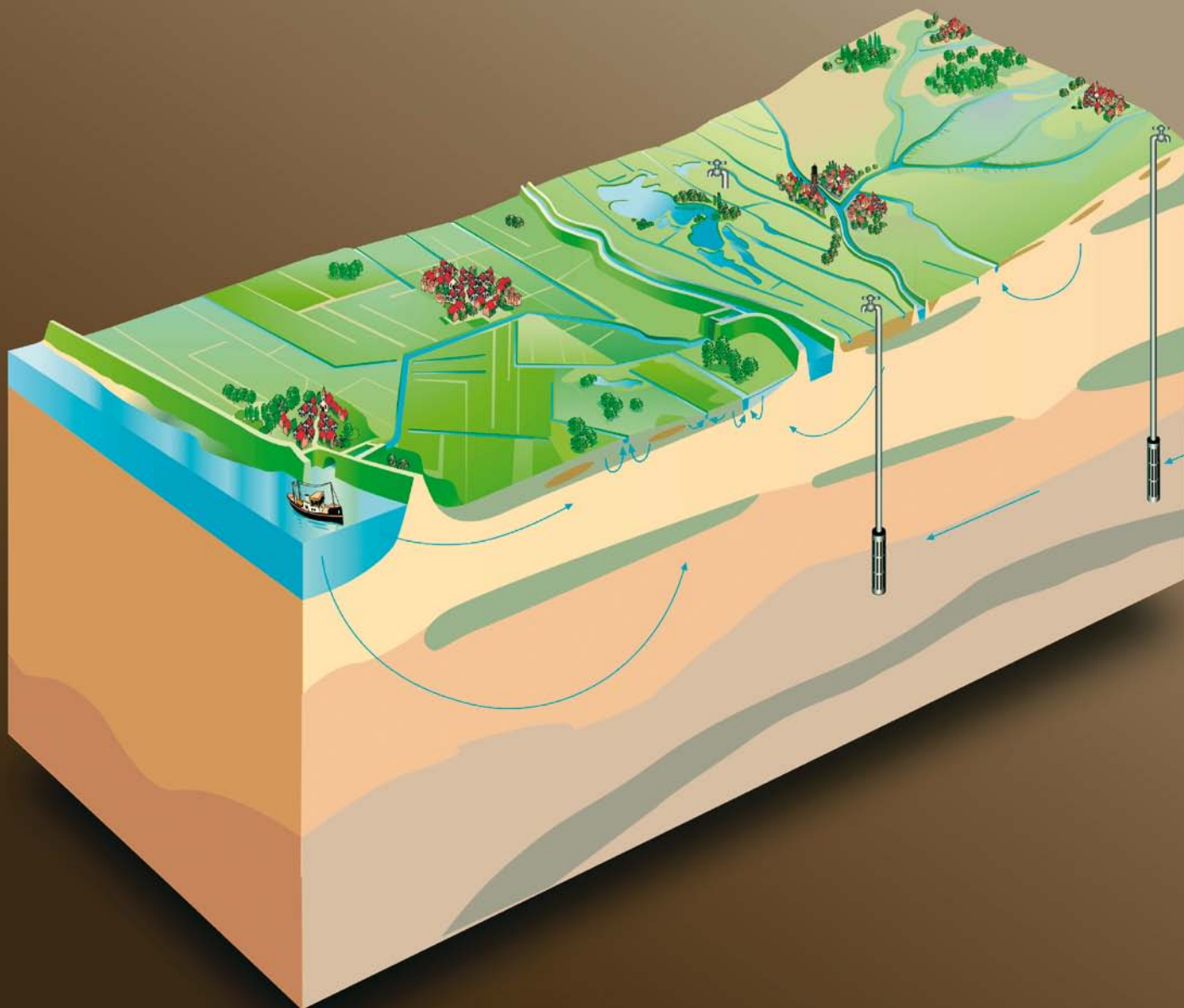




Over watervoerende pakketten en slecht doorlatende lagen

RONALD VERNES
GEOLOGISCHE DIENST NEDERLAND
VAN TNO
RONALD.VERNES@TNO.NL

In ons land dat zo rijk is aan plassen, meren en rivieren, wordt een aanzienlijk deel van ons drinkwater, 59%¹ om precies te zijn, uit grondwater bereid. Voor niet ingewijden komen bij de term grondwater vaak schitterende beelden op van ondergrondse meren en rivieren waar men met een bootje over kan varen. Helaas komen door de aard van de gesteenten dergelijke, deels met water opgevulde grottenstelsels niet in Nederland voor. Waar zit dan ons grondwater? Een vraag waarop in dit artikel een antwoord wordt gegeven.



Porositeit en doorlatendheid van gesteenten

Het antwoord hangt nauw samen met de open ruimten die in meer of mindere mate tussen de minerale en organische bestanddelen van gesteenten voorkomen. Deze ruimten zijn met gas en/of vloeistoffen gevuld. De grootte, vorm en rangschikking van deze open ruimten kunnen sterk per gesteente verschillen (Afb. 1) en zijn daarmee bepalend voor de mate waarin een gesteente water kan bevatten en het gemak waarmee water door een gesteente kan stromen.

De mate waarin een gesteente open ruimten bevat, wordt aangegeven door middel van de porositeit (symbool “n”). Dit is het volume aan open ruimten gedeeld door het totale gesteentevolume. De porositeit wordt uitgedrukt als percentage.

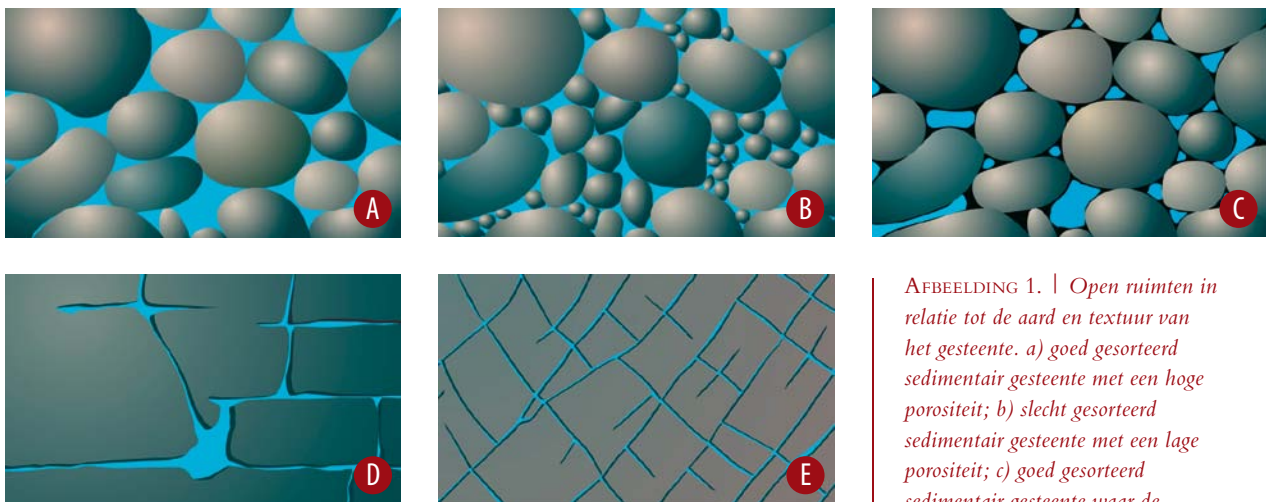
Een onderscheid wordt gemaakt tussen primaire en secundaire porositeit. De primaire porositeit heeft betrekking op de open ruimten die ontstaan zijn bij de vorming van het gesteente. Nadien kunnen door fysische, chemische en biologische processen nieuwe open ruimten zijn gevormd: de secundaire porositeit. Voorbeelden hiervan zijn scheurvorming in klei, oplossing van kalksteen en door plantenwortels en dieren gemaakte gangenstelsels.

Open ruimten in gesteenten kunnen volledig zijn afgesloten. Uitwisseling van gas en vloeistoffen van en naar deze ruimten is dan niet mogelijk. Om die reden is naast de porositeit ook de “effectieve porositeit” van belang. De effectieve porositeit heeft betrekking op het deel van de open ruimten waarin transport van gas en vloeistoffen mogelijk is.

Op grond van hun (effectieve) porositeit zijn de ongeconsolideerde (= niet-vaste) sedimenten, waar Nederland zo rijk aan is, potentieel de belangrijkste grondwaterreservoirs. De porositeit hangt in dergelijke sedimenten af van diverse fysische eigenschappen, waaronder de korrelgrootte en korrelgrootteverdeling, de vorm en stapeling van de korrels en de mate van verkitting (Davis & Dewiest, 1966). Tabel 1 geeft een overzicht van de porositeit van enkele in Nederland voorkomende geologische eenheden en ter vergelijking voorbeelden van geconsolideerde (= vaste) sedimentaire en kristallijne gesteenten. Opvallend zijn daarbij de

Dit kan goed verklaard worden uit de slechte sortering van de keileem en de compactie die de keileem heeft ondergaan. De porositeit van de geconsolideerde sedimentaire gesteenten en kristallijne gesteenten zijn daarbij vergeleken veelal lager. Breuken en door oplossing van de kalksteen ontstane ruimten (karst) kunnen echter van grote invloed zijn, zoals blijkt uit het verschil in porositeit tussen kalksteen en verkarste kalksteen.

De doorlatendheid van een gesteente vormt een maat voor het gemak waarmee water door het gesteente kan stromen. De doorlatendheid wordt aangegeven met het symbool “k” en in Nederland veelal uitgedrukt in meters per dag [dus “k (m/d)” in Tabel 1]. De doorlatendheid hangt niet alleen af van de porositeit, maar onder andere ook van de korrelgrootte en korrelgrootteverdeling, de vorm en stapeling van de korrels en de mate van verkitting (Davis & Dewiest, 1966). Zoals hierboven reeds is aangegeven betekent een hoge porositeit van een gesteente echter niet automatisch dat het water er ook gemakkelijk doorheen kan stromen. Zo hebben kleien ondanks hun hoge porositeit een zeer geringe doorlatendheid. Binnen gesteenten zijn deze eigenschappen niet



AFBEELDING 1. | Open ruimten in relatie tot de aard en textuur van het gesteente. a) goed gesorteerd sedimentair gesteente met een hoge porositeit; b) slecht gesorteerd sedimentair gesteente met een lage porositeit; c) goed gesorteerd sedimentair gesteente waar de porositeit door verkitting is afgenomen; d) door oplossing langs breukvlakken ontstane secundaire porositeit in kalksteen; e) door breukwerking ontstane secundaire porositeit in kristallijn gesteente (naar Meinzer, 1923).

hoge porositeiten van veen (Formatie van Nieuwkoop) en van mariene zandige klei/kleiig zand (Formatie van Naaldwijk). De porositeit van de glaciële zandige klei/kleiig zand van het Laagpakket van Gieten in de Formatie van Drente, de “keileem”, is aanzienlijk lager, zelfs lager dan die van de vermelde waarden voor fijn, matig grof en grof zand.

¹ Gebaseerd op: VEWIN, 2012, Kerngegevens drinkwater 2012, [http://www.vewin.nl/SiteCollectionDocuments/Publicaties/Brochure%20kerngegevens%20drinkwater/722.162%20Drinking%20water%20fact%20sheet%202012%20\(1\).pdf](http://www.vewin.nl/SiteCollectionDocuments/Publicaties/Brochure%20kerngegevens%20drinkwater/722.162%20Drinking%20water%20fact%20sheet%202012%20(1).pdf), laatst geraadpleegd op 15 juli 2013.



homogeen verdeeld. Als gevolg daarvan is de grootte van de doorlatendheid richtingsafhankelijk.

In Tabel 1 zijn bij de porositeiten ook doorlatendheden vermeld. Voor de ongeconsolideerde sedimenten geldt vaak “hoe grover het sediment hoe doorlatender.” Dat deze regel echter niet altijd opgaat, blijkt wel uit de doorlatendheid van het fijne, fluvioglaciale zand van de Formatie van Peelo en het matig grove, eolische zand van het Laagpakket van Wierden van de Formatie van Bostel. Ook de invloed die breuken en karst hebben op de doorlatendheid van geconsolideerde (= vaste) sedimentaire gesteenten en kristallijne gesteenten valt op. Vanwege hun verbreiding en dikte zullen in Nederland de hoogste doorlatendheden veelal worden aangetroffen in fluviatile afzettingen van grof zand en grind.

Waar het grondwater begint

Vanaf het maaiveld neemt het watergehalte in de gesteenten in het algemeen met de diepte toe. Op grond daarvan kan een onderscheid worden gemaakt tussen een onverzadigde en een verzadigde zone (Afb. 2). In de bovenste, onverzadigde zone is de open ruimte deels met lucht en deels met water gevuld. Dit is de zone waarin plantenwortels zich kunnen ontwikkelen (plantenwortels hebben zowel lucht als water nodig) en die dus zo belangrijk is voor de vegetatie. In de daaronder gelegen, verzadigde zone is de open ruimte volledig met water gevuld.

Als men een gat in de grond maakt tot in de verzadigde zone zal dit gat gedeeltelijk met water gevuld raken. De snelheid waarmee dit gebeurt, is afhankelijk van de doorlatendheid van de grond. Na enige tijd zal het water niet verder stijgen. De waterspiegel in het gat wordt de “grondwaterspiegel” genoemd of ook wel “het *freatische vlak*”, de hoogte van de waterspiegel de grondwaterstand. De grondwaterstand kan daarbij uitgedrukt worden als diepte ten opzichte van maaiveld of als hoogte ten opzichte van NAP. Vanaf de grondwaterspiegel en dieper is sprake van grondwater, daarboven van bodemvocht.

Vanaf de grondwaterspiegel naar het maaiveld toe kan een verdere onderverdeling worden gemaakt tussen:

Lithologie (geologische eenheid)	n (%)	k (m/d)	bron
Veen (Formatie van Nieuwkoop)	83*	4·10 ^{-4**}	Meetprogramma TNO
Zandige klei – kleilig zand (Formatie van Naaldwijk)	59*	6·10 ^{-6**}	
Zandige klei – kleilig zand (Laagpakket van Gieten, Formatie van Drente)	28*	5·10 ^{-5**}	
Zand, fijn (Formatie van Peelo)	39*	1,7***	
Zand, matig grof (Laagpakket van Wierden, Formatie van Bostel)	34*	1,4***	
Zand, grof (Formatie van Urk)	33*	13,8***	

Grind	24 – 38	26 – 2600	Domenico en Schwartz, 1990
Zandsteen	5 – 30	3·10 ⁻⁴ – 5	
Kalksteen	0 – 20	9·10 ⁻⁴ – 5	
Kalksteen, verkarst	5 – 50	10 ⁻¹ – 1700	
Schalie	0 – 10	9·10 ⁻⁸ – 2·10 ⁻³	
Kristallijn gesteente, gebroken	0 – 10	7·10 ⁻⁴ – 26	
Kristallijn gesteente, compact	0 – 5	3·10 ⁻⁹ – 2·10 ⁻⁵	

*mediaan van de porositeit gemeten aan monsters
 **mediaan van de verticale doorlatendheid gemeten aan monsters
 ***mediaan van de horizontale doorlatendheid gemeten aan monsters

TABEL 1. | De porositeit (n%) en doorlatendheid [k(m/d)] van enkele ongeconsolideerde sedimentaire gesteenten uit de Nederlandse ondergrond en de waarden van geconsolideerde sedimentaire gesteenten en kristallijne gesteenten.

Grondwatertrap (Gt)	I	II	III	IV	V	VI	VII
Gemiddeld hoogste grondwaterstand in cm beneden maaiveld (GHG)	-	-	<40	>40	<40	40-80	>80
Gemiddeld laagste grondwaterstand in cm beneden maaiveld (GLG)	<50	50-80	80-120	80-120	>120	>120	>120

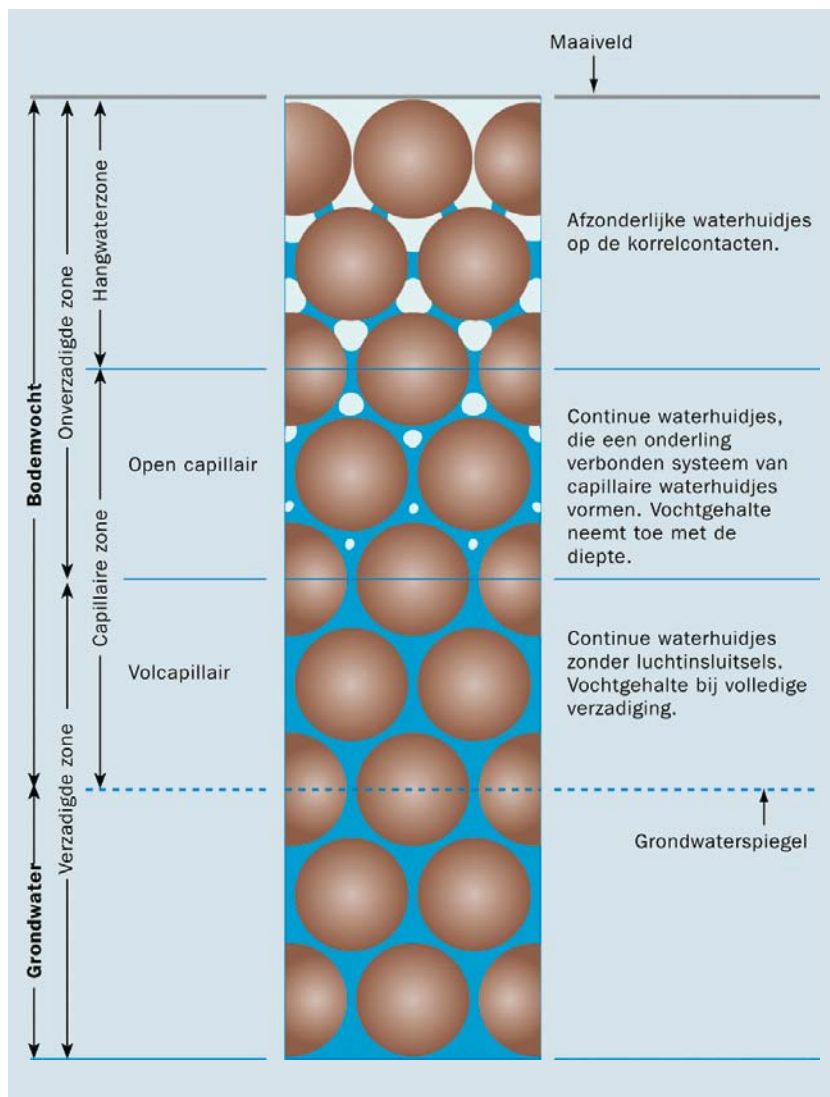
TABEL 2. | In de Bodemkaart van Nederland 1:50.000 onderscheiden Grondwatertrappen (Steur et al., 1991).

- De capillaire zone: de zone direct boven de grondwaterspiegel waarin als gevolg van capillaire opstijging vanuit het grondwater de open ruimten geheel (vol-capillaire zone) of gedeeltelijk (open-capillaire zone) met water zijn gevuld. Deze vol-capillaire zone wordt nog tot de verzadigde zone gerekend.
- De hangwaterzone: de zone waar het in de poriën aanwezige water niet in direct contact staat met het grondwater en dus niet via capillaire opstijging vanuit het grondwater kan worden aangevuld. Het water in deze zone is hier gekomen door infiltratie van regenwater of achtergebleven na het dalen van de grondwaterspiegel.

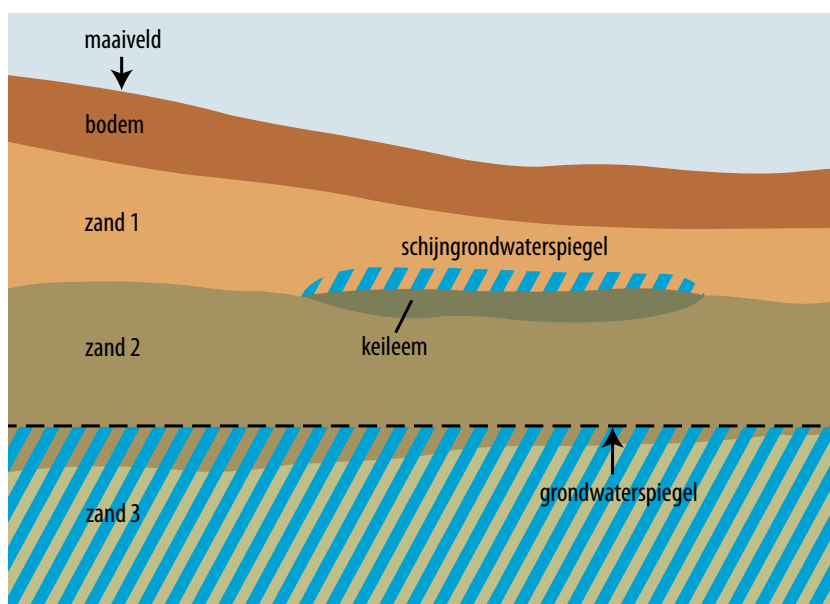
Uitzonderingen op bovenstaande zonering komen voor in de vorm van zogenaamde schijngrondwaterspiegels (zie Afb. 3).

Er is van een schijngrondwaterspiegel sprake indien er onder de eerste, vanaf maaiveld vastgestelde grondwaterspiegel weer een onverzadigde zone voorkomt,





AFBEELDING 2. | Indeling van de ondergrond op grond van het voorkomen van water (gewijzigd naar Dufour, 1998).



AFBEELDING 3. | Schematische weergave van een schijngrondwaterspiegel. Schijngrondwaterspiegels komen onder andere in Noord-Nederland boven ondiep gelegen keileem voor.

gevolgd door een tweede grondwaterspiegel. Schijngrondwaterspiegels worden veroorzaakt door slechtdoorlatende lagen, zoals klei- of veenlagen, of door inspoeling of verkitting ontstane niveaus die zich tussen het maaiveld en de werkelijke grondwaterspiegel bevinden. Door de geringe doorlatendheid stagneert het naar het grondwater percolerende bodemvocht boven deze laag, tot een punt waarbij de direct boven de laag gelegen zone volledig verzadigd is. Schijngrondwaterspiegels kunnen zowel lokaal als regionaal voorkomen en kunnen permanent aanwezig zijn of zich alleen bij hoge neerslag voordoen.

Bepaling van de grondwaterstand

De diepte van de grondwaterspiegel varieert ruimtelijk en over de seizoenen en jaren heen waardoor ook de dikte van de onverzadigde zone wisselt. Deze variaties in de grondwaterstand kunnen in de bodem worden gemeten, maar ook in het bodemprofiel worden waargenomen in de vorm van roest- en reductievlekken (zogenaamde “gley-verschijnselen”, zie afbeelding 4).

Om systematisch de diepte van de grondwaterstand en de veranderingen daarvan te meten is het graven van een open gat in de grond weinig praktisch. Daarom worden zogenaamde peilputten ingericht (Afb. 5). Daarbij worden een geperforeerde buis, het filter genoemd, en een daaraan verbonden dichte buis, de zogenaamde stijgbuis, via een boorgat in de ondergrond geplaatst. Om beschadiging te voorkomen worden ze aan het maaiveld met een beschermkoker afgewerkt (Afb. 6), en zijn daardoor in ter terrein goed herkenbaar. Met een zogenaamd peilklokje, een peilapparaat met geluid- en lichtsignaal, of met een elektronische drukopnemer, wordt de hoogte van het grondwater in de stijgbuis gemeten (Afb. 7). Afhankelijk van de diepte waarop het filter zich in de ondergrond bevindt, kan daarmee naast de grondwaterstand ook de stand van het onder slechtdoorlatende lagen aanwezige, diepere grondwater (stijghoogte) worden gemeten.

Grondwaterstandsmetingen zijn onder andere opvraagbaar bij de databank DINO (Data en Informatie van de Nederlandse Ondergrond) van TNO (www.dinoloket.nl). In afbeelding 8 zijn de in een peilput gemeten



grondwaterstanden uitgezet tegen de tijd, een zogenaamde tijdreeks.

Grondwaterstand in kaart gebracht

In het kader van de landelijke kartering van de Bodemkaart van Nederland 1:50.000 hebben onderzoeksinstituut Alterra en zijn voorgangers ook een kaart gemaakt die inzicht geeft in de diepte en de dynamiek van de grondwaterstand: de zogenaamde Grondwatertrappenkaart. Een 7-tal klassen, “de grondwatertrappen”, worden onderscheiden op basis van de Gemiddelde Hoogste Grondwaterstand (GHG) en de Gemiddelde Laagste Grondwaterstand (GLG) ten opzichte maaiveld op een locatie, zie Tabel 2. De grondwatertrappen zijn daarbij op volgorde van een toenemende GLG genummerd met de Romeins cijfers I tot en met VII.

Grondwatertrap V van de Grondwatertrappenkaart, die gekenmerkt wordt door een combinatie van een lage GHG en een hoge GLG, geeft inzicht in de mogelijke aanwezigheid van ondiepe schijngrondwaterspiegels (Afb. 9).

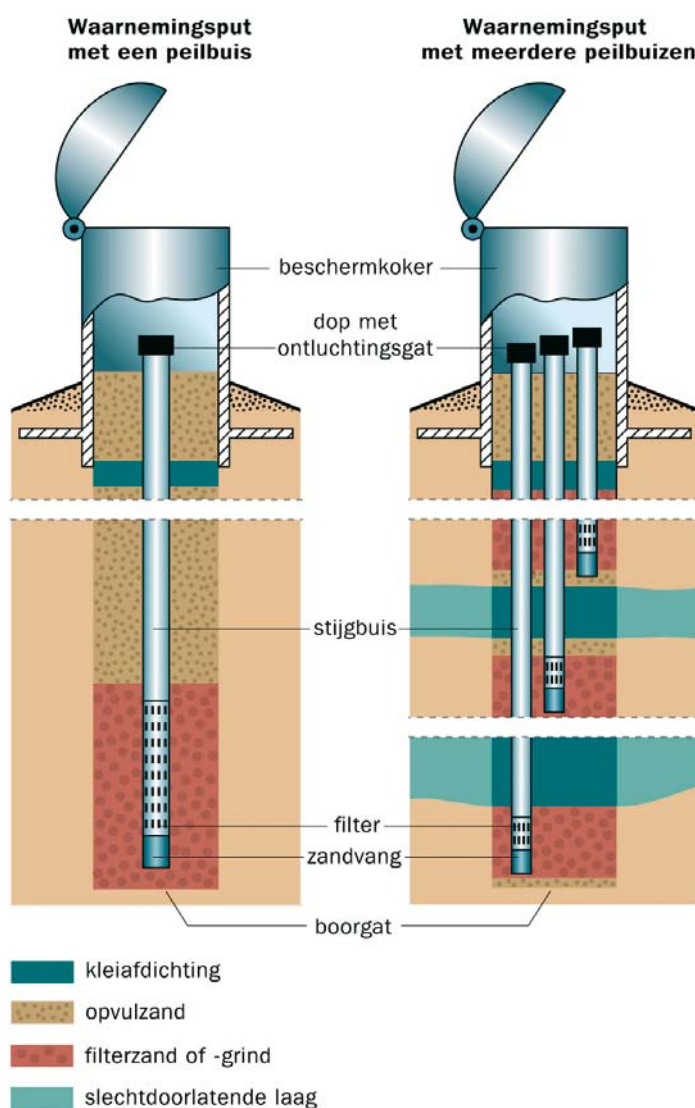
De Grondwatertrappenkaart verschaft vooral inzicht in de diepte en de fluctuatie van de grondwaterstand in de bovenste 120 cm beneden maaiveld. In combinatie met de Bodemkaart zijn daarmee onder andere de landbouwkundige gebruiksmogelijkheden van terreinen vast te stellen.

Gebieden waar de gemiddeld laagste grondwaterstand tot onder de 120 cm beneden maaiveld wegzakt (grondwatertrappen V, VI en VII) zijn wel in de kaart aangegeven, maar men kan met de kaart geen verdere indicatie krijgen van de diepte van de laagste grondwaterstand. Hoe diep de grondwaterstand dan kan staan, bijvoorbeeld om een idee te krijgen hoe diep een put minimaal geboord moet worden, dient dan op een andere wijze

AFBEELDING 5. | Inrichting van een peilput met één of met meerdere stijgbuizen. Meerdere stijgbuizen worden onder andere geplaatst indien er slechtdoorlatende lagen in het boorgat zijn aangetroffen en men de stijghoogte van het onder deze lagen aanwezige grondwater wil kunnen meten (naar Van Bracht, 2001).



AFBEELDING 4. | Roestvlekken in keileem in een profielwand nabij Erica, Provincie Drente.



AFBEELDING 6. | *Beschermkoker van een peilput. Peilputten kunnen ondanks de beschermkoker beschadigd raken bij het maaien van het gras. De rood geverfde houten paal moet dit mede helpen voorkomen.*

vastgesteld te worden. Dit kan onder ander door de grondwaterstandsgegevens van de databank DINO te raadplegen of de op basis van deze gegevens vervaardigde (contourlijnen)kaarten van de grondwaterstand.

Diepste grondwaterstanden

Diepe grondwaterstanden onder het maaiveld worden in Nederland in het algemeen aangetroffen in topogra-fisch hoog gelegen gebieden met veel reliëf. Gebieden met een gemiddelde grondwaterstand dieper dan 5 m beneden maaiveld komen dan ook voor in de duinen langs de kust, op de Brabantse Wal, in de rivierduinen en hoogterrassen langs de Maas in Noord- en Midden-Limburg, maar vooral op de stuwwallen in Midden- en Oost-Nederland en in Zuid-Limburg. De diepste grondwaterstanden worden gemeten nabij het plaatsje Eys in Zuid-Limburg. Op deze locatie staat de gemiddelde grondwaterstand op ruim 73 meter beneden maaiveld (zie Afb. 10).

Indeling van de ondergrond ten aanzien van doorlatendheid

Binnen hydrogeologische karteringen en studies wordt de ondergrond ingedeeld op basis van de doorlatendheid van de gesteenten. Daarbij worden de volgende drie typen lagen onderscheiden:

Watervoerende laag of “aquifer” een laag opgebouwd uit afzettingen of gesteenten met een goede of matige doorlatendheid, zoals grof zand.

Slecht doorlatende laag of “aquitard” een laag opgebouwd uit slecht tot zeer slecht doorlatende afzettingen of gesteenten, zoals een kleilaag.

Ondoorlatende laag of “aquiclude” een laag opgebouwd uit zeer slecht doorlatende afzettingen of gesteenten, zoals zeer compacte kleilagen of bruinkoollagen.

Verder worden vaak onderscheiden:

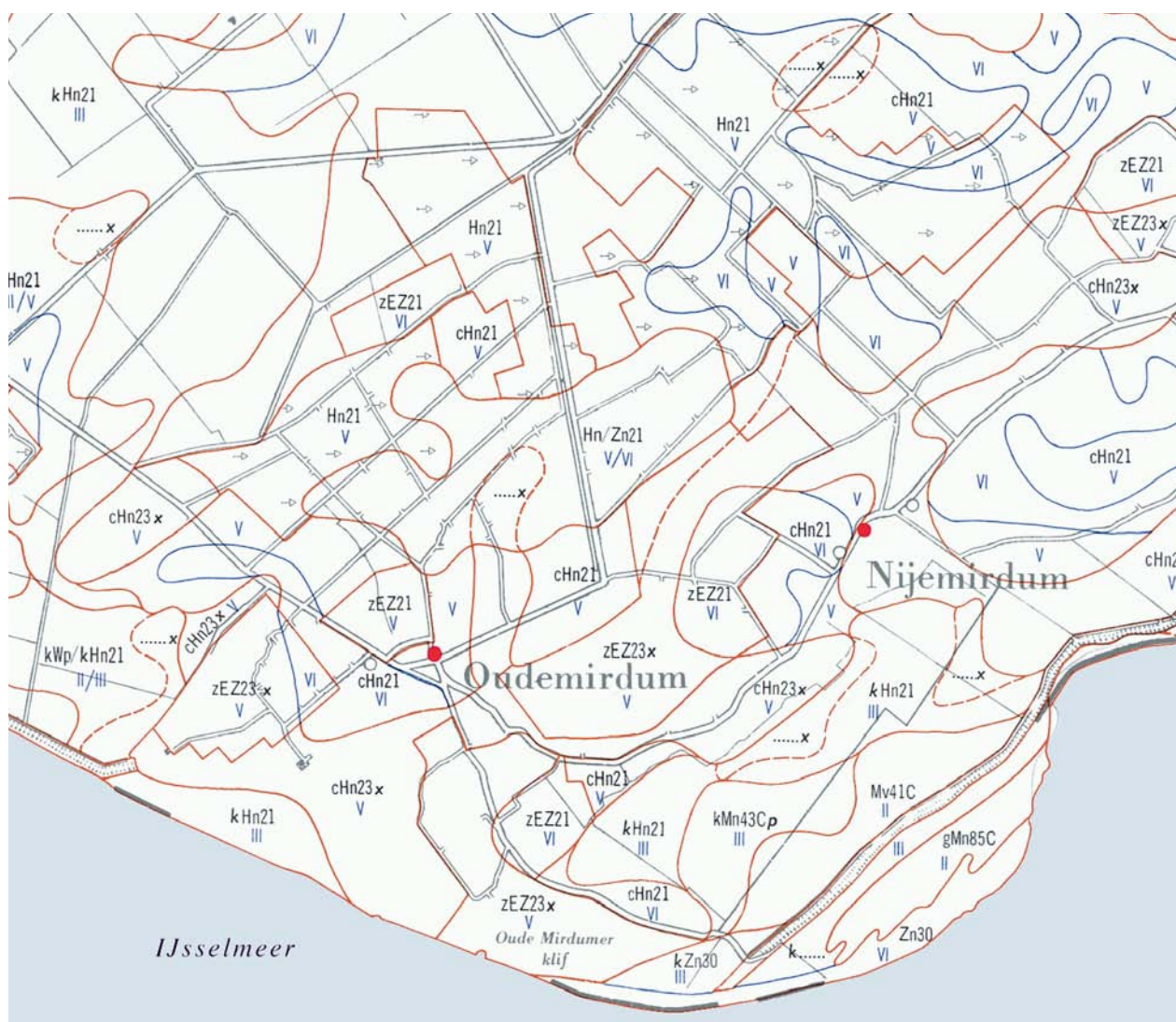
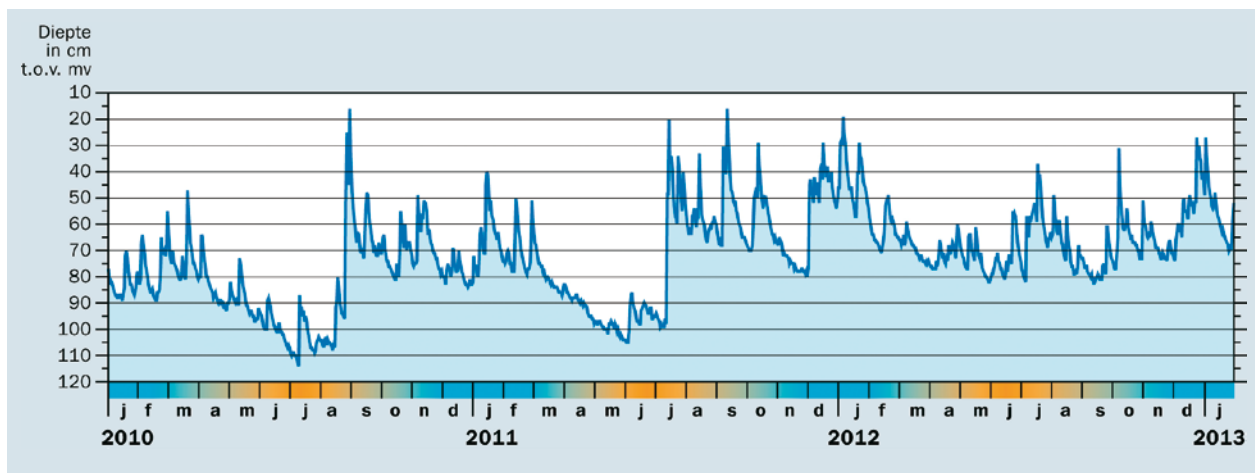
Deklaag Een aan het maaiveld voorkomende slecht tot matig doorlatende laag.

Geohydrologische basis Een grensvlak in de ondergrond waarvan aangenomen wordt dat er door dit grensvlak slechts een te verwaarlozen grondwaterstroming plaatsvindt waardoor de eronder gelegen lagen buiten beschouwing gelaten kunnen worden.

De doorlatendheid en de aanwezige contrasten in doorlatendheid, de dikte, de mate van uitgestrektheid van de lagen en de aard van het onderzoek zijn doorslaggevende criteria bij het maken van deze indeling. Alhoewel de grenzen van geologische eenheden (formaties, laagpakketten, lagen) samenvallen met een verschil in lithologie en daarmee in doorlatendheid, hoeven de grenzen van geologische eenheden daarbij niet aangehouden te worden. Afzettingen van een geologische eenheid kunnen dus worden onderverdeeld en de afzettingen van verschillende geologische eenheden kunnen worden samengevoegd. De nadruk ligt daarbij steeds op de hydrologische betekenis van de afzettingen. Om die reden wordt een dergelijke indeling van de ondergrond “geohydrologische schematisering” genoemd (Afb. 11).

AFBEELDING 7. | *Apparatuur voor het meten van de grondwaterstand/stijghoogte in een peilput: 7a) peilklokje, 7b) peilapparaat met geluid- en lichtsignaal, 7c) elektronische drukopnemer. NB: Bij diepe grondwaterstanden/stijghoogten, of op locaties met veel lawaai is het klassieke peilklokje niet geschikt. Onder dergelijke omstandigheden wordt het peilapparaat met geluid- en lichtsignaal gebruikt. Dit bestaat uit een aan een meetband bevestigde sonde, die een geluid- en lichtsignaal doet afgaan zodra hij in contact komt met water.*





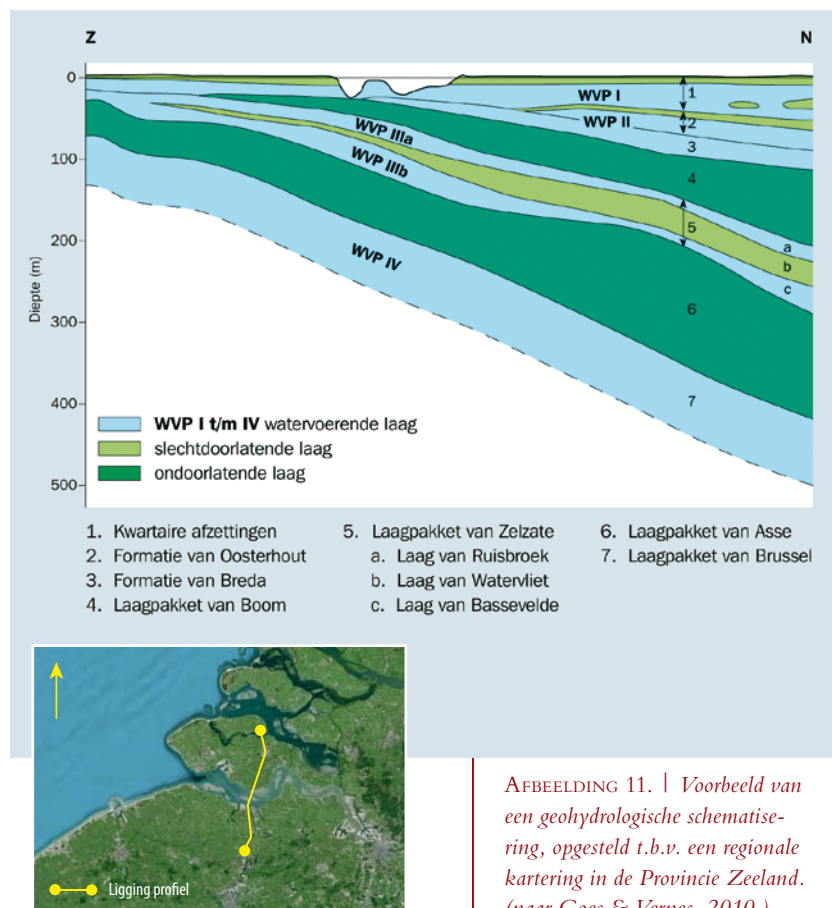
AFBEELDING 10. | Geologische opbouw ter plaatse van meetpunt B62B0975 te Eys, Limburg, waar een gemiddelde grondwaterstand van 73,43 m beneden maaiveld is gemeten, de diepste grondwaterstand van Nederland. De grondwaterspiegel staat in de kalksteen van de Formatie van Gulpen (bron: databank DINO).

In Nederland is het gebruikelijk om watervoerende pakketten en slecht doorlatende/ondoorlatende lagen vanaf maaiveld oplopend te nummeren (Afb. 11).

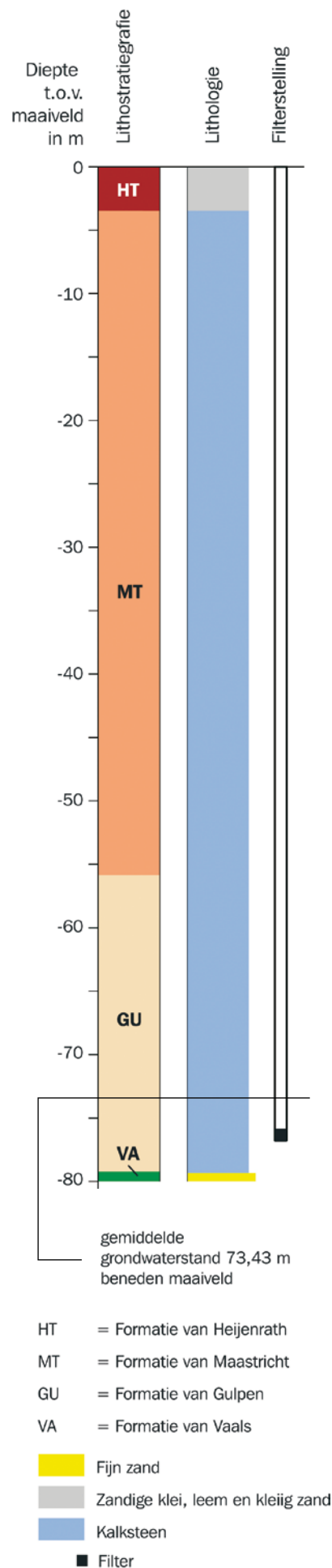
Voor een lokale grondwaterstudie kan een tussen twee kleilagen aanwezige zandlaag van belang zijn en om die reden als aparte watervoerende laag worden onderscheiden, terwijl deze zandlaag binnen een regionaal onderzoek met de boven en onderliggende kleilaag tot één slecht doorlatende laag kan worden samengevoegd. Om deze reden is er tot op heden nog geen eenduidige indeling in watervoerende pakketten en slecht doorlatende lagen, wat in de praktijk tot misverstanden kan leiden indien men het heeft over het “tweede watervoerende pakket”. Het is om die reden van belang om steeds na te gaan hoe de geohydrologische schematisatie is gedefinieerd.

In het hydrogeologische model van REGIS II (Regionaal Geohydrologisch Informatie Systeem, versie II), is elke geologische formatie onderverdeeld in afzettingen met binnen bepaalde bandbreedte dezelfde doorlatendheid: de zogenaamde “hydrogeologische eenheden”. De verbreiding, diepteligging, dikte en doorlatendheid van deze eenheden zijn op regionale schaal gekarteerd en in digitale kaarten vastgelegd en vormen daarmee de basisgegevens voor het maken van een geohydrologische schematisering.

Zoals hierboven reeds is aangegeven zijn de doorlatendheid en de dikte van watervoerende pakketten en slecht- en ondoorlatende lagen belangrijke kenmerkende eigenschappen. Om watervoerende pakketten te karakteriseren wordt daarom ook de “transmissiviteit” gebruikt, die het product is van de horizontale doorlatendheid en de verzadigde dikte van het pakket, en aangeduid wordt met



AFBEELDING 11. | Voorbeeld van een geohydrologische schematisering, opgesteld t.b.v. een regionale kartering in de Provincie Zeeland. (naar Goes & Vernes, 2010.)





AFBEELDING 12. | Uitvoering van een temperatuurmeting van de ondergrond in een artesische peilput in Limburg. Doordat de stijghoogte in deze put tot ver boven het maaiveld uitkwam, moesten extra buizen worden gemonteerd om de meting mogelijk te maken.

de term “kD” (eenheid m^2/d ; dus vierkante meter per dag). Hoe hoger de transmissiviteit, hoe groter de hoeveelheid grondwater is die door het watervoerende pakket stroomt. Bij het zoeken naar een pakket om grondwater uit te winnen is naast het zoutgehalte van het grondwater, de transmissiviteit dan ook een belangrijk criterium.

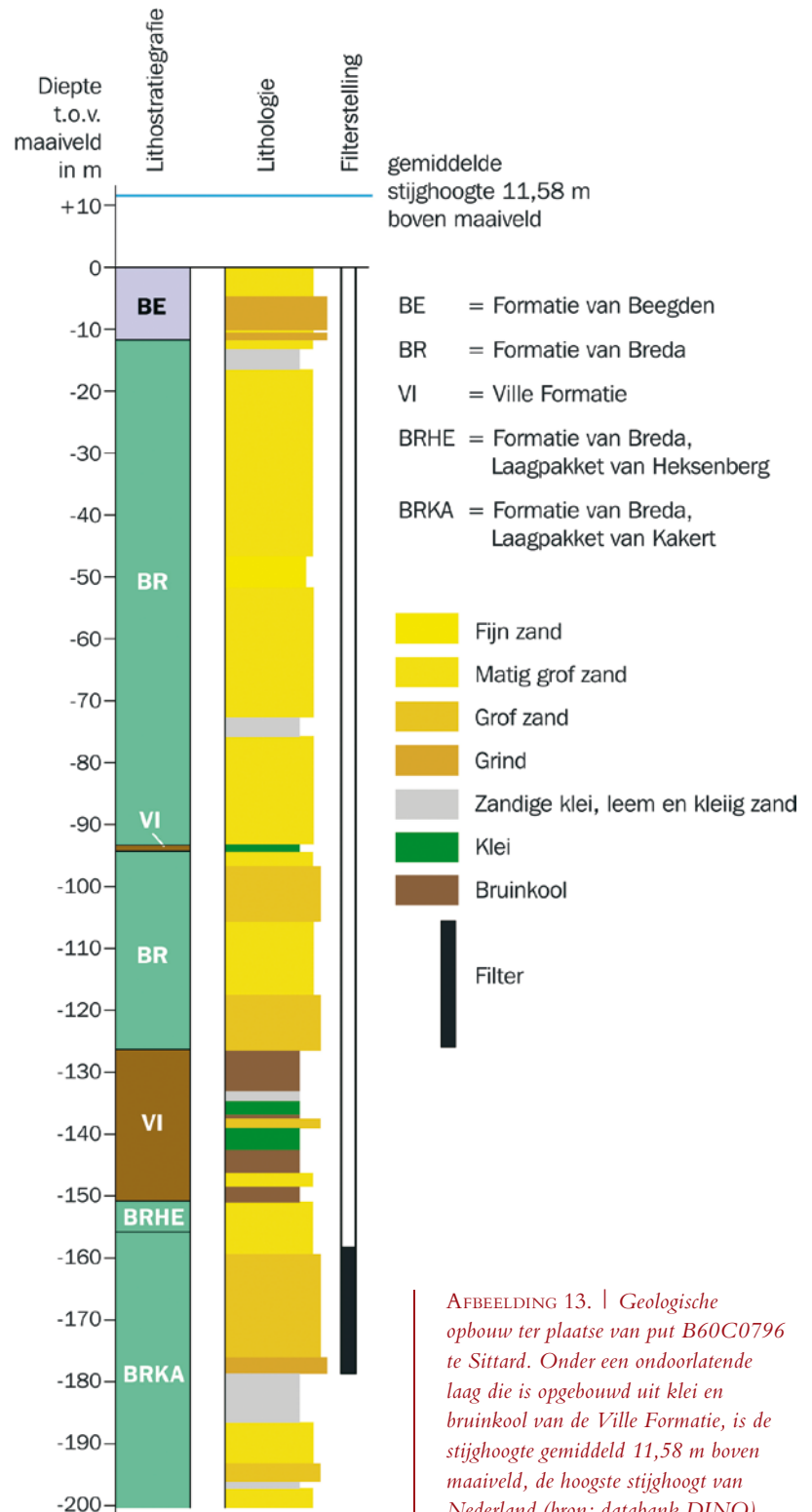
De (verticale) weerstand is een belangrijke eigenschap van slecht- en ondoorlatende lagen. Het is quotiënt van de dikte en de verticale doorlatendheid van de laag, en wordt aangegeven met de letter “c” (eenheid $\text{d} = \text{dag}$). Het is de weerstand die de laag biedt tegen verticale grondwaterstroming. Hoe hoger de weerstand, hoe langer het duurt voordat water in verticale richting door de laag is gestroomd. Slechtdoorlatende lagen mogen dan wel niet geschikt zijn om grondwater uit te onttrekken, toch zijn ze hydrologische gezien erg belangrijk. Denk daarbij aan de aan het maaiveld voorkomende, uit klei en veen opgebouwde slechtdoorlatende lagen (de deklaag) in de Nederlandse polders. Zonder deze weerstandbiedende lagen zou het grondwater immers in grote hoeveelheden vanuit de watervoerende pakketten kunnen toestromen.

Daarnaast beschermen weerstandbiedende lagen de onderliggende watervoerende pakketten tegen verontreinigingen van bovenaf.

Het spreekt voor zich dat naarmate de transmissiviteit of weerstand van een watervoerende laag, respectievelijk een slechtdoorlatende laag hoger is, ook de hydrologische betekenis van die laag groter zal zijn.

Verdere indeling van watervoerende lagen

Aquifers kunnen verder worden ingedeeld op grond van de mate waarin de aquifer aan de bovenzijde wordt afgedekt door een slecht- of ondoorlatende laag:



“Freatische aquifer”

Er is geen slecht- of ondoorlatende laag aanwezig die de aquifer afdekt.

“Gedeeltelijk afgesloten aquifer”

De aquifer wordt afgedekt door een slecht doorlatende laag.

“Afgesloten aquifer”

De aquifer wordt afgedekt door een ondoorlatende laag.

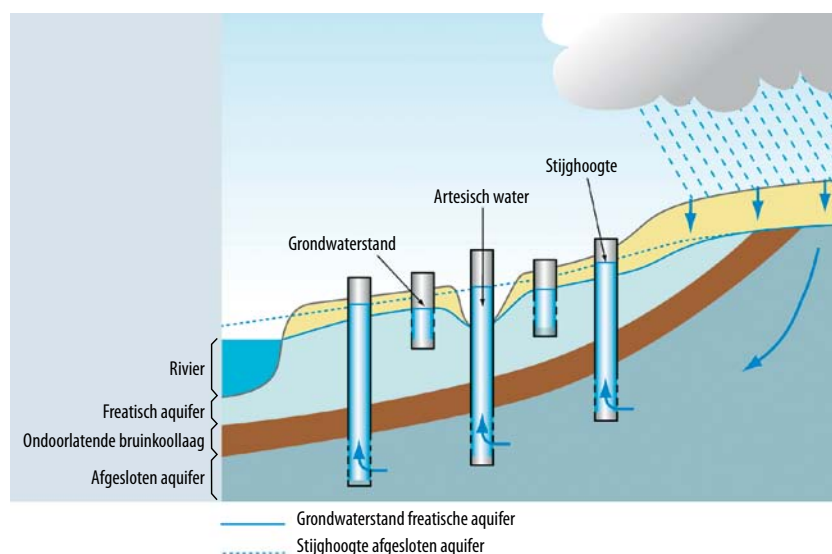
Door de afsluitende werking van een slecht- of ondoorlatende laag kan het in een (gedeeltelijk) afgesloten aquifer aanwezige grondwater onder druk komen te staan. Om die reden spreekt men van (semi-)spanningswater. Deze druk kan zelfs zo hoog zijn dat het grondwater tot boven maaiveld uitstijgt indien men een put in de aquifer boort. Men spreekt dan van “artesisch” water. Het water zal dan vrij uit de put blijven stromen: de artesische put (zie Afb.14). Natuurlijke bronnen kunnen zowel gevoed worden door (semi-)spanningswater uit (gedeeltelijk) afgesloten aquifers of door het grondwater uit een freatische, dat wil zeggen niet door een slecht- of ondoorlatende laag afgedekte, aquifer.

Artesisch grondwater komt op diverse plekken in Nederland voor. Een bekend gebied is de Gelderse Vallei.

Indien men een peilput inricht in een (gedeeltelijk) afgesloten aquifer dan zal door de afdekkende slecht- of ondoorlatende laag het peil van het water in de put afwijken van de grondwaterstand op die plaats (zie Afb. 14). Men spreekt daarom bij (gedeeltelijk) afgesloten aquifers niet van grondwaterstand maar van stijghoogte. In een freatische aquifer, waar geen afdekkende laag aanwezig is, is het peil wel gelijk aan de grondwaterstand.

Hoogste stijghoogten

Waar worden nu de hoogste stijghoogten ten opzichte van het maaiveld gemeten? Het spreekt voor zich dat dit in een gebied moet zijn waar sprake is van artesisch water. Maar waar? Dit blijkt in peilput B60C0796 te Sittard te zijn. In deze put, die zich nabij de Geleenbeek bevindt, is het filter onder een bruinkool- en kleilaag van de Ville Formatie geplaatst (Afb.13). In de daaronder gelegen zanden van de Formatie van Breda is sprake van artesisch grondwater, waarbij de stijghoogte gemiddeld 11,58 m boven maaiveld staat. Bij het boren van de put kwam het water zelfs tot 14,5 m boven maaiveld uit. Dat het uitvoeren van onderzoek in dergelijke artesische putten praktische problemen geeft blijkt uit afbeelding 12.



AFBEELDING 14. Schematische weergave van het verschil tussen de grondwaterstand en de stijghoogte. Indien de stijghoogte tot boven het maaiveld uitkomt, spreekt men van artesisch grondwater (gewijzigd naar Dufour, 1998).

LITERATUUR

Davies, S.N., & Dewiest, R.J.M., 1966.

Hydrogeology. New York, Wiley.

Domenico, P.A. & Schwartz, F.W., 1990.

Physical and Chemical Hydrogeology. New York, Wiley.

Dufour, F.C., 1998.

Grondwater in Nederland, Onzichtbaar water waarop wij lopen. Geologie van Nederland, deel 3. Delft, Nederlands Instituut voor Toegepaste Geowetenschappen TNO.

Goes, B.J.M. & Vernes, R.W., 2010. REGIS Zeeland, Deelrapport C: Zoet, brak en zout grondwater. Utrecht, TNO Bouw en Ondergrond - Netherlands Geological Survey. TNO-rapport TNO-034-UT-2010-01833/A.

Meinzer, O.E., 1923.

The occurrence of groundwater in the United States, with a discussion of principles. USGS. Water Supply Paper 489.

Steur, G.G.L., Heijink, W., Bakker, H. de, Boersma, O.H., Hamming, C., Jager, A., Kooistra, M.J., Lynden, K.R. van, Koldewe-Witteveen, K.H.W., Ruyten, E.C.W.M., Sluijs, P. van der & Wallenburg, C. van, 1991.

Bodemkaart van Nederland 1:50.000, Algemene begrippen en indelingen, 4^e uitgave. Wageningen, Staring Centrum.

STIBOKA, 1970.

Bodemkaart van Nederland Schaal 1:50:000, Kaartblad 15 West (Friese gedeelte) en 15 Oost Staveren. Wageningen, Stichting voor Bodemkartering.

Todd, D.K., 1980.

Groundwater Hydrology, second edition. New York, Wiley.

Van Bracht, M.J., 2001.

Made to Measure, Information Requirements and Groundwater Level Monitoring Networks (Proefschrift, Vrije Universiteit Amsterdam). Delft/Utrecht, Nederlands Instituut voor Toegepaste Geowetenschappen TNO - National Geological Survey.

