK of HRe-ketel

Een micro-WKK (warmtekrachtkoppeling) is een type cv-ketel die naast warmte ook elektriciteit opwekt op woningniveau. Evenals een normale cv-ketel schakelt de micro-WKK bij warmtevraag aan. Daarbij wordt dan naast warmte tevens elektriciteit opgewekt. Micro-WKK's hebben gemiddeld een elektrisch vermogen van circa 1 kW en worden veelal uitgevoerd als combiketel of een ketel in combinatie met een boiler. Door het opwekken van elektriciteit is het gasverbruik hoger, maar per saldo nemen de energiekosten af, omdat er minder elektriciteitsverbruik en dus minder kosten zijn.
Het principe van warmtekrachtkoppeling is dat bij het opwekken van elektriciteit wordt gebruikgemaakt van warmte. Deze warmte drijft een generator aan die elektriciteit genereert. De restwarmte wordt vervolgens afgevoerd of voor andere doeleinden gebruikt.

Bij een micro-WKK (HRe-verwarmingsketel) is de behoefte aan warmte voor verwarming (cv en warm tapwater) in principe primair. Met een bepaalde overmaat aan brandstof wordt dan elektriciteit opgewekt. De hierbij ontstane restwarmte (na generatie) wordt dan weer toegevoegd aan de primaire warmte.

Micro WKK (bron: IDES-EDU)

p.2/3

Voordelen van micro-WKK is de substantiële rendementsverbetering ten opzichte van de standaard-HR107-ketel. Een micro-WKK is bovendien goed te combineren met technieken zoals zonneboiler en PV-cellen. Vanuit elektrotechnisch oogpunt zijn de transportleidingen kort, waardoor het leidingverlies ten opzichte van de conventionele elektriciteitscentrales sterk wordt beperkt.

Mikro-WKK kan met diverse technieken worden gerealiseerd, zoals:

- *Organic rankine cycle*. Dit is een stoomturbine die werkt met organische stoom. Het rendement ligt momenteel op 120 procent maar kan verder worden verhoogd door optimalisering van de stoomturbine en door integratie in totaalsystemen met warmteopslag, zonnepanelen en adaptieve besturing.
- *Gasmotor, op basis van een Stirlingmotor*. De gasmotor heeft een thermische capaciteit van 24 - 25 kW en een elektrische capaciteit van 1 kW. Fabrikanten zijn onder andere Vaillant en Remeha. Voor de huidige HRe-verwarmingsketels wordt de gasmotor als meest toegepaste techniek gebruikt. De belangrijkste reden is, dat met deze techniek kleine installaties gebouwd kunnen worden die toepasbaar zijn voor woningen en gebouwen.
- *Gasturbine*.
- *Hoogrendement elektra (HRe) 130 procent*. Gezien de huidige investering ten opzichte van een conventionele cv-ketel wordt een HRe-ketel rendabel bij een gasgebruik meer dan 1400 m³/jaar. Uit dit oogpunt is een HRe-ketel voor energieneutrale woningen niet echt zinvol. Voor de renovatiemarkt zou het wel een optie kunnen zijn voor een beperkt aantal jaren, bijvoorbeeld in een overgangsfase naar energieneutraal bij een volgende renovatie.

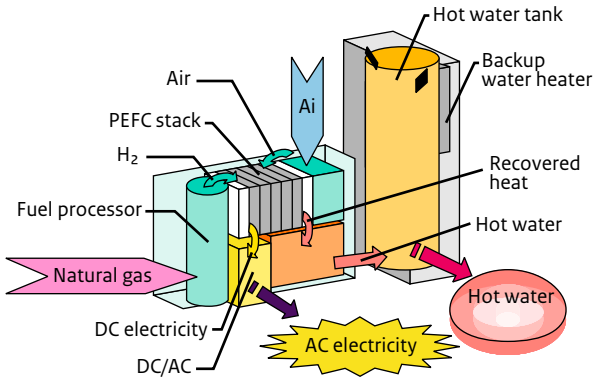
Grootschalige ervaring met micro-WKK's in Nederland is er op dit moment nog niet. In Japan draaien al meer dan 80.000 micro-WKK's op basis van een gasmotor. Omdat deze installaties buiten staan (gebruikelijk in Japan), worden er minder strikte eisen gesteld aan geluid, trillingen en ruimtegebruik. Ook behoeft de warmte-integratie in het systeem nog aandacht. Door doorontwikkeling op deze punten kan de gasmotor-micro-WKK op termijn een alternatief vormen voor de Nederlandse markt met name voor een overgangsperiode voor bestaande bouw naar volledig duurzaam. Trends in verdere ontwikkelingen zijn de verlaging van de geluidproductie en het verlagen van het gewicht.

Brandstofcellen

In geen van de nu gerealiseerde energieneutrale woningconcepten wordt gebruikgemaakt van brandstofceltechnologieën. De brandstofcel – als losstaande component voor energieconversie – is op zich een uitontwikkeld en vrij op de markt verkrijgbaar product. Toepassing in de gebouwde omgeving kan grote voordelen bieden voor de energie- en CO_2-reductie, maar stuit nog op een aantal praktische, technische en economische barrières voor een goede toepassing. Daarnaast roept een aantal toepassingen vaak weerstand op tegen het gebruik van aardgas als energiedrager – dit druist in tegen de visie van energietransitie. Biogas kan voor dit laatste een duurzaam en goed werkend alternatief bieden. Voor toepassing in de woningbouw lijkt de keramische brandstofcel het meest geschikt, door de eenvoudige inpassing en door het geleverde vermogen. Met een jaarproductie van circa 13.000 kWh-$_{el}$ kan een keramische brandstofcel de elektriciteitsvoorziening circa 4 tot 5 woningen van elektriciteit voorzien. De vrijkomende warmte is voldoende voor het warme tapwater van dit aantal woningen. Voordeel hierbij is dat het profiel van de elektriciteitsvraag en de

p.3/3

warmtapwatervraag redelijk constant is en gelijkloopt gedurende het hele jaar. Vooral de bestaande bouw, in combinatie met energetische renovatie, lijkt een potentieel toepassingsgebied te zijn. Hierbij kan de vraagbeperking gecombineerd worden met brandstofcellen als duurzame energievoorziening voor warmte en elektriciteit. Indien hierbij biogas als energiedrager wordt gebruikt in plaats van aardgas, dan zijn hiermee volledig CO_2-neutrale renovatieconcepten op grotere schaal mogelijk. Voordat zo'n concept daadwerkelijk kan worden toegepast, moet er echter eerst een aantal technische en economische problemen worden opgelost.
De hoeveelheid CO_2 die wordt uitgestoten, is vergelijkbaar met een HR-ketel, maar de combinatie brandstofcellen en een warmtepomp is veel efficiënter dan een HR-ketel. De CO_2-uitstoot per kWh warmte is fors lager: een HR-ketel stoot 0,20 CO_2 per kWh warmte uit, terwijl met behulp van de brandstofcel en warmtepomp dit gereduceerd wordt naar een uitstoot van 0,04 CO_2 per kWh warmte.



Werking brandstofcel (bron: Tokyo Gas)

Algemene informatie:
ISSO Kenniskaart 79 Brandstofcellen

Algemene informatie en leveranciersinformatie:
De Nederlandse Waterstof en Brandstofcellen Vereniging NWV

Onderzoek en kennis

Op het gebied van huishoudelijke gastoepassingen (op productniveau) vindt zowel nationaal als internationaal weinig tot geen fundamenteel onderzoek plaats. Wel vindt, met name in Nederland, onderzoek plaats voor alternatieve gastoepassing binnen TKI Gas. Vooral binnen de programmalijn Groen gas lopen er enkele projecten die van belang kunnen zijn voor de gebouwde omgeving, (bijvoorbeeld voor de combinatie brandstofcellen - biogas).

Literatuur

Daniels, K. & Hammann, R.E. (2008). *Energy Design for Tomorrow*. Germany: Edition Axel Menges.
Lenz, B., Schreiber, J., Stark, T. (2011). *Sustainable building services*. Germany: Detail Green Books.
Nishizaki, K. (2008). *The Japanese experience in micro CHP for residential use*.

Lesmateriaal IDES-EDU (www.ides-edu.eu)

EP Energy Production lecture 2 Heat generators – furnaces and boilers
EP Energy Production lecture 10 Decentralized energy production, micro-generation, fuel cells

p.1/5

Ventilatie

Algemeen

Het belangrijkste doel van ventilatie is het handhaven van een goed en gezond binnenmilieu. Over het algemeen zijn de bronnen in of behorend tot een woning maatgevend voor de verontreiniging en daarmee de benodigde hoeveelheid ventilatie. Simpelweg kan gesteld worden dat de luchtkwaliteit in principe toeneemt met de hoeveelheid ventilatie. Echter, hoe meer er geventileerd wordt, des te groter is de invloed ervan op het thermisch comfort en het energiegebruik. Een goede ventilatiestrategie moet er daarom voor zorgen dat deze tegenstrijdigheden verenigd en geoptimaliseerd worden. De kunst hierbij is om onder alle weersomstandigheden goed en comfortabel te kunnen ventileren zonder dat de warmtevraag toeneemt. Dit geldt vooral in energieneutrale woningen waarin de periodes met warmtevraag relatief gering zijn.
Voor de ventilatie in energieneutrale woningen zijn er twee mogelijkheden te onderscheiden:

- geavanceerde natuurlijke ventilatie met mechanische afzuiging (systeem C)
- gebalanceerde ventilatie met warmteterugwinning (systeem D)

Algemene informatie over principes en systeemkeuze:
ISSO-publicatie 61 Ventilatiesystemen in woningen en woongebouwen: Programma van eisen en systeemkeuze
Toolkit Duurzame Woningbouw – Themablad Ventilatie
Infoblad Ventilatiesystemen in energiezuinige nieuwbouwwoningen, publicatie RvO 2014

Informatie nieuwe technieken:
Clusterproject Innovatieve Ventilatiesystemen – Samenvatting en eindconclusies (EOS DEMO), Cauberg-Huygen Raadgevende Ingenieurs bv, juni 2011

Algemene leveranciersinformatie:
De Vereniging Leveranciers van Luchttechnische Apparaten (VLA). De VLA vertegenwoordigt fabrikanten, leveranciers en dienstverleners op het gebied van luchttechnische apparaten die actief zijn op de Nederlandse markt

Geavanceerde natuurlijke ventilatie met mechanische afzuiging (systeem C)

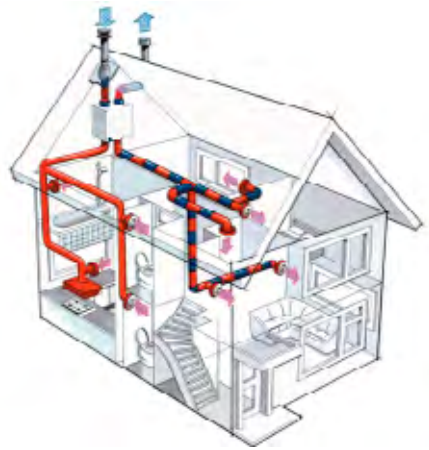
Er bestaat een grote variatie in de mate van 'geavanceerdheid', met name op het gebied van de toevoersystemen. Toevoerroosters zijn in het algemeen passief of actief (elektronisch) zelfregelend en kunnen in het laatste geval gestuurd worden op basis van CO_2-concentraties, relatieve vochtigheid en/of door een timer. Een aantal actief zelfregelende systemen is gekoppeld met de mechanische afzuiging en is hiermee in feite ook 'gebalanceerd'. Combinaties van geavanceerde natuurlijke toevoer met laagtemperatuurafgiftesystemen blijken in de praktijk goed te voldoen qua thermisch comfort (EOS DEMO Geavanceerde ventilatiesystemen). Daarnaast zijn er systemen waarbij de toevoer is geïntegreerd met een afgiftesysteem (radiator of convector).
Naast geavanceerde natuurlijke toevoer zijn er ook vraaggestuurde mechanische toevoersystemen op basis van CO_2- en RV-sturing. Ook deze zijn gekoppeld met de mechanische afzuiging, waardoor hier in principe sprake is van gebalanceerde ventilatie. De energiewinst wordt behaald uit de vraagsturing. Er vindt dan echter geen warmteterugwinning plaats.

p.2/5

Informatie:
ISSO-publicatie 92 Ventilatiesystemen met decentrale toevoer en centrale afvoer in woningen en woongebouwen

Gebalanceerde ventilatie met warmteterugwinning (systeem D)

Gebalanceerde ventilatie met warmteterugwinning (systeem D) wordt bereikt met tegenstroomwisselaars en gelijkstroomventilatoren. Meestal wordt dit systeem in een basisvorm toegepast, met een bypassregeling om oververhitting in de zomer te voorkomen. Dit systeem is op verschillende punten doorontwikkeld, namelijk op het gebied van de zonering en/of CO_2-sturing en op enthalpiewisselaars waarmee ook vocht kan worden teruggewonnen. Gebalanceerde ventilatie met warmteterugwinning is een vast onderdeel voor het passiefhuis concept.



Gebalanceerde ventilatie in een eengezinswoning (bron Stichting HR Ventilatie)

Informatie:
ISSO-publicatie 62 Centrale gebalanceerde ventilatiesystemen met warmteterugwinning in woningen en woongebouwen

Varianten op de 'traditionele' gebalanceerde ventilatiesystemen zijn decentrale ventilatiesystemen waarbij op lokaal niveau mechanische toe- en afvoer met warmteterugwinning plaatsvindt. Dergelijke systemen zijn voorzien van tegenstroomwisselaars en zijn vrijwel altijd vraaggestuurd door sturing op CO_2 en relatieve vochtigheid.

Informatie:
ISSO-publicatie 91 Ventilatiesystemen met decentrale toe- en afvoer en warmteterugwinning in woningen en woongebouwen

Verdere ontwikkelingen

Alle recente ontwikkelingen op het gebied van woningventilatie zijn in feite optimaliseringen en doorontwikkelingen op de nu toegepaste systemen. De belangrijkste zijn verschillende varianten op vraagsturing, zowel op natuurlijke toevoer en het afzuigsysteem als op gebalanceerde ventilatie en optimaliseringen, standaardisatie en vereenvoudiging van montage, aansluitingen en inregeling. Een aantal jaren terug zijn er verschillende ontwikkelingen geweest voor alternatieven op het gebied van ventilatieconcepten. Met name op het gebied van hybride ventilatie zijn marktrijpe concepten ontwikkeld, maar niet doorgebroken als ventilatieconcept in energieneutrale woningen (EC RESHYVENT-project).

p.3/5

Alternatieve, afwijkende ventilatietechnieken zijn onder andere:

- *Grondbuisventilatie oftewel lucht-aardwarmtewisselaar.* Hierbij wordt de ventilatielucht aangevoerd via horizontale kanalen in de bodem, doorgaans op 1,5 m diepte. De ventilatielucht wordt hierdoor voorverwarmd of voorgekoeld, afhankelijk van het seizoen.
- *Dynamische isolatie.* Bij dit systeem wordt een belangrijk deel van de via de constructie naar buiten gaande warmtestroom gebruikt als voorverwarming van de luchttoevoer. Dit systeem is in praktische zin bouwkundig moeilijk te realiseren, maar het heeft een groot energetisch effect, doordat het de warmteverliezen door (dichte) constructies sterk vermindert. Hierdoor is minder isolatiemateriaal nodig, waardoor een simpelere constructie en simpeler detaillering mogelijk wordt. Bovendien wordt de luchtkwaliteit beter door de continue ventilatie. Een kleine bouwfout kan er echter voor zorgen dat het hele systeem niet meer werkt.
- *Het ademende raam.* Dit is een combinatie is van een raam en een lokaal gebalanceerd ventilatiesysteem. Uitgangspunt van dit ontwerp is dat het gebalanceerde ventilatiesysteem een hoog percentage warmte van de afgezogen lucht moet terugwinnen, dat het bestand moest zijn tegen grote luchtdrukverschillen, dat het overal inzetbaar moet zijn, niet duur in aanschaf en onderhoud is en geen geluidoverlast geeft. De oplossing is gezocht in het gebruik van een warmtewisselaar van dunne koperdraden ('fiwihex', fine wire heat exchanger) en (zuinige) ventilatoren, die op verticale wijze in een raam zijn ondergebracht. Naar aanleiding van een onderzoek met een prototype van 18 bij 20 bij 70 centimeter lijkt het terugwinnen van 95 procent van de warmte haalbaar. Ook dit systeem kan CO_2-gestuurd worden uitgevoerd. Een van de problemen is momenteel nog de geluidsproductie van de in het raam gemonteerde ventilatoren, die nog boven de 30 dB(A) ligt. De ademende ramen zouden op drie manieren in de gevel van de woning kunnen passen: als deel van het gewone raam, als apart verticaal raam of aangebracht in een gesloten gedeelte van de muur.

Combinatie van technieken

De meest gebruikelijke combinatie van ventilatiesystemen met andere technieken is de warmtepompboiler in combinatie met de mechanische afzuiging waarbij de afvoerlucht als bron wordt gebruikt. Deze combinatie wordt met name toegepast wanneer er geen warmteterugwinning uit de afvoerlucht plaatsvindt. Een combinatie met PV-panelen voor de elektriciteitsvoorziening is een verdere trend.
Een andere ontwikkeling is het koelen van PV-panelen aan de onderzijde voor een beter rendement waarbij de warmte uit deze lucht gebruikt kan worden voor voorverwarming of warmteterugwinning.

Aandachtspunten

De toepassing van ventilatiesystemen kent een aantal belangrijke aandachtspunten. Ten eerste is het gekozen ventilatiesysteem van invloed op het thermisch comfort en het binnenmilieu. Klachten over geluid, tocht en luchtkwaliteit scoren nog steeds relatief hoog en leiden niet alleen tot onvrede over het systeem en zelfs tot gezondheidsklachten, maar ook tot onjuist gebruik van het systeem. De Nederlandse ventilatie-industrie heeft van 2002 tot 2005 een groot onderzoek gedaan naar optimalisering van gebalanceerde ventilatie met warmteterugwinning (wtw), onder andere naar de benutting van wtw in zeer energie-efficiënte woningen, de interactie met verwarmingssystemen inclusief regel- en

p.4/5

controlestrategieën, een betere filtering, de signalering voor onderhoud, interne geluidreducerende maatregelen, de garantie van minimaal debiet en de mogelijkheden voor vraagsturing.

Een tweede aandachtspunt is het halen van de werkelijke energetische prestaties van ventilatiesystemen in de praktijk. In vrijwel alle EPC-berekeningen worden waarden gebruikt die zijn gebaseerd op kwaliteitsverklaringen. Dit geldt met name voor warmteterugwinrendementen waarbij doorgaans een waarde van 95 procent wordt gehanteerd, terwijl metingen in de praktijk in het algemeen niet hoger zijn dan 80 tot 85 procent (zie Landelijke Monitoring Ventilatie). Ook op het gebied van geavanceerde natuurlijke toevoer worden vaak kwaliteitsverklaringen (en daarmee EPC-verlagingen) gehanteerd die qua praktijkprestaties niet betrouwbaar zijn (bijvoorbeeld energetische effecten van zelfregelende roosters).

Informatie:
ISSO-publicatie 63 Beheer en onderhoud ventilatiesystemen in woningen en woongebouwen
ISSO KennisKaart 26 Gebalanceerd ventilatiesysteem type D met wtw inregelen
BRL 8010 Ventilatie Prestatiekeuring

Onderzoek en kennis

Internationale kennis op het gebied van ventilatie is verzameld en toegankelijk gemaakt door het Air Infiltration and Ventilation Centre (AIVC), van het IEA (International Energy Agency). Het AIVC brengt regelmatig publicaties uit in de vorm van AIVC Ventilation Information Papers (VIP's), Technical Reports en Guides and Handbooks. Tevens zijn daar complete literatuuroverzichten te vinden. Veel onderzoek op het gebied van woningventilatie heeft plaatsgevonden in de jaren negentig van de twintigste eeuw, op het moment dat het aandeel van energiegebruik door ventilatie relatief steeds groter werd ten opzichte van de transmissieverliezen. In Europees verband is dit vooral gebeurd in het TIPVENT-project (Towards Improved Ventilation) en RESHYVENT (Hybrid Ventilation in Residential Buildings).
Op nationaal niveau besteedt TKI Energo aandacht aan de optimalisering van ventilatiesystemen. Er zijn in 2013 twee projecten geïnitieerd:

- *Vent-e-Right*. Hierin worden twee onderscheidende ventilatiesystemen ontwikkeld, een voor nieuwbouw en een voor renovatie. Voor nieuwbouw ligt de focus op het terugdringen van installatiegeluid, nieuwe compacte isolatiematerialen (geluid) voor kanalen en filtertechnieken met verminderde weerstandtoename en lange levensduur. Voor renovatie ligt de nadruk op nieuwe ventilatie en installatieprincipes die inspelen op de ruimtetechnische beperkingen van de bestaande woningen.
- *Monocair*. Dit project richt zich op het verkrijgen van essentiële kennis over geavanceerde ventilatiesystemen die er niet of slechts beperkt in slagen de luchtkwaliteit op een constant en correct niveau te houden in de individuele vertrekken van een woning. Om een kennisdoorbraak te bereiken wordt een monitoringonderzoek uitgevoerd. De meting bevat een groot aantal technische en gedragsparameters, een breed scala aan verschillende ventilatieoplossingen en een data-analyse en -modellering.

p.5/5

Literatuur

W.F. de Gids, P.J.M. Op'tVeld, (2004), Onderzoek naar ventilatie in relatie tot gezondheidsaspecten en energiegebruik voor een representatieve steekproef van het Nederlandse woningbestand (Landelijke Monitoring), TNO rapport 2003-GGI-R064

Aggerholm, Søren (2002). Technical report: Hybrid Ventilation and Control Strategies. *The Annex 35 Case Studies*, July 2002.

Allard, F. (1998). *Natural Ventilation in Buildings : A Design Handbook*. James & James ed., ISBN.1.87.393672.9. UK.

Allard, F. (2005). *Aeraulique des batiments et ventilation naturelle*. AM10: 2005, Natural Ventilation in Non-Domestic Buildings, CIBSE.

Awbi, H. (1998). Ventilation. *Renewable and Sustainable Energy Reviews 2*: p. 157-188.

Ghiaus, C., Allard, F., Axley, J., Roulet, C.-A. (2011). *Natural ventilation: principles, solutions and tools*. Nanjing: F. ALLARD-CHAMPS Seminar Nanjing 20-22/03/2011.

Ghiaus, C., Allard, F., Mansouri, Y., Axley, J. (2003). *Natural ventilation in urban context*.

Hui, dr. Sam C.M. (2011). *Mechanical and Natural Ventilation*. Hong Kong: Department of Mechanical Engineering, The University of Hong Kong.

Khanal, Rakesh, Chengwang Lei (2011). Solar chimney. *A passive strategy for natural ventilation, Volume 43*, Issue 8, p.1811-1819.

Kleiven, Tommy (2003). *Natural Ventilation in Buildings - Architectural concepts, consequences and possibilities*.

Kolderup, Erik (2008). *Saving Energy with Natural Ventilation Strategies*.

Lambert, Jim (2008). *Natural Ventilation – capabilities and limitations (comfort and energy efficiency in domestic dwellings)*. Melbourne: ATA Melbourne Branch presentation, April 2008.

Lomas, Kevin J. (2007). Architectural design of an advanced naturally ventilated building form. *Energy and Buildings, 39*, p. 166-181.

Parker, James, Teekaram, Arnold (2005). *Wind-driven Natural Ventilation Systems*.

Roberson, Judy A., Brown, Richard E., Koomey, Jonathan G., Greenberg, Steve E. (1998). *Recommended ventilation strategies for energy-efficient production homes*.

Russell, Marion, Sherman, Max and Rudd, Armin (2005). *Review of Residential Ventilation Technologies*. Berkeley: Ernest Orlando Lawrence, Berkeley National Laboratory.

VENT Dis. Course (2006). *Distant learning vocational training material for the promotion of best practice ventilation energy performance in buildings. Module 1: Natural and Hybrid Ventilation*.

VENT Dis.Course (2006). *Distant learning vocational training material for the promotion of best practice ventilation energy performance in buildings. Module 3: Energy Efficient Mechanical Ventilation*.

Verhaart, Jacob (2010). *Balanced Ventilation System Part of the problem or part of the solution? Final Report*.

Lesmateriaal IDES-EDU (www.ides-edu.eu)

EP Ventilation, Lectures 1 -10

p.1/3

Afgiftesystemen

Algemeen

In de Nederlandse woningbouw worden traditioneel radiatoren gebruikt als warmteafgiftesysteem. Lagetemperatuurverwarming in energieneutrale woningconcepten wordt bereikt met behulp van warmtepompen en duurzame laagwaardige warmte (en koude). Hierbij wordt steeds meer gebruikgemaakt van vloer- en wandverwarming. Daarnaast worden nog steeds radiatoren en convectoren gebruikt voor lagetemperatuursystemen, gedimensioneerd op een maximale toevoertemperatuur van 55 °C. Vaak worden combinaties toegepast van vloerverwarming op de begane grond – soms ook in de badkamer – en radiatoren of convectoren op de verdieping. In passiefhuizen komt ook lucht als afgiftesysteem voor, meestal in de vorm van naverwarming van de toevoerlucht bij gebalanceerde ventilatie.

Algemene informatie:
LowexNet Guidebook, IEA Annex 37 Low Exergy Systems for Heating and Cooling

Vloer- en wandverwarming

Vloerverwarming is een op zich bekend en uitontwikkeld product. Ontwikkelingen zitten vooral in productoptimalisering en inpassingen in de woningbouw. Een voorbeeld hiervan zijn lichte, 'droge', zwevende dekvloeren in gestapelde bouw. De zwevende dekvloer combineert warmte- en koudeafgifte met een uitstekende lucht- en contactgeluidisolatie. Hierdoor kan de constructieve vloer veel dunner zijn (normaal wordt de dikte van de betonvloer bepaald door de geluideisen, niet door constructieve eisen).

Voor renovatie zijn ook lichte prefab-afgiftesystemen voor wanden en vloeren in ontwikkeling. Naast vloerverwarming kan in de woningbouw ook wandverwarming worden toegepast. Hoewel de bewonerswaardering voor wandverwarming erg groot is, heeft deze toepassing niet echt tot een doorbraak geleid.

Informatie:
ISSO-publicatie 49 Kwaliteitseisen vloer- en wandverwarming en vloer- en wandkoeling

Convectoren en radiatoren

Lagetemperatuurradiatoren en -convectoren worden nog steeds gebruikt in energieneutrale woningconcepten, vaak in combinatie met vloerverwarming op de begane grond.
Voor convectoren en radiatoren zijn vooral de combinaties en integratie met ventilatiesystemen interessant (zie ook paragraaf Ventilatie).

Betonkernactivering

Betonkernactivering is een afgiftesysteem waarbij watervoerende leidingen in de kern van een betonvloer zijn ondergebracht en deze op een constante temperatuur houden. De massa van de constructie zorgt voor opslag van warmte en koude. Betonkernactivering reageert per definitie traag. Het maakt daarnaast gebruik van het effect van thermische inertie, dat wil zeggen, bij oplopende temperatuur, bijvoorbeeld bij zoninstraling, loopt de warmteafgifte zelf terug. Indien een snelle reactie is gewenst voor extra warmte, kan gebruik worden gemaakt van een aanvullend afgiftesysteem. Hierbij kan de betonkernactivering de basistemperatuur leveren, waarbij de aanvullende afgiftesystemen voor een extra gewenste comforttemperatuur kunnen zorgen.

p.2/3

In utiliteitsbouw wordt in toenemende mate betonkernactivering toegepast. In de woningbouw was betonkernactivering tot nu toe niet zo gebruikelijk. Prefabricage maakt verwarmen (en koelen) door betonkernactivering echter ook toepasbaar (en betaalbaar) in nieuwbouwwoningen. Een nieuwe technologie combineert lagetemperatuurverwarming ook in betonnen prefabwanden. Een optie is ook de combinatie met energiepalen, dat wil zeggen, heipalen met watervoerende leidingen voor energieopname uit de bodem.

Betonkern activering (bron EC REMINING-lowex)

Informatie:
ISSO-publicatie 85 Thermisch actieve vloeren

Elektrische afgiftesystemen

Een nieuwe trend is de toepassing van zeer snelle en efficiënte elektrische afgiftesystemen in energieneutrale woningen, in combinatie met PV-cellen. Het gaat hierbij om systemen die zeer snel en zeer lokaal een gewenst comfortniveau kunnen leveren. Voorbeelden hiervan zijn afgiftesystemen op basis van infraroodverwarming (Living Heat van HSI) of met polymeermatten, gecombineerd met gipskartonplaten (Active Warmth). Deze systemen kunnen ook worden ingeschakeld door middel van aanwezigheidsdetectie. In het EOS LT-project DP2015 is onderzoek verricht naar zowel de fysiologische effecten (gezondheid en comfort) als de energetische effecten.

Onderzoek en kennis

De ontwikkeling en introductie van lagetemperatuurverwarmingssystemen in de woningbouw zijn door het internationaal energieagentschap (IEA) vijftien jaar geleden in gang gezet in IEA EBC Annex 37 Low Exergy Systems for Heating and Cooling, later voortgezet in Annex 49 Low Exergy Systems for High Performance Buildings and Communities.

Literatuur

ASHRAE (2008). *HVAC Systems and equipment 2008*. ASHRAE Atlanta 2008, ISBN 978-1-933742-34-2, ch. 1-15.
Babiak, J., Olesen, B.W., Petráš, D. (2007). *Low temperature heating, high temperature cooling, REHVA guidebook* 7. Rehva. ISBN 2-9600468-6-2.

p.3/3

Bsria (2002). *The Illustrated Guide to Mechanical Building Services Application Guide 15/2002*. p.5-11.
Chadderton, D.V. (1991). *Building services engineering*, ISBN 0-419-19530-0, ch. 4.
Grimm, N.R., Rosaler, R.C. (1998). *HVAC Systems and Components Handbook. 2nd Edition*. New York: McGraw-Hill, ISBN 0-07-024843-5, Ch. 5.
Howell, R.H., Sauer, H.J., Coad, W.J. (1998). *Principles of heating ventilating and air conditioning*. Atlanta: ASHRAE. ISBN 1-883413-56-7.
VTT Technical Research Centre of Finland (2003). *Heating and Cooling with Focus on Increased Energy Efficiency and Improved Comfort - Guidebook to IEA EBC Annex 37 Low Exergy Systems for Heating and Cooling of Buildings.* ISBN 951-38- (www.inf.vtt.fi/pdf/) ISSN 1455-0865 (www.inf.vtt.fi/pdf/).

Lesmateriaal IDES-EDU (www.ides-edu.eu)
EP Heating and Cooling, lectures 4 and 5 Active Heating and Cooling

p.1/2

Compacte opslag

Algemeen

Warmteopslag is een belangrijke techniek in combinatie met alle mogelijke duurzame energiebronnen. Opslag is nodig om in te spelen op een fluctuerend aanbod van duurzame energie in relatie tot een fluctuerende vraag. Dit kan in de vorm van opslag van warmte/koude, zowel binnen de woning als op gebiedsniveau in de ondergrond. Opslag is ook nodig om inefficiënte piekproductie te voorkomen. Opslag kan plaatsvinden voor een dag-en-nachtcyclus, voor enkele dagen en voor seizoenoverbrugging. In alle energieneutrale woningen komt energieopslag voor in de vorm van een buffervat voor warm tapwater, in combinatie met zonnecollectoren en/of warmtepompen.
Er zijn in principe drie manieren van thermische opslag mogelijk:

- opslag van voelbare warmte
- opslag van latente warmte
- compacte warmteopslag door thermochemische opslag of door sorptieopslag

Voelbarewarmteopslag

Opslag van voelbare warmte is het meest gebruikelijke principe en berust op de warmtecapaciteit van materialen. Opslag kan plaatsvinden met buffervaten in de woningen of op gebiedsniveau door middel van aquifers, reservoirs en dergelijke met als medium water. Voor deze vorm van warmteopslag in woningen is het volume vaak een knelpunt. In principe is vanwege de beperkte beschikbaarheid van ruimte alleen opslag voor korte termijn mogelijk.

Latente warmteopslag

Latente warmteopslag vindt plaats door faseverandering van materialen (Phase Change Materials oftewel PCM's). Als medium wordt gebruikgemaakt van zouthydraten, paraffines en niet-organische paraffines. Er worden in het algemeen PCM's toegepast met een smelttemperatuur van 23 °C. PCM's kunnen bij kamertemperatuur veel warmte opslaan. Praktisch betekent dit bijvoorbeeld dat tijdelijk wordt voorkomen dat de temperatuur hoger dan 23 °C wordt, waardoor koeling niet nodig is. PCM's zijn op de markt verkrijgbaar en worden vaak gebruikt in combinatie met andere materialen, bijvoorbeeld verwerkt in betonvloeren, dekvloeren, plafonds of wanden.

Informatie:
Münting, F., A. Entrop, H. Brouwers. Energiebesparing met Phase Change Materials. In: ConcepTueel, februari 2010

Compacte warmteopslag

De nieuwste ontwikkeling is de compacte warmteopslag op basis van thermochemische opslag of door middel van sorptie. Sorptiewarmteopslag maakt gebruik van de sorptiewarmte die vrijkomt als waterdamp geabsorbeerd wordt in een sorptiemateriaal, zoals silicagel of zeoliet. De warmtedichtheid is een factor 4 hoger dan water.
Thermochemische opslag is warmteopslag op basis van een chemische reactie. Hierbij kan de warmteopslag tot twintig keer groter zijn dan van water.
Deze vormen van warmteopslag zijn nog in ontwikkeling.

p.2/2

Informatie:
Presentatie Compacte Warmteopslag: Onderzoek en Industrialisatie, W. van Helden, Themamiddag Energieopslag FME, juni 2013

Ontwikkelingen

De belangrijkste reden voor de verdere ontwikkeling op het gebied van warmte-opslag is de miniaturisatie. De opslagdichtheid van PCM's is twee keer zo hoog als van water; voor thermochemische opslag is dat een factor 10 tot (theoretisch) 20. Zo bedraagt het opslagvolume voor seizoensopslag voor een energieneutrale woning voor voelbare warmte circa 120 m³, voor latente warmte 60 m³ en voor compacte warmteopslag 12 m³.

Ontwikkelingen op het gebied van compacte warmteopslag vinden plaats op materiaalniveau (verbetering van de prestaties en kostenreductie), component-niveau (warmtewisselaars, massatransport en -regeling) en op systeemniveau (integratie op gebouwniveau en met bouwdelen).

Onderzoek en kennis

Onderzoek vindt met name plaats in IEA-verband en in het Europese FP7:

- IEA SHC/ECES Task 42/29: Compact Thermal Energy Storage – Material development for System Integration
- FP7 SAM.SSA (Sugar Alcohol based Materials for Seasonal Storage Applications): ontwikkeling nieuwe PCM's op basis van suikeralcoholen,
- FP7 MERITS (Rechargable Heat Battery), ontwikkeling van een compacte heroplaadbare warmtebatterij op basis van thermochemische opslag
- FP7 SoTherCo (Solar Thermochemical Compact Storage), ontwikkeling van een modulair, compact thermochemisch seizoensopslagsysteem
- FP7 COMTES (Combined development of compact thermal energy storage technologies), demonstratie van nieuwe compacte thermische seizoens-opslagsystemen met een parallelle ontwikkeling van drie technologieën, solid sorption, liquid sorption, supercooling PCM

Literatuur

Cabeza, L. e.a. (2011). Materials used as PCM in thermal energy storage in buildings. *A review, Renewable and Sustainable Energy Views 15 (2011)*. p. 1675-1695.
Mehling, H., Cabeza, L.F. (2008). *Heat and cold storage with PCM - An up to date introduction into basics and applications.* Berlin-Heidelberg: Springer Verlag. ISBN 978-3-540-68556-2, ch. 1, 2 and 9.
Parashwaran, R. e.a. (2012). Sustainable thermal energy storage technologies for buildings. *A review, Renewable and Sustainable Energy Views 16 (2012)*. p. 2394-2433.
Pinel, P. e.a. (2011). A review of available methods for seasonal storage of solar thermal energy in residential application. *Renewable and Sustainable Energy Views 15 (2011)*. p. 3341-3359.

Lesmateriaal IDES-EDU (www.ides-edu.eu)

EP Heating and Cooling, lectures 2 and 3 Passive Heating and Cooling
EP Whole Building Renewable Energy Concepts. Lecture 3 Design Strategies for Utilization of Climatic Principles

p.1/7

Energieopwekking

Algemeen

Een algemeen kenmerk van energieneutrale woningen is dat zij ook altijd energieleverend zijn. Hierbij wordt vrijwel altijd gebruikgemaakt van de zon, zowel voor elektriciteitsopwekking door PV of thermisch door zonnecollectoren. Energielevering kan ook woninggebonden plaatsvinden door kleinschalige windturbines. In geen van de seriematige energieneutrale woningbouwprojecten is windenergie toegepast. Dit wordt voornamelijk veroorzaakt door de hoge aanschafkosten, waardoor de investering niet terug wordt verdiend binnen de technische levensduur. Zonnepanelen zijn vanuit een economisch en praktisch oogpunt meestal een betere keuze voor particulieren. Toepassing kan wel een optie zijn, indien niet optimaal of geen gebruik kan worden gemaakt van zonne-energie. Op het gebied van warmteterugwinning wordt, naast warmteterugwinning uit ventilatielucht (zie de paragraaf over ventilatie), ook warmteterugwinning toegepast uit douchewater. Deze techniek komt veel voor in energieneutrale woningconcepten.

Zon - PV

In vrijwel alle tot nu toe gerealiseerde energieneutrale woningbouwprojecten worden zonnecellen gebruikt (zo'n 80 procent).
PV-panelen zetten zonne-energie om in elektriciteit. Gemiddeld levert dat zo'n 65 tot 80 kWh per m² PV-paneel op. Bij de meeste woningbouwprojecten wordt de overtollige elektriciteit (die niet wordt gebruikt binnen het gebouw) terug-geleverd aan het net. De panelen moeten tussen zuidoost en zuidwest georiënteerd zijn om maximaal effect te hebben.

Het rendement van de tot nu toe regulier toegepaste PV-panelen ligt nu tussen de 6 (polykristallijn) tot 16 procent (monokristallijn). Het maximale theoretische rendement van een siliciumcel zou 30 procent kunnen zijn. Verlies van rendement komt onder andere door het feit dat de huidige cellen niet gevoelig zijn voor een groot deel van de zonne-energie (infrarood licht en UV). Verder verlies komt bijvoorbeeld door reflectie, mismatch (minder zonlichtopvang door schaduw of vervuiling) of een te hoog oplopende temperatuur van de cellen.
Voor wat betreft de montage zijn PV-cellen in te delen in twee groepen, te weten:

- aan het gebouw gemonteerde losse systemen, BAPV (Building Applied PV)
- direct in de constructie opgenomen systemen, BIVP (Building Integrated PV)

Voorbeelden PV toepassing

p.2/7

Op dit moment worden de BAPV-systemen het meest verwerkt in zowel bestaande als nieuwe gebouwen. Het betreft hier traditionele toepassingen, zoals het monteren van PV-cellen op daken, voor de gevels enzovoort.
De trend is – met name in het buitenland – dat zowel bij bestaande bouw als bij nieuwbouw de PV-systemen (BIPV) worden opgenomen in de constructies, waarbij deze bijvoorbeeld tevens dienen als dakbedekkingssystemen, gevelpanelen en dergelijke. In dit kader ontwikkelen steeds meer PV-fabrikanten 'bouwkundige' componenten, met name in de vorm van dakbedekkingssystemen, zoals dakpannen, leien, dakramen enzovoort.
Voor Nederland is dit van groot belang, omdat grootschalige PV-toepassing hier alleen mogelijk is wanneer systemen worden geïntegreerd in de gebouwde omgeving en de infrastructuur. Hierbij moet ook gedacht worden aan een effectief en meervoudig ruimtegebruik.

Op woningniveau wordt met BIPV geëxperimenteerd bij de ontwikkeling van complete bouwdelen, die als prefab in de fabriek worden gefabriceerd en als een geheel in de bouw worden gemonteerd. Dit kunnen dan zowel dak- als gevelelementen zijn, zij het nu nog slechts op beperkte schaal.
De voordelen van deze ontwikkeling zijn legio, zoals een korte montagetijd in de bouw, een complete technische opbouw van bouwdelen met hoge nauwkeurigheid en kwaliteit in de fabriek enzovoort. Ook andere constructieve en installatietechnische voorzieningen kunnen hierin worden geïntegreerd en kunnen in één arbeidsgang in het bouwdeel worden opgenomen.
De verdere ontwikkeling van deze toepassing vergt nadere studie en research. Een van de punten zou kunnen zijn het ontwikkelen van een vast afgesproken systeem om de bouwdelen onderling constructief aan elkaar te koppelen.

Ook het beheersen van het temperatuurgedrag onder de PV-cellen in de constructie en de brandveiligheid zijn onderwerpen van onderzoek.

Materiaal-technisch gezien zit de toepassing van kristallijn-Si nu in een versnellingsfase, waarbij de ontwikkeling zich vooral richt op opschaling, procesefficiëntie en kostprijsverlaging. Voor c-Si (monokristallijn) is de Nederlandse markt, vanwege de hogere kostprijs, nog beperkt, ondanks de ontwikkeling naar rendementen tot 18 procent.
Wat betreft de thin films zijn er verschillende technologieën gangbaar die echter nog in de ontwikkelingsfase zitten, zowel qua materiaal (cal) als procesmatig. Sterke punten van de thinfilmstoepassing is de grote mate van flexibiliteit van toepassing, met name in de bouw, het geringe gewicht – van belang in combinatie met lichte daken – en het geringe materiaalgebruik – en daardoor de geringe milieubelasting. Hoewel de opbrengst per m² gering is, heeft het als voordeel dat bij diffuus zonlicht de prestaties beter zijn dan voor kristallijn-Si; dit is met name voor het Nederlandse klimaat van belang.
Onderzoek dient zich vooral te richten op de verhoging van het rendement. Daarnaast is er nog geen zicht op een preferente technologie.

Ook op het gebied van omvormers vinden ontwikkelingen plaats, bijvoorbeeld van smart omvormers waarbij energiestromen kunnen worden gemonitord en uitgewisseld. Dit is een belangrijke ontwikkeling die aansluit op smart grids. Het is bijvoorbeeld ook belangrijk bij collectieve toepassing in (renovatie)wijken, waarbij niet alle daken een optimale oriëntatie hebben; hiermee kan een collectieve duurzame energievoorziening worden geboden.

P.3/7

Het is tevens een essentiële ontwikkeling voor BIPV-oplossingen, zowel voor communicatie met smart grids als met energiemanagementsystemen in de woning zelf.

In een aantal Europese landen is een trend waar te nemen dat de combinatie van PV met de warmtepomp langzaam de zonthermische systemen verdringen.

Informatie:
BIPV Report 2013 State of the Art in Building Integrated Photovoltaics, K. Sinapis, M. van den Donker, SEAC

Zon - thermisch

Evenals bij zon-PV worden ook in vrijwel alle tot nu toe gerealiseerde energie-neutrale woningbouwprojecten zonneboilers toegepast (eveneens zo'n 80 procent van de projecten). De grootte van het collectoroppervlak varieert hierbij van 1,5 tot 16 m² met een gemiddelde van 6 m². Tot nu toe worden vrijwel altijd de standaard-vlakkeplaatcollectoren toegepast. Ontwikkelingen van de vlakkeplaat-collector hebben zich vooral gericht op prijs-prestatieverhoudingen.
De belangrijkste verbetering is de toepassing van spectraal selectieve coatings op de warmte-absorber, waarbij aan de ene zijde het zonlicht effectief wordt geabsorbeerd en aan de andere zijde het warmteverlies wordt beperkt.
In een aantal projecten zijn hoogrendementcollectoren gebruikt, in de vorm van vacuümbuizen.
Naast vacuümbuiscollectoren zijn er ook vacuüm-vlakkeplaatcollectoren en vlakke-plaatcollectoren met transparante isolatiematerialen. De vacuümcollectoren kunnen temperaturen tot 300 °C genereren, de plaatcollectoren met transparante isolatie tot 250 °C.
Vacuümbuiscollectoren zijn in toenemende mate prijsconcurrerend ten opzichte van de standaard-vlakkeplaatcollector. Daarentegen is de vacuüm-vlakkeplaat-collector nog in een stadium van marktontwikkeling. Dit geldt ook voor de vlakkeplaatcollectoren met transparante isolatie. Voor een goede doorlatendheid van zowel direct als diffuus licht worden honingraatstructuren gebruikt (TIGI). Optimalisering is nog nodig op het gebied van de temperatuurbestendigheid van de toegepaste kunststof isolatiematerialen.

Vacuüm collector met CBC spiegels (bron SRB)

p.4/7

Een andere ontwikkeling is de concentrerende collector, waarbij direct zonlicht met spiegels of lenzen wordt geconcentreerd om hiermee hoge temperaturen te bereiken. Een variant hierop is een cilindrisch opslagvat dat verwarmd wordt door een parabolische spiegel.

De belangrijkste techniekontwikkeling zit vooral in de ontwikkeling van opslagsystemen (zie paragraaf Compacte opslag).

Informatie:
Inventarisatie Zonthermische Systemen, E4S in opdracht van Stichting Zonne-energie Wageningen, 2012
IEA Report Technology Roadmap Solar Heating and Cooling, Parijs, 2012

Kleinschalige windenergie

Er zijn twee typen kleinschalige windturbines te onderscheiden: de horizontale-aswindturbines (HAWT) en de verticaleaswindturbines (VAWT).
De horizontaleasturbines zijn 'traditionele' windturbines met twee, drie of meer wieken bevestigd aan een horizontale as. De optimale stand van deze turbines is met de wieken naar de wind toe. Locaties in een open veld zijn voor deze turbines het meest gunstig. Ze presteren slechter in een turbulente omgeving, omdat ze dan telkens opnieuw naar de optimale stand moeten zoeken. Het zoeken naar de optimale stand, kruien genoemd, gaat met behulp van een staart (vaan) of met behulp van een kruimotor. Omdat HAWT-turbines al meer dan twintig jaar op de markt zijn, zijn ze in verschillende maten en uitvoeringen verkrijgbaar.

Verticaleaswindturbines zijn innovatieve turbines, speciaal ontwikkeld voor de toepassing in een bebouwde omgeving. Door hun bouw staan deze turbines altijd in de juiste positie ten opzichte van de wind. In het verleden werden de verticaleasturbines verdeeld in twee categorieën, Savonius en Darrieus. Bij het Savonius-type duwt de wind de wieken weg. Hierdoor kan de turbine nooit sneller bewegen dan de wind zelf: de wieken bewegen met de wind mee. Dit wordt het weerstandprincipe genoemd. Bij het Darrieus-type wordt er door het bladprofiel voor gezorgd dat de bladen sneller draaien dan de wind. Dit wordt het liftprincipe genoemd. Bij moderne turbines is de vorm van de rotor vaak geoptimaliseerd voor bepaalde toepassingen. Hierdoor zijn nieuwe vormen ontstaan die niet meer passen binnen de definities van Savonius- en Darrieus-turbines. Er zijn zowel systemen waar gebruik wordt gemaakt van het liftprincipe, van het weerstand-principe of van een combinatie van beide principes. Sommige systemen kunnen naast de horizontale ook de verticale luchtstroming benutten, waardoor ze bij plaatsing op gebouwen een hoger rendement kunnen bereiken.
Op het gebied van horizontale asturbines is er een aantal innovaties. Een systeem heeft een horizontale as waaraan de boogvormige bladen zijn bevestigd. Alle bladen samen vormen een opengewerkte bal die zich met behulp van een staart naar de wind toe draait. Een ander systeem heeft ook een turbine met boog-vormige wieken en een horizontale as die in dit geval in een vaste positie staat ten opzichte van het dak. Hierdoor kan deze turbine enkel de wind uit één richting vangen. Dit beperkt de toepasbaarheid van dit systeem tot locaties met de wind uit een overwegend constante richting.

Kleinschalige windtoepassing op gebouwniveau

Informatie:
IEE Rapport Urban Wind Turbines Leidraad voor kleine windturbines in de bebouwde omgeving

Product- en leveranciersinformatie:
http://www.urbanwind.net/pdf/CATALOGUE_V2.pdf

Warmteterugwinning uit douche- en afvalwater

Het totaal gebruikte warme water wordt grotendeels centraal opgewekt en via de warmtapwaterleiding verdeeld (85 procent) en deels via apparatuurgebonden gebruik (wasmachine, afwasmachine, warmwaterkokers) opgewekt door elektriciteit (circa 15 procent). Bij het gebruik van huishoudelijke apparatuur vindt de toevoer van koud water naar de warm(tap)waterbereiding en de afvoer van warm afvalwater niet gelijktijdig plaats. Anders dan bijvoorbeeld bij gebalanceerde ventilatie met warmteterugwinning is hier met name de ongelijktijdigheid van de toe- en afvoer van warm water een belangrijke randvoorwaarde. Alleen voor douchen is er sprake van een gelijktijdigheid.
Douchewater heeft een groot aandeel in het totale warmtapwatergebruik. Door toepassing van een warmtewisselaar kan circa 60 tot 65 procent van de warmte worden teruggewonnen.

Er zijn verschillende mogelijkheden voor douche-wtw's.

- *Douchepijp-wtw*. Dit is een verticaal systeem geschikt voor een badkamer op een verdieping. Er komt dan in plaats van een gewone afvoerbuis, een verticale dubbelwandige koperen warmtewisselaar (buis-in-buis) op korte afstand onder de douchebak. Het douchewater stroomt door de binnenste buis omlaag, het schone aanvoerwater stroomt in de buitenste buis omhoog.
- *Douchebak-wtw (horizontaal)*. Indien er geen verticale afvoer mogelijk is, kan gebruik worden gemaakt van een douchebak-wtw. Deze bestaat uit een speciale douchebak waarin een horizontale warmtewisselaar is ingebouwd. Met behulp van de warmteterugwinning wordt de koudwateraansluiting opgewarmd. De besparing kan oplopen tot 3300 MJ per jaar.

p.6/7

Douchegoot WTW

Voor warmteterugwinning uit de totale waterafvoerstromen zijn geen producten in de markt aanwezig op woningschaal.

Om de warmte terug te kunnen winnen dienen de rioleringsbuizen voorzien te worden van een warmtewisselaar. Hiervoor zijn er technische mogelijkheden beschikbaar. Er kan warmte terug worden gewonnen uit rioolwater door middel van warmtewisselaars in het riool (bijvoorbeeld buizen ingestort in de mantel van de rioolbuis. Voor het plaatsen van een warmtewisselaar in de riolering zijn er aanpassingen nodig in de riolering. Het toepassen van warmteterugwinning uit rioolwater wordt daarom vooral aanbevolen, indien de riolering moet worden vervangen of gerenoveerd. In de bestaande riolering is het technisch lastig aan te leggen. Daarnaast kan het zijn dat de capaciteit van de riolering afneemt door het plaatsen van een warmtewisselaar. Projectspecifiek is het van belang om te kijken of de gewenste capaciteit van de riolering behouden blijft. Ook is een minimale temperatuur van het rioolwater gewenst voor een goede, effectieve zuivering van het rioolwater.

Hotfill

Het aandeel elektriciteitsgebruik voor huishoudelijke apparatuur is in energie-neutrale woningen een grote post. Wasmachines en vaatwassers vormen daarin een belangrijk aandeel omdat het water voor gebruik elektrisch wordt verwarmd. Een besparing daarop kan bereikt worden door gebruik te maken van de hotfill. Dit is een klein apparaat dat in de buurt van de vaatwasser of de wasmachine wordt gemonteerd.
De hotfill kan eenvoudig aangesloten worden en vereist geen ingreep in de bestaande vaatwasser of wasmachine. Er zijn twee waterleidingen nodig. Eén voor warm water en één voor koud water. Op beide kranen komt een magneetventiel met temperatuursensor. Uitgaande van een gemiddeld huishouden kan een hotfill aansluiting circa 1000 MJ per jaar besparen.

Onderzoek en kennis

Onderzoek vindt met name plaats in IEAverband, in het Implementing agreement Solar Heating and cooling, www.iea-shc.org/
Recente relevante onderzoeksprojecten (in relatie tot energieneutrale woningen) zijn:

P.7/7

- Task 51 - Solar Energy in Urban Planning
- Task 46 - Solar Resource Assessment and Forecasting
- Task 45 - Large Scale Solar Heating and Cooling Systems
- Task 44 - Solar and Heat Pump Systems
- Task 43 - Solar Rating & Certification Procedures
- Task 42 - Compact Thermal Energy Storage
- Task 40 - Net Zero Energy Solar Buildings
- Task 39 - Polymeric Materials for Solar Thermal Applications

In het Europese Intelligent Energy Europe (IEE)-programma zijn de afgelopen jaren veel implementatie- en kennisoverdrachtprojecten geïnitieerd:

- Best Practice Implementation of Solar Thermal Obligations (PROSTO),
- Enlarging Solar Thermal Systems in Multi-Family Houses and Hotels in Europe (SOLARGE),
- New Business Opportunities for Solar District Heating and Cooling (SDHPLUS),
- Quality assurance in solar thermal heating and cooling technology: keeping track with recent and upcoming developments (QAIST),
- Transfer of experience for the development of solar thermal products (TRANS-SOLAR),
- Solar Thermal in Major Renovations and Protected Urban Areas (URBANSOLPLUS),
- Voor kleinschalige windenergietoepassing is met name het IEE-project Wind Energy Integration in the Urban Environment (WINEUR) interessant.

Literatuur

Daniels K., Hammann R. (2008). *Energy Design for Tomorrow.* Axel Menges.
Duffie J., Beckman W. (1991). *Solar Engineering of Thermal Processes.* Wiley.
Hsieh, J. (1986). *Solar Energy Engineering.* Prentice Press.
Innovatiefoto Zon-PV, Agentschap NL, 2011.
Johanson et. all. (1993). *Renewable Energy; Sources for Fuels and Electicity.* Island Press.
Lenz, B., Schreiber, J., Stark, T. (2011). *Sustainable building services.* Germany: Detail Green Books.
Werner W. (2003). *Solar Heating Systems for House.* IEA.

Lesmateriaal IDES-EDU (www.ides-edu.eu)

EP Energy Production, lecture 4 Solar collectors
EP Energy Production, lecture 9 Photovoltaics

p.1/2

Thermische isolatie

Traditionele materialen

De traditionele thermische isolatie is een uitontwikkeld product. In de meeste gevallen worden synthetische isolatiematerialen gebruikt, zoals glaswol of steenwol, XPS (geëxtrudeerd polystyreen), EPS (geëxpandeerd polystyreen), PUR (polyurethaan), PIR (polyisocyanuraat) of resolhardschuim (PF). In enkele gevallen worden ook cellulair glas (foamglas) gebruikt (bijvoorbeeld als drukvaste isolatie of perliet).
Daarnaast worden voor specifieke duurzame bouw- en renovatieprojecten in toenemende mate natuurlijke isolatiematerialen gebruikt, zoals cellulosevlokken of papiervezels (cellulose), stro(balen), schapenwol, vlas, katoenvezel of gerecycled katoen, kurk en dergelijke. In de nabije toekomst zal de toepassing en betekenis van natuurlijke isolatiematerialen toenemen, indien ook de materiaalimpact van een gebouw wordt meegewogen (bijvoorbeeld in energie- en materiaalimpact-0-concepten).

Superisolerende materialen

Een nieuwe ontwikkeling zijn de zogenaamde superisolerende materialen. Deze materialen zijn nu op de markt beschikbaar en in bepaalde gevallen een interessant alternatief voor de traditionele thermische isolatiematerialen in gebouwen. Deze materialen zijn gebaseerd op het feit dat lucht een uitstekend isolatiemateriaal is (warmtegeleidbaarheid van 0,025 W/mK). Traditionele isolatiematerialen kunnen, dankzij de lucht die ze bevatten, een warmtegeleidbaarheid (λ-waarde) tussen 0,040 en 0,045 W/mK behalen. Behalve door de ingesloten lucht te vervangen door een beter isolerend gas (bijvoorbeeld met pentaan geblazen polyurethaanschuim), kan de λ-waarde ook met de volgende twee technieken gereduceerd worden om superisolerende prestaties te behalen:

- Door de poriëngrootte van het materiaal te verkleinen tot enkele tientallen nanometers (10-9 m) vermindert de warmtegeleidbaarheid van de in de poriën ingesloten lucht. Men spreekt in dit geval van nanogestructureerde superisolerende materialen of nanoporeuze materialen (bijvoorbeeld silica-aerogel) onder atmosferische druk.
- Door de in de poriën ingesloten lucht te verwijderen wordt in het materiaal een vacuüm gecreëerd dat omsloten wordt door een luchtdicht omhulsel. Men heeft het in dit geval over vacuümisolatiepanelen of VIP (vacuum insulating panels), die in de regel een nanoporeuze kern bevatten. Superisolerende materialen worden gekenmerkt door een (aanzienlijk) lagere warmtegeleidbaarheid (met factor 2 tot 5) dan traditionele isolatiematerialen. Ze kunnen dan ook tot vijf keer dunner zijn voor eenzelfde thermische prestatie.

Superisolerende materialen kunnen gebruikt worden als vervanger van traditionele thermische isolatiematerialen, waardoor de isolatiepakketten aanzienlijk dunner kunnen worden bij eenzelfde thermische prestatie. Dit kan met name van groot belang zijn bij renovatie waar ruimtebeperking een grotere rol speelt dan bij nieuwbouw.
Daarnaast zijn er nog andere interessante toepassingen, zoals ter voorkoming van koudebruggen, bijvoorbeeld als bekleding voor doorgestorte balkons, galerijen, uitkragingen et cetera. Een bijzondere toepassing is mogelijk in geprefabriceerde gevel- en dakelementen waarin ook leidingen en kanalen zijn opgenomen, bijvoorbeeld voor modulaire prefabrenovatiesystemen. De superisolerende materialen zorgen daarbij voor zowel de onderbreking van de (traditionele)

p.2/2

isolatielaag als voor de isolatie van 'warme' kanalen en van mogelijke toestellen die door de gevel lopen.
Een andere toepassing is het gebruik van nanoporeuze materialen als toeslag in andere materialen om de thermische eigenschappen te verbeteren, bijvoorbeeld het verbeteren van de kwaliteit van PUR-schuim voor na-isolatie van vloeren, het creëren van 'thermisch' stucwerk, of isolerende bakstenen.

Nanoporeuze isolatiematerialen op basis van aerogels hebben een aantal bijkomende voordelen ten opzichte van VIP. Zo kunnen zij - in tegenstelling tot VIP - op het werk gemakkelijk gesneden of geknipt en aangepast worden, zonder verlies van thermische prestatie (ook bij doorboren). Daarnaast is een aantal producten flexibel en dus gemakkelijk en breed toepasbaar, ook op lastige plaatsen (dit speelt vooral bij het vermijden van koudebruggen). Tot slot worden aerogels gekenmerkt door een hoge akoestische isolatiewaarde en zouden ze bestand zijn tegen biologische en chemische agentia, zijn ze herbruikbaar, waterafstotend, maar toch damp-open, mechanisch sterk, resistent tegen mechanische oppervlaktedruk en niet brandbaar.
De belangrijkste nadelen en/of aandachtspunten van superisolerende materialen op basis van aerogels zijn de vorming van fijn stof tijdens hun verwerking, hun nog relatief dure productie en het feit dat hun langetermijneffecten nog niet volledig bekend zijn voor alle toepassingen, zoals veroudering, aantasting en duurzaamheid.

Informatie:
Publicatie Superinsulating Materials – Present applications and ongoing research, INIVE conference April 2012 Brussel

Onderzoek en kennis

Op het gebied van superisolerende materialen heeft een eerste brede en fundamentele studie plaatsgevonden in IEA EBC Annex 39 'High Performance Thermal Insulation Systems (HiPTI)'

Literatuur

Binz, Armin, Moosmann, Andre et al. (2005). *Vacuum Insulation in the Building Sector: Systems and Applications (Annex 39)*. September 2005.
Erb, Markus (2005). *Vacuum Insulation: Panel Properties and Building Applications – Summary (Annex 39)*. December 2005.
Simmler, Hans, Brunner, Samuel et al. (2005). *Vacuum Insulation Panels: Study on VIP Components and Panels for Service Life Prediction of VIP in Building Applications (Annex 39)*. September 2005

p.1/1

Beperking luchtdoorlatendheid

Het beperken van de luchtdoorlatendheid is een standaardmaatregel in alle energieneutrale woningconcepten. Grofweg zijn er twee niveaus te onderscheiden: Een standaard luchtdoorlatendheid dat wordt gehanteerd bij geavanceerde ventilatiesystemen zoals gebalanceerde ventilatie met warmteterugwinning ($qv10_{kar}$ = 0.625 dm³/s.m²) en een strenger niveau dat wordt gehanteerd bij passiefhuizen ($qv10_{kar}$ = 0.15 dm³/s.m²).

Detaillering

Kozijnen: Standaard kan volstaan worden met een enkele kierdichting tussen kozijn en wand met sponning en gesloten cellige luchtdichte band. Draaiende delen moeten een dubbele kierdichting hebben in dubbele sponningen en driepunt hang en sluitwerk. Voor passiefhuizen zijn speciale passiefhuis kozijnen ontwikkeld.
Wanden: Alle aansluitingen onderling, met de vloer begane grondvloer en met het dak moet met een enkele duurzaam-elastisch blijvende gesloten cellig band worden afgewerkt.
Daken: Aansluiting van de dakplaten-/-dakbeschot onderling moeten met sponning en dichtingsband worden uitgevoerd. De aansluitingen van het dakbeschot aan de muurplaat moet worden afgewerkt met dichtingsschuim. Extra aandacht is nodig voor luchtdichte kanaal- en leidingdoorvoeren.

Informatie:
SBR publicatie 360: Luchtdicht bouwen

Verdere ontwikkelingen

In Nederland is zeker vooruitgang geboekt ten aanzien van luchtdicht bouwen in de praktijk. Toch blijkt, met name bij passiefhuizen, luchtdicht bouwen nog altijd 'handwerk' en erg gevoelig voor bouwfouten en onzorgvuldigheden tijdens de uitvoering. Prefabricage van elementen en mogelijk ook plug&play luchtdichte mechanische connectoren tussen prefab elementen kunnen hierin een oplossing vormen. Dit aspect komt binnen TKI Energo aan de orde in de programmalijn Multifunctionele Bouwdelen.

Onderzoek en kennis

Internationale kennis op het gebied infiltratie is verzameld en toegankelijk gemaakt door TightVent Europe, het 'Building and Ductwork Airtightness Platform'. Dit is een platform waarin een aantal Europese industrieën met INIVE (een samenwerkingsverband van Europese bouw research instituten op gebied van ventilatie) deelnemen. TightVent heeft recent een aantal publicaties en databases gepubliceerd op het gebied van luchtdicht bouwen.
Daarnaast is ook kennis op gebied van luchtdicht bouwen verzameld door AIVC, het Air Infiltration and Ventilation Centre, van het IEA.

p.1/3

Glas en transparante geveldelen

Algemeen

Glas vormt zowel het belangrijkste onderdeel voor transmissieverliezen als voor warmtewinsten door zoninstraling. De allereerste stap in een energieneutraal ontwerp is dan ook de optimalisering van oriëntatie van de ramen. Hierbij moet ook rekening gehouden worden met oververhitting van de woning in de zomer. Passieve bouwkundige oplossingen zoals overstekken zijn hierin een eerste stap. Glas op zichzelf is een slechte isolator. Door toepassing van meerdere glasbladen met daartussen een luchtspouw worden betere isolatiewaarden verkregen. Door de spouwvulling uit te voeren met een warmte-isolerend gas worden betere U-waarden gerealiseerd, doordat de convectie tussen de glasbladen verminderd wordt. Door het toevoegen van een coating die het uitstralen van infrarood tegengaat, wordt de U-waarde nog verder verbeterd. Mogelijke U-waarden van dubbele en drievoudige beglazingen variëren van 2,8 W/m²K voor standaard dubbel glas tot 0,9 – 1,2 voor HR++ glas en van 0,5 tot 0,8 voor drievoudige beglazing. Door één van de glasbladen te selecteren op de gewenste optische eigenschappen kan de gewenste combinatie van U-waarde en optische eigenschappen worden gerealiseerd.

In de tot nu toe gerealiseerde energieneutrale woningbouwprojecten wordt in de passiefhuizen doorgaans drievoudige beglazing toegepast; in de andere concepten HR++ glas.
Beglazing met meer dan drie glasbladen is denkbaar. Het gewicht is echter evenredig met het aantal glasbladen, terwijl de U-waarde minder dan evenredig beter wordt. Om gewicht te besparen is het een optie om alleen het binnen- en buitenblad te vervaardigen uit glas, en de extra luchtspouwen te realiseren met behulp van transparante folies.
De U-waarden kunnen hiermee 0,45 bij twee lagen tot 0,28 bij drie lagen folie bedragen.

Er zijn verschillende ontwikkelingen op het gebied van glas in de bouw, bijvoorbeeld:
- schakelbaar glas
- spouwvullende materialen
- vacuümglas
- ABAM (Active Building Albedo Management)

Schakelbaar glas

Schakelbaar glas kan opgedeeld worden in vier principes:
- Liquid Crystals (LC)
- Polymer Dispersed Liquid Crystal (PDLC)
- fotochroom
- thermochroom
- elektrochroom

Liquid Crystal glas is een gelamineerd glas met minimaal twee lagen helder of gekleurd glas en een laag met Liquid Crystal film. Deze laag ligt ingesloten in minimaal twee plastic lagen. Met deze Liquid Crystals (LC) kan het visuele aspect van de ruit veranderd worden. De LC-laag reageert op spanning. Bij het ontbreken van spanning wordt de ruit melkwit (licht wordt diffuus verspreid) en met spanning wordt de ruit doorzichtig. Deze verandering wordt veroorzaakt door

p.2/3

de ordening van de moleculen. De moleculen ordenen zich in de richting van de aangebrachte spanning.
Bij te hoge temperaturen van het glas gaat de betrouwbaarheid van de werking achteruit. Om deze reden wordt deze techniek tot nu toe voornamelijk inpandig gebruikt. Deze techniek is reeds op de markt.

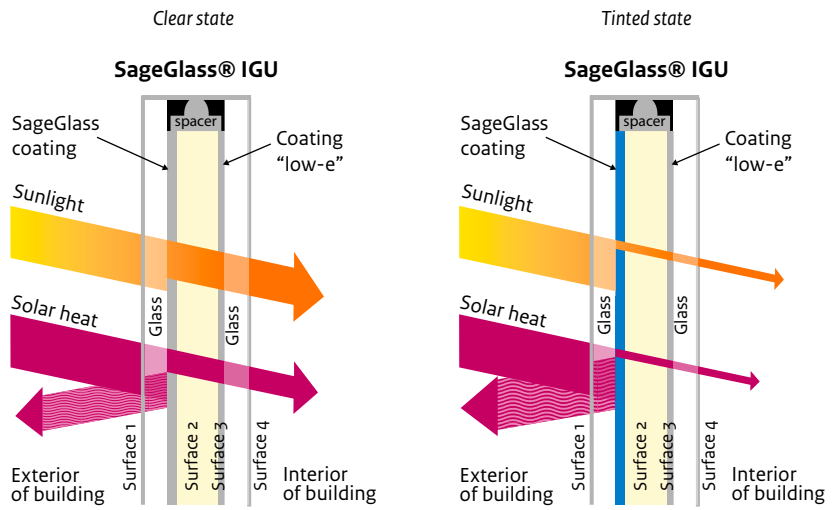
De opbouw van een raam met Polymer Dispersed Liquid Crystal (PDLC) is hetzelfde als bij de LC-techniek. Nu is echter de laag met Liquid Crystals al geordend. Hierdoor is het mogelijk de lichtdoorlatendheid te regelen. Dit product is eveneens op de markt (bijvoorbeeld SAGE).

Fotochroom glas is traditioneel glas met een lichtgevoelige coating. Deze coating verkleurt bij verandering van lichtintensiteit. Door de kleurverandering houdt het warmte tegen en absorbeert het voor een groot gedeelte warmte. Fotochroom glas is al wel op de markt in niet-bouwgelateerde toepassingen, zoals in zonnebrillen, maar nog niet in de bouw.

Thermochroom glas is opgebouwd uit twee lagen glas met daartussen een polymeer. Door de polymeerlaag kleurt het glas bij een bepaalde glastemperatuur (door chemische reactie polymeer). Onder deze temperatuur is het glas vrij goed doorzichtig, erboven volledig ondoorzichtig.

Elektrochroom glas kan opgebouwd zijn uit een gelaagde buitenlaag (elektrochroom), een spouw en een binnenruit. De gelaagde buitenlaag bestaat uit twee glasplaten met daartussen een laag elektrolytisch polymeer. Op elk van de ruiten is een elektrisch geleidende coating en een elektrochroomcoating aangebracht.

Afhankelijk van de aangebrachte spanning verkleurt de coating. De verandering van kleur is het gevolg van een scheikundige reactie van de elektrochroomcoating. Daglichttoetreding en zontoetreding kunnen door het veranderen van de spanning gelijktijdig tussen bepaalde grenzen gevarieerd worden. De verandering van de eigenschappen duurt circa vijf minuten. Als het glas de gewenste eigenschappen heeft, kan de spanning van het glas stabiel gemaakt worden, waardoor het deze eigenschappen behoudt. Het product is op de markt, maar nog niet grootschalig. In de autowereld wordt het al wel grootschalig geproduceerd. Het product is ook verkrijgbaar als folie. Deze folie kan dus ook aangebracht worden op bestaande ramen (producent: Chromogenics).



Opbouw elektrochrome beglazing

p.3/3

Spouwvullende materialen

Er kan gekeken worden naar de volgende spouwvullende materialen:

- translucente isolatiematerialen
- folies
- extra ruit

De opbouw van een raam met translucente isolatiematerialen is een buitenblad van glas, translucent isolatiemateriaal en een binnenblad van glas.
Er zijn twee soorten translucente isolatiematerialen, namelijk prismatische structuren en aerogels.
Prismatische structuren bestaan uit kunststof dat in een honingraatstructuur is opgebouwd. Aerogel is een poreus materiaal bestaande uit een draadstructuur.
Folies worden in de spouw strakgespannen geplaatst. Vaak wordt de folie voorzien van een coating.
Door de plaatsing van een extra ruit in de spouw ontstaat een extra luchtlaag. Ook kan op deze ruit een extra coating aangebracht worden.

Vacuümglas

De spouw wordt niet gevuld met gas, maar juist vacuüm getrokken. Hierdoor is er geen warmtegeleidend medium aanwezig. Ook op het vacuümglas kan een coating aangebracht worden.

p.1/5

Klimaatactieve bouwelementen

Algemeen

Klimaatactieve bouwelementen hebben de mogelijkheid om dynamisch te reageren door fysische eigenschappen te veranderen en kunnen daarmee invloed hebben op de energetische prestaties, vanwege veranderende binnen- of buitencondities. Dit vermogen kan betrekking hebben op energieopvang (zoals in raamsystemen), energietransport (zoals lucht- of waterverplaatsing) en energieopslag (zoals in bouwelementen met een hoge thermische opslagcapaciteit). Met de integratie van klimaatactieve bouwelementen en klimaatinstallaties verandert het ontwerpproces volledig: van een ontwerp van individuele systemen tot een geïntegreerd bouwconcept met elementen die optimaal gebruikmaken van de natuurlijke energiebronnen (zoals daglicht, natuurlijke ventilatie, passieve koeling) en met toepassing van duurzame energiebronnen. Bij klimaatactieve bouwelementen dient gedacht te worden aan bouwelementen die een (actieve) functie vervullen in het klimatiseren van gebouwen, zoals actieve gevels, betonkernactivering, PCM (phase change materials), dynamische isolatie en grondbuisventilatie. Een aantal van deze technieken is al eerder besproken. Door de toepassing van klimaatactieve bouwelementen kunnen integrale gebouwconcepten verder worden ontwikkeld en geoptimaliseerd. In aanvulling hierop wordt nog een aantal mogelijkheden genoemd.

Klimaatgevel voor de woningbouw

Een klimaatgevel bestaat uit isolatieglas aan de buitenzijde, tussenzonwering en een extra glasplaat aan de binnenzijde. De luchtspouw tussen de buiten- en binnenruit wordt geventileerd met lucht uit het vertrek en heeft een breedte van circa 100 mm. Wanneer een gedeelte van een pui op deze wijze wordt uitgevoerd, is er sprake van een klimaatraam. Klimaatgevels zijn een oplossing voor de koudestraling die aan de binnenzijde van grote, matig geïsoleerde glasoppervlakken voor lokaal discomfort kan zorgen. Door via de luchtspouw vertreklucht (circa 20-60 m³/h per meter breedte) af te zuigen, wordt er voor gezorgd dat het binnenste glasblad een temperatuur heeft die dicht bij de vertrektemperatuur ligt. Lokaal discomfort wordt hiermee voorkomen. Doordat de lucht in de spouw afkoelt, neemt het rendement van de centrale warmteterugwinning uit de ventilatielucht evenredig af.

Klimaatgevel in aanbouw

p.2/5

In de zomersituatie wordt zonnewarmte die op de zonwering valt in de spouw afgegeven en met de ventilatielucht weer afgevoerd. In de praktijk zijn ZTA-waarden van 0,1 – 0,2 (-) te realiseren. Een U-waarde van circa 1,0 W/m²K is haalbaar, afhankelijk van de U-waarde van het isolatieglas.
Klimaatgevels worden regelmatig voor U-bouw toegepast. Het principe kan ook voor woningbouw worden gebruikt.

Tweedehuidgevel

Een tweedehuidgevel is een actieve gevel die is opgebouwd uit twee glasvlakken, met daartussen een spouw, waarin vaak zonwering verwerkt is. Het glasvlak aan de buitenzijde van het gebouw is een enkele glasplaat, terwijl het glasvlak aan de binnenzijde uit dubbelglas bestaat. Een tweedehuidgevel zorgt voor een lagere koellast in de zomer en hogere isolatiewaarden in de winter. Ook zorgt deze gevel voor extra geluidsisolatie en maakt het natuurlijke ventilatie ook bij een hogere windbelasting mogelijk. Ventilatie van de spouw vindt plaats met buitenlucht. In de zomer wordt op deze wijze de zonnewarmte buiten gehouden. In de winter kunnen de ventilatieopeningen veelal worden afgesloten, waardoor de isolatie-waarde van de gevel verhoogd wordt. Met gesloten zonwering is een ZTA-waarde van 0,1 – 0,2 te realiseren. De U-waarde is variabel door de mogelijkheid om de spouw in de winter af te sluiten. Wanneer HR^{++} glas wordt gebruikt, is de U-waarde van de gevel te variëren van circa 1,3 W/m²K bij geventileerde spouw tot circa 1,0 W/m²K bij een gesloten spouw. In geval van een tweede huidgevel wordt de spouw soms zo groot genomen, dat deze toegankelijk is, onder andere voor onderhoud.
In een actieve tweedehuidgevel is ook de klimaatinstallatie van het gebouw opgenomen, waarmee het gehele binnenklimaat van de achterliggende ruimte wordt verzorgd. Het ontwerp van de gevel (zoals glaskeuze, zonwering, lichtwering, ventilatie van de spouw en een luchtbehandelingsinstallatie) is zodanig, dat het binnenklimaat actief kan worden beïnvloed.

Passieve zonnesystemen

Passieve zonnesystemen zijn geen energieleverende systemen voor de energie die nodig is om een woning of gebouw te verwarmen. Het zijn in principe energiebesparende voorzieningen, die bijdragen aan de vraagbeperking, de eerste stap in de trias energetica. Vooral in de jaren zeventig en tachtig van de vorige eeuw is veel geëxperimenteerd met passieve zonne-energie. Met name in Frankrijk, Oostenrijk en Duitsland zijn de meeste toepassingen te vinden. Tegenwoordig is vooral Duitsland erg vooruitstrevend met passieve systemen. In Nederland wordt de laatste jaren ook wel meer gebruikgemaakt van passieve systemen, maar vergeleken met Duitsland zijn deze technieken nog niet zo ver ontwikkeld.

Bij elk passief systeem dat gebruikmaakt van zonne-energie zijn altijd drie componenten nodig:
- collector
- opslag
- transport

Principes hierbij zijn:
- optimalisering van de oriëntatie
- effectief gebruik van thermische massa
- stroming, straling en geleiding

p.3/5

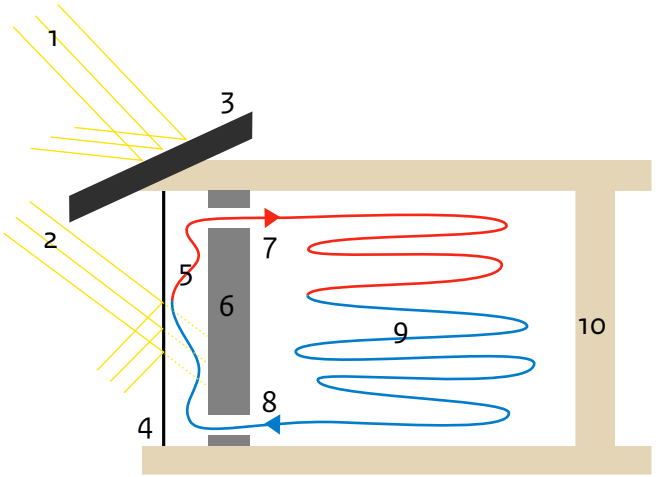
Er zijn hierin in principe vijf soorten systemen te onderscheiden:
- indirecte systemen
- directe systemen
- semidirecte systemen
- geïsoleerde systemen
- hybride systemen

Directe systemen laten zonlicht direct toe in de woning door ramen en andere glazen vlakken. De zon verwarmt de massa van vloeren en wanden en geeft de warmte later weer af door middel van straling.
Bij indirecte systemen wordt de zonnewarmte eerst opgevangen in een collector-(ruimte). Die geeft de warmte af aan de massa van de wanden en vervolgens weer door middel van straling af aan de ruimte.
Semidirecte systemen werken ook met glazen openingen, maar nu zijn het twee glazen lagen waartussen de lucht opgewarmd wordt, alvorens deze naar de ruimte getransporteerd wordt. Net zoals bij directe systemen verwarmt de zon de massa van vloeren en wanden en wordt de thermische massa gebruikt om de ruimte te verwarmen.
Geïsoleerde systemen hebben een collector die thermisch losstaat van de rest van de woning. De lucht die in de collector wordt opgewarmd, wordt door stroming naar de rest van het huis getransporteerd waardoor het huis opgewarmd wordt.
Hybride systemen maken gebruik van passieve zonne-energie, maar kunnen niet helemaal los van mechanische systemen functioneren.
Een voorbeeld van geïsoleerde systemen zijn de Trombewand en de zonnespouw.

Trombewand, zonnespouw

De Trombewand bestaat van binnen naar buiten uit een massieve wand, een spouw en een buitenblad, meestal glas. Het is in feite een passief zonne-energie-systeem, bedoeld om de warmtewinsten door zoninstraling beter te benutten en gelijkmatiger over de dag te verdelen. De Trombewand heeft hiervoor controleerbare openingen op hogere en lagere niveaus om de opstijgende warmte door het huis te laten circuleren. Met de Trombewand kan het huis dus ook gedurende de dag opgewarmd worden door middel van stroming. De openingen hebben kleppen die één kant op gaan, zodat de warmte overdag in het huis kan stromen, maar 's nachts niet meer terug kan. Dit systeem is dus in feite een geïsoleerde, passieve thermische collector. In de zomer zijn de kleppen gesloten, zodat er geen warme lucht de woning in kan stromen. Voordelen van dit systeem zijn dat een groot deel van de zonnestraling wordt geabsorbeerd en opgeslagen en dat de binnentemperatuur constanter is gedurende de dag. Een Trombewand kan uitstekend gecombineerd worden met andere passieve systemen.
Aandachtspunten zijn het ruimtebeslag (vooral in woningen), de tijdsinterval van thermische massa, voordat de warmte afgegeven wordt en het verminderen van de warmteverliezen gedurende de nacht.

p.4/5



1 zomer zonlicht
2 winterzonlicht
3 dak
4 glas
5 kamer waar de lucht opwarmt
6 wand
7 inlaat warme lucht naar de kamer
8 uitlaat gekoelde lucht uit de kamer
9 kamer
10 Wand

Principe schema Trombe-wand

Er bestaat een aantal varianten op dit principe, onder andere een collector die geïsoleerd is van de rest van de woning waarbij de lucht wordt opgewarmd door zonnewarmte (Het Barra-Constantini-systeem). De opgewarmde lucht wordt via kanalen door het gebouw gecirculeerd door natuurlijke convectie. De lucht verwarmt de massa van vloeren, wanden en plafonds. Net zoals ieder thermosyphonsysteem (zoals de Trombewand) wordt de lucht rondgecirculeerd in een thermosyphonische kringloop. De lucht wordt verwarmd in de collector, wordt lichter en stijgt op en trekt tegelijkertijd koude lucht van onderen aan, de warme lucht wordt geabsorbeerd door de massa waardoor deze zijn warmte kwijtraakt en weer naar beneden zakt. Vanaf hier herhaalt de kringloop zich weer op dezelfde manier zolang de collector de lucht voldoende kan verwarmen. De energieoverdracht is een natuurlijk, niet-mechanisch systeem dat gebaseerd is op de regels van stroming en straling. Het systeem kent vele toepassingen en vele variaties. De collector kan in de gevel zijn opgenomen of op het dak. De plek waar de kanalen liggen, bepaalt welke ruimtes verwarmd kunnen worden. Hoewel het systeem gebaseerd is op een natuurlijk proces, wordt het vaak gecombineerd toegepast met mechanische voorzieningen (een voorbeeld hiervan zijn de zonne-spouwwoningen van Jon Kristinsson). Voordelen zijn dat dergelijke stromingskringlopen een goedkope manier zijn om passieve zonne-energie te gebruiken waarbij de warmteverliezen klein zijn, omdat de collector geïsoleerd is van de woning.

Aandachtspunt is dat het een kwetsbaar systeem is dat goed ontworpen moet worden om het goed te laten functioneren. Als de collector boven het absorptievlak is geplaatst is er bovendien een pomp nodig om de lucht naar beneden te verplaatsen. Daarnaast is het moeilijker om warmte uit lucht op te slaan, dan warmte van directe zonnestraling.

Active Building Albedo Management (ABAM)

Door de albedo, het weerkaatsingsvermogen, van een gebouw actief te sturen, kan de warmte- en koelvraag worden beïnvloed. De albedo van een gebouw wordt grotendeels bepaald door de kleur van een gebouw. Active Building Albedo Management (ABAM) is een nieuw idee, dat het mogelijk maakt actief de albedo van (delen van) gebouwen te sturen. Daardoor kan een gebouw tijdens een koele periode overdag veel stralingsenergie opnemen (lage albedo, donkere kleur) en 's nachts het warmteverlies verminderen door een kleur te kiezen met

P.5/5

een lagere warmtestralingsemissie. In een hete periode is het juist voordelig overdag een hoge albedo te gebruiken om de opwarming te beperken, een kleinere koelvraag is het resultaat. Doordat de totale energiebehoefte op deze manier afneemt en de energievraag minder pieken kent, is het mogelijk verwarmings- en koelinstallaties te verkleinen. Tot op heden is er nog geen praktijktoepassing van ABAM bekend.

Onderzoek en kennis

Belangrijk onderzoek op het gebied van klimaatactieve bouwelementen heeft plaatsgevonden in IEA EBC Annex 44 'Integrating Environmentally Responsive Elements in Buildings'.
Op het gebied van superisolerende materialen heeft een eerste brede en fundamentele studie plaatsgevonden in IEA EBC Annex 39 'High Performance Thermal Insulation Systems (HiPTI)'

Literatuur

EPA (2009). *Reducing Urban Heat Islands: Compendium of Strategies – Cool roofs.* Available on line at: http://www.epa.gov/heatisld/resources/pdf/CoolRoofsCompendium.pdf
Aschehoug, Øyvind and Perino, Marco (2009). *IEA EBC Annex: Expert Guide. Part 2 Responsive Building Elements.* Aalborg University, Denmark, ISBN 978-88-8202-072-9.
Duffie J.A., Beckman, W.A. (2006) *Solar Engineering of Thermal Processes.* 3rd edition. Hoboken: John Wiley & Sons, Inc.. ISBN-13 978-0-471-69867-8, ch. 12 and 14.
Gartland, L. (2008). *Heat Islands: Understanding and Mitigating Heat in Urban Areas.* Earthscan publications. ISBN: 1844072509, pp. 57 –83, June 2008.
Heiselberg, Per (2009). *IEA EBC Annex 44: Expert Guide. Part 1 Responsive Building Concepts.* Aalborg University, Denmark.
Kolokotroni, M. and Warren, P. (ed.) (2011). *Technical guidelines handbook.* Brunel University, February 2011. Available on line at: http://www.coolroofs-eu.eu/.
Kolokotsa, D. (ed.) (2014). *Advances in the Development of Cool Materials for the Built Environment.* e-book (to be published).
LBNL heat island group: http://heatisland.lbl.gov/
Mehling, H., Cabeza, L.F. (2008). *Heat and cold storage with PCM - An up to date introduction into basics and applications.* Berlin Heidelberg: Springer Verlag. ISBN 978-3-540-68556-2, ch. 1, 2 and 9.
Mumovic, Dejan and Santamouris, Mat (ed.) (2013). *A Handbook of Sustainable Building Design and Engineering: An Integrated Approach to Energy, Health and Operational Performance.* chapter 21.
Roulet, Claude-Alain (2004). *Santé et qualité de l'environnement intérieur dans les bâtiment.*
Santamouris, M., Asimakopoulos, D. (1996). *Passive cooling of buildings.* James and James Ltd. ISBN 1873936478.
Synnefa, A., Santamouris, M. and Akbari, H. (2007). Estimating the effect of using cool coatings on energy loads and thermal comfort in residential buildings in various climatic conditions. *Energy and Buildings, 39 (11).* pp. 1167-1174.
Zinzi, M., Citerio, M. (2009). *Experience on Passive Cooling Techniques for Buildings.* ASIEPI P193, European Comunities.

Lesmateriaal IDES-EDU (www.ides-edu.eu)

EP Heating and Cooling, lectures 2 and 3 Passive Heating and Cooling

Energieneutraal berekend en gemeten

Algemeen

Er is nog steeds één belangrijk aandachtspunt voor energieneutrale woningconcepten, namelijk het gebrek aan gedetailleerde kennis om het werkelijke energiegebruik en de reële energieprestaties in de praktijk te kunnen begrijpen. Wil een woning ook daadwerkelijk energieneutraal zijn, dan moet er een goed inzicht zijn in de relatie tussen alle factoren die het energiegebruik kunnen beïnvloeden en daarmee in de wijze waarop men hierin zo efficiënt en optimaal mogelijk kan ingrijpen. Dit aandachtspunt komt expliciet naar voren wanneer het werkelijke energiegebruik, verkregen door monitoring, registraties of metingen, wordt vergeleken met het normatief berekende of gesimuleerde energiegebruik. De afwijkingen tussen berekend en gemeten energiegebruik, alsmede de spreidingen, nemen toe naarmate de gebouwen energie-efficiënter worden.

In het algemeen zijn de gebruikte berekeningsmethodes (EPG) en simulatiemodellen (bijvoorbeeld TRNSYS, EPS-r) in staat om gebouwprestaties te berekenen en ontwerpalternatieven te genereren op basis van gemiddelde waarden. Daarmee voldoen ze op zich aan de energieprestatienormeringen onder gemiddelde klimatologische omstandigheden, gebouw- en installatieparameters (vaak gebaseerd op 'excellente' labwaarden) en gestandaardiseerd gebruikersgedrag. Een beperking van de huidige modellen is dat deze niet in staat, of geschikt zijn om de complexiteit van het totale energiegebruik in de praktijk te bevatten, noch de energieprestaties te meten in de tijd, bijvoorbeeld ten gevolge van disfunctioneren, (gebrek aan) onderhoud, achteruitgang van prestaties van de gebouwschil en installaties, verschillen in gebruikersgedrag en microklimatologische omstandigheden.

Energiegebruik van gebouwen wordt beïnvloed door de volgende zes factoren: (1) klimaat, (2) gebouwschil, (3) gebouwinstallaties, (4) beheer, operatie en onderhoud van gebouw en installaties, (5) bewonerskenmerken, bewonersgedrag en gebruiksgerelateerde activiteiten en (6) het uiteindelijk gerealiseerde binnenklimaat. De laatste drie factoren hebben betrekking op het menselijk gedrag en kunnen een invloed hebben die substantieel groter is dan de eerste drie factoren. In de EPG worden alleen de eerste drie factoren meegenomen en zijn alle gedragscomponenten gestandaardiseerd en genormaliseerd. Dit betekent dat voor het begrijpen en kunnen beheersen van de uiteindelijke werkelijke prestaties alle zes bepalende factoren in hun samenhang meegenomen en verder onderzocht dienen te worden.

De huidige stand van de techniek laat zien dat er significante verschillen zijn in werkelijke prestaties in praktijk en in tijd, waarbij correlaties tussen invloedfactoren en achteruitgang van prestaties niet in beschouwing worden genomen. Er is nauwelijks begrip van gebruikersgedrag, prestaties van een gebouw en installaties in de praktijk en in de tijd en er zijn geen real time meteo data. Dit leidt tot het feit dat er geen sluitende verklaringen zijn voor extreem grote verschillen in energiegebruik, vooral in energieneutrale woningen (bijvoorbeeld Kotmanpark Enschede, Passiefhuizen Almere).

Met name inzicht in bewonersgerelateerde aspecten, zoals werkelijke ventilatie en metabolisme, worden buiten beschouwing gelaten en niet gemeten. Voor een aantal (nieuwe) installatiecomponenten zijn vaak 'online' prestatie- en gebruiksgegevens verkrijgbaar, maar voor bouwkundige componenten doorgaans niet. In het algemeen is tot nu toe data sampling en databeoordeling tijdrovend en duur.

Energieneutraal berekend en gemeten

Een ander probleem bij het ontwerpen en berekenen van energieneutrale concepten is dat er vaak wordt uitgegaan van de meest excellente gegevens en er tevens geen rekening wordt gehouden met de degradatie van prestaties in de tijd of het achterblijven van prestaties in de praktijk in bepaalde bouw- en installatieconfiguraties. Dit speelt met name bij:

- ventilatiesystemen, bijvoorbeeld bij de gehanteerde rendementen voor warmteterugwinning, en bij EPC-verbeteringen bij geavanceerde natuurlijke ventilatieconcepten
- warmtepompconcepten, bij afwijkingen in COP-waarden in de praktijk, vaak ten gevolge van een verkeerde inpassing, dimensionering, of gebrek aan commissioning.

Daarentegen bieden de ontwikkelingen op het gebied van smart metering, draadloze sensoren en gebouwbeheerssystemen aanknopingspunten om dit vraagstuk op te lossen. Vooral de koppeling van smartmeteringsystemen met nieuwe voorspellende energiegebruiksmethoden op basis van een individuele benadering per huishouden (EOS LT INTEWON, IEA EBC Annex 53) zijn veel belovend.

In TKI EnerGO wordt hier binnen de programmalijn 'Regeling energieprestatie en control' volop aandacht aan geschonken. In 2014 is het TKI-project TRECO 'Towards Real Energy performance and COntrol by predicting, monitoring, comparing and controlling' gestart. TRECO richt zich op het ontwikkelen en leveren van monitoring-, regeling- en feedbackvoorzieningen voor woningen om daarmee optimaal in te kunnen spelen op fysieke omstandigheden en individuele bewonerskenmerken en -gedrag. Daarvoor is het nodig om de achtergronden van het 'werkelijke energiegebruik' fundamenteel te begrijpen en daardoor te kunnen voorspellen en te kunnen controleren. Zo kunnen de voor NZE benodigde energiebesparingscomponenten optimaal worden geregeld en aangestuurd. Ook in Horizon2020 wordt aandacht aan dit onderwerp geschonken (EeB7 New tools and methodologies to reduce the gap between predicted and actual energy performances).

Onderzoek en kennis

Het EOS LT-onderzoek INTEWON 'Individu Gerichte Informatie Technologie voor Energiezuinig Wonen' omvat het opstellen van sociale randvoorwaarden en oplossingsrichtingen voor sociale innovatie voor bewonersgedrag en informatie-verstrekking. Het gaat om een fundamentele bepaling van de invloed van de bewonersgedragscomponent op het totale energiegebruik, modellering en richtingen voor nieuwe rekenmodellen. INTEWON vormde de Nederlandse inbreng in IEA EBC Annex 53 'Total Energy Use in Buildings'. Beide onderzoeken hebben geleid tot een rekenmodel en een applicatie zowel voor consumenten als voor professionals met als propositie het geven van realistische antwoorden op het gebied van energie.

Literatuur

Aa, A. van der, Polinder, H., Op 't Veld, P. (2013). *Driving forces of energy-related behaviour in residential buildings*. Prague: Clima.
Blümel, E., Inschlag, F., et al. (2011). *Build2Zero project results*. Pinkafeld: Fachhochschul-studiengänge Burgenland Ges.m.b.H.
Klein, S.A. et al. (2006). *Transient System Simulation Program*, V.16. Solar Energy Laboratory, University of Wisconsin-Madison.

Mahdavi, A., Pröglhöf, C. (2009). *User behavior and energy performance in buildings, 6. Internationale Energiewirtschaftstagung*. Vienna: Vienna University of Technology.
Pfafferott, J., Herkel, S., Knapp, U. (2004). *Hybrid ventilation and user behaviour in summer*. Freiburg: Fraunhofer Institute for Solar Energy Systems ISE.
Rigo (2012). *Energiegedrag in de woning*, Publicatie Ministerie van VROM.
Roth, K., Engelmann, P. (2010). *Impact of user behavior on energy consumption in high-performance buildings – Results from two case studies*. Denver: Fraunhofer USA.

Lesmateriaal IDES-EDU (www.ides-edu.eu)
EP Indoor Environment Lecture 7 User's behaviour and interaction

Conclusies en aanbevelingen voor verdere ontwikkelingen

Algemeen

Een eerste constatering is dat alle toegepaste technieken en componenten voor energieneutrale woningen op zich bekend zijn en ook verkrijgbaar zijn. Binnen de definitie van energieneutraal bouwen, waarbij EPC = 0 is, zijn met deze gangbare technieken allerlei concepten te bedenken. In veel gevallen is er een verdere verbeterslag mogelijk op het gebied van efficiëntie, kostprijs en inpasbaarheid. Dit geldt voor nieuwe woningen, maar vooral ook voor te renoveren woningen. In de meeste concepten wordt een energieneutraliteit bereikt door het simpelweg toevoegen en kloppend maken met vierkante meters PV.

Veelbelovende en belangrijke technieken, zoals compacte opslag, worden nog niet toegepast en kunnen zorgen voor een betere efficiëntie en optimale inzet van duurzaam opgewekte warmte of teruggewonnen warmte. Hierbij is een samenwerking van belang tussen de programmalijnen Duurzame compacte opslag en Regeling energieprestatie en control.

Een andere constatering is dat in geen van de tot nu toe gerealiseerde energieneutrale woningen actief gebruik is gemaakt van de kwaliteit van de energiedragers en energiestromen (exergie). Wel zijn in veel gevallen maatregelen genomen die het gebruik van exergietoepassingen mogelijk maken, zoals lagetemperatuurafgiftesystemen, warmteterugwinning uit ventilatielucht en douchewater en hotfill-aansluitingen. Vanuit het EOS LT-programma zijn er twee fundamentele onderzoeken uitgevoerd die een verkenning geven op gebouwniveau (LOWEX-project) en op gebiedsniveau (SREX).

Internationaal besteedt ook IEA EBC veel aandacht aan exergietoepassingen in de gebouwde omgeving met name in de (afgeronde) projecten IEA EBC Annex 37 Low Exergy Systems for Heating and Cooling en IEA EBC Annex 49 Low Exergy Systems for High Performance Buildings and Communities en de nu lopende IEA EBC Annex 64 Optimised Performance of Energy Supply Systems with Exergy Principles.
Een nadere toelichting op exergieprincipes voor energieneutrale woningen wordt gegeven in bijlage I.

Informatie:
www.lowex.net
www.annex49.info

Daarnaast zou verder een aantal innovaties, onder andere volgend uit recente EOS-onderzoeken, de diversiteit van de toe te passen technieken kunnen vergroten.

TKI EnerGO-programmalijnen

Per programmalijn worden specifieke conclusies en aanbevelingen gegeven.

Duurzame compacte conversie

De programmalijn Duurzame compacte conversietechnologie is van groot belang voor een grootschalige energietransitie in de bestaande bouw. Hier is inpasbaarheid een belangrijk criterium en vaak ook een beperking voor het toepassen van een aantal conversietechnieken. Daarvoor is vooral de miniaturisatie van installaties en integratie in bouwcomponenten van belang.

Conclusies en aanbevelingen voor verdere ontwikkelingen

Op het gebied van productontwikkeling is onderzoek gewenst naar totaal nieuwe principes, zoals de magnetocalorische warmtepomp en compacte warmtepompen op basis van Peltier-elementen. Met name deze ontwikkelingen kunnen een concrete rol spelen bij de miniaturisatie van installaties.
Voor inpassing in de bestaande bouw moet vooral worden gekeken naar warmtepompen met nieuwe technische principes, zoals de flash-injectie, de torsion-compressor (vrijezuigertechnologie) en de invertertechnologie. Met deze technologieën kan de buitenlucht voor lagetemperatuurwarmtenetten als bron worden gebruikt.

Van belang is ook de relatie met de programmalijn Multifunctionele bouwdelen, bijvoorbeeld integrale prefabgevel- en -dakelementen, 'renovatiemotor'-elementen (prefabplatforms met plug&play-installatiecomponenten, zie ook Interreg GCS-project MODLAR). Aandachtspunten voor inpassing, met name in bestaande bouw, zijn onder andere flexibiliteit en inpasbaarheid, geluid en kostprijs.

Duurzame compacte opslag

Hoewel opslag een van de meest cruciale onderdelen is voor energieneutrale woningen, heeft hier nog steeds geen doorbraak plaatsgevonden op het gebied van praktische toepassingen en rationele inpassing in woningen. Met name interessant voor nieuwbouw zijn praktische oplossingen voor compacte thermochemische opslag op seizoenbasis voor zonne-energie. Voor bestaande bouw is vooral de inpassing in bestaande woningen van belang. Punt van onderzoek hierbij is de optimalisering van de materialen (stabiliteit). Hiervoor is het noodzakelijk dat de Nederlandse chemische industrie en relevante faculteiten van de kennisinstituten hierin participeren.

Ook hier is de relatie met programmalijn Multifunctionele bouwdelen van belang, bijvoorbeeld het toepassen van latente warmteopslag (zoals PCM's) in bouwkundige elementen.

Dit onderwerp sluit internationaal aan op:
Horizon 2020, prioriteit EeB 06-2015 Integrated solutions of thermal energy storage for building applications en prioriteit LCE 08-2014 Local / small-scale storage

Regeling energieprestatie en control

Voor de programmalijn Regeling energieprestatie en control is met name het onderwerp werkelijke energieprestaties en het verschil tussen (normatief) berekend energiegebruik en werkelijk energiegebruik van groot belang. Voor de draagkracht en geloofwaardigheid van energieneutrale woningen en gebouwen zal het werkelijke energiegebruik, in het bijzonder de werkelijke energieprestaties van het totale concept (bouwcomponenten en installaties), inzichtelijk gemaakt moeten worden en worden gegarandeerd naar de eindgebruiker, bijvoorbeeld in energielastenproposities. Het vormt tevens een essentieel instrument voor een grootschalige aanpak van de bestaande woningvoorraad.

Een ander speerpunt is de relatie met de programmalijn Multifunctionele bouwdelen, dat wil zeggen, de communicatie tussen de verschillende componenten die worden toegepast en ook in dit geval weer het volgen van de werkelijke prestaties.

Conclusies en aanbevelingen voor verdere ontwikkelingen

De te leveren producten zullen ook aandacht moeten besteden aan diagnostiek voor onderhoud, zowel momentaan als preventief.

Dit onderwerp sluit internationaal aan op:
Horizon 2020, prioriteit EeB 07-2015 New tools and methodologies to reduce the gap between predicted and actual energy performances at the level of buildings and blocks of buildings
IEA EBC Annex 66: Definition and Simulation of Occupant Behavior in Buildings

Multifunctionele bouwdelen

Multifunctionele bouwdelen is de programmalijn waar alle andere programmalijnen in samenkomen. Deze programmalijn is van groot belang voor een energietransitie van de bestaande bouw naar energieneutraal bouwen. Het ontwikkelen van geprefabriceerde, modulaire renovatieconcepten, aangeboden in een one-stop-shopconcept, is hierbij een speerpunt.

Behalve de in de huidige innovatieagenda genoemde integratie van alle schilfuncties, zoals bouwfysische eigenschappen, daglicht, beschaduwing, ventilatie, klimatisering, energieproductie en dergelijke, zijn ook aspecten als slimme koppelingen en connectoren van belang. Dit betreft zowel mechanische/constructieve koppelingen als hydraulische, luchttechnische en elektrische koppelingen. Bij de mechanische koppelingen spelen vooral ook oplossingen om op een slimme manier luchtdichte aansluitingen te maken een rol. Aandachtspunten hierbij zijn niet alleen de aansluitingen van modulaire componenten onderling en op de draagconstructie, maar ook de dichtingen ter plaatse van woningscheidende constructies (de luchtdichtheid – en de totale kwaliteitsbewaking van de modulaire prefabelementen – wordt fabrieksmatig opgelost).

Aandacht moet ook besteed worden aan de relatie met de programmalijn Regeling energieprestatie en control. Die spitst zich toe op twee aspecten:

- slimme monitoring van de (energie)prestaties van de bouw- en installatiecomponenten van de multifunctionele bouwdelen
- de 'communicatie' tussen de verschillende multifunctionele bouwdelen, in het bijzonder de modulaire renovatiecomponenten

Dit onderwerp sluit internationaal aan op:
Horizon 2020, prioriteit EeB02-2014 Adaptable envelopes integrated in building refurbishment projects Horizon 2020, prioriteit EE01-2014 Manufacturing prefabricated modules for renovation of buildings

Distributie en opslag op gebiedsniveau

Deze brochure gaat specifiek in op technieken op gebouwniveau en heeft geen directe relatie met de programmalijn Distributie en opslag op gebiedsniveau. Wat echter een belangrijk aandachtspunt is, is de relatie met de programmalijnen Duurzame compacte conversie en Duurzame compacte opslag.

Voor duurzame compacte conversie betreft dit de lagetemperatuurnetten met (zeer) laagwaardige warmte (lage-exergienetten) in combinatie met compacte warmtepompen op woningniveau. De te verwachten innovaties zijn nieuwe mogelijkheden, toepassingen en uitbreidingen van hydraulische en thermische capaciteit van lage-exergienetwerken door clustervorming van de vraag (gebruikers), aanpassing van pompen, drukverhogingssystemen, bidirectionele leidingen voor extra aan- en afvoer van warmte en koude, hergebruik van warmte op gebouwniveau, daarna op clusterniveau en tot slot op systeemniveau.

Conclusies en aanbevelingen voor verdere ontwikkelingen

Doordat dit een volledig geautomatiseerde en vraaggestuurde, dubbelwerkende levering vraagt van warmte en koude naar gebouwen, is er ook een relatie met de programmalijn Regeling energieprestatie en control, maar dan op gebiedsniveau.

Deze programmalijn is ook bijzonder relevant in verband met de constatering dat de bijdrage van hernieuwbare warmte een relatieve snelle stijging laat zien (tot 2015) in de totale toename van hernieuwbare energie in Nederland (zie ook inleiding).

Dit onderwerp sluit internationaal aan op:
Horizon 2020, prioriteit EE13 – 2014/2015: Technology for district heating and cooling.
IEA EBC Annex 64: Optimised Performance of Energy Supply Systems with Exergy Principles

Bijlage: Het concept Exergiewoning

De filosofie achter het concept Exergiewoning berust op de gedachte dat de uiteindelijke energie- en CO_2emissie reductie wordt bepaald door zowel de energie-efficiëntie van de gebouwde omgeving als door de kwaliteit van de energiedrager in relatie tot de gevraagde energiekwaliteit. Het in beschouwing nemen van de kwaliteiten van gevraagde en geleverde energie leidt tot een conceptuitwerking gebaseerd op de zogenaamde exergiebenadering.
Exergie is de maximale hoeveelheid arbeid die, in het theoretisch ideale geval, uit een energiestroom gewonnen kan worden door het medium in evenwicht te brengen met de omgevingstemperatuur, c.q. de energie die geheel om te zetten in andere types energie. Hoogwaardige energie zoals elektriciteit of gas bestaat uit 100% exergie en is om te zetten naar arbeid of laagwaardigere vormen van energie.

Laagwaardige energie, bijvoorbeeld een medium zoals water met een temperatuur dicht tegen de ruimtetemperatuur aan, heeft veel beperktere mogelijkheden voor omzetting naar andere vormen van energie maar is bijvoorbeeld wel geschikt voor verwarmen of koelen van een ruimte . De centrale gedachte achter de exergie-benadering is om de kwaliteit van de gevraagde energie zoveel mogelijk aan te laten sluiten bij de kwaliteit van de aangeboden energie.
Een centrale randvoorwaarde voor dit exergieconcept is de toepassing van laag exergie afgiftesystemen, zoals lage temperatuurverwarming en hoge temperatuur-koeling. Laag exergie afgiftesystemen maken het mogelijk om in principe alle duurzame laagwaardige energiebronnen voor verwarmen en koelen van een ruimte toe te passen. Het is van belang om die apparaten die in een traditionele situatie hoogwaardige energie (elektriciteit) vragen, zoals alle 'stekkerapparatuur', zoveel mogelijk te verschuiven van huishoudelijk gebonden naar gebouw gebonden, zoals hotfill toepassingen voor wassen, drogen, en vaat wassen.

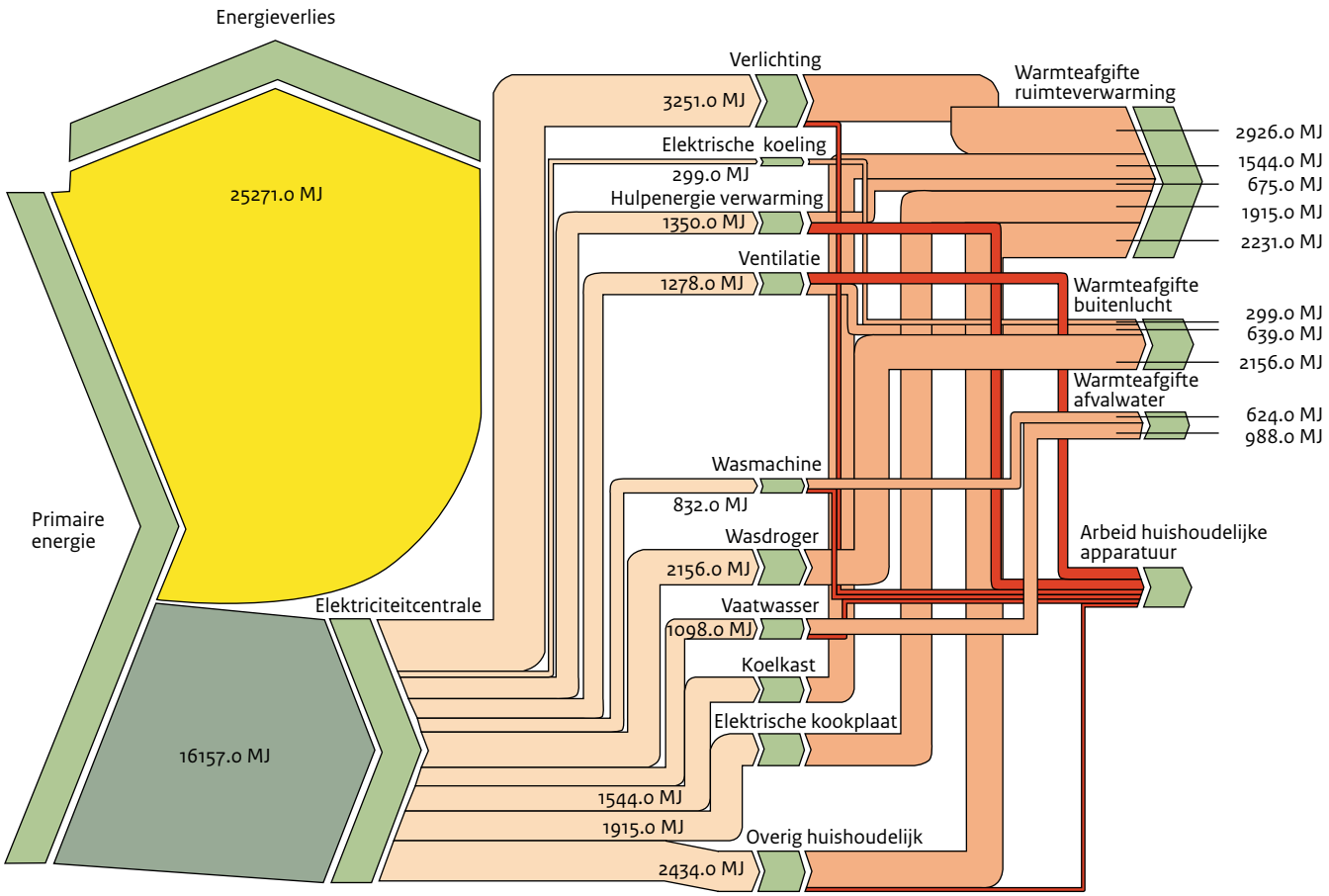
Contouren voor het besparingspotentieel van een exergiebenadering

De potentiële primaire energiebesparing van een exergiebenadering is er op gebaseerd dat alle energiestromen binnen de woning zoveel mogelijk worden benut. Nabewerking van temperatuurniveaus kan gebeuren door middel van een (of meerdere) warmtepompen.
In principe zijn in een geoptimaliseerde situatie volgens het exergieprincipe (en met behulp van een multipurpose warmtepomp) de volgende globale potentiëlen beschikbaar:

- Terugwinning warmte uit afvalwater: ca. 27 GJ, waarvan ca. 20 GJ_{th} tapwater-verwarming met verwarmingsketel en ca. 7 GJ_{el} t.b.v. wasmachine en vaatwasser (elektrisch);
- Warmteterugwinning uit ventilatielucht: ca. 26,5 GJ_{th};
- Koude t.b.v. koelkast (als restproduct WP): ca. 429 kWh_{el} per jaar is ca. 1 ,5 GJ_{el};
- Overige: ca. 3 GJ_{el}.

Behalve thermische energie wordt in het exergieconcept ook elektrische energie meegenomen, omdat hier een grote besparing te behalen valt. Het onderstaande sankeydiagram geeft aan in welke vorm de elektriciteit wordt omgezet in een woning. Vanuit het exergieprincipe blijkt maar een zeer klein deel nuttig gebruikt te worden (arbeid). Het grootste gedeelte wordt omgezet in warmte (laagwaardige exergie). Een groot gedeelte van deze warmte kan nuttig worden aangewend, al dan niet als bron voor een warmtepomp.

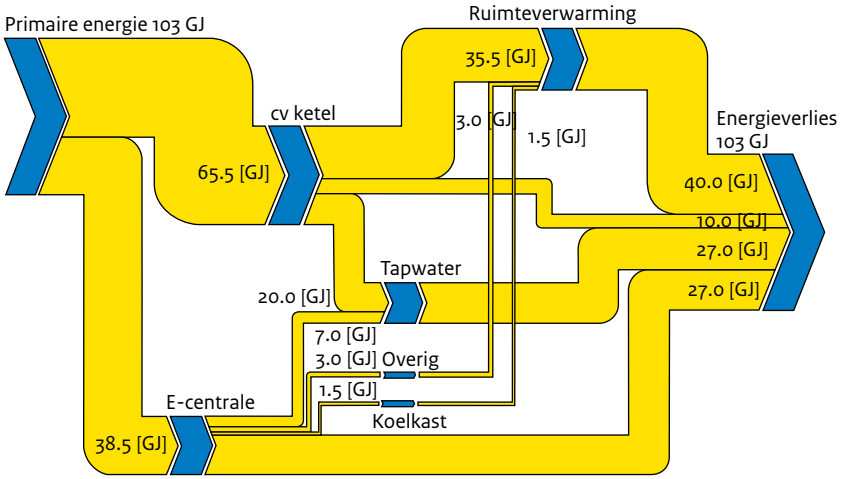
Bijlage: Het concept Exergiewoning



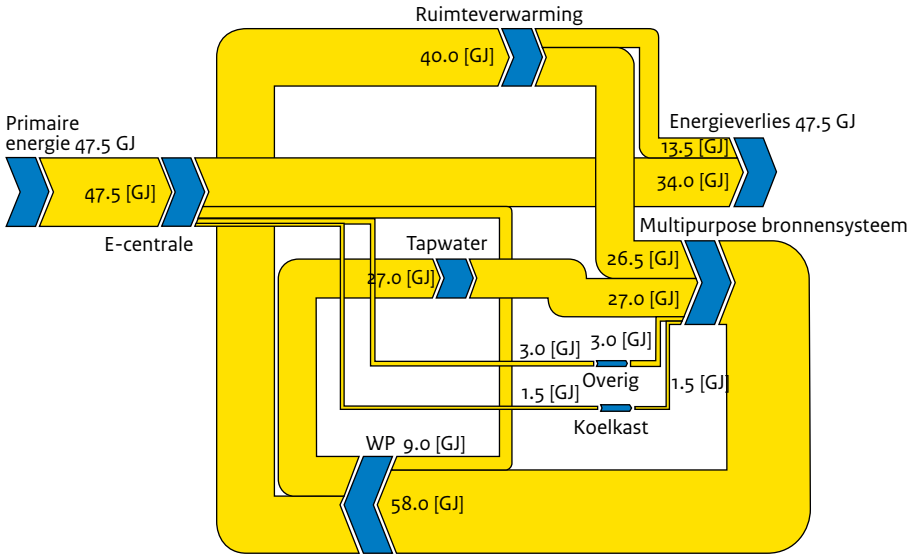
Bijlage: Het concept Exergiewoning

In de volgende Sankey diagrammen zijn de energiestromen van zowel de referentiesituatie als de geoptimaliseerde situatie weergegeven. Een Sankey-diagram is een stroomdiagram waarbij de breedte van de pijlen de grootte van de stromen weergeven. Bij deze Sankey-diagrammen worden de energiestromen weergegeven. De dikte van de pijlen geeft de hoeveelheid energie aan die voor bepaalde doeleinden wordt ingezet. Door deze grafische weergave is eenvoudig te zien waar de energie blijft en waar de grootste potenties voor energie-besparingen gezocht kunnen worden. De besparing, die dit oplevert, is uitsluitend het gevolg van de exergie-benadering om aan te tonen wat hiervan het zuivere potentieel is.

Referentiesituatie



Geoptimaliseerd volgens Exergiebenadering



Bijlage: Het concept Exergiewoning

In combinatie met een optimalisering van de gebouwschil en externe gebouwgebonden energielevering d.m.v. zon thermisch en zon PV kan tot een energieneutrale woning worden gekomen.

Management Energiestromen

Essentieel is ook het 'management' van de energiestromen, dat wil zeggen wanneer en waarvoor worden de energiestromen gebruikt. Hierbij is de basisvolgorde:

- directe toepassing (zonder interventie van warmtepompen of andere nabewerking);
- toepassing op termijn door buffering (korte termijn buffering, middellange termijn buffering);
- toepassing met nabewerking van de temperatuurniveaus, bijvoorbeeld d.m.v. warmtepompen.

Bijlage: Het concept Exergiewoning

Hieronder wordt een overzicht gegeven van basismaatregelen voor een exergie-concept en extra maatregelen om dit concept nog verder te optimaliseren.

	Basismaatregel voor exergie concept	Extra maatregelen
Thermische isolatie - schil - beglazing	 U < 0,20 W/m²K U < 1,0 W/m²K	 U < 0,16 W/m²K U < 1,0 W/m²K
Afgiftesystemen	Vloer- en/of wandverwarming en koeling Aanvoer temperatuur verwarmen < 40°C	Vloer en wandverwarming en koeling Aanvoer temperatuur verwarmen < 35°C (zo laag mogelijk)
Gebruik energiestromen	Warmteterugwinning ventilatie Warmteterugwinning douchewater	Warmteterugwinning ventilatie: lucht-lucht alleen wanneer nuttig, overige periode via warmtepomp Warmteterugwinning uit alle afvalwater
Voorverwarming ventilatielucht	-	Grondcollector Luchtcollector, zonnespouw of trombewand
Buffering	Warmte, conventioneel (buffervat)	Warmte en koudeopslag Latente opslag (PCM) Compacte opslag (thermochemisch)
Zomercomfort	Zonwering Overstekken Bypass op warmteterugwinning	Zonwering door middel van klimaatactieve bouwelementen Geen bypass op wtw maar gebruik als bron voor warmtepomp
Huishoudelijk energiegebruik	Hotfill aansluiting wasmachine Hotfill aansluiting vaatwasser Centrale stofzuiginstallatie LED verlichting als basis Alle apparatuur A++	Naast hotfill ook coldfill voor koelen en vriezen (nog te ontwikkelen) Laagspanningsnet voor direct gebruik elektriciteit uit PV
Monitoring en control	Slimme meters op installaties en apparatuur	Slimme meters koppelen met voorspellend model om energiegebruiken te volgen en te verklaren; interactieve informatieverstrekking op individuele basis
Opwekking	Warmtepomp	Warmtepomp te combineren met verschillende bronnen en afgifte-mogelijkheden (multipurpose in combinatie met een energy organiser)

Colofon

Dit is een uitgave van Rijksdienst voor Ondernemend Nederland.

De Rijksdienst voor Ondernemend Nederland (RVO.nl) stimuleert ondernemers bij duurzaam, agrarisch, innovatief en internationaal ondernemen. Met subsidies, het vinden van zakenpartners, kennis en het voldoen aan wet- en regelgeving. RVO.nl werkt in opdracht van ministeries en de Europese Unie.

Postbus 8242
3503 RE Utrecht
www.rvo.nl
Contact RVO.nl 088 602 34 30

Publicatienummer: 2ENIN1401

Hoewel deze publicatie met de grootst mogelijke zorg is samengesteld, kan RVO.nl geen enkele aansprakelijkheid aanvaarden voor eventuele fouten.

Juni 2014