

## Prof. Ir. A.S. KEVERLING BUISMAN

### GRONDLEGGER VAN DE GRONDMECHANICA IN NEDERLAND

A. Verruijt, Delfts Goud, 2002; herzien 2008

#### **Inleiding**

Albert Sybrandus Keverling Buisman (zie Figuur 1) werd geboren op 2 november 1890, in Neder-Hardinxveld, en bezocht de HBS in Dordrecht. Het gezin verhuisde later naar Maassluis, waar zijn vader directeur van het postkantoor was. Hij ging Weg- en Waterbouwkunde studeren in Delft aan de Technische Hogeschool, een studie die hij



Figuur 1: Prof.ir. A.S. Keverling Buisman

gedeeltelijk bekostigde door bijlessen te geven. Hij reisde per trein vanuit Maassluis naar Delft heen en weer, en was een ijverig en goed student, want reeds op 7 juli 1912, op 21-jarige leeftijd, behaalde hij het diploma van civiel ingenieur. Van de groep van 33 jonge civiel ingenieurs die op die dag het diploma kregen was hij de beste, althans de enige die met lof afstudeerde. Na zijn afstuderen trad Keverling Buisman in dienst bij de

“Hollandsche Maatschappij tot het maken van werken in Gewapend Beton” (thans HBG, de Hollandse Beton Groep), en huwde de jonge vrouw die hij in de trein van Maassluis naar Delft had ontmoet, en op wie hij een eerste indruk maakte door zijn galante optreden. Samen vertrokken ze in 1914 voor de HBG naar het toenmalige Nederlandsch Indië. Hij was daar betrokken bij vele en diverse bouwactiviteiten in Tandjong Priok, maar bracht ook menig advies uit voor projecten in andere delen van de Archipel. Veel van zijn werk had toen al betrekking op funderingen en grond. Hij ontwikkelde bijvoorbeeld een (betonnen) kleefpaal, bedoeld om in kleiachtige gronden een groot draagvermogen te ontwikkelen, door een stervormige doorsnede, zodat de omtrek relatief groot was ten opzichte van het oppervlak. Bij het ontwerp van een fundering voor een loods in Tandjong Priok beseftte hij dat de zakkingen van de kolommen ongelijkmatig zouden zijn, wat heel nadelig voor de krachtswerking in de constructie zou zijn. Hij schreef daarom voor dat deze kolommen later nog opgevijseld zouden moeten kunnen worden, een techniek die ook heden ten dage nog veelvuldig wordt toegepast. Hij maakte ook berekeningen van de stabiliteit van een kademuur in Belawan, met behulp van de theorie van Coulomb, met een veilige waarde voor de wrijvingshoek van de grond, waarvoor hij een waarde nam iets kleiner dan de geobserveerde helling van het natuurlijk talud. Dat zou je tegenwoordig gewoon een goede grondmechanische berekening noemen, met de sterkte van de grond bepaald uit een proef, maar voor die tijd was het een originele combinatie van experimentele gegevens over de sterkte en een statische berekening.

In 1918 kwam het echtpaar Buisman naar Nederland terug, waar hij in 1919, op 29-jarige leeftijd, benoemd werd tot hoogleraar aan de Technische Hogeschool te Delft. Juist op dat moment ontstond er een grote behoefte aan verbetering van inzicht en kennis op het gebied van het gedrag van grond, door een tragisch spoorwegongeval nabij Weesp, op 13 september 1918 (Figuur 2). Keverling Buisman raakte betrokken bij het onderzoek naar de oorzaken van die ramp, en het was in dat kader dat hij zijn bijzondere gaven verder kon ontwikkelen. Voor Nederland is dat het begin van de grondmechanica als vakgebied.



Figuur 2: Het spoorwegongeluk bij Weesp, 1918.

### **Grondmechanica**

Tot in de jaren twintig van de vorige eeuw was van een vakgebied grondmechanica nog geen sprake, terwijl toch de basiselementen reeds lang bekend waren. Toepassingen van de mechanica op constructies van hout, beton en staal waren al behoorlijk ver ontwikkeld. De basis voor de toegepaste mechanica wordt gevormd door algemeen erkende principes als de wet van behoud van massa, de bewegingswetten van Newton, zoals die door Cauchy en anderen waren gegeneraliseerd voor continua, en de elasticiteitswet van Hooke, die stelt dat de vervormingen evenredig zijn met de spanningen, wat voor de klassieke bouwmaterialen ook een behoorlijk goede benadering is. Voor praktische toepassingen waren er voor veel constructies relatief eenvoudige technieken ontwikkeld: bijvoorbeeld voor vakwerken op basis van de aanname dat er alleen normaalkrachten worden overgedragen. Voor balken en voor raamwerken was op basis van de aanname dat vlakke normaaldoorsneden bij vervormingen vlak blijven de zogenaamde balktheorie ontwikkeld, die het mogelijk maakte om op grond van het evenwicht de inwendige spanningsverdeling in een balk te bepalen, als het buigend moment bekend was, en ook dat was in veel gevallen vooral een probleem van statica.

Voor de bepaling van de spanningen en vervormingen in continue elastische materialen, zoals grond, waren ook wel enige theoretische resultaten beschikbaar, vooral door het werk van Boussinesq, maar dat was van een wiskundig nogal complex karakter. En bovendien beseftte men al snel dat de aanname van een lineair verband tussen spanningen en vervormingen voor grond niet realistisch was. Weliswaar bestond voor het bezwijken van grondmassieven ook al een theorie, van Coulomb uit 1776, maar het was niet goed duidelijk wat de relatie daarvan met de elastische theorie was, en hoe je sterkte kon invoeren in statische berekeningen. Er was dan ook een behoorlijke verwarring onder civiel ingenieurs over de aanpak van problemen uit de mechanica van grond. Daarbij kwam nog dat grond in de meeste gevallen uit (tenminste) twee fasen bestaat: korrels of deeltjes die tezamen een poreus materiaal vormen, en een vloeistof, meestal water, in de poriën. Dat water kan nog door het poreuze materiaal stromen, ten gevolge van afwijkingen in de hydrostatische druk, volgens een experimentele wet die in 1854 door Darcy, de stadsingenieur van Dijon, was gevonden. Maar voor de verdeling van de spanningen in de grond over de twee fasen was nog geen aanpak beschikbaar.

### **Het begin van de Grondmechanica**

Er was in het begin van de twintigste eeuw niet alleen een grote behoefte aan theoretische beschouwingen, maar ook aan correlatie van theoretisch werk aan proeven op echte grond, in het laboratorium of in het terrein. Die behoefte ontstond door de veelheid aan problemen waarbij men gehinderd werd door een gebrek aan inzicht in het gedrag van funderingen en grondlichamen. Belangrijk theoretisch werk is in de eerste helft van de twintigste eeuw verricht door Karl Terzaghi, een in Praag geboren ingenieur, die aanvankelijk hoogleraar was in Wenen, maar die in 1938 naar de USA vertrok om hoogleraar aan Harvard University te worden. Hij wordt algemeen gezien als de belangrijkste grondlegger van het vak Grondmechanica. Maar ook Nederlandse ingenieurs speelden in de beginfase van het vak een grote rol. Een belangrijke stimulans werd geleverd door het reeds genoemde spoorwegongeluk bij Weesp in 1918, waarbij de trein van Utrecht naar Amsterdam plotseling verongelukte door afschuiving van de spoordijk bij de brug over het Merwedekanaal. De onderzoekscommissie onder leiding van de oud-minister van Waterstaat dr.ir. C. Lely kwam tot de conclusie dat de

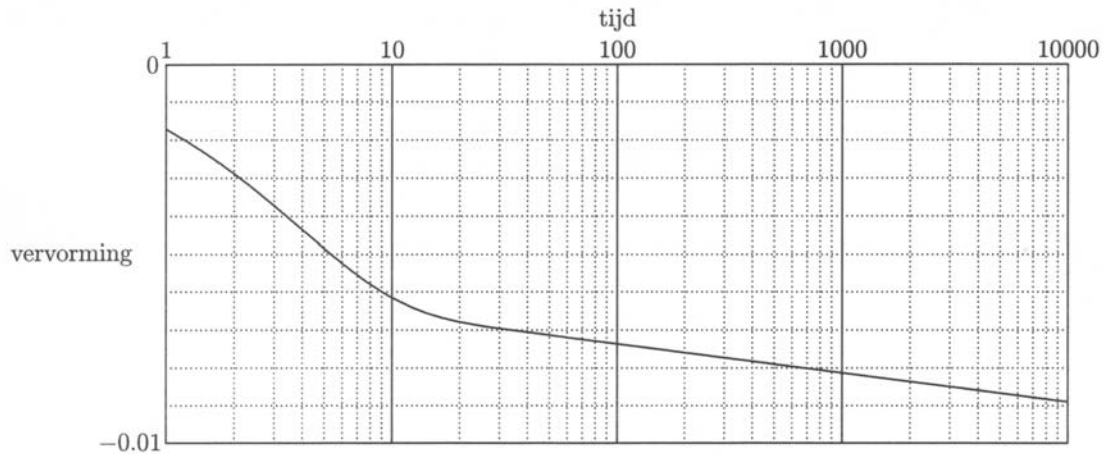
belangrijkste oorzaak was geweest dat het grondwater in het dijklichaam te hoog was geweest, door een gemakkelijke toevoer van water uit het kanaal, door uitzonderlijk hoge regenval, en doordat drainage steeds moeilijker was geworden door samendrukking van de slappe lagen onder het zandlichaam van de dijk. Er werden diverse praktische aanbevelingen gedaan, onder andere tot verbetering van de drainage, en vermindering van de mogelijkheden van toestroming van water uit het Merwedekanaal. Bij de discussies naar aanleiding van het verslag van de commissie bleek echter ook dat er een groot gebrek was aan kennis van de grondmechanica, en daarom stelde het Koninklijk Instituut van Ingenieurs een nieuwe commissie in, de “Commissie voor Bouwgrondonderzoek”, weer onder voorzitterschap van Lely, en met als een van de leden A.S. Keverling Buisman, de net benoemde Delftse hoogleraar. Deze werd zelf voorzitter van de subcommissie “ter bestudering van de theoretische vraagstukken betreffende het draagvermogen van bouwgrond”. In andere landen (USA, Zweden, Duitsland) werden in diezelfde tijd soortgelijke studiecmissies ingesteld, ook naar aanleiding van ernstige ongelukken. Buisman en zijn commissie kwamen tot het inzicht dat het vooral ontbrak aan een systematisch onderzoek naar de “wetmatigheden die de vervormingen in de grond beheersen”, en naar de inpassing daarvan in de mechanica.

Een belangrijke stimulans werd geleverd door het in 1925 verschenen boek van Karl Terzaghi, “Erdbaumechanik auf bodenphysikalischer Grundlage”. Keverling Buisman had daar grote bewondering voor. Het werk van de in diverse landen bestaande commissies werd daardoor naar zijn mening “op het tweede plan gesteld”. De splitsing van de spanningen in waterspanningen en effectieve spanningen werd door Terzaghi aangegeven, evenals een aantal basisprincipes van het vervormingsgedrag van grond, zoals het verschillende gedrag bij samendrukking en bij afschuiving. Met behulp van de principes die Terzaghi had aangegeven concentreerde Buisman zich, naast de bestudering en ontwikkeling van de theorie, vooral op de ontwikkeling van apparatuur om de grondeigenschappen te kunnen meten, op de beschrijving van de gevonden profresultaten, eventueel door middel van niet-lineaire formules, en op het inpassen van die beschrijving in ontwerpen. Geld om apparatuur te kopen of te bouwen had de hogeschool niet, en daarom werd veel van die apparatuur uit eigen middelen betaald, en opgesteld in zijn huis in Den Haag, met behulp van meccano-onderdelen, fietswielen, en

uiteraard water en zand. Pas in 1931 kwam er in het Gebouw voor Weg- en Waterbouwkunde aan het Oostplantsoen in Delft enige ruimte beschikbaar voor een laboratorium. Dat voorzag in een grote behoefte, ook bij overheid en bedrijfsleven, en daarom werd in 1934 dat laboratorium verzelfstandigd, tot “Laboratorium voor Grondmechanica” (thans GeoDelft). Op die manier kon het geven van adviezen aan de bouwpraktijk worden gescheiden van de universitaire taken, en konden inkomsten worden verworven. Keverling Buisman bedong wel dat de hoogleraren van de Technische Hogeschool, en de studenten, gebruik mochten maken van de voorzieningen van het Laboratorium. Het was overigens nog tot 1955 gevestigd in de kelder van het gebouw voor Weg- en Waterbouwkunde, wat de samenwerking erg gemakkelijk maakte. De ontwikkeling van het vakgebied Grondmechanica ging in de dertiger jaren in Nederland zeer snel, en er waren veel activiteiten. Een weerslag daarvan an worden gevonden in de pagina's van De Ingenieur. Keverling Buisman speelde daarbij een belangrijke rol. Niet alleen hield hij zelf regelmatig voordrachten, waarvan dan in De Ingenieur uitvoerige verslagen verschenen, hij gaf ook regelmatig commentaar op artikelen en voordrachten van anderen. Daardoor had zijn werk ook een belangrijke educatieve functie.

### **Seculair effect**

Waarschijnlijk het belangrijkste werk van Keverling Buisman op theoretisch gebied is zijn werk op het gebied van de kruip van klei geweest. Terzaghi had in de twintiger jaren zijn consolidatietheorie gepubliceerd, waarin de vertraging van de vervormingen van een kleilaag kunnen worden berekend op grond van de traagheid van het proces van de uitpersing van het poriënwater door de kleine doorlatendheid van de klei. Na afloop van dat proces zijn de waterspanningen tot nul gereduceerd, en zouden er volgens de theorie geen verdere vervormingen zijn. Keverling Buisman geloofde eigenlijk alleen echt wat hij zelf gemeten had, en hij verrichte daarom samendrukkings-proeven op kleimonsters in het laboratorium. Daarbij vond hij dat de vervormingen niet tot staan kwamen, maar dat de grond steeds maar meer vervormde, al nam de snelheid van vervormen wel steeds af.



Figuur 3. Seculair effect

Door de proefresultaten op een logaritmische schaal uit te zetten vond hij een rechte lijn, en dat leidde hem tot het voorstellen van de formule (de asymptoot van het gedrag getekend in Figuur 3)

$$\varepsilon = \varepsilon_p + \varepsilon_s \log(t/t_0),$$

waarin  $t_0$  een eenheid van tijd is, bijvoorbeeld 1 dag. De grootheid  $\varepsilon_p$  noemde hij de *directe rek*, en  $\varepsilon_s$  de *seculaire rek* (van seculum, Latijn voor eeuw). Hij realiseerde zich dat deze formule voor  $t \rightarrow \infty$  natuurlijk onbruikbaar wordt, omdat dan de rek zo groot zou worden dat de dikte van het monster tot nul wordt gereduceerd, maar, praktisch ingenieur die hij was, zag hij daarin geen bezwaar, redenerende dat na 1000 jaar de seculaire rek nog maar een factor 5.5 maal zo groot was als die na 10 dagen. Later is de formule door sommigen om het onmogelijke gedrag voor oneindig lange tijden toch soms bestreden, totdat de experimentele bevestiging en ook de theoretische rechtvaardiging op grond van de zogenaamde “rate theory” zo sterk werd dat algemene aanvaarding geschiedde, in de jaren zestig. Het grote belang van de zo eenvoudige formule is dat de zakkings van slappe grond doorgaan, ook als het primaire consolidatieproces, zoals beschreven door Terzaghi’s consolidatietheorie, is afgelopen. Het veronachtzamen van deze seculaire vervormingen kan ernstige consequenties hebben. Het grote vliegveld Kansai Airport bij Osaka, aangelegd op een kunstmatig eiland op een dik pakket van kleilagen, is vele meters meer gezakt dan in het ontwerp voorzien, omdat met seculaire zettingen geen of althans onvoldoende rekening is gehouden. Gebouwen en landhoofden van bruggen zijn inmiddels al opgevijseld, en het eiland zal moeten worden voorzien van

dijken. En dat alles omdat men meende dat de zakkings zouden stoppen na de consolidatiefase, zoals de consolidatietheorie ook suggereert.

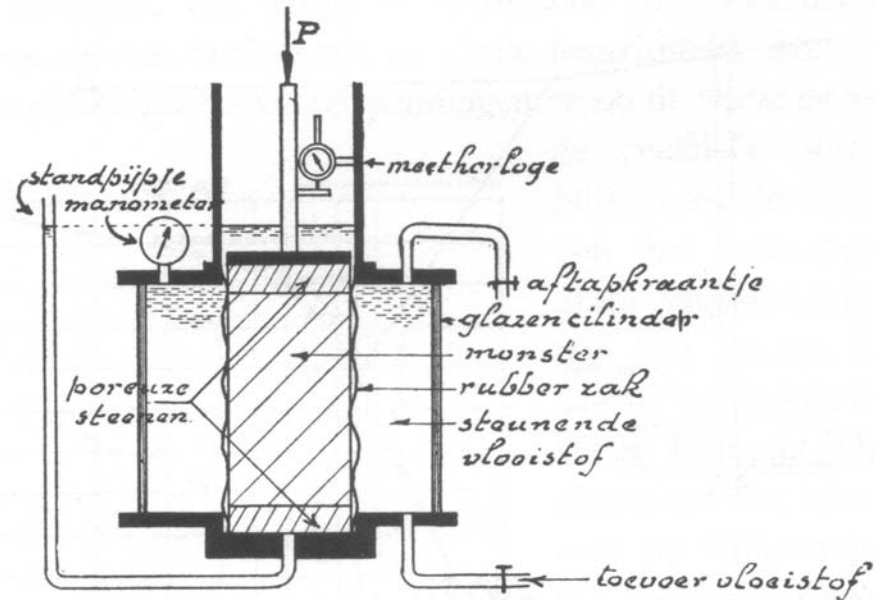
Interessant is dat het tijdstip van de ontdekking vrij precies kan worden vastgesteld (oktober 1932), omdat er een briefje bewaard gebleven is van Keverling Buisman aan zijn assistent Pesman, waarin hij deze verzoekt de lopende proef nog niet te stoppen, maar nog door te gaan met het doen van waarnemingen omdat hij de indruk had dat de vervormingen nog doorgingen. De algemene erkenning van het logaritmische verloop van de zettingen als functie van de tijd, zoals Buisman dat voorstelde gaat zo ver dat de formule thans is opgenomen in internationale regelgeving. Ook in computerprogramma's voor de niet-lineaire (elasto-plastische) berekening van spanningen en vervormingen met de methode der eindige elementen is het logaritmische gedrag volgens Keverling Buisman vaak opgenomen. Dat wordt dan ingebouwd als een plastische vervorming bij alzijdige druk.

### **Celapparaat**

Zoals hierboven reeds gesteld was Keverling Buisman zeer sterk in het bepalen van de eigenschappen van grond door beproeving. Daartoe moest nieuwe apparatuur worden ontwikkeld. Hij ontwierp een handig samendrukkingsapparaat, waarin precies een grondmonster paste zoals dat uit een steekbus kwam, en waarmee de zakkings van een grondmonster afkomstig uit het terrein nauwkeurig konden worden bepaald, en dus de stijfheid van de grond kon worden gemeten, ook al is die afhankelijk van de spanning. Hij ontwikkelde ook een apparaat voor de bepaling van de schuifsterkte van grond, in de vorm van een cel met een rubber vlies waarbinnen het grondmonster moest worden aangebracht, en met de mogelijkheid een extra verticale belasting op het monster aan te brengen, zie Figuur 4. Door de druk van het water in de cel geleidelijk te verlagen, door het aftappen van enig water, kan het monster geleidelijk tot op de rand van bezwijken worden gebracht, als de horizontale spanning minimaal wordt. Het fraaie van deze beproevingswijze is dat de volledige spanningstoestand in het monster bekend is, en dat men dus zonder enige verdere aanname de bezwijkspanningen kan bepalen, dit in tegenstelling tot de schuifproef in het zogenaamde schuifapparaat, waarin de horizontale spanning onbekend is. Later, na de tweede wereldoorlog, is het celapparaat in Engeland



door Bishop en Henkel verbeterd tot wat thans bekend staat als het triaxiaalapparaat. In wezen is het principe nog steeds hetzelfde, alleen is de apparatuur professioneler uitgevoerd, met een iets andere wijze van aanbrengen van het rubber vlies , en is de



Figuur 4. Celapparaat

proefprocedure wat veranderd, in die zin dat een verticale vervorming wordt opgelegd en de bijbehorende spanning wordt gemeten, maar dat zijn eigenlijk maar onbelangrijke veranderingen. In het boek “Grondmechanica” van Keverling Buisman uit 1940 worden alle basisprincipes van de celproef al op heldere wijze uiteengezet. Zo wordt bijvoorbeeld ook reeds aandacht besteed aan wat thans ongedraineerde proeven worden genoemd, en wat Buisman snelle celproeven op klei noemde. Hij concludeerde dat men bij dergelijke proeven een wrijvingshoek ongeveer gelijk aan nul zou moeten vinden, en een bijzondere waarde van de schuifsterkte, die vooral bruikbaar is voor snelle belastingen in het terrein. Hij stelde dat het eigenlijk niet goed is om die sterkte als cohesie aan te duiden. Dat is precies de redenering die ook nu nog wordt gevolgd, en die sterkte noemt men nu de *ongedraineerde schuifsterkte*. Hij stelde ook al dat op deze manier een veilige manier van construeren wordt bereikt omdat de korrelspanningen met de tijd alleen maar zullen toenemen, waardoor de sterkte vergroot wordt. En hij beval ook al aan om bij de uitvoering de optredende waterspanningen te meten, omdat daarmee een goed inzicht in

het tot ontwikkeling komen van de korrelspanningen kan worden verkregen. Allemaal inzichten die van grote waarde voor de praktische grondmechanica zijn gebleken. In feite kan men in zijn werk ook al de basis vinden van wat thans de *observational method* wordt genoemd.

Uiteraard besteedde het Laboratorium voor Grondmechanica onder de leiding van Keverling Buisman veel aandacht aan het zorgvuldig steken van grondmonsters in het terrein, omdat die monsters nodig waren om de sterkte en de stijfheid in de ontwikkelde apparatuur te bepalen. En ook werd de methode voor het bepalen van het draagvermogen van funderingspalen met behulp van het sondeerapparaat geleidelijk geperfectioneerd, vanaf het eerste handsondeerapparaat, ontwikkeld door Barentsen. Een probleem daarbij was vaak het verkrijgen van de reactiekracht om voldoende druk te kunnen ontwikkelen. Dat vereiste de installatie van een aantal ankers, waardoor de proef nogal lang duurde. Het probleem is later opgelost door vanuit een zware vrachtwagen te sonderen, maar aan een dergelijk gebruik van een dure vrachtwagen durfde men voor 1940 blijkbaar niet te denken.

### **Spanningsverdelingen**

In de dertiger jaren is in Nederland een uitgebreide discussie gevoerd over het probleem van de bepaling van de spanningen in een half-oneindige ruimte ten gevolge van een belasting op het oppervlak. Voor het geval van een isotroop lineair elastisch materiaal was daarvoor in 1885 door Boussinesq een analytische oplossing gegeven. Die oplossing was weliswaar tamelijk eenvoudig van vorm, vooral als men gebruik maakt van poolcoördinaten, maar de afleiding was behoorlijk gecompliceerd, en ook thans is het aantal ingenieurs dat de formules kan afleiden waarschijnlijk nog tamelijk klein. Keverling Buisman had als belangrijkste bezwaar tegen de oplossing van Boussinesq dat ze uitging van een lineair verband tussen spanningen en vervormingen, met een homogene elasticiteitsmodulus  $E$ , terwijl hij zelf, met Terzaghi, van mening was dat een logaritmische formule veel beter geschikt was om experimenteel gevonden resultaten te beschrijven. De voorgestelde formule was, voor het geval van eendimensionale samendrukking,

$$\varepsilon = \frac{1}{C} \ln \frac{p_2 + p_c}{p_1 + p_c},$$

waarin  $p_1$  de oorspronkelijk aanwezige (druk)spanning in de grond is,  $p_2$  de spanning na het aanbrengen van de belasting, en  $p_c$  en  $C$  grondconstanten zijn. Keverling Buisman realiseerde zich dat men voor relatief kleine belastingen kan stellen dat  $p_2 = p_1 + \Delta p$ , en dat dan voor kleine waarden van  $\Delta p$  de formule reduceert tot

$$\varepsilon = \frac{\Delta p}{C(p_1 + p_c)}.$$

Dit is dan toch weer een lineair verband tussen de rek en de spanningstoename. Blijkbaar gedraagt het materiaal zich toch als het ware lineair elastisch, alleen neemt de schijnbare elasticiteitsmodulus toe met de beginspanning, volgens  $E = C(p_1 + p_c)$ . Dat is een eigenschap die goed te begrijpen en te verklaren is, omdat bij hogere beginspanningen de korrels steviger op elkaar worden gedrukt, en dus moeilijker ten opzichte van elkaar kunnen verschuiven. Het betekent ook dat de stijfheid van de grond met de diepte toeneemt, en dat was een uitspraak die overeenkwam met veel ervaringen: een in de grond gedrukte (of geheide) staaf of paal ondervindt steeds grotere weerstanden. In de aantekeningen van Keverling Buisman is terug te vinden dat hij de logaritmische samendrukkingswet eigenlijk afleidde uit de veronderstelling dat de stijfheid van de grond evenredig met de heersende spanning is. De uiteindelijke formule, met een constante  $p_c$ , maakt het ook mogelijk dat voor bepaalde grondsoorten (Keverling Buisman dacht aan klei met zeer hoge capillaire onderspanningen) de schijnbare elasticiteitsmodulus ongeveer constant zou zijn, als  $p_c$  heel groot zou zijn. Voor dat soort gronden zou de spanningsverdeling volgens Boussinesq dan toch geldig zijn. Het valt ook thans nog niet mee om het overzicht te behouden over wat in de grondmechanica benaderde waarheid is en wat onrealistische aannamen en onbruikbare resultaten zijn.

Buisman ontwikkelde een benaderingsberekening voor de spanningen en vervormingen in een grondmassief ten gevolge van een puntlast of een belasting op een ronde plaat, uitgaande van zijn geliefde aanname dat de stijfheid van de grond lineair met de diepte toeneemt, en verder aannemende dat een halve bol onder de belasting gelijkmatig zakt, een ad hoc aanname die handig was in de afleiding. Hij vond daarbij dat de zakking van een belaste plaat op een halfoneindig massief onafhankelijk is van de straal van de plaat (in tegenstelling tot de lineair elastische oplossing, waarbij de stijfheid

afneemt met de straal van de plaat). Daarmee zou dan het begrip beddingsconstante “in eere worden hersteld”. Een uitspraak die veel later (in 1967) door Gibson op strikt mathematische wijze is afgeleid, tot grote verrassing van veel grondmechanische specialisten, althans degenen die Buisman’s boek niet kennen.

De discussie die in Nederland over dit onderwerp werd gevoerd werd nog verder gecompliceerd doordat Fröhlich, een in Den Haag gevestigde raadgevend ingenieur van Oostenrijkse komaf (en de latere opvolger van Terzaghi in Wenen), een aantal berekeningsresultaten presenteerde die gebaseerd waren op een speciale eigenschap van de oplossing van Boussinesq, namelijk dat de spanningstoestand uitgedrukt in poolcoördinaten, voor het geval dat de dwarscontractiecoëfficiënt  $\nu = 1/2$ , alleen bestaat uit radiale normaalspanningen. Fröhlich presenteerde variaties op die oplossing met een geringere laterale spreiding, die dan geldig zouden zijn voor materialen waarvan de elasticiteitsmodulus met de diepte toeneemt. Later is bewezen dat ook sommige van die oplossingen volledig correct zijn, mits de waarde van de dwarscontractiecoëfficiënt ook wordt aangepast. De discussie was tamelijk fel en verward, al bleven de heren onder elkaar natuurlijk zeer beleefd. Sommigen trokken de geldigheid van Fröhlich’s formules echter in twijfel, omdat de spanningsverdeling niet aan de compatibiliteitsvergelijking zou voldoen (en thans weten we dat dat in het algemeen ook zo is), anderen meenden dat het eigenlijk helemaal geen zin had om spanningen in een zo grillig materiaal als grond te willen berekenen. Keverling Buisman zelf, de leider van de discussie, concludeerde tenslotte als wijs man dat elke theorie haar zwakke punten heeft, en dat in de langzame ontwikkelingsgang van de grondmechanica hopelijk alle hiaten en onvolkomenheden geleidelijk zouden worden weggenomen. Hij zag in dat de ontwikkeling van de grondmechanica nog vele jaren zou vergen. Dat proces is ook nu nog niet ten einde.

### **Leerboek Grondmechanica**

In de jaren 1937 tot 1939 werkte Keverling Buisman aan zijn leerboek “Grondmechanica”, dat was bedoeld als vierde deel in de serie Leerboeken der Toegepaste Mechanica, waarvan de eerste drie delen werden verzorgd door Prof.ir. J. Klopper. Hij nam de proefdrukken mee naar Nederlandsch Indië toen hij daar in 1939 voor een tijdelijk verblijf naar toe ging. De correcties heeft hij nog naar Nederland

kunnen versturen, maar door de bezetting van Nederland door Duitsland zijn daarna verdere contacten verbroken. In Nederland is het boek van Buisman in 1940 uitgegeven, bij Waltman, en velen koesteren hun exemplaar ervan. In Nederlandsch Indië is in 1941 een “nooduitgave” verschenen, met hulp van het Bandoengsch Technische Hogeschoolfonds, met een aantal aanvullingen betreffende tropische grondsoorten, en met allemaal nieuwe tekeningen, omdat de cliché's bij Waltman lagen. Men kan slechts grote bewondering hebben voor deze prestatie, die in moeilijke omstandigheden en in korte tijd tot stand kwam. Tijdens de Japanse bezetting werd Keverling Buisman in 1943 geïnterneerd. In het kamp werd hij ernstig ziek, en hij overleed op 20 februari 1944. Zijn vrouw keerde in 1946 naar Nederland terug. De drie kinderen, een zoon en twee dochters, waren verspreid geraakt over de wereld, maar kwamen na de oorlog ook naar Nederland terug. Van Mourik Broekman, naaste collega van Keverling Buisman in Delft, memoreerde in 1948, bij de opening van de internationale conferentie in Rotterdam, dat zijn collega's en vrienden, die zo hadden uitgezien naar hernieuwde samenwerking met Buisman, troost konden vinden in de gedachte dat het werk in zijn geest zou worden voortgezet.

### **Betekenis**

Dat de beoefening van de grondmechanica in Nederland omstreeks 1940 relatief op een hoog peil stond wordt goed geïllustreerd doordat het tweede Internationale Congres over Grondmechanica en Funderingstechniek in 1948 in Rotterdam werd gehouden. Tijdens het eerste Internationale Congres, in Cambridge (USA) in 1936, was al besloten dat het tweede congres in Nederland plaats zou vinden. De tweede wereldoorlog maakte het onmogelijk dat in 1940 te doen, en het werd pas in 1948 gehouden, in Rotterdam. De toewijzing van dat tweede congres aan Nederland was een gevolg van de algemene erkenning dat in Nederland belangrijk werk op het gebied van de grondmechanica en funderingstechniek werd verricht. Aan het eind van die eerste conferentie in Cambridge stelde Carlton S. Proctor, voorzitter van het Committee on Resolutions, “it has been thought that because of the excellent work being done, a conference of this kind might be held in Holland, if Holland desires to invite the conference”. Dat excellente werk kwam tot uiting in het grote aantal publicaties van Nederlandse auteurs in de Proceedings van

het eerste congres, waaronder een aantal zeer belangrijke, zoals die van Keverling Buisman over “Long Duration Settlement Tests”, waarin zijn seculaire zettingen werden gepresenteerd, en een van het Laboratorium voor Grondmechanica over de verschillende beschikbare testfaciliteiten, waaronder het celapparaat. Na afloop van de conferentie, waarbij van Nederlandse kant helaas alleen ir. J.L.A. Cuperus van de Nederlandse Spoorwegen aanwezig was (voor de anderen waren de reiskosten vermoedelijk te hoog), schreef Terzaghi, die tot eerste President van de nieuwe International Society of Soil Mechanics and Foundation Engineering was benoemd, lovende woorden aan Keverling Buisman en aan Van Mourik Broekman over de Nederlandse bijdragen aan de conferentie, met het verzoek inderdaad de volgende conferentie te organiseren. Overigens kenden Terzaghi en Keverling Buisman elkaar goed, onder andere door bezoeken van Terzaghi aan Delft.

De betekenis van Keverling Buisman voor de Grondmechanica is dat hij de eerste was die op basis van uit proeven vastgesteld gedrag de verbanden tussen spanning, vervorming en tijd afleidde, en met behulp daarvan dan de analyse van stabiliteit en vervormingen verrichtte. Hij heeft, samen met een aantal buitenlandse collega's, de grondmechanica als aparte tak van wetenschap ontwikkeld, en er verschillende van de belangrijkste basisprincipes van beschreven. Hij bedacht voor de bepaling van de bezwijktoestand van grond de beproevingsmethode van grondmonsters in een cel, waarbij de volledige spanningstoestand kan worden ingesteld, en de bezwijktoestand dus nauwkeurig kan worden vastgesteld. Een zeer belangrijke bijdrage, die ten grondslag ligt aan alle thans gebruikte triaxiaalapparaten. Hij introduceerde de kruipvervormingen in de samendrukking van slappe gronden, waarbij de zettingen vele eeuwen doorgaan. Ook dit is een zeer belangrijke bijdrage aan de grondmechanica, die in sommige andere landen pas veel later, vaak na grote schades, is doorgedrongen.

Zijn betekenis voor het onderwijs, aan TU Delft en andere instituten, is zeer groot geweest, omdat hij het eerste Nederlandse leerboek over Grondmechanica schreef. Dat boek bevat een groot aantal belangrijke originele elementen (de celproef, het seculair effect, de niet-lineaire stijfheid van grond) die pas veel later internationaal erkenning hebben gevonden, wellicht mede door de publicatie in het Nederlands en door zijn vroegtijdig overlijden. Zijn naam wordt in de Nederlandse geotechnische wereld hoog

gehouden door de periodieke Keverling Buisman lezing van de Afdeling Geotechniek van het Koninklijk Instituut van Ingenieurs. Zijn beeltenis is te vinden bij de ingang van GeoDelft, en in de hal van het Laboratorium voor Geotechniek van de TUDelft.

### **Dankbetuiging**

Het schrijven van dit artikel is zeer vergemakkelijkt doordat het technisch archief van Prof. Keverling Buisman zorgvuldig wordt bewaard bij GeoDelft, na aanvankelijk beheerd te zijn door ir. T.K. Huizinga, op verzoek van mevrouw Keverling Buisman. Het archief is geordend door ir. T. Tjebbes, en door de familie Keverling Buisman in 1994 aan de directeur van GD overgedragen. Het bevat publicaties, rapporten, correspondentie, collegedictaten en correspondentie. Diverse persoonlijke gegevens zijn verstrekt door een dochter en kleindochter van Keverling Buisman.