

GRONDWATER IN LIMBURG

P. van Rooijen*

Grondwater kan worden gedefinieerd als het water in de ondergrond dat de holruimten in de aardkorst aaneensluitend opvult en zich onder invloed van de zwaartekracht voortbeweegt.

De moeilijkheid met grondwater is dat het zich, onzichtbaar voor het menselijk oog, onder het aardoppervlak bevindt. Daardoor viel er, en valt er nog steeds, veel meer te speculeren over de herkomst, mate van voortbewegen, chemische samenstelling e.d. van grondwater dan van oppervlaktewater. Zo dachten zowel de Griekse als Romeinse filosofen dat bronnen gevoed werden door zeewater, dat door ondergrondse kanalen onder de bergen door werd aangevoerd en dan werd gereinigd en omhooggevoerd. Tot in de 17de eeuw werd deze theorie algemeen aangenomen.

De tijd dat grondwater naar believen aan de bodem kon worden onttrokken, ongeacht de hoeveelheid, de diepte en de wijze waarop, is voorbij. Niet alleen het nut voor de drinkwatervoorziening, de industrie en de landbouw maakt ons grondwater tegenwoordig tot een zorgenkind. Ook de toepassingen op het gebied van aardwarmte en koeling, het belang voor het behoud van natuurgebieden en de sterk toenemende bodemverontreinigingen hebben de laatste tijd een intensief onderzoek naar de kwaliteit en kwantiteit van ons grondwater gestimuleerd.

Onduidelijkheid bestaat in Nederland vaak over de benaming van het vakgebied dat zich met het grondwater, en met het medium waarin dat voorkomt, bezighoudt. Hydrogeologie of geohydrologie? In de hydrogeologie wordt het voorkomen, de bewegingen en de samenstelling van het grondwater vooral vanuit de geologie bestudeerd. Een nadruk ligt daarbij op de watervoerende of waterkerende ei-

genschappen van de verschillende lagen in de ondergrond. Daarnaast wordt in Nederland de benaming geohydrologie gebruikt voor het vakgebied dat, vanuit de hydrologie, een meer kwantitatieve benadering van het grondwater nastreeft.

VOORKOMEN VAN GRONDWATER

Grondwater komt praktisch overal onder het landoppervlak voor. Dit betekent echter niet dat op elke plaats grondwater uit de ondergrond kan worden onttrokken. Het water bevindt zich in poriën, holten of spleten, in losse of vaste gesteenten. Sommige van deze gesteenten zijn goed doorlatend (b.v. grof zand en grind). We spreken dan van een watervoerende laag en bij voldoende uitgestrektheid en dikte van "aquifer". Andere lagen zijn minder goed doorlatend of slecht doorlatend. Bij een zeer slecht doorlatende laag (b.v. klei) spreken we van scheidende laag, of "aquiclude", ondanks het feit dat een kleilaag een hoog watergehalte kan bezitten. Klei is, zo zou men kunnen zeggen, dus wel waterhoudend maar niet watervoerend.

Vanwaar nu dit in de hydrogeologie zo belangrijk verschil tussen waterhoudendheid en watervoerendheid? Dit heeft te maken met de vorm en afmeting van de poriën, holten en spleten waardoor het water zich moet verplaatsen. Het is dus niet zonder meer zo dat de doorlatendheid van een gesteente stijgt met het totale poriënvolume, de porositeit.

Figuur 1 toont een doorsnede door fijn zand (links) en grind (rechts). In beide gesteenten is de korrelvorm gelijk en de porositeit bijvoorbeeld 30%. (De korrelverdeling van het zand is a.h.w. een verkleining van die in het grind). Niet al het water is echter vrij om zich door de poriën te bewegen. De sedimentkorrels zijn blijvend omgeven door een waterhuidje. Door adhesieve krachten blijft dit aan de korrels gebonden. De effectieve porositeit, waardoor watertransport mogelijk wordt, is dus kleiner

*Drs. P. van Rooijen
hoofd hydrogeologie en adviezen
Rijks Geologische Dienst
Geologisch Bureau, Postbus 126 - 6400 AC Heerlen.

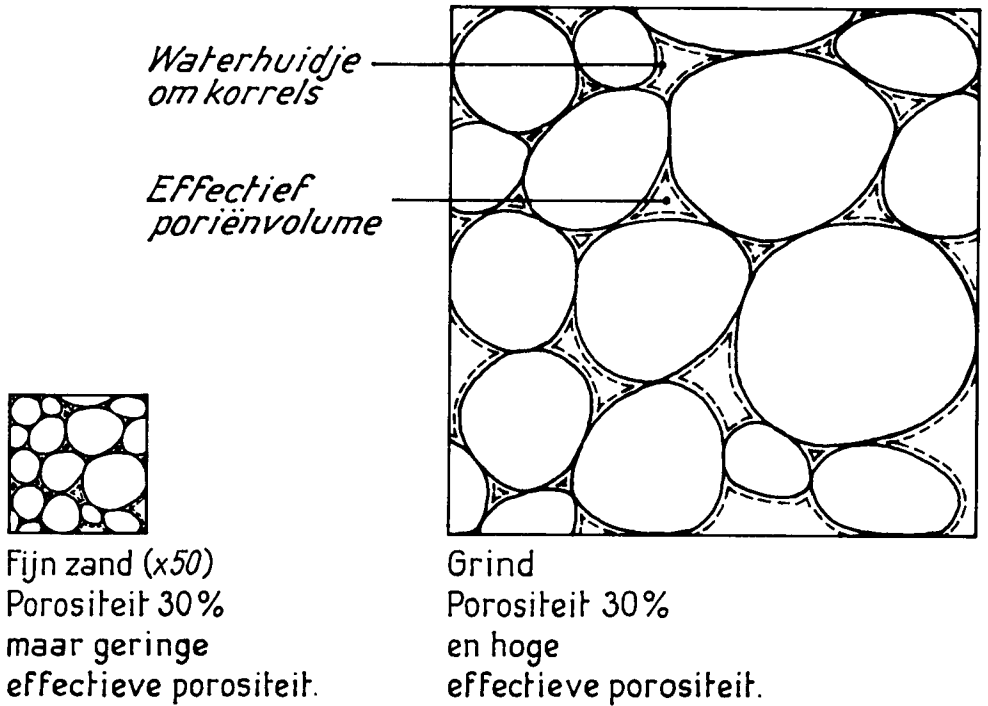


Fig. 1. De relatie tussen de totale porositeit en de voor watertransport te benutten effectieve porositeit.

dan 30%. Dit verlies aan beschikbare porositeit is vanzelfsprekend groter in het fijne zand, waar de poriën wel talrijker maar veel kleiner zijn dan in het grind, terwijl het waterfilmpje om de korrels steeds even dik is. Ondanks de identieke korrelvorm en porositeit is het doorlaatvermogen voor water dus groter in het grind.

De doorlatendheid van een los, niet verkit sedimentgesteente wordt dus voornamelijk bepaald door:

- korrelgrootte
- sortering/bijmenging
- korrelvorm/afroning
- porositeit

In figuur 2 is schematisch de opbouw gegeven van een klei. De zeer kleine plaatvormige kleimineralen liggen op elkaar gestapeld maar laten toch een hoge porositeit toe van ca. 50%. Door de specifieke vorm en geringe afmeting van de ruimten tussen de plaatjes, die natuurlijk weer zijn omgeven door waterfilmpjes, is er echter nauwelijks of niet sprake van effectieve porositeit. Het gevolg is een zeer geringe doorlatendheid.

Ook de sortering van een sediment speelt een rol bij de doorlatendheid. Een goede korrelsortering zal een relatief hoge doorlatendheid met zich mee brengen. Daarentegen kan een geringe bijmenging van fijn sediment in een overigens grofkorrelig, sterk poreus gesteente een lagere waterdoorvoer toelaten.

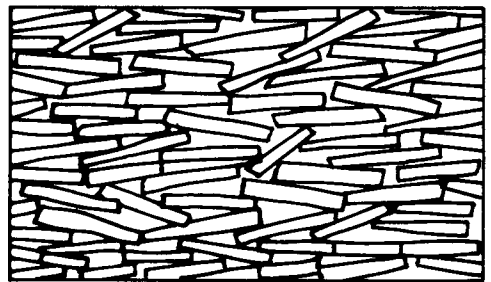


Fig. 2. Geschematiseerde opbouw van een klei.

Onderstaande tabel geeft een zeer globale indicatie van doorlatendheden van verschillende niet verkitte sedimenten.

zuiver grind	500-1500	} goed doorlatend
	m/dag	
grof zand	10-100	} matig doorlatend
	m/dag	
fijn zand	1-5	} slecht doorlatend
lemig zand	0,01-0,5	
	m/dag	} zeer slecht door- latend
klei	<0,0001	
	m/dag	

De werkelijke stroomsnelheid van grondwater is niet alleen van de doorlatendheid van het gesteente afhankelijk maar ook van de porositeit en de gradiënt (de helling van de grondwaterspiegel). Bovengenoemde doorlatendheidswaarden zijn gegeven voor een gradiënt van 1, dus bij een helling van de grondwaterspiegel van 1 op 1, of 45°. In werkelijkheid komen doorgaans veel geringere gradiënten voor, bijvoorbeeld tussen 1 op 1000 en 1 op 100.

In harde, verkitte of gecementeerde gesteenten zoals zandsteen of kalksteen is de porositeit vaak zeer gering en wordt de doorlatendheid voornamelijk bepaald door de barsten en spleten die in het gesteente zijn ontstaan. Betrouw-

bare doorlatendheidswaarden zijn daarbij doorgaans niet te geven.

Als het gaat over grondwater, wordt vaak gesproken over freatisch water, spanningswater en arthesisch water. Freatisch water is het grondwater in de bovenste watervoerende en deels met water verzadigde laag (zie fig. 3). Er is sprake van een vrije grondwaterspiegel die zich in de watervoerende laag op en neer kan bewegen in de tijd. Spanningswater komt voor in een volledig met water verzadigde laag die zowel boven als onder is afgesloten door een scheidende laag. Deze laag kent geen vrije grondwaterspiegel maar we spreken van stijghoogte of piëzometrisch niveau. Dit is de hoogte tot waarop het grondwater zal stijgen in een buis die de bovenliggende scheidende laag doorboort. Evenals de stroomrichting uit het verloop van de grondwaterspiegel is af te leiden voor freatisch water wordt deze bij spanningswater bepaald door de verschillen in de stijghoogte. Water stroomt hierbij steeds van hoog naar laag. Indien de stijghoogte uitstijgt boven het landoppervlak spreken we van arthesisch water, alhoewel men dit begrip soms tegenkomt als synoniem voor spanningswater. Bronvorming treedt op in relatief steile hellingen waar de vrije grondwaterspiegel aan het landoppervlak komt. In dalen en depressies kan het grondwater overgaan in oppervlaktewater.

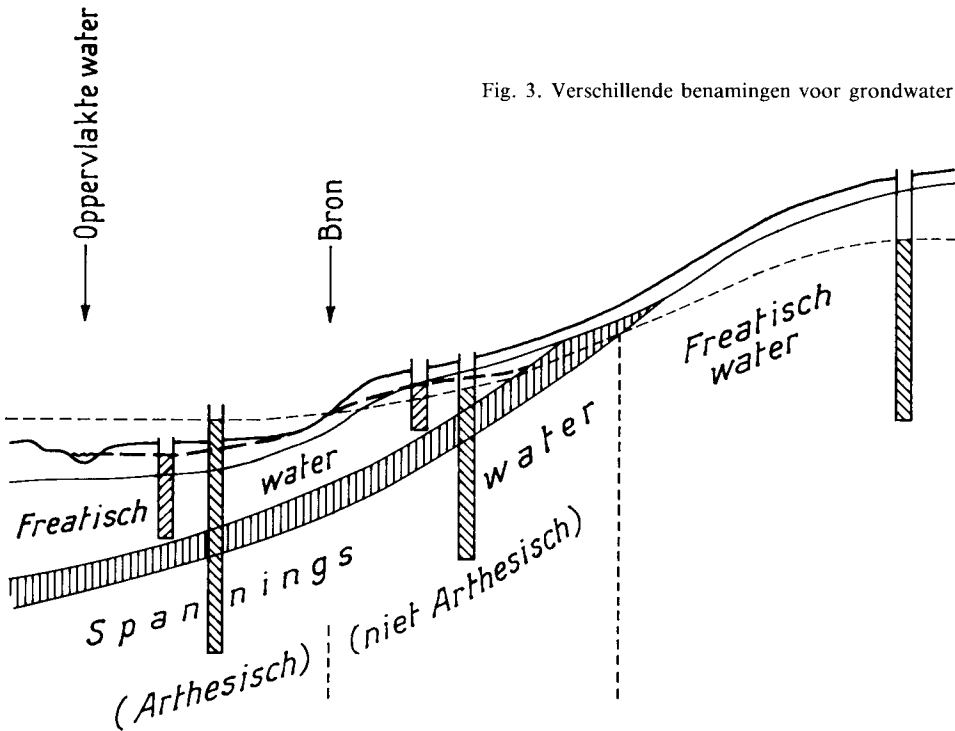


Fig. 3. Verschillende benamingen voor grondwater.

De provincie Limburg is structureel opgebouwd uit 3 eenheden die elk hun eigen mogelijkheden tot grondwateronttrekking bieden. De grens tussen deze eenheden wordt gevormd door belangrijke geologische breuken (zie fig. 4).

In het hooggelegen Zuid-Limburg komt grondwater voornamelijk voor in de kalksteen van de Formaties van Houthem, Maastricht en Gulpen. Dit gesteente wordt soms nog ten onrechte mergel (kalksteen met hoog kleigehalte) genoemd. Het is weliswaar zeer poreus maar dankt zijn doorlatendheid vooral aan de gespletenheid. Op kleine schaal kan water worden gewonnen uit de grinden van het Laagterras van de Maas. Grindafzettingen van hooggelegen, oudere Maasterrassen zijn meestal droog. In het zuidoostelijk deel van Zuid-Limburg wordt plaatselijk water onttrokken aan verkitte gespleten banken in de overigens kleiige fijne zanden van de Formatie van Vaals.

De Roerdal Slenk vormt een langs breuken verzakte structurele eenheid in Midden-Limburg. Verschillende aquifers in dit gebied worden gescheiden door slecht doorlatende pakketten. Drinkwater wordt voornamelijk gewonnen uit de diepere grove zanden van de Kiezeloöliet Formatie, t.w. de Zanden van Waubach en de Zanden van Pey. De door Maas en Rijn afgezette grove zanden en grinden van de Formaties van Kreftenheye, Veghel en Sterksel vormen de freatische aquifer, die veelal voor beregening, maar plaatselijk ook voor de drinkwatervoorziening wordt benut. Noordelijk Limburg, het gebied ten noorden van de Peelrand Breuk, wordt in twee structurele eenheden verdeeld door de Tegelen Breuk. De Peel Schol, vroeger ook Peelhorst genoemd, biedt weinig mogelijkheden tot waterwinning. Slechts de Maasgrinden van de Formatie van Veghel lenen zich voor onttrekking maar de kwaliteit van dit freatische grondwater laat vaak te wensen over. Het zuidelijk deel van de Venlo Schol bevat naast de Maasgrinden ook de grove Zanden van Venlo, behorend tot de Kiezeloöliet Formatie, als watervoerend pakket. Laatstgenoemde aquifer is veelal van boven afgesloten door de Klei van Venlo en bevat dan spanningswater van goede kwaliteit, alhoewel het ijzergehalte vaak aan de hoge kant is.

Figuur 5 geeft een overzicht van de beschikbare aquifers in de provincie Limburg.

Vaak wordt de vraag naar de oorsprong van het grondwater gesteld. Waar komt het vandaan? Hoelang bevindt het zich al in de bodem? De hydrogeologische omstandigheden

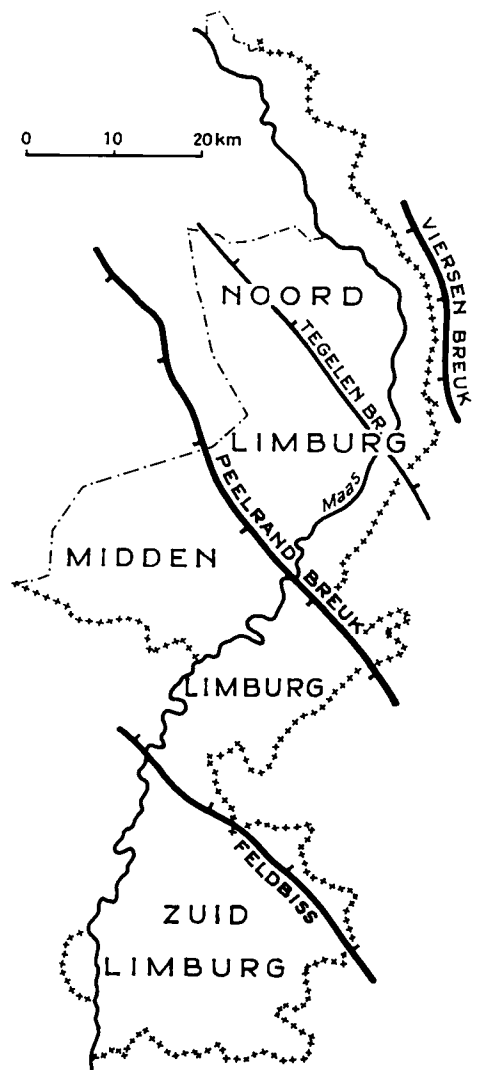


Fig. 4. De drie deelgebieden van de provincie Limburg.

die bepalend zijn voor een antwoord op deze vragen verschillen sterk van plaats tot plaats. Onttrekkingen van freatisch water zijn vaak afhankelijk van een intrekgebied op geringe afstand. Een groot deel van het opgepompte grondwater zal daarbij relatief jong zijn en op slechts geringe afstand van de pompput als neerslag in de bodem zijn geïnfiltreerd. De invloed van menselijke activiteiten op de kwaliteit van dit gewonnen grondwater kan dan groot zijn. Winstingen in diepere lagen, zoals bijvoorbeeld uit de Zanden van Waubach en de Zanden van Pey in Midden-Limburg, hebben doorgaans een ver verwijderd intrekgebied en het gewonnen grondwater heeft dan ook een relatief hoge ouderdom. Water van enkele duizenden jaren oud werd in genoemde pak-

Chrono Stratigrafie		Litho Stratigrafie		
Kwartair	Pleistoceen	U	Formatie v. Kreftenheye	
		M	Formatie v. Veghel	
			Formatie v. Sterksel	
		L	Formatie v. Kedichem	
			Formatie v. Tegelen	1.8 milj. j.
Tertiair	Plioceen	U	Kiezelooliet Formatie	5 milj. j.
		L		
	Mioceen	U		
		M	F.v. Heksenberg	
		L	Formatie v. Breda	23 milj. j.
	Oligoceen	U	<i>Hiaat</i>	
		M	Formatie v. Rupel	
		L	Formatie v. Tongeren	
	EOceen		<i>Hiaat</i>	
	Paleoceen	U	Formatie v. Landen	
L		Form. v. Maasmechelen		
		Formatie v. Houthem	65 milj. j.	
Krijt		U	Formatie v. Maastricht	
			Formatie v. Gulpen	
			Formatie v. Vaals	80 milj. j.
			Formatie v. Aken	
			L	
Jura				
Trias		<i>Hiaat</i>		
Perm				
Carboon		U	Formatie v. Epen	280 milj. j.
		L	„Kolenkalk“	
Devoon			Condroz zandsteen	345 milj. j.

 *Aquifer*
  *Plaatselijk waterwinning mogelijk*

Fig. 5. Stratigrafische eenheden en de mogelijkheden tot waterwinning.

ketten in Midden-Limburg gevonden.

De diepte van de grondwaterspiegel onder het maaiveld varieert sterk in de reliëfrijke provincie Limburg. In de vlakke, laaggelegen gebieden van Midden- en Noord-Limburg is de onverzadigde zone dun en ligt de grondwaterspiegel hoogstens enkele meters onder het landoppervlak. In grote delen van Zuid-Limburg is de diepte van het grondwater groot, vaak enkele tientallen meters. Op enkele plateaus van het "Mergelland" moet men zelfs rekenen met diepten tot de grondwaterspiegel van ruim 50 meter.

Het komt soms voor dat men bij het maken van een boring duidelijk boven de verwachte freatische grondwaterstand een met water verzadigde zone aantreft. Er kan dan sprake zijn van een schijngrondwaterspiegel boven een lokaal voorkomende slecht doorlatende laag. Bij een belangrijke laterale verbreiding van een kleilaag kan dit tot een blijvend voorkomen van grondwater leiden.

Als de slecht doorlatende laag slechts geringe afmetingen bezit en meer het karakter heeft van een lokale lens, zal dit doorgaans slechts tijdelijk aanleiding geven tot watervoerendheid erboven. Men spreekt in dit geval ook wel van standwater.

Arthesisch water komt in enkele gebieden in Limburg voor in tertiaire watervoerende pakketten. De Zanden van Waubach en de Zanden van Pey bevatten arthesisch water in het laaggelegen gebied rond de Maas, globaal omsloten door de veelhoek Pey-Vlodrop-Swalmen-Roggel-Hunsel-Roosteren. De stijghoogte loopt op tot meer dan 10 meter boven het maaiveld in het diepste deel van het Maasdal bij Asselt. In het Geleendal tussen Sittard en Geleen komt arthesisch water voor in de fijne zanden van de miocene Formatie van Heksenberg onder de bruinkoollaag Frimmersdorf. Dit is vermoedelijk ook het geval tussen Limbricht en Grevenbicht ten zuiden van de Feldbiss. In een boring bij Broekhuizen, in Noord-Limburg, werd grondwater in de miocene Formatie van Breda en in het oligocene Zand van Berg (Formatie van Rupel) gevonden met stijghoogten van respectievelijk 6 en 12 meter boven het maaiveld.

In het westen van Nederland is het grondwater dicht onder het landoppervlak vaak al brak of zelfs zout. In Limburg ligt dat geheel anders. In de belangrijkste aquifers in de Roerdal Slenk wordt nog zoet water gewonnen op diepten tot 400 meter. Niet ver over de Duitse grens, in een boring bij Straeten, werd op 1000 meter nog zoet water gevonden. In Noord-

Limburg, waar matig tot slecht doorlatende, in zee afgezette lagen relatief dicht aan de oppervlakte komen, ligt de overgang naar zout water doorgaans tussen 100 en 200 meter onder NAP. Opvallend is hier dat deze grens onder de Maas opbolt. Kennelijk voert de Maas ook grondwater af dat vanuit de diepte toestroomt en daarmee de zoutgrens omhoog stuwt. Dit is overigens ook het geval daar waar een scheidende kleilaag (Klei van Venlo) in de bovenliggende lagen voorkomt.

In Zuid-Limburg loopt de grens tussen zoet en zout water geleidelijk weer omhoog, om nabij de grens met de Voerstreek rond zeeniveau uit te komen. Op enkele plaatsen in dit grensgebied, vooral dicht langs de Maas, is invloed van zouter water al merkbaar in oude bronnen of kwelgebieden.

WATER IN DE ZUID LIMBURGSE KALKSTEEN

Nederland bestaat voor het overgrote deel uit bijna vlakke gebieden met een ondergrond van vele honderden meters dikke kwartaire en tertiaire lagen, opgebouwd uit zanden en kleien. Zuid-Limburg vormt hierop een uitzondering. In dit reliëfrijke gebied is slechts een dunne deklaag aanwezig van meestal niet watervoerende kwartaire en tertiaire sedimenten. De belangrijkste watervoerende laag is hier de kalksteen, die in het Laat Krijt en Vroeg Paleoceen werd afgezet in een ondiepe zee. In Zuid-Limburg wordt uit deze aquifer jaarlijks ca. 30 miljoen m³ grondwater onttrokken voor de drinkwatervoorziening. Het bijzondere van het kalksteenpakket is in dit verband het hydrologisch anisotrope karakter van het gesteente: de doorlatendheid wisselt sterk van plaats tot plaats en is afhankelijk van de kompasrichting. Waardoor wordt deze anisotropie veroorzaakt?

De kalksteen bestaat bijna uitsluitend uit zeer kleine kalkskeletdelen van microorganismen. Deze kalkkorrels zijn aaneengekit tot een vrij vast en competent gesteente met een hoge porositeit van rond 40%. Door de zeer kleine afmetingen van de verbindingen tussen de intergranulaire ruimten heeft dit verkitte sediment een zeer lage doorlatendheid, die oorspronkelijk in alle richtingen ongeveer even groot is. Door tektonische bewegingen, drukontlasting na erosie van de dekragen en andere processen in de aardkorst ontstaan vooral in de bovenste zone van het kalksteenpakket echter spleetsystemen waarlangs het grondwater zich makkelijker beweegt dan via de intergranulaire ruimten. De verdeling en richting van deze spleten bepalen nu in hoofdzaak het anisotro-

pe karakter van de kalksteen.

Het grondwater wordt uit het kalksteenpakket gewonnen via open boorgaten van 30 à 50 cm doorsnede. Maar niet overal in het kalksteenpakket mogen opbrengsten per put van 50-100 m³/uur worden verwacht. Er zijn plaatsen, vooral langs belangrijke spleetsystemen of breuken, waar deze capaciteit ruimschoots wordt gehaald, bij een zeer geringe afzuiging van minder dan een meter. Elders moet, door gebrek aan spleten in het watervoerende kalkstentraject, een afzuiging van tientallen meters in stand worden gehouden om de vereiste hoeveelheid grondwater uit de omgeving te doen toevloeien. Dit verschil in specifiek debiet (de opbrengst in m³/uur per meter afzuiging) van plaats tot plaats is kenmerkend voor de kalksteen aquifer (zie figuur 6). Bij de planning van nieuwe waterwingebieden in Zuid-Limburg is het dan ook erg belangrijk om die gebieden te selecteren waarin de kansen op een gunstig specifiek debiet groot zijn.

Een typisch verschil tussen zanden en grinden enerzijds en de kalksteen anderzijds is het verloop van de productiviteit met de diepte. In een zand- of grindpakket van constante samenstelling mag over de gehele pakketdikte met een gelijkblijvende opbrengst per dikte-eenheid worden gerekend. Ten gevolge van de doorgaans te constateren afname van de gespletenheid van kalksteen naar de diepte, neemt in dit gesteente de productiviteit naar beneden af (zie figuur 7). Op een diepte van

enkele tientallen meters in het kalksteenpakket is de gespletenheid meestal reeds zo sterk gereduceerd dat een hoge doorlatendheid niet erg waarschijnlijk meer is.

Daar waar de bovenste zone van het pakket boven de grondwaterspiegel ligt, zoals zo vaak het geval is op de plateaus in Zuid-Limburg, zullen in het algemeen geen goede mogelijkheden voor grondwaterwinning bestaan. Daarentegen bieden de dalen, met hun relatief ondiepe grondwaterstanden ten opzichte van het maaiveld, vaak gunstige kansen op een hoge productie. Het belang van spleten voor de waterwinning uit kalksteen is dus groot. Toch bieden ook de spleten alleen niet de doorlatendheden die nodig zijn voor een goede waterproductie. Het is de oplossing van kalksteen langs spleten die een zodanige verwijding van de stroomwegen voor het water veroorzaakt dat de hoge putproducties van 80 m³/uur en meer mogelijk worden. Deze oplossing veroorzaakt slechts een zeer geringe toename van de lokale porositeit maar een enorme verhoging van de doorlatendheid of permeabiliteit (zie figuur 8). Men spreekt ook wel van primaire porositeit/permeabiliteit (in de oorspronkelijke toestand van de ongespleten kalksteen) en secundaire porositeit/permeabiliteit (t.g.v. ontwikkeling van spleten en oplossing daarlangs). Het in kwantitatief opzicht gunstige effect van spleten en oplossing in de kalksteen heeft ook een keerzijde: de kwaliteit. Ook verontreinigingen vinden via de spleten makkelijker en sneller hun weg dan in een ongespleten

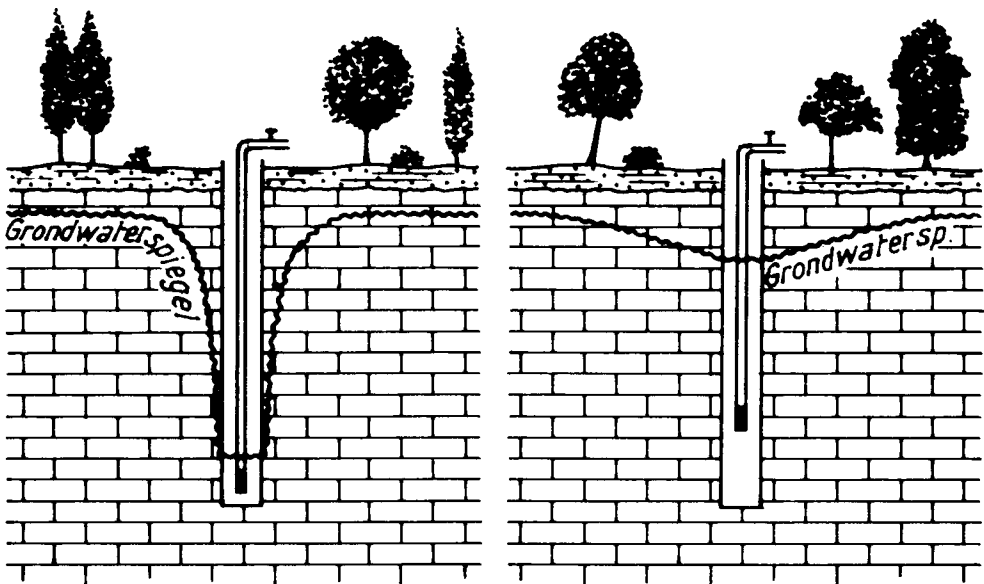


Fig. 6. Grote verschillen in afzuiging bij gelijke onttrekking uit kalksteen.

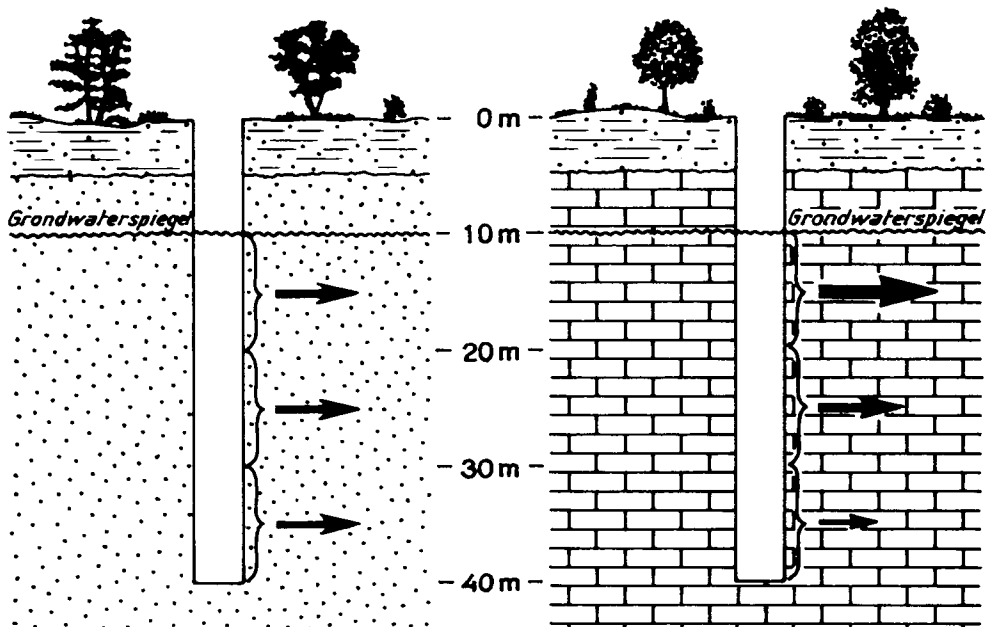


Fig. 7. Het verloop van de wateropbrengst met de diepte per 10 meter in zand (links) en kalksteen (rechts).

kalksteen via de intergranulaire ruimten. Dit aspect moet bij een planning van een grondwaterwinning terdege worden meegewogen en zal, bij gebrek aan slecht doorlatende deklagen, van belang zijn voor de afmeting en oriëntatie van de benodigde beschermingszone.

GRONDWATER OP GROTERE DIEPTEN

Voor drinkwaterwinning wordt natuurlijk uitsluitend zoet water benut. Dit is in Limburg, in tegenstelling tot bijvoorbeeld de kustzone van ons land, tot op vrij grote diepte in de ondergrond aanwezig. Op nog grotere diepte gaat dit water echter ook hier over in zout grondwater. De grens tussen zoet en zout water wordt doorgaans gelegd op 150 mg chloor/liter alhoewel soms een grens van 200 mg chloor/liter wordt gehanteerd. Als het chloor stijgt boven 8500 mg/liter spreekt men van een "sole" (ter vergelijking: zeewater bevat ca. 19000 mg chloor/liter).

Opvallend, zowel in binnen- als buitenland, is het verschil in interpretatie dat men tegenkomt als het gaat om begrippen als mineraalwater, thermaalwater, bronwater, geneeskrachtig water, tafelwater enz.

De term mineraalwater mag worden gebruikt indien het water minimaal 1000 mg/liter aan

opgeloste vaste stof bevat of een bepaalde norm voor ijzer, jodium, zwavelwaterstof, fluor of enkele andere stoffen overschrijdt.

In balneologisch opzicht geldt in het algemeen dat de therapeutische werking van het mineraalwater hoger is naarmate de gehalten aan deze stoffen toenemen. Van geneeskrachtig water moet de heilzame werking overigens worden aangetoond.

Het meest kenmerkende bestanddeel van mineraalwater is doorgaans keukenzout (NaCl). Dit kan zout zijn uit het oorspronkelijk (connate) zeewater, al of niet later verdund door uitspoeling met regenwater. Ook kan dit zoutgehalte zijn ontstaan doordat het water, op weg door het gesteente, hieruit zouten oploste. Rond zoutkoepels komt op grote diepten vaak grondwater met een zeer hoog zoutgehalte voor.

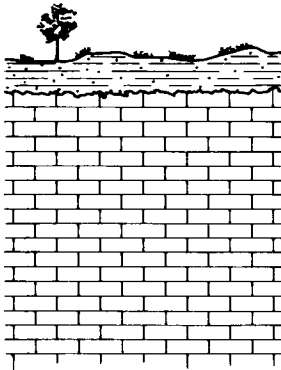
Als tafelwater is "mineraalwater" te vinden met sterk uiteenlopende chemische samenstellingen. Terwijl soms de lage mineralisatiegraad van het water wordt aangeprezen (Spa Reine) wordt elders juist het hoge gehalte aan opgeloste stoffen geassocieerd met de kwaliteit van het water (Kaiserquelle, Aken). In tabel 1 wordt het gehalte aan enkele stoffen gegeven voor een aantal voorkomens van mineraalwater in Limburg en omgeving, in vergelijking met het drinkwater in de Zuid Limburgse kalksteen.

		KALKSTEEN BRONNEN, ZUID LIMBURG	SPA REINE	KAISERQUELLE, AACHEN	TREGABRON (op 275 m) MAASTRICHT	HEUGEM (400-500 m)	KASTANJELAAN (460-480 m)	THERMAE 2000 (op 380 m)	THERMAALBAD ARCEN (op 840 m)
Cl	(mg/L)	15	3,1	1600	1525	850	5200	1500	18100
Na	(")	9	3,8	1420	1000	570	3400	1000	10300
Ca	(")	126	4	63	110	100	165	105	1040
HCO ₃	(")	340	17	1030	595	495	845	550	903
SO ₄	(")	40	spoor	275	140	90	318	140	618
Fe	(")	0,2	0,1	5	0,7	0,9	1,7	0,7	18,5
J	(")	-	-	-	0,07	<0,05	-	-	1,5
F	(")	0,12	-	-	-	1,2	2,2	2,0	1,8

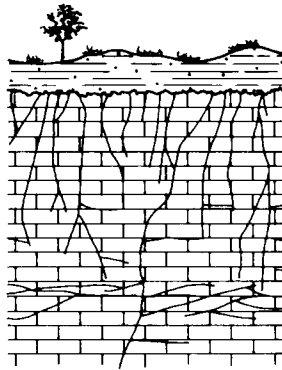
Tabel 1. Chemische samenstelling van enkele voorkomens van mineraalwater.

De kwalificatie thermaalwater mag worden gebruikt voor bronwater met een temperatuur van 20°C of hoger. Nu is de gemiddelde geothermische gradiënt, de toename van temperatuur met de diepte, ca. 3°C per 100 meter. De kwalificatie thermaalwater kan dus, uitgaande

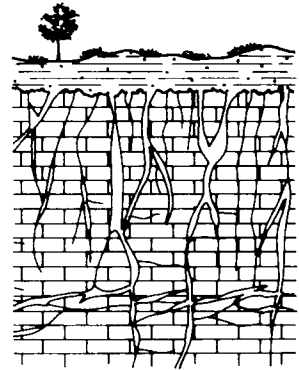
van een gemiddelde temperatuur aan de oppervlakte van 10 à 11°C, reeds op een diepte van ruim 300 meter zijn bereikt en kan als zodanig ook niet als een bijzondere eigenschap van grondwater worden gewaardeerd. Wel is het bijzonder wanneer de temperatuur van grond-



Zonder spleten
Porositeit 40 %
zeer geringe
doorlatendheid



Met spleten
Porositeit 40.2 %
beperkte
doorlatendheid



Oplossing van kalk
Porositeit 41 %
zeer hoge
doorlatendheid

Fig. 8. Het effect van spleten en oplossing daarlangs op de doorlatendheid van kalksteen.

water duidelijk uitstijgt boven het niveau dat via de normale geothermische gradiënt op de betreffende diepte mag worden verwacht. Dit is bijvoorbeeld het geval op enkele plaatsen in Zuid-Limburg, in de ondergrond bij Broekhuizenvorst en werd ook geconstateerd bij de aanleg van het thermaalbad Arcen.

In Zuid Limburg, iets ten zuiden van Heerlen, werd bij mijnbouwactiviteiten op een diepte van ca. 250 meter langs een breuk zeer zout grondwater gevonden met een temperatuur die opliep tot 50°C. Kennelijk werd dit water, na het aansnijden door een mijngang, langs de breuk omhooggevoerd vanaf aanzienlijke diepte. De aanvoer was zo groot dat gedurende jaren het debiet constant bleef op ruim 2 m³ per minuut. Water dat, zoals in dit geval, een belemmering vormde voor de steenkoolmijnbouw werd destijds "mijnwater" genoemd. Het is dus gewoon grondwater dat bij de constructie van het ondergrondse "mijngebouw" werd aangetroffen. Vaak betrof het water dat afkomstig was van boven, maar soms was er sprake van opstijgend, en daardoor ook zouter en warmer water van grotere diepte. Opstijgend water kwam vooral voor langs bepaalde breuken en in flanken van anti-

cinale structuren.

In de hoogtijdagen van de Zuid Limburgse steenkoolmijnbouw werd een totaal van ca. 25 miljoen m³ water per jaar uit de mijnen opgepompt, bij een steenkoolproductie van ca. 12 miljoen ton. Het water werd vooral aangetroffen in gespleten zandsteenlagen. Alhoewel het Carboongesteente van en rond het mijngebouw werd ontwaterd, bleven de minder diepe lagen in het dekterrein zoals de kalksteen watervoerend. Dit was te danken aan de bijna overal voorkomende slecht doorlatende, kleiige laag van de Formatie van Vaals, die tussen het Carboongesteente enerzijds en de kalksteen en jongere lagen anderzijds voorkomt. Na het sluiten van de steenkoolmijnen werd het oppompen van mijnwater gestaakt, op een enkele uitzondering na ten behoeve van de nog in bedrijf zijnde mijnen bij Aken. Hierdoor steeg het grondwater in het Carboongesteente weer. De vrees, die af en toe weer opduikt, dat daardoor te zijner tijd zout water aan de oppervlakte zal komen lijkt echter zonder enige grond. Eerder zal weer de oorspronkelijke evenwichtsituatie ontstaan: een gelaagde opbouw met een geleidelijke overgang van zoet water in de bovenste lagen naar zeer zout en warm water op grote diepte.