C-OBW 86-21
Boukes

VTCB voorlopige technische commissie bodembescherming

Advies berekeningsgrondslag grondwaterbeschermingsgebieden

Leidschendam
november 1985

VTCB A85/01

Adres
Dr. van der Stamstraat 2
2265 BC Leidschendam

Postadres
Postbus 450
2260 MB Leidschendam

Telefoon
070 - 209367

Voorwoord

Het voorliggende advies vormt het eerste door de Voorlopige technische commissie bodembescherming uitgebrachte advies. Het advies betreft de vraag of en op welke wijze rekening gehouden kan en mag worden met de aanwezigheid van slecht-doorlatende lagen boven een geëxploiteerd watervoerend pakket bij het dimensioneren van beschermingsgebieden rond grondwaterwinningen. Het advies vormt een uitwerking van de in 1980 uitgebrachte aanbevelingen van de commissie bescherming waterwingebieden, die dit vraagstuk weliswaar onderkend, maar niet nader beschouwd heeft.

Het advies is mede tot stand gekomen door de inbreng van medewerkers van de Dienst Grondwaterverkenning van TNO, het Keuringsinstituut voor Waterleidingartikelen KIWA N.V., de Rijks Geologische Dienst, het Rijksinstituut voor Volksgezondheid en Milieuhygiëne, en het Waterloopkundig Laboratorium. De commissie waardeert ten zeerste de door deze organisaties betoonde bereidwilligheid tot medewerking, en wil in het bijzonder de betreffende medewerkers danken voor hun inbreng. Zij hoopt dat het advies zal bijdragen aan het tot stand komen van een adequate bescherming van het ten behoeve van de drinkwatervoorziening onttrokken grondwater.

Namens de commissie,

De secretaris,

ir. P.J. de Bruijn.

De voorzitter,

ir. H. Haverkate.

Inhoud

Samenvatting i
Conclusies en aanbevelingen v

1. Inleiding 1.

2. Afbakening 2.

3. Werkwijze 4.

3.1 Taak en samenstelling van de werkgroep Advies berekeningsgrondslag grondwaterbeschermingsgebieden 4.
3.2 Uitvoering 5.
3.2.1 Analyse van informatie over onttrekkingen van grondwater ten behoeve van de drinkwatervoorziening in Nederland 5.
3.2.2 Kennis over de aard, ontstaanswijze en eigenschappen van slecht-doorlatende lagen 6.
3.2.3 Methoden voor het vaststellen van beschermingsgebieden 6.

4. Bevindingen 7.

4.1 Kenmerken van onttrekkingen en bodemlagen 7.
4.1.1 Kenmerken van onttrekkingen 7.
4.1.2 Kenmerken van bodemlagen 14.
4.2 Beoordeling van slecht-doorlatende lagen op grond van aard en ontstaanswijze 18.
4.2.1 Typologische indeling van slecht-doorlatende lagen 18.
4.2.2 Beoordeling van slecht-doorlatende lagen 19.
4.3 Methoden en berekeningsgrondslag 22.
4.3.1 Beschikbare methoden 22.
4.3.2 Grondslag voor het vaststellen van beschermingsgebieden 22.
4.3.3 Gevoeligheid 24.

5. De berekeningsgrondslag in een bredere context 28.

5.1 Algemeen 28.
5.2 Benaderingswijze op langere termijn 29.

Bijlagen:
1. Adviesaanvrage
2. Referenties
3. Begrippen
4. Kenmerken van winningen en bodemlagen
5. Ruimtelijke verbreiding van slecht-doorlatende laagpakketten
6. Voorbeeldberekeningen

Lijst van figuren

Figuur 1	Ordening van onttrekkingen naar grootte, situatie 1980	pag. 7
Figuur 2	Totale verticale weerstand van het dekpakket	pag. 10
Figuur 3	Samenhang tussen kenmerken van winningen	pag. 13
Figuur 4	Cumulatieve frequentieverdeling van bodemlagen naar dikte	pag. 14
Figuur 5	Cumulatieve fequentieverdeling van slecht-doorlatende lagen naar verticale weerstand	pag. 15
Figuur 6	Samenhang tussen verticale weerstand, doorlatendheid en dikte van enkele lithostratigrafisch getypeerde slecht-doorlatende lagen	pag. 21
Figuur 7	Schematische weergave van grondslagen, uitwerking, betrokken vormen van beïnvloeding en relevante parameters	pag. 24

Lijst van tabellen

Tabel 1	Ordening van onttrekkingen naar de totale verticale weerstand de boven het geëxploiteerde watervoerende pakket gelegen bodemlagen, situatie 1980	pag. 9
Tabel 2	Ordening van onttrekkingen naar de diepte van de onttrekking en de dikte van het geëxploiteerde watervoerende pakket, situatie 1980	pag. 11
Tabel 4	Doorlatendheid van bodemlagen	pag. 17
Tabel 5	Geologische kenmerken van een tiental geselecteerde, slecht-doorlatende laagpakketten	pag. 19
Tabel 6	Globale beoordeling van de latere verbreiding, de mate van homogeniteit en het voorkomen van discontinuïten	pag. 20
Tabel 7	Uitgangssituatie voorbeeldberekeningen	pag. 25
Tabel 8	Het oppervlak van 25-jaarszones voor winningen van semi-spanningswater, voorbeeldberekeningen	pag. 26
Tabel 9	Indicatie van de omvang van beschermingsgebieden van winning en van semi-spanningswater volgens twee grondslagen	pag. 28

Samenvatting

De problematiek van het aangeven van grenzen van gebieden waarbinnen - met het oog op bestaande of geprojecteerde grondwaterwinningen - beschermende maatregelen moeten gelden, wordt beheerst door twee kennisgebieden, te weten:
- het gebied van de theoretisch-technische grondslagen en
- het gebied van de geo(hydro)logische opbouw van de ondergrond.

Van de theoretisch-technische grondslagen kan men stellen dat ze, tezamen met de hoog ontwikkelde rekenmethodieken, een gedegen aanpak van het voorliggende vraagstuk mogelijk maken. Een effectief gebruik van de geavanceerde rekentechnieken is evenwel sterk afhankelijk van de mate waarin gegevens omtrent de geo(hydro)logische gesteldheid van de bodem (in termen van parameters waarmee deze gesteldheid kan worden beschreven en bepaald) voorhanden zijn danwel kunnen worden verkregen.

Over deze afhankelijkheid werd in de samenvatting van het in 1980 verschenen rapport van de Commissie Bescherming Waterwingebieden -onder e. "Berekening van de omvang van beschermingsgebieden"- het volgende geschreven:

**"Voor de zand- en grindlagen is het mogelijk om de te beschermen gebieden te berekenen. Veelal ontbreken echter voldoende gegevens, vooral wat betreft onregelmatigheden, zodat met benaderende gegevens gewerkt moet worden.
Aanbevolen wordt om de berekeningen in eerste instantie uit te voeren in het watervoerende pakket, aangezien niet altijd vertrouwd mag worden op de beschermende werking van slecht doorlatende deklagen. Van geval tot geval zal bekeken moeten worden of er aanleiding is de slecht doorlatende werking van kleilagen mede te betrekken bij de bepaling van de grootte van het te beschermen gebied. Alleen indien zekerheid bestaat over die werking kan zij mede in beschouwing worden genomen.".**

De aldus gegeven aanduiding van de stand van zaken van het kennisgebied in 1980 vormde aanleiding tot het verzoek aan de commissie om advies te geven over de wijze waarop de omvang van het beschermingsgebied, omsloten door de 25-jaars verblijftijdsgrens, kan worden bepaald in het geval dat grondwater onttrokken wordt aan watervoerende lagen met (semi-)spanningswater.

Het was derhalve voor de commissie aangewezen vóór alles na te gaan in hoeverre de kennisontwikkeling, en eventueel de praktische toepassingen ervan, ter zake van het voorkomen van afsluitende lagen sinds 1980 is voortgeschreden. In eerste instantie vond de commissie daarbij steun in een rapport dat door het KIWA werd opgesteld en dat een evaluatie bevat van de omvang van beschermingszones rondom de grondwaterwinningen in Nederland. Tevens kon beschikt worden over de resultaten van een door het KIWA in opdracht van de VEWIN uitgevoerde inventarisatie van de voorhanden kennis over de opbouw van de bodem en de hydrologische eigenschappen van bodemlagen ter plaatse van grondwaterwinningen ten behoeve van de Nederlandse drinkwatervoorziening.

Een aanvulling daarop bestond uit een door de commissie gegeven opdracht aan de Rijks Geologische Dienst (RGD) om een typologische indeling te geven van laagpakketten boven aquifers, en inzonderheid om inzicht te verschaffen in de ruimtelijke verbreiding van en het voorkomen van discontinuïteiten in de onderscheiden typen laagpakketten. De commissie heeft voorts aandacht gegeven aan een ander fenomeen dat bij de bepaling van de omvang van beschermingsgebieden van belang is, namelijk de opwaarts gerichte grondwaterstroom in een kwelsituatie. In het CBW-rapport werd dit fenomeen slechts terloops genoemd, maar bleef overigens niet nader onderzocht. Om inzicht te verkrijgen in de

betekenis van deze factoren op de ligging van stroombanen en verblijftijdzones van waterdeeltjes, zijn door het RIVM een aantal voorbeeld-berekeningen uitgevoerd. In deze berekeningen werd in het bijzonder het effect van de van oorsprong aanwezige geohydrologische situatie (natuurlijke afstroming, kwel c.q. infiltratie) in beschouwing genomen.

De door de CBW gegeven richtlijnen en aanbevelingen zijn na 1980 ook door een aantal provinciale diensten en waterleidingbedrijven nader beschouwd. Daarbij kregen zowel de betekenis van afsluitende c.q. semi-permeabele lagen boven aquifers als het verschijnsel kwel aandacht. Zo zijn door de Dienst Waterbeheer van de Provincie Gelderland per waterwinplaats in die provincie berekeningen uitgevoerd, die met de tot dusver bekende geohydrologische omstandigheden vergaand rekening houden. Tegen deze achtergrond stelle men ook de beleidsvoornemens en doelstellingen met betrekking tot de provinciale Grondwaterbeschermingsplannen, welks verwoording in het Inter Provinciaal Overleg wordt voorbereid, en in het bijzonder het Beleidsdeel, waar vooreerst - onder II-2 "Onttrekkingen ten behoeve van drinkwatervoorziening" - wordt gesteld:

"Per grondwaterwinplaats dienen de volgende gegevens te worden vermeld:
- **de hoeveelheid grondwater die wordt gewonnen;**
- **de kwaliteit daarvan;**
- **de bodemgesteldheid in het betreffende gebied;**
- **de geohydrologische situatie;**
- **de grootte van het intrekgebied;**
- **welke activiteiten er in de gebieden rond de winmiddelen plaatsvinden;**
- **planologische situatie;**
- **eventuele knelpunten (ongunstige plaats, kwaliteit onvoldoende, schadelijke activiteiten ter plaatse);**
- **toekomstige winplaatsen.".**

Het voorgaande maakt duidelijk dat de betrokken instanties de aanbevelingen door de CBW, in 1980 gegeven, niet onberoerd hebben gelaten. Meer nog evenwel maakt het duidelijk hoezeer ook deze instanties een gedegen kennis van de ondergrond in detail en per winplaats als noodzakelijk ervaren.

De commissie heeft nagegaan op welke wijze de gewenste uniformiteit met betrekking tot een grondslag voor het vaststellen van beschermingsgebieden verkregen zou kunnen worden. Zij komt tot de conclusie dat het samenvatten van de relevante factoren in een beperkt aantal relaties, grafieken of tabellen niet mogelijk is zonder het beschouwde systeem vergaand te vereenvoudigen. De bevindingen van de commissie leiden derhalve hernieuwd tot de conclusie die de CBW ook al in haar rapport tot uitdrukking bracht, namelijk dat de situatie rond de bestaande en geprojecteerde winningen, zoals die zich in Nederland voordoet, een dusdanige diversiteit in zich heeft dat, wil men recht doen aan deze verschillen, het niet mogelijk is op eenvoudige wijze tot vaststelling van beschermingszones te geraken. Anders gezegd, de verschillen "dicteren" een behandeling van iedere winplaats afzonderlijk. De uniformiteit in de methode van gebiedsbepaling betreft daarbij enerzijds de grondslag op basis waarvan het te beschermen gebied wordt vastgesteld, en anderzijds de aard van de factoren die in beschouwing genomen worden.

Teneinde het gecompliceerde samenstel van factoren dat bij de onderhavige problematiek een rol speelt meer toegankelijk te maken, heeft de commissie ruim aandacht willen geven aan de groepering en rangschikking van de beschikbare informatie, c.q. gegevens. De commissie heeft, waar dat dienstig leek, deze informatie geanalyseerd en/of de samenhang tussen relevante onderdelen aangegeven. Zulks is geschied tegen de achtergrond van een vijftal systemen, die ten aanzien van het vraagstuk van het vaststellen van beschermingsgebieden zijn te onderscheiden, namelijk:

a. systemen, waarbij boven of in het geëxploiteerde watervoerend pakket weerstand biedende lagen ontbreken;
b. systemen, waarbij de beschermende werking van boven het geëxploiteerde watervoerend pakket gelegen lagen gering of onbekend is;
c. systemen, waarbij de beschermende werking van boven het geëxploiteerde watervoerend pakket gelegen lagen aanmerkelijk is en op grond van bekendheid met relevante bodemkenmerken kan worden vastgesteld;
d. systemen, waarbij zich boven het geëxploiteerde watervoerend pakket een kennelijk afsluitende laag bevindt; en
e. systemen, waarbij naast grondwater tevens oeverinfiltraat onttrokken wordt.

Ten aanzien van de grondslag en gegeven het kernpunt van de adviesaanvraag onderscheidt de commissie een tweetal grondslagen, die respectievelijk uitgaan van:
- de verblijftijd van waterdeeltjes in het watervoerende pakket; en
- de verblijftijd van waterdeeltjes tussen het bodemoppervlak en het punt van onttrekking.

De aandacht moest daarbij uiteraard vallen op de systemen c en d, waar toepassing van de twee grondslagen tot verschillende resultaten leidt. Daarbij ging het in het bijzonder om het paradoxale moment wanneer geconstateerd moet worden dat de grondslag die uitgaat van de verblijftijd in het watervoerende pakket leidt tot een beschermingsgebied dat groter wordt naarmate de afdekkende lagen dikker zijn of de doorlatendheid ervan kleiner is, met andere woorden, dat het te beschermen gebied omvangrijker wordt naarmate de natuurlijke bescherming beter is. De commissie heeft overwogen dat noch in de sfeer van de benodigde gegevens, noch in de sfeer van rekenmethoden overwegende beperkingen gevonden kunnen worden om niet de grondslag die uitgaat van de verblijftijd tussen bodemoppervlak en punt van onttrekking als uitgangspunt te nemen. De stand van zaken ten aanzien van de ontwikkeling en het gebruik van grondwaterstromingsmodellen acht de commissie zodanig, dat de keuze van de rekenmethoden in deze van ondergeschikt belang is.

Daarbij geeft de commissie extra aandacht aan twee aspekten, die bij de systemen c en d van belang zijn en in het oog moeten worden gehouden. Het eerste aspekt betreft de bescherming op de langere termijn, wanneer bij systeem c alleen en uitsluitend de grondslag die uitgaat van de verblijftijd tussen bodemoppervlak en punt van onttrekking wordt gehanteerd. In dat geval is namelijk wel de bescherming voor een periode van 25 jaar gewaarborgd, maar in de periode daarna is de kwaliteit van het onttrokken grondwater afhankelijk van de mate waarin dit afkomstig is uit het gebied in de nabijheid van het centrum van de onttrekking. Wanneer het deel van het onttrokken grondwater dat in de nabijheid van het centrum inzijgt groot is, zal de grondslag die uitgaat van de verblijftijd in het watervoerende pakket wel degelijk van betekenis zijn. Dat betekent, dat in dit opzicht de beide grondslagen "met verstand" op hun consequenties zullen moeten worden bezien.

Een tweede aspekt wordt gevormd door het feit, dat bij de sytemen c en d de grondslag die uitgaat van de verblijftijd tussen bodemoppervlak en punt van onttrekking alleen dan veilig kan worden gehanteerd als perforaties van de weerstand biedende lagen worden voorkomen danwel met degelijke voorzorgen worden omringd, en het inbrengen van verontreinigende stoffen onder de betreffende lagen verboden wordt.

De commissie heeft tenslotte ook aandacht besteed aan het op langere termijn te volgen beleid inzake de bescherming van grondwateronttrekkingen. Dit heeft geresulteerd in een aanbeveling ernaar te streven het intrekgebied in de beschouwingen over de uiteindelijk wenselijk te .achten situatie een royale plaats te geven, en na te gaan op welke wijze de ontwikkeling van de grondwaterkwaliteit daarbinnen adequaat gevolgd of voorzien kan worden.

Conclusies en aanbevelingen

1. Overwegende dat voor het vaststellen van beschermingsgebieden veelal zal worden uitgegaan van vereenvoudigde situaties, en relatief eenvoudige rekenmethoden zullen worden toegepast, meent de commissie dat er in het algemeen voldoende informatie beschikbaar is om de geologische en geohydrologische situatie ter plaatse van bestaande winningen te kunnen beoordelen en om op grond hiervan een beschermingsgebied vast te stellen. De informatie echter is specifiek voor elke lokatie afzonderlijk, in de zin dat er geen uitspraken gedaan kunnen worden die gelden voor een lokatie wanneer die zijn ontleend aan algemene inzichten of "vermoedelijk vergelijkbare" lokaties elders. Voor toekomstige winningen dient de informatie voorafgaande aan het realiseren van de winning verzameld te worden. Het verrichten van proefboringen en het uitvoeren van geohydrologisch onderzoek op de lokatie is daartoe noodzakelijk.

2. Aan algemene kennis over de ontstaanswijze en post-sedimentaire geschiedenis van slecht-doorlatende lagen kan een slechts zeer globale indicatie ontleend worden van de te verwachten ruimtelijke verbreiding en de mate van homogeniteit van de lagen, alsmede van de kans op het voorkomen van discontinuïteiten daarin. Een betekenisvol beeld kan alleen verkregen worden wanneer de specifieke lokale en regionale geologische situatie in beschouwing genomen wordt. Dit beeld vormt een zinvolle aanvulling op het geohydrologische onderzoek ter plaatse van de winning.

3. De commissie hecht meer belang aan het vergelijkbaar doen zijn van berekeningsresultaten dan aan de keuze van de rekenmethode die gebruikt wordt om beschermingsgebieden vast te stellen. Dit kan worden bewerkstelligd door de afstemming onderling van uitgangspunten, te beschouwen factoren, de wijze van schematisatie van de ondergrond en de na te streven nauwkeurigheid. Bij voorkeur zou tevens uitgegaan dienen te worden van eenzelfde berekeningsmethodiek, zoals bijvoorbeeld die waarop het door een groot aantal provincies reeds toegepaste rekenprogramma FLOP is gebaseerd. Het door de provincies in IPO-verband gevoerde overleg inzake het opstellen van Grondwaterbeschermingsplannen vormt een belangrijk aanzet om tot een dergelijke afstemming te komen en zou wat dit betreft gecontinueerd dienen te worden. De commissie meent tenslotte dat, gezien de beschikbaarheid en de ruime verbreiding van grondwaterstromingsmodellen, de rekenmethode als zodanig geen beperking vormt voor de wijze waarop beschermingsgebieden kunnen worden vastgesteld.

4. Het uitgangspunt het beschermingsgebied te baseren op de verblijftijd van water in de bodem wordt door de commissie ondersteund waar het de korte termijn betreft. Het verdient haars inziens aanbeveling om op langere termijn de bescherming van grondwater als bron voor de drinkwatervoorziening te bewerkstelligen door middel van een op intrekgebieden gerichte benadering. Zo wordt niet uitgegaan van de bescherming van een bepaalde leeftijdsklasse van het grondwater, maar van van de bescherming van een nader te bepalen gedeelte van het onttrokken grondwater. Een dergelijke benadering ware niet alleen te richten op de bestaande of in de nabije toekomst te realiseren winningen, maar tevens gericht te zijn op het behoud van de kwaliteit van de grondwatervoorraad als potentiële bron voor de drinkwatervoorziening. Voor met name het grondwater in dieper gelegen watervoe-

rende pakketten zal, mede gezien de grote ruimtelijke verbreiding van de betrokken intrekgebieden, het met het bodembeschermingsbeleid nagestreefde algemene beschermingsniveau, veeleer dan een specifiek beschermingsniveau, centraal gesteld dienen te worden. De noodzaak om in een dergelijke benadering alsnog een, meer stringent, specifiek beschermingsniveau voor de desbetreffende intrekgebieden vast te stellen is sterk afhankelijk van de mate waarin het algemene bodembeschermingsbeleid effect sorteert.

5. De commissie is van mening dat het in principe mogelijk is de volledige verblijftijd van waterdeeltjes in de bodem (de verblijftijd van waterdeeltjes tussen het bodemoppervlak en het punt van onttrekking) aan te houden alsgrondslag voor het vaststellen van beschermingsgebieden, met inachtneming van het onder 4 gestelde, alsmede met de navolgende beperking. Het beschermingsgebied dat gebaseerd is op een dergelijke grondslag kan slechts betrekking hebben op de aktiviteiten als gevolg waarvan verontreinigingen aan het bodemoppervlak in de bodem geraken. Een tweetal categorieën aktiviteiten zijn hieronder niet begrepen, namelijk die waarbij verontreinigingen direkt in het watervoerende pakket (kunnen) geraken, en die welke de beschermende werking van slecht-doorlatende lagen, voor zover daar bij het dimensioneren van het beschermingsgebied rekening mee gehouden is, geheel of gedeeltelijk teniet doen. Voorzien kan worden dat ook voor deze aktiviteiten bepalingen in de provinciale beschermingsverordeningen zullen worden opgenomen. De toepassing van die bepalingen dient zich echter uit te strekken over een groter gebied, en wel het gebied dat overeenstemt met de 25-jaar verblijftijdzone in het watervoerende pakket. Zo de grootste van de twee voornoemde gebieden niet als beschermingsgebied voor alle aktiviteiten aangehouden wordt, waarbinnen een gedifferentieerd ontheffingenbeleid gevolgd kan worden, is een zonering van het beschermingsgebied naar aard van de beïnvloeding noodzakelijk. Eén zone zou dan betrekking dienen te hebben op aktiviteiten die kunnen resulteren in perforaties van weerstand biedende, een onttrekking beschermende, bodemlagen, of in de direkte verontreiniging van het te onttrekken, niet-freatisch, grondwater. De tweede, kleinere, zone zou betrekking hebben op aktiviten als gevolg waarvan verontreinigingen aan het bodemoppervlak in de bodem kunnen geraken. Aangezien de eerstgenoemde zone een betrekkelijk beperkte groep, specifieke, aktiviteiten betreft acht de commissie een dergelijke zonering zeer wel uitvoerbaar.

6. De toepassing van de grondslagen voor het vaststellen van beschermingsgebieden, gevormd door enerzijds de verblijftijd van waterdeeltjes in het watervoerende pakket en anderzijds door de verblijftijd van waterdeeltjes tussen het bodemoppervlak en het punt van onttrekking, wordt aan de hand van de volgende indeling in geohydrologische systemen toegelicht.

   a) **Systemen waarbij boven of in het geëxploiteerde watervoerende pakket weerstandbiedende lagen ontbreken.**
   In deze gevallen moet noodzakelijkerwijs gerekend worden met een door infiltratie en/of kwel bepaalde verticale grondwaterstroom. Er is hier in het algemeen geen verschil tussen beide grondslagen, tenzij freatisch water alleen van zeer grote diepte onttrokken wordt.

   b) **Systemen waarbij de beschermende werking van boven het geëxploiteerde watervoerende pakket gelegen lagen gering of onvoldoende bekend is.**
   Deze systemen dienen qua behandeling te worden gelijkgesteld aan die welke onder a) genoemd zijn. De commissie volgt daarmee de aanbeveling van de CBW om de eventuele weerstand van de lagen te verwaarlozen.

c) **Systemen waarbij de beschermde werking van boven het geëxploiteerde watervoerende pakket gelegen lagen aanmerkelijk is en op grond van lokale c.q. regionale bekendheid van relevante bodemkenmerken kan worden vastgesteld.**
De invloed van de verticale gerichte grondwaterstroom van of naar het watervoerende pakket is hier bekend en kan in rekening gebracht worden. Het beschermingsgebied gebaseerd op de verblijftijd tussen bodemoppervlak en punt van onttrekking is kleiner van omvang dan dat gebaseerd op de verblijftijd in het watervoerende pakket.

d) **Systemen waarbij zich boven het geëxploiteerde watervoerende pakket een volkomen afsluitende laag bevindt.**
In deze systemen is ter plaatse van de onttrekking geen sprake meer van een neerwaarts gerichte grondwaterstroom naar het geëxploiteerde watervoerende pakket. Dit maakt een beschermingsgebied aldaar, anders dan in de direkte omgeving van het puttenveld, en met inachtneming van het onder punt 5 gestelde, overbodig. Een grondslag die uitgaat van de verblijftijd tussen bodemoppervlak en punt van onttrekking brengt dit adequaat tot uitdrukking, een grondslag die uitgaat van de verblijftijd in het watervoerende pakket daarentegen doet dat in het geheel niet.

e) **Systemen waarbij naast grondwater tevens oeverinfiltraat onttrokken wordt.**
Voor deze systemen zullen beide grondslagen in het algemeen hetzelfde resultaat opleveren indien de voeding van het watervoerende pakket vanuit het oppervlaktewater in rekening gebracht wordt. De gehele zone tussen de winningsmiddelen en het oppervlaktewater, met inbegrip van de onderwaterbodem, maakt daarbij deel uit van het te beschermen gebied.

7. Wanneer de keuze tussen beide grondslagen bezien wordt vanuit de optiek van de met de bescherming van grondwateronttrekkingen nagestreefde doelen merkt de commissie het volgende op. De keuze voor de verblijftijd als basis voor het vaststellen van beschermingsgebieden, zoals voorgesteld door de CBW, komt voort uit de overweging dat deze maat enerzijds relatief eenvoudig te hanteren is en anderzijds resulteert in de bescherming van een, niet nader aangegeven maar wel voldoende geacht, gedeelte van het onttrokken grondwater. De daarbij te stellen voorwaarde is de toepassing van dit criterium in het watervoerende pakket. Indien het criterium in absolute zin gehanteerd zou worden gaat de impliciet gelegde relatie met de, te beschermen, hoeveelheid grondwater verloren. Het toepassen van een berekeningsgrondslag die gebaseerd is op de verblijftijd tussen het bodemoppervlak en het punt van onttrekking dient derhalve beperkt te worden tot die gevallen waarin op grond van de geologische en geohydrologische gesteldheid aannemelijk gemaakt kan worden dat het in de nabijheid van de onttrekking infiltrerende water niet of slechts in geringe mate ook feitelijk onttrokken wordt. In dit licht bezien [illegible]elt de commissie aan om als berekeningsgrondslag voor de in punt 6 genoemde gevallen a, b en e de verblijftijd in het watervoerende pakket te handhaven en voor de gevallen c en d de verblijftijd van waterdeeltjes tussen het bodemoppervlak en het punt van onttrekking te gebruiken.
De commissie acht het zinvol noch mogelijk een éénduidig getalsmatig criterium vast te leggen op grond waarvan de situaties bedoeld onder 6 b en c onderscheiden kunnen worden. Voor de beoordeling in deze dient steeds uitgegaan te worden van de lokale context, waarbij de parameters niet afzonderlijk maar juist in samenhang beschouwd worden. Ter bepaling van de gedachte evenwel meent zij dat het onderscheid haars inziens gelegen zou zijn bij een waargenomen verticale weerstand van de boven een geëxploiteerd pakket gelegen, aaneengesloten, slecht-doorlatende laag van duizend tot enkele duizenden dagen veeleer dan enkele honderden dagen.

8. Voor wat betreft het vaststellen van een beschermingsgebied dient benevens de grootte en de diepte van de onttrekking, de opbouw van de bodem en de hydrologische eigenschappen van de betreffende bodemlagen, ook de van oorsprong aanwezige geohydrologische situatie beschouwd te worden. De invloed van weerstandbiedende lagen op de ligging van de 25-jaar verblijftijdzones, in het watervoerende pakket zowel als die aan het bodemoppervlak, is groot en doet zich met name in kwelgebieden gelden. De gevoeligheid van de berekende verblijftijdzones voor variaties in parameterwaarden is groot, hetgeen gezien de grote mate van onzekerheid die een aantal parameters kennen, van groot belang is. Dit betekent dat ervoor gewaakt moet worden om de beschermende werking van weerstand biedende lagen te overschatten (door overschatting van de dikte en/of de verticale weerstand), vooral wanneer de vermeende situatie niet door waarnemingen ter plaatse van de onttrekking is vastgesteld. Zij constateert evenwel dat het verschil in oppervlakte beschermd gebied, uitgaande van beide berekeningsgrondslagen, vooral belangrijk wordt in meer extreme situaties (grote pakketdikten, grote verticale weerstand). Zij meent daarbij dat de kans van een volledig verkeerde beoordeling van de situatie in dergelijke gevallen gering is, zeker wanneer de aanbevelingen ad 1 en 2 worden gevolgd.

9. Tenslotte merkt de commissie op dat één der overwegingen waarop de keuze van 25 jaar verblijftijd als criterium voor een voldoende mate van bescherming is gebaseerd, betrekking heeft op het kunnen beschikken over voldoende tijd om de voorziening veilig te stellen in het geval dat de kwaliteit van het grondwater in belangrijke mate zou verslechteren. De gekozen grondslag draagt hieraan echter alleen bij wanneer een dergelijke kwaliteitsverslechtering tijdig gesignaleerd wordt. De commissie is van mening dat op dit moment niet tot nauwelijks aan die voorwaarde wordt voldaan door middel van enerzijds het meetnet grondwaterkwaliteit en anderzijds de kwaliteitscontrole van het onttrokken grondwater door de waterleidingbedrijven. In een systeem van monitoring zouden in beginsel ook betrokken moeten zijn de omvang, aard en immissies van risicodragende aktiviteiten in de intrekgebieden, de ontwikkeling in deze gebieden van de kwaliteit van het ondiepe grondwater, alsmede de ontwikkeling van de kwaliteit van het diepere grondwater op de grens van de 25-jaar verblijftijdzone in het watervoerende pakket. Het verdient aanbeveling de wenselijkheid en mogelijkheden na te gaan om op termijn te komen tot een adequaat systeem van monitoring, gegeven de ontwikkelingen die wat dit aspect betreft op nationaal en provinciaal niveau plaatsvinden.

1. Inleiding

In hoofdstuk VI, paragraaf 2, van het ontwerp van de Wet bodembescherming (1) zijn bepalingen opgenomen volgens welke de Provinciale Staten een plan dienen op te stellen waarin de hoofdlijnen worden aangegeven voor de bescherming van de kwaliteit van het grondwater met het oog op de waterwinning in hun provincie. In een dergelijk plan worden de gebieden aangegeven die daartoe bescherming behoeven. Een belangrijke categorie grondwaterwinningen daarbij is die ten behoeve van de openbare watervoorziening. Hoewel het vaststellen van de beschermingsgebieden een aan de provincies toegewezen taak is, wordt er zowel door de overheid als door de bedrijfstak naar gestreefd dit te laten geschieden op grond van zoveel mogelijk uniforme uitgangspunten.

In dit verband werd in december 1980 door de Commissie Bescherming Waterwingebieden (CBW) een rapport uitgebracht getiteld "Richtlijnen en aanbevelingen voor de bescherming van waterwingebieden" (2). Deze Commissie werd in 1974 ingesteld op initiatief van de VEWIN en het toenmalige RID. De CBW adviseerde om naast het eigenlijke wingebied direkt rondom de winmiddelen een beschermingsgebied in te stellen. De grootte van wingebied en beschermingsgebied dient naar het oordeel van de CBW gebaseerd te zijn op de verblijftijd van het water in het pakket waaraan grondwater wordt onttrokken. Voor het wingebied werd aanbevolen een zone met een verblijftijd van tenminste 60 dagen. Voor het beschermingsgebied werden twee zones aanbevolen gebaseerd op een verblijftijd in het watervoerend pakket van tenminste 10, resp. 25-jaar. Voor onttrekkingen aan watervoerende pakketten die bestaan uit (gebroken) gesteenten werd een afwijkende grondslag gesteld. Voor een nadere toelichting op overwegingen en uitgangspunten zij verwezen naar het desbetreffende rapport.

Een belangrijk element in het advies van de CBW vormt de aanbeveling de omvang van beschermingsgebieden te baseren op de verblijftijd in het watervoerende pakket, en niet op de verblijftijd van waterdeeltjes tussen het bodemoppervlak en het punt van onttrekking. Voor zover het de winning van grondwater met een vrije waterspiegel betreft, onttrokken aan de bovenste aardlagen (freatisch water), resulteren beide uitgangspunten in eenzelfde te beschermen gebied. Waar echter sprake is van onttrekkingen uit een door niet- of slecht-doorlatende lagen afgedekt watervoerend pakket (spanningswater resp. semi-spanningswater) voert het aanhouden van het eerstgenoemde uitgangspunt tot een als bezwaarlijk ervaren resultaat. In dat geval is het beschermingsgebied in bepaalde gevallen groter naar-mate de dikte van de afdekkende laag groter of de doorlatendheid kleiner is: het te beschermen gebied wordt groter naarmate de natuurlijke bescherming beter is. Deze paradox is uiteraard door de CBW opgemerkt, maar zij motiveerde de keuze voor het aanbevolen uitgangspunt met het gegeven dat er in het algemeen onvoldoende inzicht bestaat in de aard, de laterale verbreiding en de mate van homogeniteit van afdekkende lagen. De CBW liet het risico van een onjuiste beoordeling van de (geo)hydrologische gesteldheid ter plaatse zwaar wegen, daarbij evenwel de mogelijkheid openlatend per geval rekening te houden met de specifieke gesteldheid van een winningslokatie.

In de meeste provincies was op het moment van verschijnen van het CBW-rapport reeds een algemene verordening ter bescherming van bodem en grondwater van kracht, soms voorzien van een specifieke regeling ten aanzien van waterwingebieden. Daarnaast waren er verschillende provincies die op dat moment alleen beschikten over een verordening gericht op de bescherming van waterwingebieden.

Een aantal provincies heeft naar aanleiding van de CBW-aanbeveling de verordening aangepast of heeft een verordening in voorbereiding waarin de CBW-aanbevelingen doorwerken. Gesteld kan worden dat wat betreft de dimensionering van beschermingsgebieden rond grondwaterwinningen de thans in werking zijnde of in voorbereiding zijnde provinciale verordeningen nogal grote verschillen vertonen. Eén van de oorzaken hiervan is de uiteenlopende mate waarin met de werking van afdekkende lagen rekening wordt gehouden. Momenteel wordt in IPO-verband een Modelverordening grondwaterbeschermingsgebieden voorbereid welke als voorbeeld zal dienen voor de provinciale verordeningen Grondwaterbeschermingsgebieden op grond van artikel 42 van het ontwerp van de Wet bodembescherming.
Een zo uniform mogelijk beleid t.a.v. de bescherming van grondwaterwinningen is gebaat bij een eenduidige aanpak van zowel de grondslag voor de zonering als de berekeningswijze voor de vaststelling van de grootte van het beschermingsgebied. Tegen deze achtergrond werd de commissie gevraagd advies te geven over de wijze waarop met de verblijftijd van het onttrokken grondwater in de afsluitende lagen rekening gehouden kan worden, en in hoeverre in dit verband een uniforme, praktisch hanteerbare benadering voor het vaststellen van beschermingsgebieden gevolgd kan worden.

2. Afbakening

De commissie heeft zich bij haar behandeling van de voorliggende adviesvraag beperkt tot de feitelijk gestelde vraag. Daarmee zijn twee belangrijke beperkingen onverlet gelaten. Ten eerste is vastgehouden aan de 25-jaar verblijftijdzone als basis voor het vaststellen van grondwaterbeschermingsgebieden. Ten tweede zijn alleen die grondwaterwinningen in beschouwing genomen waar sprake is van een onttrekking van semi-spanningswater uit zand- en grindhoudende pakketten. Ten aanzien van de eerstgenoemde beperking heeft de commissie in haar beschouwing wel aandacht besteed aan de wenselijkheid deze benadering op langere termijn te vervangen door een benaderingswijze waarin de bescherming van de intrekgebieden, en daarmee de bescherming van een zeker deel van de onttrekking in plaats van een zekere leeftijfdsklasse van het onttrokken grondwater, centraal staat. Als gevolg van de tweede beperking zijn winningen van grondwater uit kalk- en zandsteenpakketten, alsmede winningen van freatisch water buiten beschouwing gelaten. De commissie is er zich van bewust dat onder bepaalde omstandigheden het in rekening brengen van een verblijftijd in verticale richting ook voor winningen van freatisch water van grote diepte zou resulteren in een kleiner te beschermen gebied dan dat gebaseerd op de door de CBW aanbevolen berekeningsgrondslag.

Naast de voornoemde, in de adviesvraag gelegde, beperkingen heeft de commissie gemeend rekening te moeten houden met randvoorwaarden ten aanzien van de toepasbaarheid van een berekeningsgrondslag en de beschikbaarheid van de daarvoor benodigde gegevens. Zij is daarbij uitgegaan van het geven dat de grondslag of een te hanteren berekeningsmethode op korte termijn toegepast moet kunnen worden in situaties waarin zowel de beschikbare kennis over de ondergrond, als de mogelijkheid gebruik te maken van complexe berekeningsmethoden, aanmerkelijk kunnen verschillen. De commissie heeft derhalve gezocht naar een methode die:

- als aanvulling op de door de CBW aanbevolen grondslag de invloed van slecht-doorlatende lagen op de verblijftijd van het onttrokken water tussen het punt van intrede in de bodem en het punt van onttrekking in rekening brengt; en
- uitgaat van de kennis die in het algemeen beschikbaar is ter plaatse van grondwateronttrekkingen ten behoeve van de drinkwatervoorziening.

Het vaststellen van de grenzen van beschermingsgebieden is geen doel op zich, maar vormt een onderdeel van een proces volgens welke de met de bescherming van grondwateronttrekkingen nagestreefde doelen vastgesteld en gerealiseerd worden. Bij dit proces zijn betrokken de nationale overheid, vooral in de sfeer van het geven van richting en het scheppen van randvoorwaarden, en de provinciale overheden, vooral in de sfeer van het nader uitwerken en effectueren van maatregelen. De laatste betreffen technische en administratieve maatregelen waarmee invloed uitgeoefend kan worden op de plaats, omvang en/of uitvoeringsvorm van aktiviteiten die van invloed zijn of kunnen zijn op de kwaliteit van het onttrokken grondwater. Centraal in het voornoemde proces staat de afweging van alle als voor- of nadelig aan te merken gevolgen van de overwogen maatregelen. Deze afweging is gebaseerd op inzichten in de gevolgen van een zekere mate van regulering van aktiviteiten in termen van een complex van doelstellingen, waaronder die met betrekking tot de drinkwatervoorziening. Een belangrijk element hierin tenslotte vormt de relatie tussen enerzijds de aard en omvang van aktiviteiten en de daaraan verbonden immissies van stoffen, en anderzijds de kwaliteit van het onttrokken grondwater.

Het is evident dat een dergelijke afweging slechts in beperkte mate expliciet onderbouwd kan worden waar het gaat om het beoordelen van door de nationale overheid te treffen richting gevende en randvoorwaarden scheppende maatregelen. De gevolgen van de vaak nog slechts globaal geformuleerde maatregelen kunnen onder uiteenlopende omstandigheden zeer divers van aard zijn, en kunnen veelal niet in detail beschouwd of voorspeld worden. Deze beperking geldt ook in het onderhavige geval. Zoals in de aanhef van deze paragraaf is aangegeven houdt de commissie vast aan het uitgangspunt beschermingsgebieden vooreerst vast te stellen op basis van de 25-jaar verblijftijdzone. De commissie gaat er van uit dat de keuze van dit criterium op enigerlei vorm van afweging van de daaraan verbonden voor- en nadelen is gebaseerd, en heeft geen aanleiding gevonden voor wat betreft de korte termijn op dit uitgangspunt terug te komen. Van de gevolgen van de daaraan te geven uitwerking in t ermen van het resulterende oppervlak beschermd gebied kan een slechts zeer globale indicatie verkregen worden wanneer niet de diversiteit van de in Nederland aan te treffen kenmerken van lokaties van grondwaterwinningen in rekening gebracht wordt door middel van een nadere beschouwing van de lokaties afzonderlijk. Het vervolgens beoordelen van de mate waarin het hanteren van een (te) eenvoudige berekeningsgrondslag en een (te) grote mate van schematisatie van de werkelijkheid nog aanvaardbaar is, uit oogpunt van een zekere te handhaven kwaliteit van het onttrokken grondwater, kan niet beoordeeld worden op grond van alleen de grootte der beschermingsgebieden. Voor een dergelijke beoordeling is tevens het vooreerst nog ontbrekende inzicht benodigd in:

- de uitwerking die aan de voorgenomen beschermingsniveaus voor bodemkwaliteit buiten en binnen het beschermingsgebied gegeven gaat worden; en
- de wijze waarop met name de provinciale overheden in het geval van vergunningverlening binnen de gestelde randvoorwaarden zullen handelen.

In het licht van het voorgaande heeft de comissie de adviesvraag benaderd vanuit een in beginsel geohydrologische probleemstelling. Hierin heeft zij de berekeningsmethodiek, de gegevensbeschikbaarheid, en de gevoeligheid van het berekeningsresultaat voor onzekerheden in diverse parameters centraal gesteld. De bevindingen heeft zij vervolgens bezien in de context van het bovenbeschreven proces, gegeven de plaats en functie daarin van de berekeningsgrondslag voor het vaststellen van grondwaterbeschermingsgebieden.

3. Werkwijze

3.1. Taak en samenstelling van de werkgroep Advies Berekeningsgrondslag Grondwaterbeschermingsgebieden

Het voorliggende advies is voorbereid door een werkgroep waarin ir. H. Haverkate (voorzitter van de werkgroep) en prof.dr. N.A. de Ridder als leden van de commissie zitting namen. Buitendien zijn de volgende deskundigen verzocht en bereid gevonden zitting te nemen in de werkgroep:
- dr.ir. C. van den Akker, verbonden aan het Rijksinstituut voor Volksgezondheid en Milieuhygiëne;
- ir. M.G.M. den Blanken, verbonden aan het Keuringsinstituut voor Waterleidingartikelen KIWA N.V.;
- dr. E.F.J. de Mulder, verbonden aan de Rijks Geologische Dienst; en
- drs. F. Walter, verbonden aan de Dienst Grondwaterverkenning van TNO.

De werkgroep werd bijgestaan door de secretaris van de commissie, ir. P.J. de Bruijn, die tevens belast werd met het concipiëren van het advies.

De commissie verzocht de werkgroep haar inzicht te verschaffen in de huidige en naar verwachting in de toekomst beschikbare kennis over:
- de aard en grootte van de grondwateronttrekkingen in Nederland ten behoeve van de drinkwatervoorziening;
- de geologische en geohydrologische gesteldheid van de ondergrond ter plaatse van de onttrekkingen;
- de aard, ontstaanswijze en eigenschappen van slecht-doorlatende lagen die in Nederland worden aangetroffen en de mogelijkheid om uitgaande van deze kennis de lagen te karakteriseren en de beschermende werking ervan te beoordelen;
- de relaties tussen de grootte van een beschermingsgebied dat op de verblijftijd van water in de bodem gebaseerd is en de variabelen die hierop van invloed zijn; en
- de methoden en benaderingswijzen die gehanteerd kunnen worden voor het vaststellen van beschermingsgebieden.

3.2. Uitvoering

De werkgroep heeft in de periode april t/m juli uitvoering gegeven aan het verzoek van de commissie. In de maanden augustus en september is vervolgens het advies in concept opgesteld. De gevolgde werkwijze is in het navolgende puntsgewijs aangegeven. In de loop van de periode van voorbereiding van het advies zijn de verkregen inzichten getoetst aan die welke bij de provincies leven. Hiertoe is een aantal malen van gedachten gewisseld met vertegenwoordigers van de interprovinciale overlegorganen die betrokken zijn bij de onderhavige problematiek.

3.2.1. Analyse van informatie over onttrekkingen van grondwater ten behoeve van de drinkwatervoorziening in Nederland

Lokatie en grootte van de onttrekkingen

Een volledig overzicht van de huidige en voorgenomen grondwaterwinningen is opgenomen in het Tweede Tienjarenplan van de VEWIN (3). Bij haar werkzaamheden heeft de werkgroep gebruik gemaakt van een daarop gebaseerd computerbestand van het Waterloopkundig Laboratorium, waarin per winning onder andere de lokatie, de kapaciteit van de winningsmiddelen in de periode 1980-1995, en de in 1980 onttrokken hoeveelheid grondwater zijn opgenomen. Van dit bestand, aangevuld met de hieronder beschreven informatie, is gebruik gemaakt om inzicht te verkrijgen in de verdeling van de winningen volgens diverse categorie-indelingen, en in de onderlinge samenhang tussen de verschillende kenmerken.

Geologische en geohydrologische gesteldheid ter plaatse van de onttrekkingen

Door het KIWA is in opdracht van de VEWIN bij de waterleidingbedrijven informatie verzameld over ondermeer de kenmerken van de ondergrond ter plaatse van de grondwaterwinningen. Met toestemming van de VEWIN kon de werkgroep over deze informatie beschikken. De gegevens betreffen de opbouw van de ondergrond in de vorm van de aard, ligging en dikte van onderscheiden bodemlagen, de situering van de putfilters, alsmede voor zover bekend de verticale weerstand van slecht-doorlatende lagen resp. het doorlaatvermogen van de watervoerende pakketten. De gegevens zijn waar nodig en mogelijk aangevuld met informatie die ontleend is aan de geohydrologische inventarisatie van waterwingebieden op zandgronden, uitgevoerd door de Landinrichtingsdienst voor de Werkgroep "Nitraatuitspoeling in waterwingebieden" (4). Op basis van de de beschikbare informatie zijn de grondwaterwinningen gegroepeerd in winningen van freatisch grondwater, winningen van semi-spanningswater, duinwaterwinningen en winningen uit kalk- en zandsteenpakketten. Voor de winningen van semi-spanningswater is vervolgens een nadere analyse uitgevoerd waarmee inzicht verkregen is in de samenhang tussen diverse kenmerken van zowel de winningen als van de onderscheiden bodemlagen. Tenslotte zijn de betreffende winningen gegroepeerd naar grootte van de verticale weerstand van de gehele bodemkolom boven het eerste watervoerende pakket waaraan grondwater onttrokken wordt.

3.2.2. Kennis over de aard, ontstaanswijze en eigenschappen van slechtdoorlatende bodemlagen

De mate waarin bodemlagen, gelegen boven een geëxploiteerd watervoerend pakket, een grondwaterwinning beschermen tegen verontreinigingen die vanaf het bodemoppervlak in de omgeving van de winning in de bodem doordringen, hangt nauw samen met de dikte en de doorlatendheid van die bodemlagen. Deze grootheden reflekteren de ontstaansgeschiedenis van de betreffende lagen, en wel de afzettingsomstandigheden zowel als de post-sedimentaire geschiedenis. De werkgroep heeft bezien in hoeverre het mogelijk is om een oordeel te geven over de beschermende werking van de slecht-doorlatende lagen die in Nederland worden aangetroffen, op basis van de huidige, algemene, kennis en inzichten inzake de ontstaansgeschiedenis van die lagen. Uitgaande van een lithostratigrafische indeling van lagen in formaties en laagpakketten is een typologie opgesteld waarin de samenstelling, de afzettingsomstandigheden en de post-sedimentaire geschiedenis van de lagen tot uitdrukking zijn gebracht. Vervolgens zijn de belangrijkste onderscheiden typen slechtdoorlatende lagen beoordeeld op de ruimtelijke verbreiding, de variatie in samenstelling, en de kans op het voorkomen van discontinuïteiten als breuken en doorsnijdingen. Een dergelijke beoordeling is gegeven voor lagen met een uiteenlopende dikte. Het resultaat van deze beoordeling is tenslotte getoetst aan de hand van de waargenomen dikte en doorlatendheid van slecht-doorlatende lagen.

3.2.3. Methoden voor het vaststellen van grondwaterbeschermingsgebieden

De grootte en ligging van een op enigerlei wijze gedefinieerd grondwaterbeschermingsgebied kunnen op uiteenlopende wijze afgeleid worden uit kenmerken van een grondwaterwinning. De te gebruiken rekenmethoden lopen uiteen van eenvoudige, lineaire, relaties tot complexe numerieke rekenprocedures. Gaande van eenvoudig naar complex neemt de noodzaak de werkelijkheid te schematiseren af, maar neemt de benodigde informatie toe. Zowel een te sterke vereenvoudiging van de werkelijkheid, als het slechts beperkt beschikbaar zijn van de benodigde informatie, verminderen de nauwkeurigheid waarmee een beschermingsgebied kan worden vastgesteld. Op de korte termijn stelt met name de gegevensbeschikbaarheid randvoorwaarden aan de te hanteren berekeningsmethode. Op de langere termijn is het mogelijk de benodigde gegevens te verzamelen, en zal de keuze bepaald worden door de na te streven nauwkeurigheid af te wegen tegen de inspanning verbonden aan het verzamelen van de benodigde informatie.

De werkgroep beschikte over een goed beeld van de mogelijk te hanteren berekeningsmethoden. Om inzicht te verkrijgen in de mate waarin de wijze van schematisatie van de werkelijkheid en de in beschouwing te nemen variabelen van invloed zijn op de grootte en ligging van een beschermingsgebied is een gevoeligheidsanalyse uitgevoerd. Daarin werden gevarieerd:

- de grootte van de onttrekking;
- de dikte en doorlatendheid van de bodemlagen boven het watervoerende pakket waaruit de onttrekking plaatsvindt;

- de stijghoogteverdeling in het watervoerende pakket in de situatie vóór de onttrekking (onttrekkingen in infiltratie- of kwelgebieden); en
- het al dan niet in rekening brengen van de verblijftijd van het onttrokken grondwater in de slecht-doorlatende lagen.

4. Bevindingen

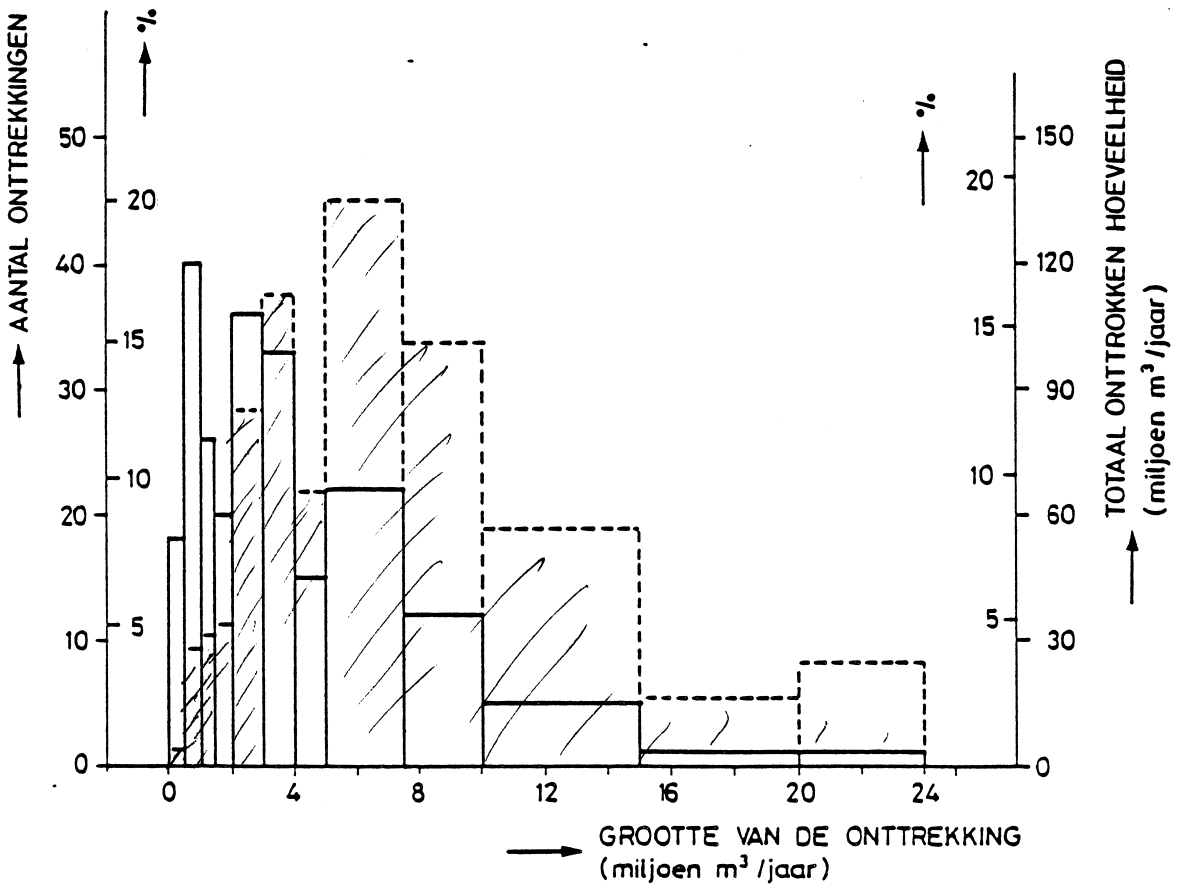
4.1. Kenmerken van onttrekkingen en bodemlagen

Deze paragraaf geeft een samenvattend overzicht van de kenmerken van onttrekkingen en bodemlagen. Bijlage 4 bevat een nadere toelichting op de gepresenteerde informatie.

4.1.1. Kenmerken van onttrekkingen

In 1980 werd op ca. 230 lokaties grondwater onttrokken ten behoeve van de openbare watervoorziening in Nederland. De totaal onttrokken hoeveelheid grondwater bedroeg in 1980 ca. 700 miljoen m^3, met een capaciteit van de productiemiddelen van ca. 870 miljoen m^3/jaar. Naar verwachting zal in 1995 het aantal onttrekkingen zijn toegenomen tot ca. 260, met een capaciteit van in totaal 1070 miljoen m^3/jaar.

Grootte
In figuur 1 is de verdeling van de winningen naar grootte van de onttrekking weergegeven (situatie 1980).



Figuur 1. Ordening van onttrekkingen naar grootte, situatie 1980.

De grootte van de onttrekking in 1980 is gemiddeld ca. 3 miljoen m^3/jaar, en de capaciteit van de productiemiddelen 3,8 miljoen m^3/jaar. De mediaanwaarde naar aantal en grootte van de onttrekking bedraagt 2 resp. 5 miljoen m^3/jaar. In 1995 zal naar verwachting het aantal winningen met een grootte van minder dan 2 miljoen m^3/jaar zo'n 30% kleiner zijn dan in 1980. Het aantal winningen in de overige grootte-klassen neemt 30 tot 50% toe.

Type van de winning

De winningen kunnen worden geordend naar type. Een dergelijke ordening is gegeven in tabel 2 in bijlage 4. Onderscheiden zijn ondermeer winningen van freatisch water, winningen van semi-spanningswater onttrokken aan één resp. meer dan één watervoerende laag, en winningen waarbij zowel freatisch water als semi-spanningswater gewonnen wordt. Ca. 40% van het aantal onttrekkingen en ca. 50% van de onttrokken hoeveelheid grondwater betreft semi-spanningswater. Er zij opgemerkt dat een dergelijke indeling uitgaat van een schematisatie van de werkelijkheid. De schematisatie van de bodem ter plaatse van de winningen heeft in eerste instantie plaats gevonden ten tijde van het verzamelen van de gebruikte informatie. Het oordeel of een bepaald, niet geheel homogeen, pakket als één watervoerende laag dan wel als een watervoerende laag gelegen onder een slecht-doorlatende laag gekenmerkt diende te worden valt derhalve buiten het bereik van de commissie. Bij het opstellen van tabel 1 zijn, uitgaande van de beschikbare gegevens, alleen de lagen met een verticale weerstand van meer dan 365 dagen aangemerkt als zijnde slecht-doorlatend. Dit is uiteraard een arbritaire keuze. Zou dit criterium niet zijn aangehouden, dan is het aandeel van winningen van semi-spanningswater naar aantal ca. 60%, en naar hoeveelheid ca. 70% van het totaal.

De grootte van de onttrekkingen hangt enigszins samen met het type van de winning. De grootte van de onttrekking bedraagt gemiddeld 2,8 miljoen m^3/jaar voor de winningen van freatisch water, 3,2 miljoen m^3/jaar voor enkelvoudige winningen van semi-spanningswater en 4,3 miljoen m^3/jaar voor onttrekkingen uit meer dan één watervoerende laag (freatisch water én semi-spanningswater zowel als alleen semi-spanningswater).

Verticale weerstand van de afdekkende lagen

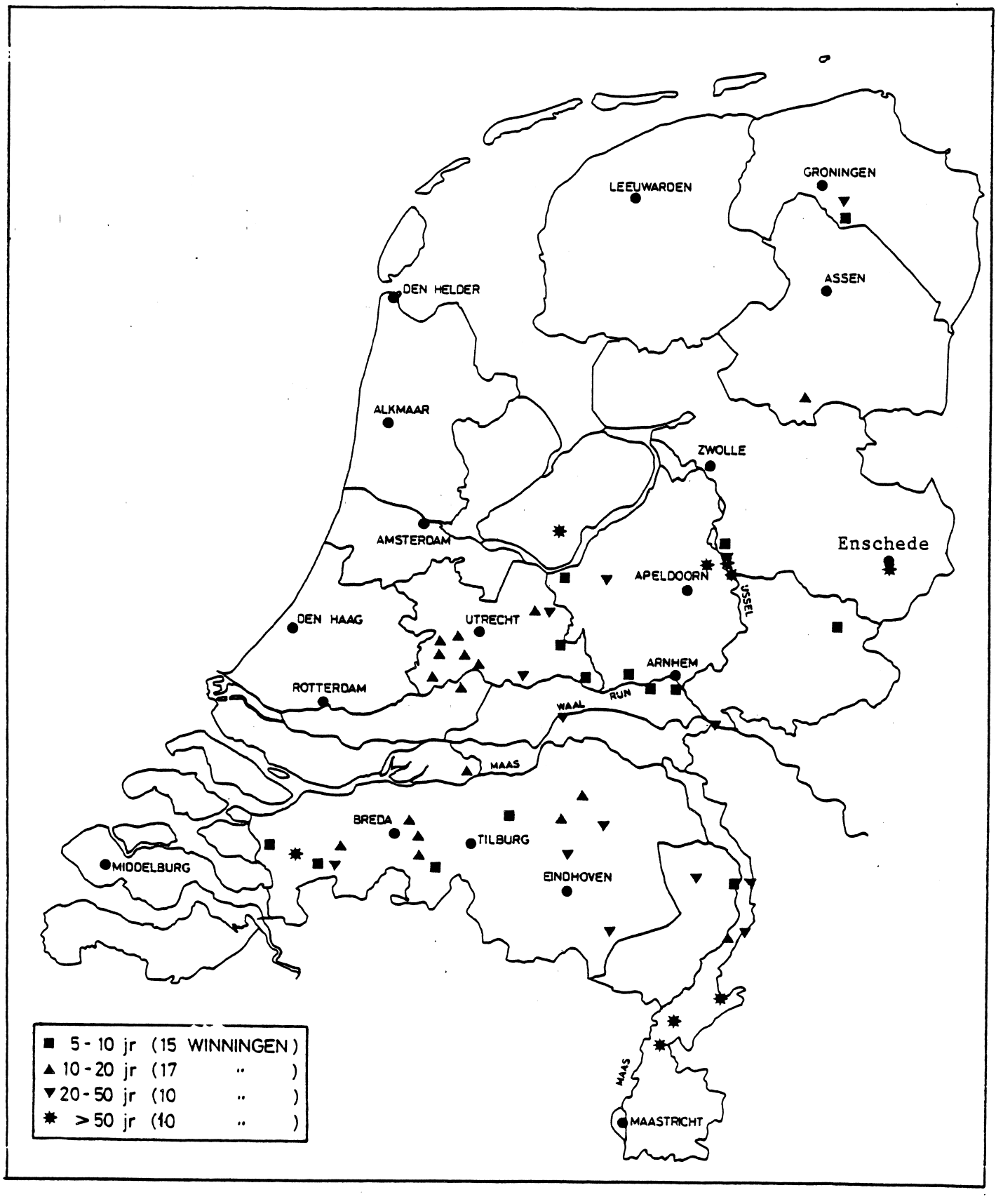
Voor de winningen van semi-spanningswater is de totale verticale weerstand (c-waarde) bepaald van alle deklagen gelegen boven het eerste watervoerende pakket waaraan grondwater onttrokken wordt. De totale weerstand is afgeleid uit de c-waarden die door de waterleidingbedrijven voor de door hen onderscheiden slecht-doorlatende lagen zijn gerapporteerd. In het geval dat de verticale weerstand van een slecht-doorlatende laag niet bekend was, is deze geschat op grond van de aard en dikte van de laag, en de doorlatendheid van vergelijkbare bodemlagen.

verticale weerstand deklagen (dag)	aantal winningen		totaal onttrokken hoeveelheid (miljoen m^3/jaar)		gemiddelde grootte van de onttrekking (miljoen m^3/jaar)
	aantal	%	hoeveelheid	%	
0 [1]	53	23	146	21	2,8
0 - 365[2]	49	21	159	23	3,2
365 - 1825	41	18	165	24	4,0
1825 - 3650	15	7	41	6	2,7
3650 - 7300	17	8	72	10	4,2
7300 -18250	10	4	36	5	3,6
> 18250	10	4	19	3	1,9
grondwater duinen	19	8	28	4	1,5
grondwater kalksteen	12	5	27	4	2,2
onbekend	3	1	2	0	1,4
totaal	229	100	695	100	3,0

1) winningen van freatisch water en van freatisch water én semi-spanningswater
2) bij het indelen naar type als winning van freatisch water of als winning van freatisch water én semi-spanningswater beschouwd

Tabel 1. Ordening van onttrekkingen naar de totale verticale weerstand de boven het geëxploiteerde watervoerende pakket gelegen bodemlagen, situatie 1980.

De lokaties van de winningen waarvoor de verticale weerstand van het dekpakket groter is dan 1825 dagen (5 jaar) zijn in figuur 2 aangegeven. Dergelijke winningen komen voor langs de IJssel en de Lek, in de Gelderse Vallei, in het Westelijk Weidegebied, in westelijk en centraal Noord-Brabant, alsmede in oost en midden Limburg.



Figuur 2. Totale verticale weerstand van het dekpakket.

Overige kenmerken
Een globale kenmerking van de winningen naar diepte van de onttrekking en dikte van het geëxploiteerde watervoerende pakket is gegeven in tabel 2. Bij het opstellen van de tabel zijn de winningen van grondwater in de duinen en winningen van grondwater uit kalksteenpakketten buiten beschouwing gelaten. Als diepte is aangehouden de ligging van het boveneinde van het putfilter ten opzichte van het maaiveld. Voor meer dan de helft van de winningen bedraagt de diepte minder dan 50 meter. In deze groep valt ca. 80% van alle winningen van freatisch water en 40% van de winningen van semi-spanningswater. Winningen van diep grondwater, meer dan 100 m, betreffen alleen winningen van semi-spanningswater. Deze groep beloopt globaal 10% van alle winningen of 20% van de winningen van semi-spanningswater. Als dikte van het watervoerende pakket is aangehouden de dikte van het geëxploiteerde watervoerende pakket óf de som der dikten wanneer grondwater aan meer dan één watervoerend pakket onttrokken wordt. Dit laatste betreft ca. 15% van de hier beschouwde winningen. De verdeling naar aantal winningen over de drie onderscheiden klassen is gelijkmatig en nagenoeg gelijk voor winningen van freatisch water en semi-spanningswater. Betrokken op de hoeveelheid grondwater dragen de dikke pakketten uiteraard meer bij dan de dunne pakketten.

	winningen excl. die in duinen en uit kalksteenpakketten		winningen van freatisch water [1]	winningen van semi-spanningswater
	aantal %	onttrokken hoeveelheid %	aantal %	aantal %
diepte				
0 - 50 m	60	55	80	40
50 - 100 m	30	30	20	40
< 100 m	10	15	0	20
dikte w.v.pakket				
0 - 50 m	35	25	40	30
50 - 100 m	30	30	30	30
< 100 m	35	45	30	40

[1]) ook: freatisch water én semi-spanningswater

Tabel 2. Ordening van onttrekkingen naar de diepte van de onttrekking en de dikte van het (de) geëxploiteerde watervoerende pakket(ten), situatie 1980.

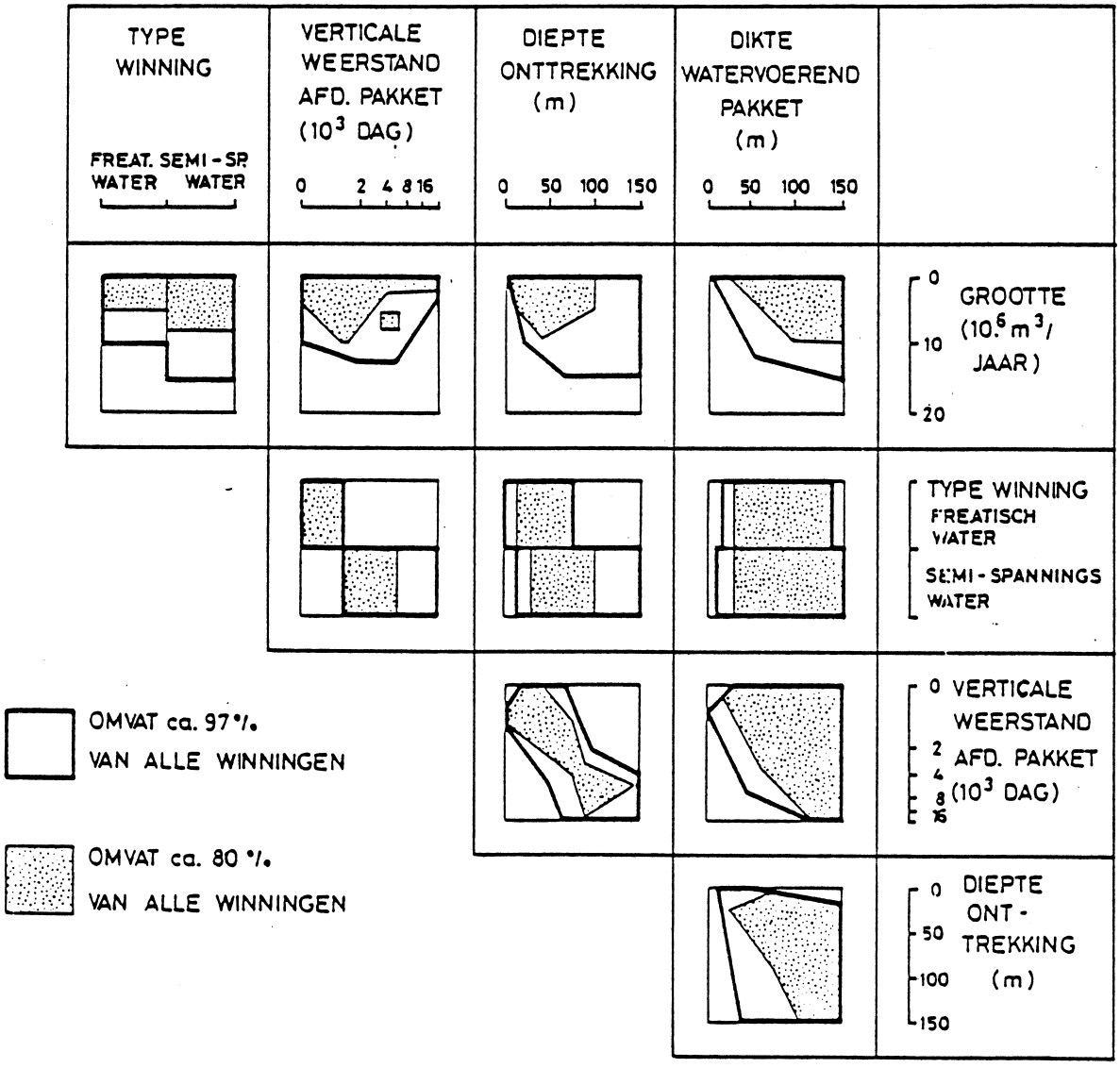
Een laatste te noemen kenmerk van winningen tenslotte vormt de geohydrologische situatie ter plaatse van de onttrekking. Zoals in paragraaf 4.3 en bijlage 6 nader aangegeven wordt, is de oorspronkelijke geohydrologische situatie van grote invloed op de grootte en de ligging van een op de verblijftijd van water gebaseerd beschermingsgebied, en op de verandering daarvan wanneer de berekeningsgrondslag voor het vaststellen van het beschermingsgebied gewijzigd wordt. Vooral de stijghoogten in het watervoerende pakket ten opzichte vanhet maaiveld zijn van belang (situering van de winning in een kwel- of infiltratiegebied). De mate waarin de benodigde gegevens beschikbaar zijn kan voor dit kenmerk minder goed worden nagegaan dan voor de eerder genoemde kenmerken. Voor een groot aantal winningen, waaronder met name de meer recente, zijn stijghoogten vastgesteld in het kader van het geohydrologische onderzoek voorafgaande aan de realisering van de winning. Bovendien beschikken de provincies, de Dienst Grondwaterverkenning, het RIVM en de waterleidingbedrijven veelal over voldoende kennis inzake het lokale dan wel regionale grondwaterstromingspatroon om een beeld te kunnen vormen van de stijghoogten en gradiënten in de belangrijkste watervoerende lagen. In algemene zin kan dan ook gesteld worden dat de gegevensbeschikbaarheid geen beletsel vormt de geohydrologische uitgangssituatie in de berekeningsgrondslag mede in beschouwing te nemen.

Samenhang tussen kenmerken

In figuur 3 is de samenhang tussen de verschillende kenmerken grafisch weergegeven. Per combinatie van twee kenmerken is aangegeven binnen welke grenswaarden van de kenmerken vrijwel alle winningen (ca. 97%) resp. een groot deel van de winningen (ca. 80%) geplaatst kan worden. Er kan worden geconstateerd dat de kenmerken slechts in beperkte mate samenhangen, en dat, zo er al van samenhang sprake is, de variatie bijzonder groot is.

Als gevolg van de gehanteerde definitie bestaat er een duidelijke samenhang tussen het type van de winning en de verticale weerstand van het afdekkende pakket. De diepte van de onttrekking en de verticale weerstand hangen eveneens samen. De variatie is echter dermate groot dat er niet van een, uit oogpunt van bescherming, bruikbaar verband gesproken kan worden. Van een zekere samenhang is tenslotte sprake voor de combinaties van de kenmerken: grootte van de onttrekking en dikte van het watervoerende pakket, de diepte van de onttrekking en de dikte van het watervoerende pakket, resp. de diepte van de onttrekking en de grootte daarvan. In deze gevallen doet zich een eenzijdig te noemen beperking voor. Grote onttrekkingen behoeven op grond van hydrologische wetmatigheden een dik watervoerend pakket, van een omgekeerd verband is geen sprake. Relatief dunne watervoerende lagen worden om financieel-ecomnomische redenen niet op grote diepte geëxploiteerd. Ook hiervoor geldt het omgekeerde niet. Tenslotte zijn de onttrekkingen van grote omvang in het algemeen diep gelegen, ook wanneer deze plaatsvinden uit ondiep gelegen, dikke watervoerende pakketten. De redenen hiervoor kunnen mogelijk voortkomen uit het streven de kwetsbaarheid van de winning dan wel de mate van beïnvloeding van de

omgeving te beperken. Ook in dit geval is van het omgekeerde verband geen sprake. Evenals de eerder genoemde samenhang tussen diepte en verticale weerstand, zijn deze samenhangen onvoldoende om als uitgangspunt te kunnen dienen voor een uniforme berekeningsgrondslag. Voor de overige combinaties van kenmerken kan niet meer van enige samenhang gesproken worden (type en grootte, verticale weerstand en grootte, type en dikte watervoerend pakket), of is een zekere mate van samenhang het gevolg van de al genoemde samenhangen tussen kenmerken (type en diepte, grootte en diepte).

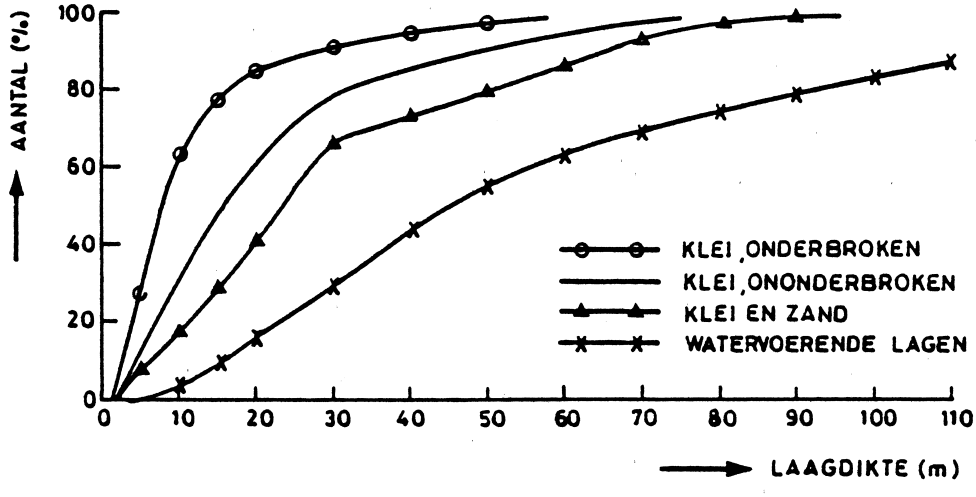


Figuur 3. Samenhang tussen kenmerken van winningen.

4.1.2. Kenmerken van bodemlagen

De informatie waarover beschikt werd had betrekking op ruim 700 onderscheiden bodemlagen, waarvan ca. 270 slecht-doorlatend en 440 watervoerend.

Watervoerende lagen
De gegevens over watervoerende lagen betroffen de aard, de dikte en het doorlaatvermogen (kD-waarde). De aard van de laag was voor 70% van de lagen gegeven. De lagen bestaan voornamelijk uit matig-fijne tot grove zanden, soms grindhoudend, en incidenteel uit laminaties van zand en klei of leem. De dikte van de lagen is in vrijwel alle gevallen bekend. Figuur 4 geeft de cumulatieve frequentieverdeling van de lagen naar dikte. Voor ca. 60% van de lagen bedraagt de dikte minder dan 50 m, voor 20% 50 - 100 m, en voor 20% meer dan 100 m.



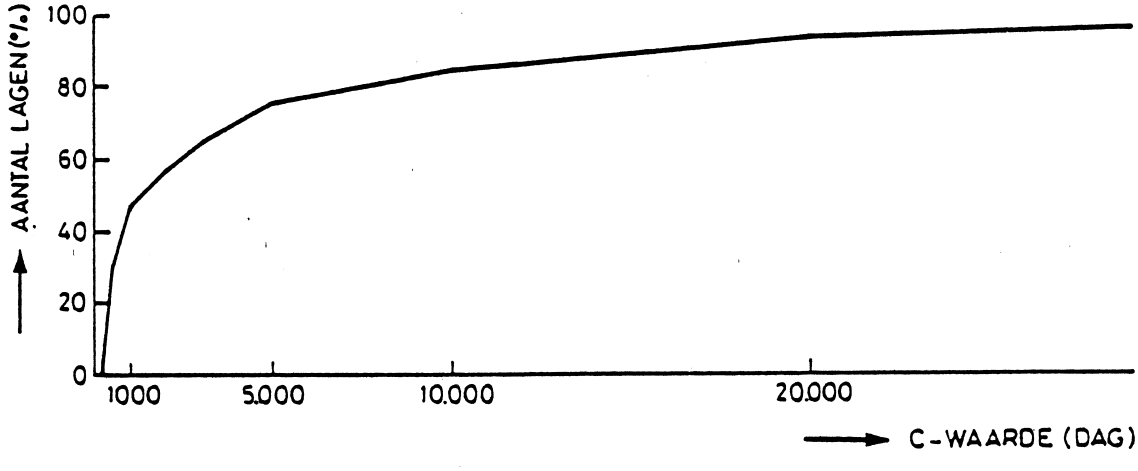
Figuur 4. Cumulatieve frequentieverdeling van bodemlagen naar dikte.

Het doorlaatvermogen is voor 35% van de lagen niet bekend. Wanneer de winningen van grondwater in de duinen en uit kalksteenpakketten buiten beschouwing blijven bedraagt het aantal lagen waarvoor de kD-waarde onbekend is minder dan 30%, en hieraan wordt nog slechts 5% van de totale hoeveelheid grondwater onttrokken. De kD-waarde bedraagt voor 20% van de lagen minder dan 1000 m^2/dag, voor 20% 1000 - 2000, en voor 20% 2000 - 5000 m^2/dag. Voor 5% van de lagen tenslotte bedraagt de kD-waarde meer dan 5000 m^2/dag. De doorlatenheid van de lagen, afgeleid uit het doorlaatvermogen en de laagdikte, is in tabel 4 gegeven. Van de lagen waarvoor de kD- en de k-waarde bekend zijn bedraagt de k-waarde in 90% van de gevallen 10 - 100 m/dag.

Slecht-doorlatende lagen
De gegevens over slecht-doorlatende lagen betroffen de aard, de dikte en de verticale weerstand. De aard van de laag was in vrijwel alle gevallen bekend. Ca. 45% van de lagen bestaat uit klei (fluviatiel en marien), 20% uit laminaties van klei en zand, en 35% uit ander materiaal waaronder laminaties van zand en leem (10%), en laminaties van klei en veen (10%). Behalve voor de samenstelling was tevens een indicatie gegeven voor de verbreiding van de laag onder de 25-jaarszone

van de waterwinningen. Ca. 45% van de lagen strekt zich uit onder de gehele zone, 25% is onderbroken, en van 30% van de lagen is de (vermoedelijke) verbreiding niet bekend. De dikte van de lagen is in alle gevallen bekend en varieert van enkele meters tot meer dan 50 meter. Tot de laatste groep behoren met name lagen bestaande uit slibhoudende zanden. Ook voor deze lagen is de frequentiedeling naar dikte in figuur 4 weergegeven. De dikte bedraagt voor 60% van de lagen minder dan 20 m, en voor 10% meer dan 50 m.

De verticale weerstand is voor 80% van de lagen bekend. De c-waarde is overwegend ontleend aan pompproeven. Een dergelijke c-waarde representeert een gemiddelde over een beperkt gebied dat door de pompproef beinvloed is. Het vaststellen van de weerstand van afzonderlijke boven en onder de watervoerende laag gelegen, slecht-doorlatende, lagen is slechts globaal mogelijk. In figuur 5 is de cumulatieve frequentieverdeling van lagen naar verticale weerstand weergegeven. De c-waarde bedraagt voor 30% van de lagen minder dan 500 dagen, voor 25% 500 - 2000 dagen, en voor 20% 2000 - 5000 resp. 5000 - 50.000 dagen. Voor 5% van de lagen tenslotte werd opgegeven dat deze "ondoorlatendheid" zijn (c-waarde 100.000 dag of meer).



Figuur 5. Cumulatieve frequentieverdeling van slecht-doorlatende lagen naar verticale weerstand.

Uit laboratorium onderzoek is bekend dat organische vloeistoffen de weerstand van kleilagen in sterke mate kunnen beïnvloeden. Een afname van de weerstand met een factor 100 of meer is voor diverse stoffen waargenomen (5). Hieronder bevinden zich ook vloeistoffen waarvan de soortelijke dichtheid groter is dan die van water, en welke zich derhalve zouden kunnen ophopen direkt boven een slecht-doorlatende laag. Het belangrijkste mechanisme voor een dergelijke beinvloeding is scheurvorming ten gevolge van veranderingen in de structuur van de klei. Dit fenomeen is van groot belang voor de keuze van materialen die toegepast worden bij het isoleren van ondergrondse opslagvoorzieningen en van stortplaatsen van met name chemische afvalstoffen. In de onderhavige problematiek van slecht-doorlatende lagen onder grondwaterbeschermingsgebieden echter kan niet verwacht worden dat de omstan-

digheden waaronder van een substantiële beïnvloeding sprake is (hoeveelheid en concentratie vloeistof, dikte van de kleilaag) zich ook in werkelijkheid zullen voordoen. Het verschijnsel is in het navolgende dan ook verder buiten beschouwing gelaten.

De "schijnbare" doorlatendheid van een slecht-doorlatende laag (k-waarde) [1], als resultante van stofeigenschappen én laagkenmerken, kan worden afgeleid uit de verticale weerstand en de dikte van de laag. De aldus verkregen doorlatendheid is voor alle lagen samengevat in tabel 4. De waarden lopen sterk uiteen in de range van 10^{-4} tot 1 m/dag. Van de lagen waarvoor de k-waarde bekend is bedraagt deze in ca. 85% van de gevallen tussen de 10^{-3} en 10^{-1} m/dag. De berekende k-waarden hangen in beperkte mate samen met de aard van de laag. Tussen de lagen bestaande uit ononderbroken klei en de lagen van overige samenstelling (in belangrijke mate bestaande uit leem/zand en klei/veen) verschilt de k-waarde globaal een faktor 10. Een verschil tussen onderbroken en ononderbroken lagen wordt voor kleilagen nog enigszins teruggevonden in de grootte-orde van k-waarden, voor de anderssoortige lagen vallen de range's vrijwel samen.

Het is aannemelijk dat de verticale weerstand van slecht-doorlatende lagen samenhangt met de laagdikte, in de zin dat inhomogeniteiten en/of discontinuïteiten voor met name dunne lagen tot relatief kleine, uit pompproeven verkregen, c-waarden en relatief grote, uit weerstand en dikte afgeleide, k-waarden leiden. Voor kleilagen wordt dit vermoeden bevestigd door de beschikbare informatie. Een eerste aanwijzing vormt het feit dat 80 tot 90% van de als onderbroken aangemerkte lagen minder dan 15 tot 20 m dik is. Een tweede aanwijzing vormt de observatie dat vrijwel alle onderbroken kleilagen met een k-waarde groter dan 0,01 m/dag tot deze dikte-klasse behoren. Voor anderssoortige slecht-doorlatende lagen is geen duidelijke grens te trekken. Op de samenhang tussen verticale weerstand en laagdikte wordt in de volgende paragraaf nader ingegaan.

---

[1]) Gewoonlijk wordt voor de doorlatendheid (in verticale richting) van slecht-doorlatende lagen het symbool k' of k_v gebruikt, ter onderscheid van de doorlatendheid (in horizontale richting) van watervoerende bodemlagen. In dit advies is voor beide het symbool k aangehouden daar uit de context voldoende blijkt over welk type laag gesproken wordt.

Type bodemlaag	k-waarde (m/dag)									k-waarde niet bekend
	10^{-5}	10^{-4}	10^{-3}	10^{-2}	10^{-1}	1	10	100	1000	
watervoerend										
fijn zand							3	7		13
zand							8	65	2	16
grof zand							3	95	7	23
overig							8	16		32
onbekend						1	8	67		65
totaal						1	30	250	9	149
slecht doorlatend										
klei										
ononderbroken[1])		1	10	26	10					9
onbekend		1	1	15	2					11
onderbroken				3	16	3				11
klei/zand										
ononderbroken			1	15	10					1
onbekend				5	4	1				7
onderbroken				2	2	2				1
overig[2])										
ononderbroken			1	5	19	7				4
onbekend				6	17	4				10
onderbroken				4	13	2				2
onbekend				2						1
totaal		2	13	83	93	19				57

1) ononderbroken: vermoedelijk ononderbroken onder 25-jaarszone
onderbroken: vermoedelijk onderbroken onder 25-jaarszone
onbekend: verbreiding onder 25-jaarszone niet bekend
2) overig: keileem, leem, potklei, veen en laminaties van zand of klei en veen

Tabel 4. Doorlatendheid van bodemlagen.

Concluderend kan gesteld wordt dat er in het algemeen voldoende informatie beschikbaar is resp. kan komen om de geologische en geohydrologische situatie ter plaatse van onttrekkingen te kunnen beoordelen en om op grond daarvan een beschermingsgebied te kunnen vaststellen. De benodigde informatie echter is specifiek voor elke te beschouwen lokatie, in de zin dat er geen uitspraken gedaan kunnen worden die gelden voor een zekere lokatie wanneer wordt uitgegaan van algemene inzichten en "gemiddelde" omstandigheden. De benodigde informatie betreft de technische specificatie van de winning, de opbouw van bodem ter plaat-

se, de geohydrologische omstandigheden, alsmede de hydrologische kenmerken van de bodemlagen. De technische specificaties van een winning kunnen als vast beschouwd worden. De opbouw van de ondergrond dient bij voorkeur vastgesteld te worden aan de hand van boorprofielen van de lokatie zelf én kennis van de lokale en regionale geologische gesteldheid. De geohydrologische omstandigheden dienen bij voorkeur vastgesteld te worden door middel van proefboringen en waarnemingen ter plaatse. Informatie over de lokale en regionale stroombeelden is in het algemeen aanwezig bij de provincies en de waterleidingbedrijven, alsmede bij het RIVM en de Dienst Grondwaterverkenning van TNO. De hydraulische kenmerken van bodemlagen tenslotte dienen bij voorkeur door middel van een pompproef van voldoende omvang (in relatie tot de grootte van de onttrekking) te worden vastgesteld. Op deze wijze worden eventuele inhomogeniteiten en/of discontinuïteiten in de bovengelegen slecht-doorlatende lagen impliciet in rekening gebracht. Indien niet beschikt wordt over de resultaten van een pompproef kan een indicatie verkregen worden van de grootte van een beschermingsgebied door uit te gaan van globale waarden voor de betrokken parameters. Voor de slecht-doorlatende lagen dient daarbij veiligheidshalve een k-waarde van niet kleiner dan 0,1 m/dag, en alleen voor kleilagen van meer dan 20 m dik van niet kleiner dan 0,01 m/dag, te worden aangehouden.

4.2. Beoordeling van slecht-doorlatende lagen op grond van aard en ontstaanswijze

4.2.1. Typologische indeling van slecht-doorlatende lagen

De kenmerking van slecht-doorlatende lagen naar dikte en aard in termen van klei, laminaties van zand en klei etc. is, zoals in de vorige paragraaf is aangetoond, onvoldoende om meer dan een globale indicatie te verkrijgen van de verticale weerstand van slecht-doorlatende lagen. Benevens de aard van het materiaal en de dikte van de laag zijn de horizontale verbreiding van de laag, de mate van homogeniteit of de variatie in samenstelling, en het voorkomen van discontinuïteiten factoren die de verticale weerstand mede bepalen. Deze factoren hangen samen met de afzettingsomstandigheden waaronder, en de post-sedimentaire geschiedenis waardoor, de lagen gevormd of verstoord zijn. De op een lokatie aangetroffen bodemlagen zijn inpasbaar in een algemene lithostratigrafische indeling van de Nederlandse aardlagen in formaties en type-eenheden die gebaseerd is op afzettingsomstandigheden, ouderdom en herkomst van het materiaal. Tot op zekere hoogte kan tevens rekening gehouden worden met (mogelijke) effecten van post-sedimentaire processen en gebeurtenissen. De betrouwbaarheid van de typologische aanduiding is echter afhankelijk van de kennis over de regionale geologische situatie. Bijlage 5 bevat een beknopt beeld van een dergelijke lithostratigrafische indeling en de plaats daarin van de belangrijkste slecht-doorlatende laagpakketten.

In tabel 5 zijn de geologische kenmerken van een aantal slecht-doorlatende laagpakketten weergegeven. Aangegeven zijn de typologische eenheid, het afzettingsmilieu, de ouderdom, de lithologie en de globale verbreiding in Nederland.

Typologische eenheid	Afzettings-milieu	Ouderdom	Lithologie	Verbreiding
1. Westland Formatie: Oude Wadklei (Afz.v.Calais)	marien, getijde	Holoceen	klei, vaak gelaagd met zand en veen	Noord en West Nederland
2. Westland Formatie: Basisveen	moeras, perimarien	Holoceen	veen	Noord en West Nederland
3. Betuwe Formatie: komafzettingen	fluviatiel	Holoceen	klei en veen	Oostelijk rivierengebied, IJssel en Maasdal
4. Eem Formatie: Eemklei	marien, getijde	Pleistoceen (Eemien)	klei, soms gelaagd met zand of veen	Noord, Midden en Noordwest Nederland
5. Formatie van Drente: Bekkenklei	lacustro-glaciaal	Pleistoceen (Saalien)	klei, gelaagd met silt	Middenwest, Midden en Middenoost Nederland
6. Formatie van Peelo: Potklei	verm. lacustro-glaciaal	Pleistoceen (Elsterien)	(siltige) klei	Noord Nederland
7. Formatie van Kedichem: Kedichem klei	fluviatiel	Pleistoceen (Menapien-Eburonien)	(siltige) klei en veen	Middenwest, Midden en Zuid Nederland
8. Formatie van Tegelen: Tegelen klei.	fluviatiel	Pleistoceen (Tiglien)	(siltige) klei en veen	Midden, Zuidwest en Zuid Nederland
9. Formatie van Maassluis: Maassluis klei	marien	Pleistoceen (Pre)tiglien)	(zandige) klei, vaak gelaagd met zand	Zuid Nederland; op grotere diepte in Noord, Midden en West Nederland
10 Formatie van Oosterhout: Oosterhout klei	marien	Plioceen	klei, soms gelaagd met zand	In Zuid Nederland en op grotere diepte in Noord, West en Midden Nederland

Tabel 5. Geologische kenmerken van een tiental geselecteerde, slecht-doorlatende laagpakketten.

4.2.2. Beoordeling van slecht-doorlatende lagen

In tabel 6 is een indicatie gegeven van de begrenzing van een laagpakket als gevolg van de drie bovengenoemde oorzaken: laterale verbreiding, homogeniteit in samenstelling, en het voorkomen van doorsnijdigen als gevolg van tectonische aktiviteit. De waarschijnlijke begrenzing van een pakket is uitgedrukt als lengtemaat en straal (zie bijlage 5; het onderscheid tussen grootste lengtemaat en straal is gezien

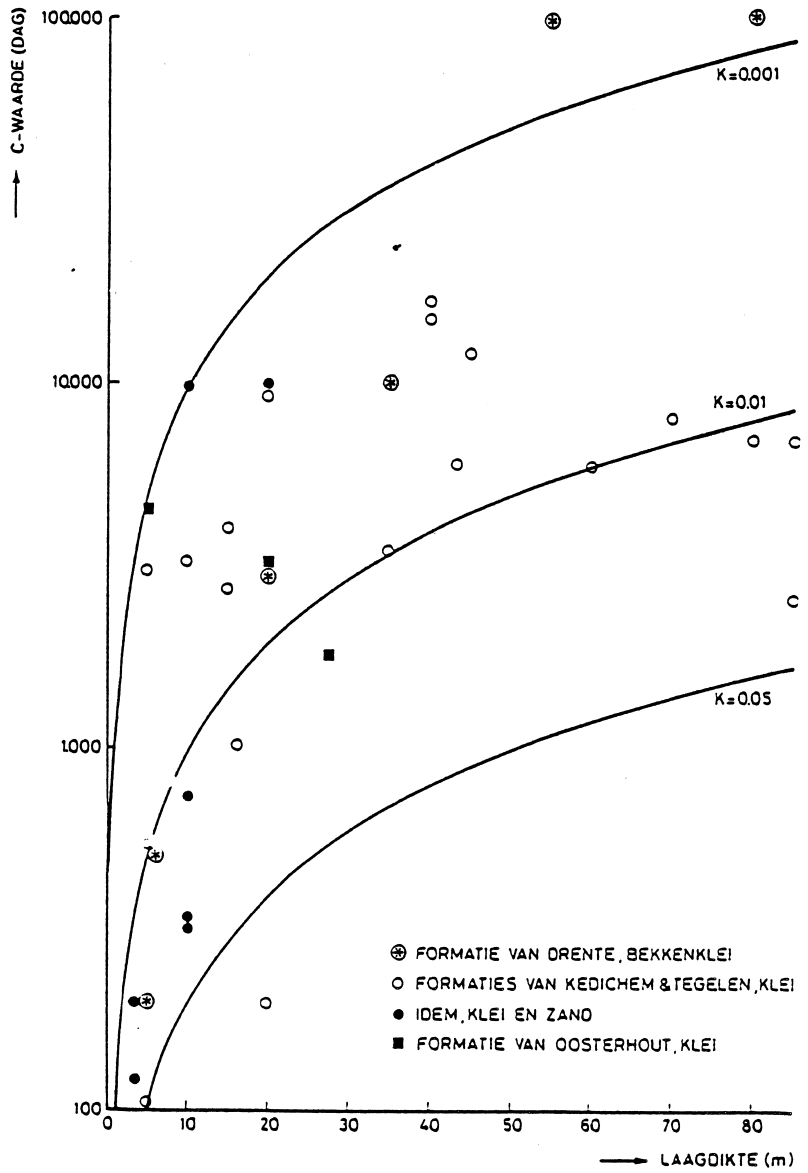
de indeling in afstandsklassen hier minder relevant). Er dient te worden opgemerkt dat het gegeven beeld uitgaat van een centrale ligging van het punt van onttrekking. Naarmate dit punt dichter bij de rand van een laag gelegen is neemt de symmetrie af, hetgeen in het algemeen uit oogpunt van bescherming minder gunstig zal zijn. De slechts zeer globale differentiatie naar afstand en dikte van de laagpakketten komt voort uit de overweging dat een meer gedetaileerd maar nog zinvol beeld niet gegeven kan worden zonder de lokale en regionale geologische situatie te beschouwen.

typologische eenheid		globale begrenzing van homogene en ongestoorde laagpakketten			
	laag-dikte (m)	< 100 m.	100 - 1000 m.	1 - 10 km.	> 10 km.
1 Westland form., Oude Wadklei	< 5		i		v
	> 5		i	v	
2 Westland form., Basisveen	<.5		i		v
	>.5	i		v	
3 Betuwe form., Komafzettingen	< 5		i		v
	> 5	i	v		
4 Eem formatie, Eemklei	< 25			v, i	
	> 25	v	i		
5 Form.v.Drente, Bekkenklei	< 55			v, i	
	> 55	v	i		
6 Form.v.Peelo, Potklei	< 15		i	v	
	> 15	v, i			
7 Form.v.Kedichem, Kedichemklei	< 10			i, d	v
	> 10		i	v	
8 Form.v.Tegelen, Tegelenklei	< 10			i, d	v
	> 10		i	v, d	
9 Form.v.Maassluis, Maassluisklei	< 5			v, i, d	
	> 5		i	v	
10 Form. v.Oosterhout Oosterhoutklei	< 10			i, d	v
	> 10		i	v	

v: laterale verbreiding
i: inhomogeniteit
d: discontinuïteit

Tabel 6. Globale beoordeling van de latere verbreiding, de mate van homogeniteit en het voorkomen van discontinuïteiten (voor een nadere toelichting zie bijlage 5).

Het resultaat van de beoordeling impliceert een tweetal tegengestelde tendenties voor de discrepantie tussen enerzijds de uit de dikte en de waargenomen verticale weerstand afgeleide doorlatendheid van een laag, en anderzijds de op grond van het materiaal te verwachten "theoretische" doorlatendheid. Enerzijds mag verwacht worden dat de discrepantie groter wordt naarmate de laagdikte toeneemt: in het algemeen zal het areaal waarover een laag zich uitstrekt met behoud van een zekere dikte en met een ongewijzigde samenstelling afnemen naarmate de laagdikte toeneemt. Anderzijds mag verwacht worden dat het voorkomen van (bepaalde vormen van) discontinuïteiten die de betreffende laag geheel of in belangrijke mate doorsnijden minder waarschijnlijk wordt naarmate de laagdikte toeneemt. Het bleek niet mogelijk deze tendenties nader te toetsen met behulp van de beschikbare informatie. In figuur 6 is voor een aantal lithostratigrafisch bekende lagen het verband tussen c-waarde, k-waarde en laagdikte weergegeven. Daar het aantal waarnemingen beperkt is en de onzekerheidsmarges groot zijn heeft het navolgende uitsluitend een illustratieve waarde.



Figuur 6. Samenhang tussen verticale weerstand, doorlatendheid en dikte van enkele lithostratigrafisch getypeerde slechtdoorlatende lagen.

De eerstgenoemde tendentie, een k-waarde die toeneemt naarmate de laagdikte toeneemt, doet zich voor in de waarnemingen met betrekking tot de formatie van Oosterhout. De geldigheid van de voor deze gevolgtrekking noodzakelijke aannamen - de laag bestaat op het punt van onttrekking uit min of meer zuivere klei, en er zijn in de nabijheid geen discontinuïteiten - kan overigens niet nagegaan worden. De waarnemingen inzake de formaties van Kedichem en Tegelen voor zand- en leemhoudende kleilagen illustreren dezelfde tendentie. Worden alle, overigens niet nader benoemde, lagen bestaande uit laminaties van zand en klei beschouwd, dan vertonen deze een overeenkomstig beeld, zij het weinig uitgesproken en met een ruime spreiding. De waarnemingen inzake de als klei aangemerkte lagen uit de formatie van Tegelen illustreren de laatstgenoemde tendentie: de k-waarde neemt af naarmate de laagdikte toeneemt. Ook hier geldt dat de gevolgtrekking niet zonder meer waar hoeft te zijn: het aantal waarnemingen is klein en de spreiding daarin is groot. De formatie van Drente tenslotte geeft eenzelfde beeld als de kleilagen van Tegelen en Kedichem: de k-waarde neemt af naarmate de laagdikte toeneemt. Worden alle, niet nader benoemde, kleilagen beschouwd dan wordt een vergelijkbaar beeld verkregen.

De conclusie mag duidelijk zijn: aan de kennis van de wordingsgeschiedenis van slecht-doorlatende lagen is slechts een globale indicatie te ontlenen inzake de laterale verbreiding en de homogeniteit van deze lagen. Een betekenisvol beeld kan echter alleen verkregen worden wanneer de specifieke, lokale of regionale, geologische situatie in beschouwing genomen wordt.

4.3. Methoden en berekeningsgrondslag

4.3.1. Beschikbare methoden

Bij het vaststellen van verblijftijdzones rond onttrekkingen van grondwater zal worden uitgegaan van een schematisatie van de werkelijkheid, en zal gebruik gemaakt worden van veelal summiere gegevens. Dit impliceert dat het vaststellen van dergelijke zones steeds met de nodige voorzichtigheid en, waar het gaat om hierop gebaseerde beschermingsgebieden, met inachtnemeing van ruime veiligheidsmarges dient plaats te vinden. De vereiste nauwkeurigheid met betrekking tot de toe te passen rekenmethoden is om deze reden beperkt. Gezien de stand van zaken met betrekking tot de ontwikkeling en het gebruik van grondwaterstromingsmodellen, mag gesteld worden dat de berekeningsmethoden als zodanig geen beperking opleggen aan de wijze waarop verblijftijdzones kunnen worden vastgesteld. Er is zelfs een grote mate van vrijheid om juist die methode (dat rekenmodel) te gebruiken waarmee de betrokkenen vertrouwd zijn. Wel verdient het aanbeveling te streven naar een zekere mate van vergelijkbaarheid van de berekeningsresultaten onderling. In het kader van dit advies zal dan ook niet nader worden ingegaan op de verschillende berekeningsmethoden die toegepast kunnen worden om verblijftijdszones te bepalen.

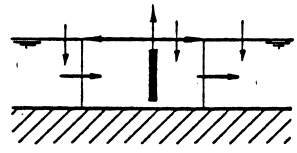
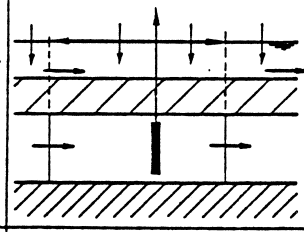
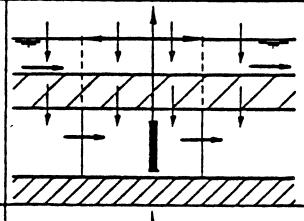
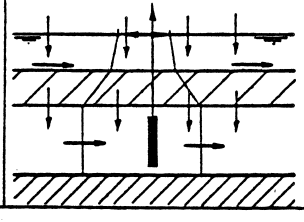
4.3.2. Grondslag voor het vaststellen van beschermingsgebieden

Tegen de aanbeveling van de CBW het beschermingsgebied in beginsel vast te stellen op basis van de verblijftijd van grondwater in het watervoerende pakket zijn een tweetal overwegingen naar voren gebracht.

Ten eerste heeft het uitgangspunt tot gevolg dat het te beschermen oppervlak in het geval dat een aaneengesloten weerstand biedende laag aanwezig is aanmerkelijk groter wordt dan in het geval er in het geheel geen weerstand biedende laag is. De verhouding tussen de opper vlakken wordt daarbij bepaald door de verhouding tussen de omvang van de voeding aan het bodemoppervlak resp. door de weerstand biedende laag (vergelijk figuur 7 ad 1, 2 en 3). Het verschil wordt groter naarmate de dikte van de watervoerende laag kleiner is. Hoewel de aldus geïntroduceerde evenredigheid tussen de mate van natuurlijke bescherming en de grootte van het te beschermen gebied aanleiding gaf tot een intensieve discussie, moet geconstateerd worden dat het dispuut veeleer theoretisch dan praktisch gericht was. Uit het KIWA-rapport "Overzicht van beschermingszones rond grondwaterwinningen in Nederland" (6), waarvan een gedeelte tevens was opgenomen als bijlage bij de voorliggende adviesvraag, blijkt dat het te beschermen oppervlak in beide gevallen alleen voor pakket-dikten van globaal minder dan 50 m aanmerkelijk verschilt. Het feitelijke aantal winningen echter waarbij er sprake is van én een grote mate van afscherming (b.v. c-waarde > 2000 dagen), én een onttrekking aan een relatief dun watervoerend pakket (D < 50 m) is verwaarloosbaar klein (1 op de 230).

Van meer praktische aard is de tweede overweging die betrekking heeft op de effectiviteit van het beschermen van een gebied rond de winningsmiddelen in het geval dat het grondwater van grote diepte en/of onder zeer slecht- tot ondoorlatende lagen onttrokken wordt. In dergelijke gevallen is het grondwater veelal afkomstig van buiten het beschermde gebied, en heeft bovendien vaak langer dan 25 jaar in de bodem verbleven. Wat het eerste betreft dient geconstateerd te worden dat de wenselijkheid de kwaliteit van het onttrokken grondwater te beschermen geen motief vormt om de kwaliteit van het freatisch water ter plaatse van de winning te beschermen indien dit niet, na verloop van tijd, ook daadwerkelijk onttrokken wordt. Wat het tweede betreft kan niet anders dan geconcludeerd wordt dat, wanneer het uitgangspunt gehandhaafd blijft dat volstaan kan worden met het beschermen van grondwater met een gemiddelde leeftijd van minder dan 25 jaar, de verblijftijd van waterdeeltjes tussen het bodemoppervlak en het punt van onttrekking ten grondslag dient te liggen aan het beschermingsgebied. Daarbij dient dan wel één beperking expliciet gesteld te worden: een dergelijk beschermingsgebied betreft alleen die aktiviteiten als gevolg waarvan verontreinigingen aan het bodemoppevvlak in de bodem geraken. Twee categorieën aktiviteiten verdienen dan alsnog aandacht: Ten eerste de aktiviteiten waarmee verontreinigingen in het watervoerende pakket zelf ingebracht worden. Hiervoor dient de verblijftijd van het grondwater in dat pakket onveranderlijk als grondslag aangehouden te worden. Ten tweede de aktiviteiten als gevolg waarvan de beschermende werking van slecht-doorlatende lagen zelf wordt aangetast, en die in een ongunstig geval zouden kunnen resulteren in het - in belangrijke mate - verkorten van de reistijd van de waterdeeltjes voor een - substantieel - deel van het onttrokken grondwater. Voor deze groep aktiviteiten zou de bescherming zich derhalve ook dienen uit te strekken over de gehele 25-jaar verblijftijdzone in het watervoerende pakket. Een samenvattend overzicht van grondslagen, uitwerking en aard van de betrokken aktiviteiten is in figuur 7 gegeven.

twee 25-jaarszones ??
is dit over te brengen?

Berekenings-grondslag	Schematisatie en en resulterend gebied	Betrokken vorm van beïnvloeding	Relevante parameters
1 Freatisch water (CBW)		* inbreng van verontreinigingen aan het bodemoppervlak en in het watervoerende pakket	* grootte onttrekking, ligging putfilter * dikte en porositeit watervoerend pakket * nuttige neerslag * natuurlijke afstroming pm voeding door basis
2 Verblijftijd in het watervoerend pakket, geen voeding (CBW)		* inbreng van verontreinigingen in het watervoerende pakket * perforatie van de ondoorlatende laag	* als 1, excl. nuttige neerslag
3 Verblijftijd in het watervoerend pakket, met voeding (CBW)		* inbreng van verontreinigingen in het watervoerende pakket * perforatie van de slecht-doorlatende laag	* als 2, tevens: * doorlaatvermogen watervoerend pakket * dikte en verticale weerstand van de slecht-doorlatende laag * pot verschil boven + onder
4 Reistijd tussen bodemoppervlak en het punt van onttrekking		* inbreng van verontreinigingen aan het bodemoppervlak	* als 3, tevens: * stijghoogteverschil over de slecht-doorlatende laag

Figuur 7. Schematische weergave van grondslagen, uitwerking, betrokken vormen van beïnvloeding en relevante parameters.

4.3.3. Gevoeligheid

Om een indruk te verkrijgen van de mate waarin de grondslag van invloed is op de grootte van het te beschermen gebied, en van de invloed daarop van enkele relevante variabelen is een aantal voorbeeldberekeningen uitgevoerd. De berekeningen zijn uitgevoerd met het computerprogramma FLOP van het RIVM. Dit programma dient tevens als voorbeeld van een der eenvoudig toepasbare rekenmethoden. Het programma is gebaseerd op analytische oplossingen van grondwaterstromingsproblemen en wordt gebruikt door tal van provinciale waterstaten, waterleidingbedrijven en adviesbureaus (6). Ten behoeve van de berekeningen is de bestaande versie van het model uitgebreid met berekeningen van de verticale verblijftijd en de 25-jaar verblijftijdzone aan het bodemoppervlak.

De gekozen uitgangssituatie voor de berekeningen is als volgt. In een homogeen isotroop watervoerend pakket met constante dikte wordt water onttrokken onder een slecht-doorlatende laag waarvan de dikte en de verticale weerstand constant zijn. In het watervoerende pakket is een van nature aanwezige grondwaterstroming. Deze stroming is één-dimensionaal terwijl het freatisch vlak boven de slecht-doorlatende laag in dezelfde richting lineair varieert. De natuurlijke grondwaterstroming wordt gekarakteriseerd door een tweetal gemeten stijghoogten. Eén meetpunt bevindt zich bovenstrooms en het ander benedenstrooms van de toekomstige onttrekking. De gegevens voor de uitgangssituatie zijn samengevat in tabel 7. In de tabel is tevens een indicatie gegeven van de waarden van een aantal variabelen die in de praktijk gevonden worden.

parameter	standaard-situatie	waargenomen waarden mediaan	80%-interval
grootte onttrekking (miljoen m^3/jaar)	3	2	0,5 - 5
watervoerend pakket			
dikte (m)	50	40	5 - 100
doorlatendheid (m/dag)	20	35	20 - 70
doorlaatvermogen (m^2/dag)	1000	1500	500 - 5000
porositeit	0,35		
slecht-doorlatende laag			
dikte (m)	10	15	5 - 50
doorlatendheid(m/dag)	0,01	0,01	0,1 - 0,001
verticale weerstand (dag)	1000	1500	200 - 5000
porositeit	0,35		
stijghoogte en -verhang (m. tov. maaiveld)			
- kwel-situatie	+ 1,0 tot - 0,2 m. over 1000 m.		
- infiltratie-situatie	+ 0,3 tot - 1,0 m. over 1000 m.		
vast polderpeil (m. tov. maaiveld)	+ 0,5 tot - 0,5 m. over 1000 m.		

Tabel 7. Uitgangssituatie voorbeeldberekeningen.

De resultaten van de uitgevoerde berekeningen zijn samengevat in tabel 8. Nadere bijzonderheden zijn opgenomen in bijlage 6. In de tabel is het oppervlak van de 25-jaarszone gegeven zoals deze volgt uit de door de CBW opgestelde nomogrammen (7), uit de berekende verblijftijd van het grondwater in het watervoerende pakket, en uit de berekende verblijftijd van de waterdeeltjes tussen het bodemoppervlak en het punt van onttrekking.

Apart gegeven in de tabel is de verhouding tussen laatstgenoemde de oppervlakten (reductiefactor oppervlak). Tenslotte blijkt uit de tabel het effect van de variatie van de dikte en de verticale weerstand van de slecht-doorlatende laag. Daar slechts een zeer beperkt aantal situaties is onderzocht, en de parameters bovendien onafhankelijk van elkaar gevarieerd zijn, kan aan de tabel niet meer dan een indicatieve waarde worden toegekend.

uitgangssituatie en variatie in parameterwaarden	oppervlak volgens nomogrammen voor semi-spanningswater (km^2)	berekend oppervlak 25-jaarszone in watervoerend pakket (km^2)		berekend oppervlakszone aan het bodemoppervlak (km^2)		reductiefactor	
		kwel	inf.	kwel	inf.	kwel	inf.
standaard	3,1	3,7	3,1	1,2	1,9	3,0	1,6
grootte onttrekking(milj.m^3/jr)							
1,5 (1)	2,0	2,1	1,6	0,6	0,9	3,5	1,8
6	5,0	6,5	5,3	2,9	3,8	2,2	1,4
dikte slecht-doorlatende laag (m)							
20	3,4	3,5	3,1	0,6	1,2	5,5	2,6
30	3,6	3,6	3,0	0,3	0,8	11,3	3,7
verticale weerstand (dag)							
2000	3,4	3,8	3,4	1,0	1,6	3,7	2,2
4000	3,5	4,0	3,9	0,7	1,1	6,0	3,7
6000	4,0	4,0	3,9	0,3	0,6	15,0	6,6
∞	4,4	4,4	4,4	0	0	∞	∞

(1) oppervlakten gedeeltelijk geschat

Tabel 8. Het oppervlak van 25-jaarszones voor winningen van semi-spanningswater, voorbeeldberekeningen.

Aan de hand van de voorbeeldberekeningen kan de invloed van de te hanteren berekeningsgrondslag worden geïllustreerd. Het verschil tussen beide wijzen van vaststelling wordt groter naarmate de onttrokken hoeveelheid grondwater afneemt. Daar echter de betrokken oppervlakten met de onttrekking in grootte toenemen, is het effect in absolute zin slechts gering. Wanneer wordt uitgegaan van de verblijftijd tussen bodemoppervlak en punt van onttrekking neemt het oppervlak van het te beschermen gebied bij een gelijkblijvende verticale weerstand af met een toenemende dikte van de slecht-doorlatende laag. Bij laagdikten van 40 á 50 meter en meer zal er dan in het algemeen geen sprake meer zijn van een op de totale verblijftijd gebaseerd beschermingsgebied.

Eenzelfde tendentie doet zich voor wanneer de verticale weerstand toeneemt (daar de laagdikte in de voorbeeldberekening ongewijzigd is gebleven is hier in feite sprake van een afname van de doorlatendheid). Voor c-waarden van meer dan ca. 10.000 dagen zal er in het algemeen geen sprake meer zijn van een beschermingsgebied gebaseerd op de verblijftijd van waterdeeltjes tussen het bodemoppervlak en het punt van onttrekking.

Met de voorbeeldberekeningen kan tevens de invloed van de oorspronkelijke geohydrologische situatie geïllustreerd worden. Naast het feit dat het oppervlak van de 25-jaarszone in het watervoerende pakket als zodanig afhankelijk is van deze uitgangssituatie, komt het effect van het in rekening brengen van de verticale verblijftijd vooral tot uitdrukking in de gevallen dat de winning in een (voormalig) kwelgebied gelegen is. Het aanhouden van een berekeningsgrondslag die uitgaat van de verblijftijd tussen bodemoppervlak en punt van onttrekking resulteert in een reductie van het te beschermen gebied met ca. 70%. In een situatie met oorspronkelijk infiltratie bedraagt de reductie ca. 40%. Er zij nogmaals nadrukkelijk op gewezen dat deze mate van reductie geldt voor de omstandigheden die in de standaardsituatie zijn gesimuleerd, en dat er, gezien de mate van afhankelijkheid van de berekeningsresultaten van die omstandigheden, geen absolute betekenis aan gehecht mag worden.

Om een indicatie te verkrijgen van het verschil in het totale oppervlak van de beschermingsgebieden wanneer van beide grondslagen wordt uitgegaan, zijn de onttrekkingen die op grond van de beschikbare informatie als winningen van semi-spanningswater zijn aangemerkt nader beschouwd (ca. 90 winningen). Er zij op gewezen dat het bij de kenmerking van de onttrekkingen naar type winning aangehouden grenswaarde voor de verticale weerstand van het dekpakket ($c > 365$ dagen) een arbitraire keuze is, en niet bedoeld is als onderscheidend criterium waarbeneden de verblijftijd in het watervoerend pakket, en waarboven de verblijftijd tussen bodemoppervlak en punt van onttrekking als berekeningsgrondslag toegepast dient te worden. De berekening van het oppervlak beschermingsgebied is niet voor de onttrekkingen afzonderlijk uitgevoerd, maar is geschat op grond van de verdeling van de onttrekkingen naar grootte-klasse voor de diverse kenmerken (grootte van de onttrekking, de dikte en de verticale weerstand van het dekpakket), en de resultaten van de voorbeeldberekeningen. Daar de dikte van het watervoerende pakket in de voorbeeldberekeningen niet gevarieerd is en de dikte van het watervoerende pakket voor de beschouwde groep winningen veelal meer dan 50 m bedraagt, is het uit de voorbeeldberekeningen afgeleide oppervlakte beschermingsgebied overschat. Wat betreft de geohydrologische uitgangssituatie kon slechts worden aangenomen dat de betreffende winningen gelijkelijk in infiltratie- en kwelgebieden gelegen zijn, zoals beschreven voor de standaardsituatie in de voorbeeldberekeningen. De juistheid van deze aanname kan niet nader worden getoetst. De globale verdeling van het aantal winningen naar grootte van het beschermingsgebied, uitgaande van de twee grondslagen, is in tabel 9 gegeven.

oppervlakte beschermingsgebied (km^2)	aantal winningen uitgaande van de verblijf tijd in het watervoerende pakket	aantal winningen uitgaande van de verblijftijd bodemoppervlak - punt van onttrekking
0	0	20
0 - 1	0	30
1 - 2	10	25
2 - 3	35	15
3 - 5	30	0
> 5	15	0

Tabel 9. Indicatie van de omvang van beschermingsgebieden van winningen van semi-spanningswater volgens twee grondslagen.

De reductie in oppervlak beloopt in totaal ongeveer 75%, van ca. 400 km^2 uitgaande van de verblijftijd in het watervoerende pakket, tot ca. 100 km^2 uitgaande van de verblijftijd tussen bodemoppervlak en punt van onttrekking.

Er spelen uiteraard meer variabelen een rol dan die welke in de voorbeeldberekeningen zijn gevarieerd: de opbouw van de ondergrond uit diverse laagpakketten, de dikte van en de stijghoogten in het (de) watervoerende pakket(ten), de porositeit van de diverse lagen etc.. De invloed van één der variabelen op de ligging en grootte van de verblijftijdzones, in en buiten het watervoerende pakket, is afhankelijk van de waarden van de overige variabelen. Als gevolg van het grote aantal mogelijke combinaties is het nauwelijks mogelijk om tot een eenvoudige, algemeen geldende, wijze van vaststelling van verblijfzones te komen met behulp van bijvoorbeeld grafieken of tabellen. Voor elke winning afzonderlijk dienen de verschillende variabelen bepaald te worden en zal een berekening, vergelijkbaar met de voorbeeldberekeningen, uitgevoerd moeten worden. De gewenste uniformiteit in de benaderingswijze komt in dat geval voort uit overeenstemming ten aanzien van de berekeningsmethode, de te beschouwen variabelen, en overeenstemming ten aanzien van de keuze om hetzij de verblijftijd in het watervoerende pakket, hetzij de verblijftijd tussen bodemoppervlak en het punt van onttrekking, als grondslag te nemen voor het vaststellen van beschermingsgebieden.

5. De berekeningsgrondslag in een bredere context

5.1. Algemeen

Zoals in hoofdstuk 2 werd opgemerkt vormt het vaststellen van beschermingsgebieden geen doel op zich, maar vormt een onderdeel van een proces volgens welke de met de bescherming van de grondwateronttrekkingen nagestreefde doelen vastgesteld en gerealiseerd worden. Tevens werd opgemerkt dat de beoordeling van de risico's, verbonden aan het hanteren van

een (te) eenvoudige berekeningsgrondslag of het daarbij onjuist of onvolledig in rekening brengen van het geohydrologische systeem, niet beoordeeld kan worden op grond van alleen de grootte van beschermingsgebieden. Uit dien hoofde heeft de commissie gemeend het advies inzake de op een zekere verblijftijd gebaseerde berekeningsgrondslag te voorzien van het predicaat "wat de korte termijn betreft", strekkende tot in elk geval de opstelling van de eerste generatie provinciale grondwaterbeschermingsplannen.

Wat de langere termijn betreft meent de commissie dat het mogelijk is en aanbeveling verdient de relatie tussen enerzijds de aard en omvang van actuele of potentiële aktiviteiten in intrekgebieden en anderzijds de actuele of de te verwachten kwaliteit van het onttrokken grondwater nader te expliciteren en deze centraal te stellen in het beleid inzake grondwaterbeschermingsgebieden. Het navolgende bevat een beknopte schets van een dergelijke benaderingswijze. De commissie is zich er van bewust dat ook daarin veel aspekten impliciet gelaten zullen moeten worden, of ten hoogste slechts globaal en met een grote mate van onzekerheid beschreven kunnen worden. Zij pleit er evenwel voor dat de gedachtenvorming over vorm en haalbaarheid van de geschetste benaderingswijze vroegtijdig geïnitieerd wordt.

5.2. Benaderingswijze op langere termijn

Elke beschouwing over de bescherming van grondwater(onttrekkingen) gaat, meer of minder expliciet, uit van:
- het met de bescherming beoogde doel;
- het natuurlijk systeem, waaronder verstaan wordt de physieke context waarin de onttrekking gesitueerd is;
- aktiviteiten, waaronder in dit verband verstaan wordt handelingen die op enigerlei wijze van invloed zijn op de kwaliteit van het onttrokken grondwater; en
- de beoordeling en effectuering van maatregelen.

Het beoogde doel
Met betrekking tot het doel dat met de bescherming van een grondwateronttrekking nagestreefd wordt kunnen twee afgeleide doelstellingen onderscheiden worden, zoals onder andere in het advies van de CBW verwoord is. Het eerste doel is het realiseren of handhaven van een zekere, wenselijk of nog aanvaardbaar geachte, kwaliteit van het onttrokken grondwater. Het tweede doel is het veilig stellen van de continuïteit van de voorziening in het geval het eerste doel niet gehaald kan worden. De continuïteit wordt veilig gesteld door het treffen van zuivering-technische maatregelen of door elders een vervangende onttrekking te realiseren. Uit oogpunt van het eerste doel dient te worden voldaan aan de voorwaarde dat de oorzaak van een (dreigende) onaanvaardbare kwaliteitsverandering geheel of gedeeltelijk weggenomen kan worden of dat een dergelijke verandering voorkomen kan worden. Als middel dient de regulering van betrokken aktiviteiten en/of de daaraan verbonden immissies van stoffen in het intrekgebied van de te beschermen onttrekking. Het tweede doel impliceert tevens dat de achteruitgang in kwaliteit van het onttrokken grondwater tijdig waargenomen of voorzien kan worden. Als middel

dient hier enerzijds het regelmatig waarnemen van de kwaliteit van het grondwater in het watervoerende pakket, op voldoende afstand van het punt van onttrekking, en anderzijds het kennis hebben van het actuele en verwachte toekomstige niveau van immissies van stoffen in een voldoende groot deel van het intrekgebied van de te beschermen onttrekking.
Waar het gaat om enerzijds onttrekkingen van relatief ondiep grondwater, met een duidelijk begrensd intrekgebied van beperkte omvang, en anderzijds om onttrekkingen van diep grondwater, waarvan het intrekgebied niet dan slechts zeer globaal vastgesteld kan worden en dat een aanmerkelijk oppervlak representeert, zal het verwezenlijken van de doelstellingen noodzakelijkerwijs verschillend tot stand gebracht moeten worden.

Het natuurlijk systeem
De analyse van het natuurlijk stysteem zal vooral gericht moeten zijn op het verkrijgen van inzicht in de grondwaterbeweging. Kennis over de regionale en lokale geologische gesteldheid van de ondergrond en over de geohydrologische eigenschappen van bodemlagen is hiervoor noodzakelijk. Voor elke te beschouwen onttrekking dient de ligging van het intrekgebied te worden vastgesteld, hetgeen voor onttrekkingen van freatisch water goed, en voor onttrekkingen van diep grondwater globaal mogelijk geacht moet worden. De door de provincies voorgenomen uitwerking van de grondwaterplannen kan hieraan in belangrijke mate bijdragen. Uit oogpunt van de respons van de beschouwde systemen op een zekere inworp van stoffen verdient het aanbeveling naast de ligging van het intrekgebied tevens een beeld te vormen van de mate waarin voeding in delen van het intrekgebied bijdraagt aan de onttrekking, en de tijd die het transport van het grondwater door de bodem globaal vergt. Om reden van de wenselijkheid ook (een deel van) de grondwatervoorraad als zodanig veilig te stellen als potentiële bron voor de drinkwatervoorziening, zal een dergelijke analyse ook dienen te worden uitgevoerd voor de belangrijkste diep gelegen watervoerende lagen in de Nederlandse ondergrond. Gezien de noodzaak tot schematisatie en vereenvoudiging en het slechts gedeeltelijk beschikbaar zijn van de benodigde gegevens zal een gevoeligheidsonderzoek een integraal onderdeel moeten zijn van de uit te voeren analyse. Op deze wijze wordt niet alleen een beeld gevormd van de gemiddelde situatie, maar wordt tevens inzicht verkregen in de bijbehorende onzekerheidsmarges. Wat betreft de invloed van fysische, chemische en biologische processen in de bodem tenslotte meent de commissie dat er nog onvoldoende inzicht in het gedrag van verontreinigingen in met name de diepe ondergrond voorhanden is om daar vooreerst in vergaande mate rekening mee te houden. Incidenteel, voor bepaalde vormen van verontreiniging en in goed gedefinieerde geohydrologische situaties, kan het effect van dergelijke processen in rekening gebracht worden. In het algemeen echter verdient een "worst case" benadering, waarbij verontreinigingen conservatief verondersteld worden, voorzichtigheidshalve de voorkeur.

Aktiviteiten en emmissies
Voor de actuele en potentiële aktiviteiten die bijdragen aan de immissie van stoffen in het intrekgebied dient te worden nagegaan in welke mate en op welke termijn zij de kwaliteit van het onttrokken grondwater (zullen) beïnvloeden. De bijdragen van aktiviteiten aan de immissie van stoffen in het intrekgebied dienen daarbij gesteld te worden naast de bijdragen daaraan van aktiviteiten buiten het intrekgebied, bijvoorbeeld tot stand komend via atmosferisch transport en depositie, en zomogelijk ook naast de immissies als gevolg van natuurlijke oorzaken. Een aantal

aktiviteiten zal, afhankelijk van de aard en de plaats ten opzichte van het punt van onttrekking, van belang zijn niet zo zeer om reden van een permanente immissie, als wel om het risico van een (tijdelijke en eenmalige) immissie van grote omvang. Voor de betrokken aktiviteiten zal tenslotte ook een beeld gevormd moeten worden van de mate waarin zij afzonderlijk dan wel als groep gereguleerd kunnen worden, naar omvang, plaats en uitvoeringsvorm van de aktiviteiten en derhalve tevens naar omvang en plaats van de daaraan verbonden immissies.

Beoordeling en effectuering van maatregelen

Het reguleren van aktiviteiten komt tot stand door het nemen van uiteenlopende, technische en administratieve, maatregelen waarmee invloed uitgeoefend wordt op de plaats, omvang en/of uitvoeringsvorm van de aktiviteiten. Afhankelijk van de beschouwde maatregel en het bestuurlijke echelon waarop de maatregel genomen wordt zal deze betrekking hebben op de aktiviteiten afzonderlijk of als groep, en gebieds-specifiek danwel landelijk gelden. In alle gevallen is ten behoeve van het beoordelen van de (voorgenomen) maatregel inzicht benodigd in de effecten van de maatregel op enerzijds de doelstellingen die beoogd worden met de bescherming van het (de) grondwater(onttrekkingen), en anderzijds op andere, algemeen maatschappelijke doelstellingen. De eerste komen tot uitdrukking in de met behulp van de maatregel te realiseren, of te behouden, kwaliteit van het onttrokken grondwater. De beoordeling daarvan kan gebaseerd worden op de vigerende norm voor drinkwaterkwaliteit en, voor zover getalsmatige normen ontbreken, op een inschatting van het risico van een zekere kwaliteit voor de volksgezondheid. De tweede categorie effecten betreft de gevolgen van de (overwogen) maatregel (regulering van aktiviteiten) in termen van uiteenlopende criteria als financieel-economische, sociaal-economische en milieuhygiënische criteria, voor zover deze niet al met de kwaliteit van het onttrokken grondwater tot uitdrukking gebracht worden. Op deze wijze kan een afweging gemaakt worden van de aan afzonderlijke of gecombineerde maatregelen verbonden risico's, kosten en baten, en andere als voor- of nadelig aan te merken gevolgen. Het resultaat van een dergelijke afweging is de keuze van de vervolgens te effectueren maatregel(en).

De commissie is zich er van bewust dat de benaderingswijze als in het voorgaande beschreven, afhankelijk van de aard van de beschouwde maatregel en daarmeee het bestuurlijke echelon waar de oordeelsvorming speelt, in belangrijke mate vereenvoudigd en op onderdelen slechts impliciet gevolgd kan worden. Op het niveau van de nationale overheid dienen vaak nog slechts globaal uitgewerkte maatregelen beoordeeld te worden op effecten die onder uiteenlopende omstandigheden zeer divers van aard kunnen zijn. Hoewel het in detail beschouwen of voorspellen van effecten op dit niveau niet eenvoudig en slechts globaal mogelijk is, meent de commissie dat met de beschikbare kennis en inzichten, en met behulp van de beschikbare rekenkundige hulpmiddelen, een kwantitatieve onderbouwing van de beoordeling mogelijk is, ook indien daarvoor een groot aantal regionaal verschillende situaties in beschouwing genomen moet worden. Op het niveau van de provinciale overheden kan de analyse meer expliciet, en voor concrete, goed te definiëren situaties, uitgevoerd worden.

Samenvattend geeft de commissie het volgende in overweging. In het, op termijn uit te werken, beleid met betrekking tot de bescherming van grondwateronttrekkingen dienen intrekgebieden van actuele en potentiële onttrekkingen centraal gesteld te worden. Dit betreft enerzijds lokaal te definiëren intrekgebieden van onttrekkingen van overwegend freatisch water, en anderzijds regionaal te definiëren intrekgebieden van onttrekkingen van overwegend (semi-)spanningswater alsmede van de belangrijkste grondwatervoorraden in Nederland. Binnen deze intrekgebieden dienen de immissies, verbonden aan uiteenlopende aktiviteiten, te worden geïnventariseerd, en de relaties tussen immissies en grondwaterkwaliteit te worden geëxpliciteerd.

De bescherming van grondwaterwinningen, in het geval van onttrekkingen van lokaal infiltrerend grondwater (intrekgebied om en nabij het punt van onttrekking, relatief korte verblijftijden), dient gestoeld te worden op inzicht in de samenhang tussen enerzijds de kwaliteit van het onttrokken grondwater en anderzijds de lokatie en aard van de aktiviteiten in het intrekgebied en de daaraan verbonden immissies. Risico's als gevolg van calamiteiten kunnen daarbij afzonderlijk beschouwd worden. De bescherming wordt geëffectueerd door middel van het modificeren en/of beëindigen (c.q. niet doen plaatsvinden) van aktiviteiten die in belangrijke mate bijdragen aan het niet kunnen handhaven of bereiken van de gewenste kwaliteit van het onttrokken grondwater. Dit wordt voorafgegaan door de afweging van de daaraan verbonden voor- en nadelen, waarbij het beëindigen (c.q. niet starten) van de onttrekking als zodanig één der te beschouwen opties vormt. Zo overwogen zou worden een beschermingsgebied niet te laten samenvallen met het intrekgebied maar deze te beperken tot een gedeelte daarvan, bijvoorbeeld volgens het uitgangspunt ten minste een bepaald gedeelte van de hoeveelheid onttrokken grondwater te beschermen, kan een dergelijke keuze op een vergelijkbare wijze onderbouwd worden.

De bescherming van grondwaterwinningen in het geval van onttrekkingen van grondwater dat van elders wordt aangevoerd, alsmede de bescherming van (een substantieel deel) van de grondwatervoorraad als zodanig dient eveneens gestoeld te zijn op inzicht in de samenhang tussen enerzijds de kwaliteit van het grondwater en anderzijds de aktiviteiten in en buiten het intrekgebied die daarop van invloed zijn. Dit inzicht zal evenwel slechts globaal verkregen kunnen worden. Ook in dit geval kan de bescherming alleen door het reguleren van die aktiviteiten tot stand gebracht worden. Gezien de ruimtelijke verbreiding van de betreffende intrekgebieden zal de gewenste regulering voort moeten komen uit het algemene bodembeschermingsbeleid, gericht op het behoud van een algemeen, niet-specifiek, niveau voor de kwaliteit van de bodem en het grondwater. De wenselijkheid in dat kader een gebiedspecifieke uitwerking te volgen, in de zin dat het realiseren van een algemeen beschermingsniveau in bepaalde gebieden (belangrijke intrekgebieden) met een grotere prioriteit dan elders moet worden nagestreefd, verdient nadere overweging.

Bijlage 1

Ministerie van Volkshuisvesting, Ruimtelijke Ordening en Milieubeheer

DIRECTORAAT-GENERAAL VOOR DE MILIEUHYGIENE

Postbus 20951
2500 EZ 's-Gravenhage
telefoon 070-264201, tst:
telex 34429

Directie BWS
Hoofdafdeling Bodem

Aan: De Voorzitter van de
Voorlopige Technische
Commissie Bodembescherming
de heer ir. H. Haverkate

Uw kenmerk | Uw brief van | Kenmerk BWS/2025423 | Datum 21 februari 1985

Onderwerp Adviesaanvraag aan de Voorlopige Technische Commissie Bodembescherming over de berekening van de grootte van grondwaterbeschermingsgebieden

1. Achtergrond en probleemstelling

In december 1980 is door de Commissie Bescherming Waterwingebieden
./. (CBW) een rapport uitgebracht getiteld" Richtlijnen en aanbevelingen voor de bescherming van waterwingebieden". Deze Commissie werd in 1974 ingesteld op initiatief van de VEWIN en het toenmalige RID.
De CBW adviseerde om naast het eigenlijke wingebied direkt rondom de winmiddelen een beschermingsgebied in te stellen.
De grootte van wingebied en beschermingsgebied dient naar het oordeel van de CBW gebaseerd te zijn op de verblijftijd van het water in het pakket waaraan grondwater wordt onttrokken. Voor het wingebied werd aanbevolen een zone met een verblijftijd van tenminste 60 dagen. Voor het beschermingsgebied werden twee zones aanbevolen namelijk een 10-jaarszone en een 25-jaarszone, gebaseerd op maximale verblijftijden in het watervoerend pakket.
In gebieden met zand- en kalksteenafzettingen wordt in afwijking hiervan voorgesteld voor het beschermingsgebied een gebied bestaande uit één zone ter grootte van 2000 m rond de winmiddelen te hanteren.
Voor de bepaling van de omvang van het beschermingsgebied in gebieden met zand- en grindafzettingen is een verblijftijdberekening mogelijk als voldoende gegevens ter beschikking staan.
De CBW deed de aanbeveling om deze berekeningen in eerste instantie uit te voeren in het watervoerend pakket, omdat niet altijd kan worden vertrouwd op de beschermende werking van minder doorlatende deklagen.

Bijlagen:

Bezoekadres:
van Alkemadelaan 85
Bereikbaar met de buslijnen 18 (stations HS – CS), en 23.
NZH-bus vanuit Amsterdam 89, en vanuit Leidendorp 64 of 65

De CBW adviseerde van geval tot geval te bekijken of deze minder doorlatende lagen bij de berekening van de verblijftijd kunnen worden betrokken echter alleen als zekerheid bestaat over de werking van deze lagen.
In een aantal provincies was op het moment van verschijnen van het CBW-rapport reeds een algemene verordening ter bescherming van bodem en grondwater van kracht; soms voorzien van een specifieke regeling ten aanzien van waterwingebieden. Daarnaast waren er verschillende provincies die op dat moment alleen beschikten over een verordening specifiek gericht op de bescherming van waterwingebieden.
Een aantal provincies heeft sinds 1980 hun verordening aangepast of heeft een verordening in voorbereiding genomen dan wel een concept uitgebracht waarin de CBW-aanbevelingen doorwerking hebben gevonden.
Gesteld kan worden dat wat betreft de dimensionering van beschermingsgebieden rond grondwaterwinningen de thans in werking zijnde of in voorbereiding verkerende provinciale verordeningen nogal grote verschillen vertonen. Eén van de redenen hiervoor is de mate waarin met de werking van afdekkende lagen rekening wordt gehouden.
Momenteel wordt in IPO-verband een Modelverordening grondwater-beschermingsgebieden voorbereid welke als voorbeeld zal dienen voor de provinciale verordeningen Grondwaterbeschermingsgebieden op grond van artikel 42 van het ontwerp van Wet bodembescherming.
Een zo uniform mogelijk beleid t.a.v. de bescherming van grondwaterwinningen is gebaat bij een eenduidige aanpak zowel van de grondslag voor de zonering als de berekeningswijze voor de vaststelling van de grootte van het beschermingsgebied. Deze adviesaanvraag richt zich specifiek op dit laatste aspekt.

2. Nadere toelichting

In Nederland bestaan circa 244 grondwaterwinningen ten behoeve van de openbare drinkwatervoorziening. Daarnaast zijn er nog vele duizenden particuliere grondwateronttrekkingen (o.a. voor industrie, recreatie en huishoudens). Wanneer eerstgenoemde winningen nader worden beschouwd - deze waren immers onderwerp van advisering door de CBW - dan resteren, na aftrek van de pompstations waar tevens infiltratie van oppervlaktewater plaatsvindt, 233 pompstations die alleen grondwater onttrekken.
Deze onttrekken grondwater onder, in geohydrologisch opzicht, zeer verschillende omstandigheden.
Twee hoofdtypen van winningen kunnen worden onderscheiden namelijk onttrekkingen aan watervoerende pakketten zonder afdekkende (minder doorlatende) lagen, de zogenaamde freatische winningen, en onttrekkingen aan watervoerende pakketten met afdekkende lagen, de zogenaamde (semi-)spanningswaterwinningen. Als de grenswaarde tussen beiden typen winningen wordt gesteld op een weerstand van de afdekkende laag (lagen) van 250 dagen, dan kunnen volgens de huidige inzichten 129 winningen tot het freatische type en 104 tot het (semi-)spanningswater type worden gerekend.
De oppervlakte van het beschermingsgebied kan onder meer berekend worden volgens formules welke zijn vermeld in het rapport van de Werkgroep Berekeningen van de CBW (zie bijlage 1).
Door alleen te rekenen met de verblijftijd in het watervoerend pakket kunnen - ter illustratie - voor beide typen winningen de volgende oppervlakten voor het beschermingsgebied binnen de 25 jaar verblijftijdgrens worden berekend.
De in onderstaande tabel vermelde oppervlakten als functie van de dikte van het watervoerend pakket zijn uitgedrukt in hectare per miljoen m^3 onttrekking per jaar.

Oppervlakte Beschermingsgebied omsloten door de 25 jaar verblijfgrens(ha/mln m^3/jaar)

Type winning

Dikte watervoerend pakket (meters)	(Semi-) Spanningswater (porositeit 35%)	Freatisch water (Nuttige neerslag 300 mm/jaar; porositeit 35%)
10	714	294
20	357	219
40	179	138
60	119	100
100	71	64
140	51	47

Uit dit rekenvoorbeeld blijkt dat voor onttrekkingen aan watervoerende pakketten met een dikte minder dan 140 meter (geldig voor 80% van de pompstations) de oppervlakte van het beschermingsgebied in geval van (semi-)spanningswater groter wordt dan bij freatisch water.
Bij een dikte van het watervoerend pakket van 40 meter en een onttrekking van 3 mln m^3/jaar (voor freatische winningen een redelijk gemiddelde in Nederland) wordt het beschermingsgebied in geval van semi-spanningswater 537 ha en in geval van freatisch water 414 ha. Dit is een toename van het oppervlak van ongeveer 30% t.o.v. het freatische type.
Dit betekent dat wanneer alleen gerekend wordt met de verblijftijd in het watervoerend pakket hieruit grotere beschermingszones resulteren bij de winning van (semi-)spanningswater dan van freatisch water.
De door de CBW gedane aanbeveling om bij de berekening van de grootte van het beschermingsgebied in eerste instantie alleen rekening te houden met de verblijftijd in het pakket waaraan wordt onttrokken leidt derhalve tot een groter beschermingsgebied naarmate de natuurlijke barrière voor verontreiniging in de vorm van een afdekkende laag in betekenis toeneemt.
Deze benadering kan in de praktijk tot problemen leiden omdat in grondwaterbeschermingsgebieden beperkingen vann het bodemgebruik worden opgelegd.
Hoewel de CBW adviseerde om eventueel per geval rekening te houden met de verblijftijd van het water in afdekkende lagen heeft een meer systematische aanpak, gelet op de gegroeide wetenschappelijke inzichten en de ontwikkelingen tot nu toe in verschillende provincies, mijn voorkeur.

3. Advisering door V-TCB

Na de inwerkingtreding van de Wet bodembescherming zal in alle provincies een verordening grondwaterbeschermingsgebieden van kracht moeten zijn.
Ik acht het van belang dat in ieder geval de dimensionering van deze gebieden zoveel mogelijk op uniforme wijze plaatsvindt. Het rapport van de CBW heeft hieraan reeds in zeer belangrijke mate bijgedragen.
Gelet op hetgeen hierboven is aangegeven verzoek ik de Commissie mij advies te geven op welke wijze de omvang van het beschermingsgebied, omsloten door de 25-jaars verblijftijdgrens, kan worden bepaald in ge-

val van onttrekkingen aan watervoerende lagen met (semi-)spanningswater. Hierbij verzoek ik de Commissie met name in te gaan op de vraag wanneer en hoe rekening kan worden gehouden met de verblijftijd van het water in de afdekkende - minder doorlatende - lagen, teneinde tot een systematisch aanpak te komen.
De kennis over de verbreiding en de grootte van de doorlatendheid c.q. weerstand van deze lagen zal hierbij een belangrijke randvoorwaarde zijn.
Ik verwacht dat de Commissie de meest recente ontwikkelingen op dit gebied binnen de onderzoekinstellingen en de provincies in haar advies zal betrekken.
Tot slot verwijs ik de Commissie graag naar een rapport van het KIWA dat in opdracht van mijn ministerie wordt vervaardigd en waarin door middel van een steekproef bij 35 pompstations (ca. 10% van de winningen) een indruk gegeven wordt van de doorwerking van het CBW-rapport in de thans van kracht zijnde respectievelijk in het concept-stadium verkerende provinciale verordeningen. Zo gauw dit gereed is zal dit aan u worden toegezonden.

De Minister van Volkshuisvesting,
Ruimtelijke Ordening en Milieubeheer,

Winsemius

dr. P. Winsemius

Referenties

1. **Wet bodembescherming,**
   Ontwerp van wet, Tweede Kamer zitting 1980-1981,
   16529 nrs. 1-2.

2. **Richtlijnen en aanbevelingen voor de bescherming van waterwingebieden,**
   Rapport van de Commissie Bescherming Waterwingebieden, uitgave van VEWIN en RID, december 1980.

3. **Tienjarenplan VEWIN 1984,**
   Vereniging van Exploitanten van Waterleidingbedrijven in Nederland, Rijswijk, oktober 1984.

4. **Geohydrologische inventarisatie van waterwingebieden,**
   G.C. Cattenstart, Landinrichtingsdienst, Utrecht, december 1983.

5. **Clay-chemical compatibility and permeability testing: a review,**
   G.L. Kingsbury, R.S. Truesdale, Research Triangle Institute, North Carolina. Poster presentation Eleventh annual research symposium on land disposal, remedial action, incineration and treatment of hazardous waste, Cincinnati, Ohio, april-mei 1985.

6. **Overzicht van beschermingszones rond grondwaterwinningen in Nederland,**
   C.G.E.M. van Beek, KIWA, Nieuwegein, november 1984.

7. **Rapport van de werkgroep berekeningen van de CBW,**
   M.G.M. den Blanken, KIWA, Nieuwegein, december 1979.

8. **Verklarende hydrologische woordenlijst, delen I en II,**
   Commissie voor hydrologisch onderzoek TNO, Rapporten en nota's nr. 8a, Den Haag, januari 1982.

Begrippen.

De opgenomen definities zijn in belangrijke mate ontleend aan de Verklarende woordenlijst van de Commissie voor hydrologisch onderzoek TNO (8).

Bodemlaag: een als zijnde homogeen beschouwde laag bodemmateriaal.

c-waarde of verticale weerstand (dag): de weerstand die bepaalde (slecht-doorlatende) laag biedt tegen verticale grondwaterstroming, voor een homogene laag gelijk te stellen aan het quotient van laag-dikte en doorlatendheid.

Dikte (m): de dikte van een bodemlaag.

Effectieve porositeit: het volume van de poriën dat beschikbaar is voor transport van vloeistof, gedeeld door het totale volume van de grond (bodemdeeltjes en poriën).

Freatisch water: water onder de grondwaterspiegel in een relatief goed door-latende laag en boven een eerste slecht doorlatende of ondoor-latende laag.

Infiltratie: het verschijnsel dat water aan het grondoppervlak de grond binnentreedt.

k-waarde of doorlatendheid (m/dag): een maat voor het vermogen van de grond om vloeistof door te laten, gelijk te stellen aan de volumestroom door een eenheid van oppervlakte als de stijghoogtegradiënt lood-recht op het oppervlak gelijk is aan één.

kD-waarde of doorlaatvermogen (m2/dag): een maat voor het vermogen van een watervoervoeren pakket om water door te laten, gelijk te stellen aan de volumestroom die per breedte-eenheid van het pakket en per eenheid van stijghoogtegradiënt door een watervoerende laag stroomt.

Kwel: het uittreden van grondwater (onder invloed van grotere stijg-hoogten buiten het beschouwde gebied.

Slecht-doorlatende laag: een bodemlaag met een grote verticale weerstand.

Stijghoogte (m): de som van drukhoogte en plaatshoogte, dat is de hoogte van een waterkolom met een druk gelijk aan de druk van het grondwater t.o.v. atmosferische druk (drukhoogte), vermeerdert met de hoogte van een deeltje grond of water t.o.v. een referentieniveau (plaatshoogte).

Porositeit: het volume van de poriën gedeeld door het totale volume van de grond (bodemdeeltjes en poriën).

Spanningswater of afgesloten grondwater: water in een watervoerende laag die aan boven- en onderzijde begrensd wordt door ondoorlatende lagen.

Semi-spanningswater of gedeeltelijk afgesloten grondwater: water in een wa-tervoerende laag die aan boven- en onderzijde begrensd wordt door één slecht-doorlatende lagen of door één slecht-doorlatende laag en één ondoorlatende laag.

Watervoerende laag: een geheel of gedeeltelijk met water verzadigde laag met een groot doorlaatvermogen.

NB. De commissie voor hydrologisch onderzoek raadt het gebruik van de termen spanningswater en semi-spanningswater af. Gezien de verwoording van de adviesaanvraag zijn ze in het onderhavige advies wel gebruikt.

Kenmerken van grondwaterwinningen en bodemlagen.

Inhoud

1. Inleiding 1.

2. Kenmerken van grondwaterwinningen

2.1 Enkelvoudige kenmerken 1.
2.1.1 Grootte van de onttrekking 1.
2.1.2 Type van de grondwaterwinning 2.
2.1.3 Dikte van het geëxploiteerde watervoerende pakket 4.
2.1.4 Diepte van de onttrekking 5.
2.1.5 Verticale weerstand van het afdekkende pakket 6.
2.2 Samenhang tussen kenmerken van grondwaterwinningen 7.
2.2.1 Samenhang tussen grootte en andere kenmerken 7.
2.2.2 Samenhang tussen type en andere kenmerken 9.
2.2.3 Samenhang tussen overige kenmerken 11.

3. Kenmerken van bodemlagen 13.

3.1 Kenmerken van watervoerende bodemlagen 13.
3.2 Kenmerken van weerstandbiedende bodemlagen 16.

Lijst van figuren

Figuur 1	Samenhang tussen de grootte van de onttrekking en het type winning (1.1), de totale verticale weerstand van het dekpakket (1.2), de dikte van het geëxploiteerde watervoerende pakket (1.3), en de diepte van de onttrekking (1.4).	pag. 8
Figuur 2	Samenhang tussen het type winning en de totale verticale weerstand van het dekpakket (2.1), de diepte van de onttrekking (2.2), en de dikte van het geëxploiteerde watervoerende pakket (2.3).	pag. 10
Figuur 3	Samenhang tussen de totale verticale weerstand van het dekpakket en de diepte van de onttrekking (3.1), resp. de dikte van het geëxploiteerde watervoerende pakket (3.2), en tussen de diepte van de onttrekking en de dikte van het geëxploiteerde watervoerende pakket (3.3).	pag. 11
Figuur 4	Samenhang tussen de diepte van de onttrekking en de verticale weerstand van het dekpakket.	pag. 12
Figuur 5	Cumulatieve frequentieverdeling van het aantal weerstandbiedende lagen naar verticale weerstand.	pag. 18
Figuur 6	Samenhang tussen de kenmerken van weerstandbiedende lagen.	pag. 20

Lijst van tabellen

Tabel 1	Frequentieverdeling van grondwaterwinningen naar grootte van de onttrekking in 1980.	pag. 1
Tabel 2	Frequentieverdeling van grondwaterwinningen naar type van de winning in 1980. Tussen haakjes gegeven de situatie indien álle weerstandbiedende lagen in beschouwing genomen worden.	pag. 3
Tabel 3	Frequentieverdeling van grondwaterwinningen naar dikte van het geëxploiteerde watervoerende pakket .	pag. 4
Tabel 4	Frequentieverdeling van grondwaterwinningen naar diepte van de onttrekking.	pag. 5
Tabel 5	Frequentieverdeling van grondwaterwinningen naar verticale weerstand van het afdekkende pakket.	pag. 6
Tabel 6	Frequentieverdeling van watervoerende lagen naar aard.	pag. 13
Tabel 7	Frequentieverdeling van watervoerende lagen naar laagdikte.	pag. 14
Tabel 8	Frequentieverdeling van watervoerende lagen naar doorlaatvermogen.	pag. 15
Tabel 9a	Frequentieverdeling van watervoerende lagen naar doorlatendheid en aard.	pag. 15
Tabel 9b	Frequentieverdeling van watervoerende lagen naar doorlatendheid tussen 10 en 100 m/dag.	pag. 16
Tabel 10	Verdeling van weerstandbiedende lagen als functie van de aard en de dikte.	pag. 17
Tabel 11	Verdeling van weerstandbiedende lagen als functie van de aard en de verticale weerstand.	pag. 18
Tabel 12	Verdeling van weerstandbiedende lagen als functie van de aard en de doorlatendheid.	pag. 19

1. Inleiding

Deze bijlage bevat een samenvattend overzicht van informatie over een aantal kenmerken van de grondwaterwinningen in Nederland ten behoeve van de drinkwatervoorziening. De informatie werd in de loop van 1984 door het KIWA verzameld in opdracht van de VEWIN, en welwillend door de laatste beschikbaar gesteld ten behoeve van het voorbereiden van het voorliggende advies. De informatie werd verkregen door middel van een onder de waterleidingbedrijven in Nederland gehouden enquete. De resultaten van deze enquete zijn tot op heden nog niet in enigerlei vorm gepubliceerd, maar een rapport in deze is in voorbereiding. De analyse van de gegevens is uitgevoerd door het Waterloopkundig Laboratorium in het kader van de voorbereiding van dit advies.

2. Kenmerken van grondwaterwinningen

2.1. Enkelvoudige kenmerken

2.1.1. Grootte van de onttrekking

In tabel 1 is de verdeling van de grondwaterwinningen gegeven als functie van de grootte van de onttrekking. Als grootte is aangehouden de onttrokken hoeveelheid grondwater in 1980. In de tabel is tevens gegeven het aantal winningen per grootte-klasse volgens de naar verwachting in 1995 geinstalleerde capaciteit van de winnings- en zuiveringsmiddelen. Er zij op gewezen dat het verschil tussen de capaciteit en de onttrokken hoeveelheid grondwater in 1980 gemiddeld 20% van de capaciteit bedroeg.

Grootte van de onttrekking (miljoen m^3)	Aantal winningen			Totaal onttrokken hoeveelheid grondwater (miljoen m^3/jaar)	
	aantal 1980	% 1980	% 1995 [1]	hoeveelheid	%
< 0,5	18	8	(9)	4	0,5
0,5 - 1	40	17	(7)	28	4
1 - 1,5	26	11	(9)	31	4
1,5 - 2	20	9	(6)	34	5
2 - 3	36	16	(19)	86	12
3 - 4	33	14	(12)	112	16
4 - 5	15	7	(11)	66	10
5 - 7,5	22	10	(13)	135	[illegible]
7,5 - 10	12	5	(6)	101	14
10 - 15	5	2	(8)	57	8
15 - 20	1	0,5	(2)	16	2
20 - 25	1	0,5	(0,5)	25	4
totaal	229	100		695	100

[1]) De percentages voor 1995 betreffen 262 grondwaterwinningen.

Tabel 1. Frequentieverdeling van grondwaterwinningen naar grootte van de onttrekking in 1980.

2.1.2. Type van de grondwaterwinning

In tabel 2 is de verdeling van de grondwaterwinningen gegeven als functie van het type winning. Als type winning zijn onderscheiden:

- winningen van grondwater in de duinen;
- winningen van grondwater uit kalksteenpakketten;
- winningen van freatisch water;
- winningen van freatisch water én semi-spanningswater;
- winningen van semi-spanningswater, onttrokken aan één watervoerend pakket;
- winningen van semi-spanningswater, onttrokken aan meer dan één watervoerend pakket; en
- winningen die niet naar type ingedeeld kunnen worden.

De toewijzing van de winningen aan de onderscheiden categoriën heeft plaatsgevonden op grond van de informatie m.b.t. de opbouw van de ondergrond en de situering van het putfilter zoals gegeven door de geënquetteerde waterleidingbedrijven. Als slecht-doorlatende lagen zijn daarbij aangemerkt de bodemlagen waarvoor de verticale weerstand meer bedroeg dan 365 dagen. Waar deze waarde niet bekend was is deze geschat uit de dikte en de aard van de laag (zie par. 2.1.5). Op deze wijze onderscheiden beslaat het aandeel winningen van freatisch water en van semi-spanningswater beide 40 à 45% indien betrokken op het aantal winningen. Betrokken op de onttrokken hoeveelheid grondwater is het aandeel ca. 40% freatisch water en ca. 50% semi-spanningswater.

In tabel 2 is tussen haakjes tevens gegeven de verdeling van de winningen indien het bovengenoemde criterium voor slecht-doorlatende lagen (verticale weerstand groter dan 365 dagen) niet wordt aangehouden, maar indien wordt uitgegaan van de door de waterleidingbedrjven gerapporteerde situatie. Wanneer op deze wijze alle vermelde weerstandbiedende lagen in beschouwing genomen worden, neemt het aandeel winningen van freatisch water af tot 20 à 25% van het aantal, en tot ca. 20% van de onttrokken hoeveelheid grondwater. Het aandeel van de winningen van semi-spanningswater neemt toe tot 60 à 65% van het aantal, en tot ca. 70% van de onttrokken hoeveelheid.

Type winning	Aantal winningen aantal	%	Totaal onttrokken hoeveelheid (mln m^3/jaar) hoeveelheid	%	Gemiddelde grootte (mln m^3/jaar)
1. grondwater duinen	19	8	28	4	1,5
2. grondwater kalksteen	12	5	27	4	2,2
3. freatisch water	89 (47)	39 (22)	248 (117)	36 (17)	2,8 (2,5)
4. freat. water & semi-sp. water	14 (6)	6 (3)	60 (29)	9 (4)	4,3 (4,8)
5. semi-sp.w., 1 wv. laag:					
* onder 1 slecht-doorl. laag	59 (83)	26 (36)	187 (261)	27 (38)	3,2 (3,1)
* onder >1 slecht-doorl. laag	19 (34)	8 (15)	84 (130)	12 (19)	4,4 (3,8)
6. semi-sp.w., >1 wv. laag	14 (25)	6 (10)	59 (103)	9 (14)	4,2 (4,2)
7. onbekend	3	1	2	0	0,6
totaal	229	100	695	100	3,0

Tabel 2. Frequentieverdeling van grondwaterwinningen naar type van de winning in 1980. Tussen haakjes gegeven de situatie indien álle weerstandbiedende lagen in beschouwing genomen worden.

2.1.3. Dikte van het geëxploiteerde watervoerende pakket

In tabel 3 is de verdeling van de grondwaterwinningen gegeven als functie van de dikte van het geëxploiteerde watervoerende pakket. Hiervoor is aangehouden de gerapporteerde dikte van het pakket, of de som der dikten indien de onttrekking uit meer dan één pakket plaatsvond.

Dikte watervoerend pakket (m)	Aantal winningen aantal	%	Totaal onttrokken hoeveelheid (mln m^3/jaar) hoeveelheid	%	Gemiddelde grootte van de (mln m^3/jaar)
0 - 10	3	1	2	0,5	0,7
10 - 20	7	3	14	2	2,0
20 - 30	17	7	39	6	2,3
30 - 50	40	17	93	13	2,3
50 - 75	30	13	99	14	3,3
75 - 100	27	12	103	15	3,8
100 - 150	45	20	169	24	3,8
> 150	26	11	119	17	4,6
onbekend	3	1	2	0,5	0,6
grondwater duinen	19	8	28	4	1,5
grondwater kalksteen	12	5	27	4	2,2
totaal	229	100	695	100	3,0

1) de totale dikte van alle betrokken pakketten indien de onttrekking plaatsvindt uit meer dan één watervoerend pakket

Tabel 3. Frequentieverdeling van grondwaterwinningen naar dikte van het geëxploiteerde watervoerende pakket.

Uit de tabel blijkt dat de winningen qua aantallen vrij gelijkmatig zijn verdeeld over de pakketdikten tussen de 10 tot 150 meter. Betrokken op de hoeveelheid grondwater dragen vooral de categoriën winningen uit grote pakketdikten, vanaf 30 tot 50 meter, bij aan het totaal.

2.1.4. Diepte van de onttrekking

In tabel 4 is de verdeling van de grondwaterwinningen gegeven als functie van de diepte van de onttrekking. Hiervoor is aangehouden de diepte van het boveneinde van het putfilter ten opzichte van het maaiveld.

Diepte van de onttrekking (m)	Aantal winningen aantal	%	Totaal onttrokken hoeveelheid (mln m^3/jaar) hoeveelheid	%	Gemiddelde grootte van de (mln m^3/jaar)
0 - 10	9	3	14	2	1,6
10 - 20	31	14	85	13	2,7
20 - 30	37	16	89	13	2,4
30 - 50	48	21	166	24	3,5
50 - 75	38	17	153	22	4,0
75 - 100	15	7	40	6	2,7
100 - 150	13	6	73	10	5,6
> 150	4	2	18	2	4,5
onbekend	3	1	2	0	0,6
grondwater duinen	19	8	28	4	1,5
grondwater kalksteen	12	5	27	4	2,2
totaal	229	100	695	100	3,0

Tabel 4. Frequentieverdeling van grondwaterwinningen naar diepte van de onttrekking.

Uit de tabel blijkt dat de winningen qua aantallen vrij gelijkmatig zijn verdeeld over diepten tussen de 10 tot 70 meter, met een piek voor diepten van 10 tot 30 meter. Betrokken op de hoeveelheid grondwater dragen vooral de winningen met een diepte van 10 tot 100 meter bij aan het totaal.

2.1.5. Verticale weerstand van het afdekkende pakket

In tabel 5 is de verdeling van de grondwaterwinningen gegeven als functie van de verticale weerstand van het gehele laagpakket gelegen boven het eerste (bovenste) geëxploiteerde watervoerende pakket. De verticale weerstanden van de afzonderlijk onderscheiden bodemlagen zijn daartoe gesommeerd. Voor zover de verticale weerstand van de (slecht-doorlatende) lagen niet bekend was is deze geschat uit de dikte en de aard van de laag. Hiervoor zijn de volgende waarden voor de doorlatendheid aangehouden (zie ook par. 3.2):

* klei, ononderbroken: 0,005 m/dag;
* klei, verbreiding onbekend: 0,01 m/dag; en
* overige typen lagen: 0,05 m/dag.

Verticale weerstand (dag)	Aantal winningen aantal	%	Totaal onttrokken hoeveelheid (mln m^3/jaar) hoeveelheid	%	Gemiddelde grootte (mln m^3/jaar)
0	53	23	146	21	2,8
0 - 365	49	21	159	23	3,2
365 - 1825	41	18	165	24	4,0
1825 - 3650	15	7	41	6	2,7
3650 - 7300	17	8	72	10	4,2
7300 - 18250	10	4	36	5	3,6
> 18250	10	4	19	3	1,9
grondwater duinen	19	8	28	4	1,5
grondwater kalksteen	12	5	27	4	2,2
onbekend	3	1	2	0	1,4
totaal	229	100	695	100	3,0

Tabel 5. Frequentieverdeling van grondwaterwinningen naar verticale weerstand van het afdekkende pakket.

In de tabel vallen de winningen van freatisch water in de categorie winningen met een verticale weerstand gelijk 0, evenals de winningen waarbij zowel freatisch water als semi-spanningswater gewonnen wordt. De categorie winningen met een verticale weerstand tot 365 dagen vormt de groep winningen van semi-spanningswater die bij de indeling naar

type winning ook als winningen vazn freatisch water zijn aangemerkt. Naast deze twee categoriën resteren nog een kleine 100 winningen van semi-spanningswater. Hiervan betreft globaal de helft onttrekkingen onder een pakket met een verticale weerstand van ca. 500 tot 2000 dagen, de andere helft onttrekkingen onder een pakket met een verticale weerstand van meer dan 2000 dagen.

2.2. Samenhang tussen kenmerken van grondwaterwinningen

2.2.1. Samenhang tussen grootte en overige kenmerken

In de figuren 1 t/m 3 is een beeld gegeven van de samenhang tussen de kenmerken van grondwaterwinningen. Hiertoe zijn de winningen steeds volgens een combinatie van twee kenmerken ingedeeld, en het resultaat van die indeling, het aantal winningen per categorie, is grafisch weergegeven in de figuren. Voor deze vorm van presentatie is gekozen om met name de spreiding in de verdeling zichtbaar te maken. Een alternatieve vorm van weergave zoals een regressielijn met bijbehorende correlatiecoëfficient brengt dit beeld minder effectief over. De figuren hebben steeds betrekking op alle grondwaterwinningen exclusief die in de duinen, die uit kalksteenpakketten, en die waarvan het type niet bekend is. Deze aldus beschouwde groep bestaat in totaal uit 195 grondwaterwinningen.

In de figuren 1.1 t/m 1.4 is de grootte van de onttrekking steeds één der beschouwde kenmerken. De samenhang met de andere kenmerken wordt in het navolgende kort besproken. In de in de voorgaande paragrafen opgenomen tabellen werd reeds de gemiddelde grootte per kenmerk-klasse gegeven.

Grootte en type van de winning
Figuur 1.1 geeft de samenhang weer tussen de grootte van de onttrekking en het type van de winning. Hoewel de gemiddelde grootte van de onttrekking enigzins afhangt van het type van de winning (zie tabel 2), komen zowel winningen van freatisch water als winningen van semi-spanningswater in belangrijke mate voor in alle grootte-klassen tot ca. 10 miljoen m^3/jaar. De variatie is groot, en van enige samenhang is geen sprake.

Grootte en dikte van het watervoerend pakket
Figuur 1.2 geeft de samenhang weer tussen de grootte van de onttrekking en de totale dikte van het geëxploiteerde watervoerende pakket. Op grond van hydrologische wetmatigheden hangen beide kenmerken samen, in de zin dat onttrekkingen van grote omvang een grote pakketdikte behoeven. Er zij op gewezen dat de groep winningen waarbij grondwater aan meer dan één pakket onttrokken wordt, en waarvoor de dikten van de betrokken lagen gesommeerd zijn, veeleer tot de kleine dan de grote winningen behoren. Als gevolg hiervan draagt deze groep niet bij aan de gevonden samenhang. Uit de figuur blijkt duidelijk dat het omgekeerde niet geldt: onttrekkingen van geringe omvang vinden plaats uit pakketten met een zeer geringe tot een zeer grote verticale verbreiding.

		GROOTTE VAN DE ONTTREKKING (MILJOEN m³/JAAR)										
		0-1	1-2	2-3	3-4	4-5	5-7,5	7,5-10	10-15	15-20	>20	TOTAAL AANTAL
TYPE WINNING	1	27	●	●	●	●	●	•			•	89
	2	•	•	•	•			•	•			14
	3	●	●	●	●	•	•	•	•			59
	4	•	•	•	•	•	•	•	•			19
	5	•	•	•	•	•	•			•		14
	6	●	●	•	•		•					19
	7	•	•	•	•		•					12
	8	•										3
	TOTAAL AANTAL	58 (46)	46 (34)	36 (31)	33 (31)	15	22 (19)	12	5	1	1	229 (195)

Fig. 1.1

		GROOTTE VAN DE ONTTREKKING (miljoen m³/jaar)										
		0-1	1-2	2-3	3-4	4-5	5-7,5	7,5-10	10-15	15-20	> 20	TOTAAL AANTAL
TOTALE VERTICALE WEERSTAND AFDEKKENDE LAGEN (d)	0	●	●	●	●	•	•	•	•			53
	0 - 365	●	●	●	●	•	•	•			•	49
	365 - 1825	●	•	●	●	•	•	•	•	•		41
	1825 - 3650	•	•	•	•		•					15
	3650 - 7300	•	•		•	•	•		•			17
	7300 - 18250	•	•	•	•	•		•				10
	> 18250	•	•	•	•		•					10
	TOTAAL AANTAL	46	34	31	31	15	19	12	5	1	1	195

Fig. 1.2

		GROOTTE VAN DE ONTTREKKING (miljoen m³/jaar)										
		0-1	1-2	2-3	3-4	4-5	5-7,5	7,5-10	10-15	15-20	> 20	TOTAAL AANTAL
TOTALE DIKTE GEËXPLOITEERDE WATERVOERENDE LAGEN (m)	0 - 10	•	•									3
	10 - 20	•	•	•	•							7
	20 - 30	●	•	•	•		•	•				17
	30 - 50	●	●	●	•	•	•	•				40
	50 - 75	●	•	•	•	•	•	•	•			30
	75 - 100	•	•	•	●	•	•	•				27
	100 - 150	•	●	●	•	•	●	•	•		•	45
	> 150	•	•	•	•	•	•	•	•	•		26
	TOTAAL AANTAL	46	34	31	31	15	19	12	5	1	1	195

Fig. 1.3

		GROOTTE VAN DE ONTTREKKING (miljoen m³/jaar)										
		0-1	1-2	2-3	3-4	4-5	5-7,5	7,5-10	10-15	15-20	>20	TOTAAL AANTAL
DIEPTE VAN DE ONTTREKKING (m)	0 - 10	•	•	•	•							9
	10 - 20	●	•	●	●		•	•	•			31
	20 - 30	●	●	●	●	•	•	•				37
	30 - 50	●	●	•	●	●	●	•		•		48
	50 - 75	●	●	•	●	•	•	•	•		•	38
	75 - 100	•	•	•	•	•	•	•				15
	100 - 150		•	•	•	•	•	•	•			13
	> 150		•				•	•				4
	TOTAAL AANTAL	46	34	31	31	15	19	12	5	1	1	195

Fig. 1.4

LEGENDA:

ONTTREKKINGEN:

- • 1 - 2
- • 3 - 5
- ● 6 - 10
- ● 11 - 15
- ● 16 - 20
- > 20 AANGEGEVEN AANTAL

Type winning:

1. winningen van freatisch water
2. winningen van freatisch water én semi-spanningswater
3. winningen van semi-spanningswater onder één slecht-doorlatende laag en uit één watervoerend pakket
4. winningen van semi-spanningswater onder twee of meer slecht-doorlatende lagen en uit één watervoerend pakket
5. winningen van semi-spanningswater uit meer dan één watervoerend pakket
6. winningen van grondwater in de duinen
7. winningen van grondwater uit kalksteenpakketten
8. winningen waarvoor het type niet bepaald kan worden

Figuur 1. Samenhang tussen de grootte van de onttrekking en het type winning (1.1), de totale verticale weerstand van het dekpakket (1.2), de dikte van het geëxploiteerde watervoerende pakket (1.3), en de diepte van de onttrekking (1.4).

Grootte en diepte van de onttrekking
Figuur 1.3 geeft de samenhang weer tussen de grootte van de ontrekking en de diepte van de onttrekking (boveneinde putfilter). Uit de figuur blijkt dat de winningen van kleine omvang zowel ondiep als diep gelegen zijn, terwijl de grotere winningen vooral dieper gelegen pakketten betreffen. Vermoedelijk om redenen van kwetsbaarheid vinden er geen grote onttrekkingen op geringe diepte plaats. Waar de dikte van de ondiep gelegen watervoerende lagen een grote onttrekking toelaat wordt deze blijkbaar toch op grotere diepte gerealiseerd.

Grootte en verticale weerstand van het dekpakket
Figuur 1.4 geeft de samenhang weer tussen de grootte van de onttrekking en de verticale weerstand van het dekpakket. Ook voor deze combinatie van kenmerken kan niet van enige samenhang gesproken worden.

2.2.2. Samenhang tussen type van de winning en andere kenmerken

In de figuren 2.1 t/m 2.3 is het type van de winning gecombineerd met de overige beschouwde kenmerken, exclusief de grootte.

Type en verticale weerstand van het dekpakket
Figuur 2.1 geeft de samenhang weer tussen het type van de winning en de verticale weerstand van het dekpakket. Als gevolg van de gehanteerde definities voor de indeling van de winningen naar type hangen beide kenmerken direkt samen. Eén uitzondering betreft een winning van semi-spanningswater waarvoor de boven het geëxploiteerde watervoerende pakket gelegen lagen elk afzonderlijk niet aan het criterium "verticale weerstand groter dan 365 dagen" voldeden, maar waarvan de totale verticale weerstand deze grenswaarde wel te boven ging.

Type en diepte van de onttrekking
Figuur 2.2 geeft de samenhang weer tussen het type van de winning en de diepte van de onttrekking (boveneinde putfilter). Daar het verkrijgen van een zekere verticale weerstand van het dekpakket tevens een zekere dikte van het laagpakket behoeft, is de verdeling van de winningen voor deze combinatie van kenmerken niet geheel gelijkmatig (zie ook figuren 3.1 en 4). Daar echter een pakket gelegen tussen het maaiveld en het boveneinde van het putfilter geheel of gedeltelijk kan bestaan uit (watervoerende) lagen zonder noemenswaardige verticale weerstand, is deze samenhang slechts gering. Dit blijkt ondermeer uit de grote spreiding in diepten van freatische winningen.

Type en dikte van het watervoerende pakket
Figuur 2.3 geeft de samenhang weer tussen het type van de winning en de dikte van het geëxploiteerde pakket. Van enige samenhang is geen sprake, met dien verstande dat de winningen waarbij grondwater aan meer dan één watervoerende laag onttrokken wordt ook een in totaal dik watervoerend pakket exploiteren. Daar deze winningen niet bijzonder groot zijn, is vermoedelijk een beperkte capaciteit van het bovenste watervoerende pakket, én de noodzaak in de loop der jaren meer produktie te realiseren, de reden van deze samenhang.

TOTALE VERTICALE WEERSTAND AFDEKKENDE LAGEN (d)	TYPE WINNING 1	2	3	4	5	TOTAAL AANTAL
0	47	●				53
0- 365	41	●				49
365- 1825	•		30	•	●	41
1825-3650			●	•	•	15
3650- 7300			●	●		17
7300-18250			●	•	•	10
> 18250			•	•	•	10
TOTAAL AANTAL	89	14	59	19	14	195

Fig. 2.1

DIEPTE VAN DE ONTREKKING (m)	TYPE WINNING 1	2	3	4	5	TOTAAL AANTAL
0-10	●		•			9
10-20	⬤	•	●		•	31
20-30	26	•	●	•		37
30-50	27	●	●	•	●	48
50-75	⬤	•	⬤	•	•	38
75-100	•		●	•		15
100-150			•	●	•	13
> 150			•		•	4
TOTAAL AANTAL	89	14	59	19	14	195

Fig. 2.2

TOTALE DIKTE GEËXPLOITEERDE WATERVOERENDE LAGEN (m)	TYPE WINNING 1	2	3	4	5	TOTAAL AANTAL
0-10	•		•			3
10-20	•		•			7
20-30	●	•	•	•		17
30-50	25		⬤	•	•	40
50-75	⬤	•	⬤	•	•	30
75-100	⬤	⬤	●	•	•	27
100-150	⬤	●	⬤	●	●	45
>150	⬤		●	•	•	26
TOTAAL AANTAL	89	14	59	19	14	195

Fig. 2.3

LEGENDA:

ONTTREKKINGEN:

- • 1 - 2
- • 3 - 5
- ● 6 - 10
- ⬤ 11 - 15
- ⬤ 16 - 20
- > 20 AANGEGEVEN AANTAL

Type winning:

1. winningen van freatisch water
2. winningen van freatisch water én semi-spanningswater
3. winningen van semi-spanningswater onder één slecht-doorlatende laag en uit één watervoerend pakket
4. winningen van semi-spanningswater onder twee of meer slecht-doorlatende lagen en uit één watervoerend pakket
5. winningen van semi-spanningswater uit meer dan één watervoerend pakket

Figuur 2. Samenhang tussen het type winning en de totale verticale weerstand van het dekpakket (2.1), de diepte van de onttrekking (2.2), en de dikte van het geëxploiteerde watervoerende pakket (2.3).

2.2.3. Samenhang tussen de overige kenmerken

In de figuren 3.1 t/m 3.3 is de samenhang tussen de nog niet besproken combinaties van kenmerken weergegeven. Deze combinaties betreffen: (i) de diepte van de onttrekking en de verticale weerstand van het dekpakket; (ii) de verticale weerstand en de dikte van het geëxploiteerde pakket; en (iii) de diepte van de onttrekking en de dikte van het geëxploiteerde pakket.

TOTALE VERTICALE WEERSTAND AFDEKKENDE LAGEN (d)	DIEPTE VAN DE ONTTREKKING (m) 0-10	10-20	20-30	30-50	50-75	75-100	100-150	>150			TOTAAL AANTAL
0	•	●	⬤	⬤	•	•					53
0-365	•	●	●	⬤	●	•					49
365-1825	•	●	●	●	●	•	•	•			41
1825-3650		•	•	•	•	•	•				15
3650-7300					●	•	●	•			17
7300-18250				•	•	•	•	•			10
> 18250					•	•	•				10
TOTAAL AANTAL	9	31	37	48	38	15	13	4			195

Fig. 3.1

TOTALE VERTICALE WEERSTAND AFDEKKENDE LAGEN (d)	TOTALE DIKTE GEËXPLOITEERDE WATERVOERENDE LAGEN (m) 0-10	10-20	20-30	30-50	50-75	75-100	100-150	>150			TOTAAL AANTAL
0			●	●	●	•	⬤	●			53
0-365	•	•	•	⬤	•	⬤	●	•			49
365-1825		•	•	●	●	•	●	●			41
1825-3650		•		•	•	•	•	•			15
3650-7300			•	•	•	•	•	•			17
7300-18250				•	•	•	•	•			10
> 18250	•			•		•	●				10
TOTAAL AANTAL	3	7	17	40	30	27	45	26			195

Fig. 3.2

TOTALE DIKTE GEËXPLOITEERDE WATERVOERENDE LAGEN (m)	DIEPTE VAN DE ONTTREKKING (m) 0-10	10-20	20-30	30-50	50-75	75-100	100-150	>150			TOTAAL AANTAL
0-10			•	•							3
10-20	•	•	•								7
20-30	•	●	•	•	•						17
30-50	•	●	⬤	●	•	•	•				40
50-75	•	•	•	●	⬤	•					30
75-100		•	•	●	●	•	•	•			27
100-150	•	•	•	⬤	●	•	●				45
>150	•	•	•	●	•	•	•	•			26
TOTAAL AANTAL	9	31	37	48	38	15	13	4			195

Fig. 3.3

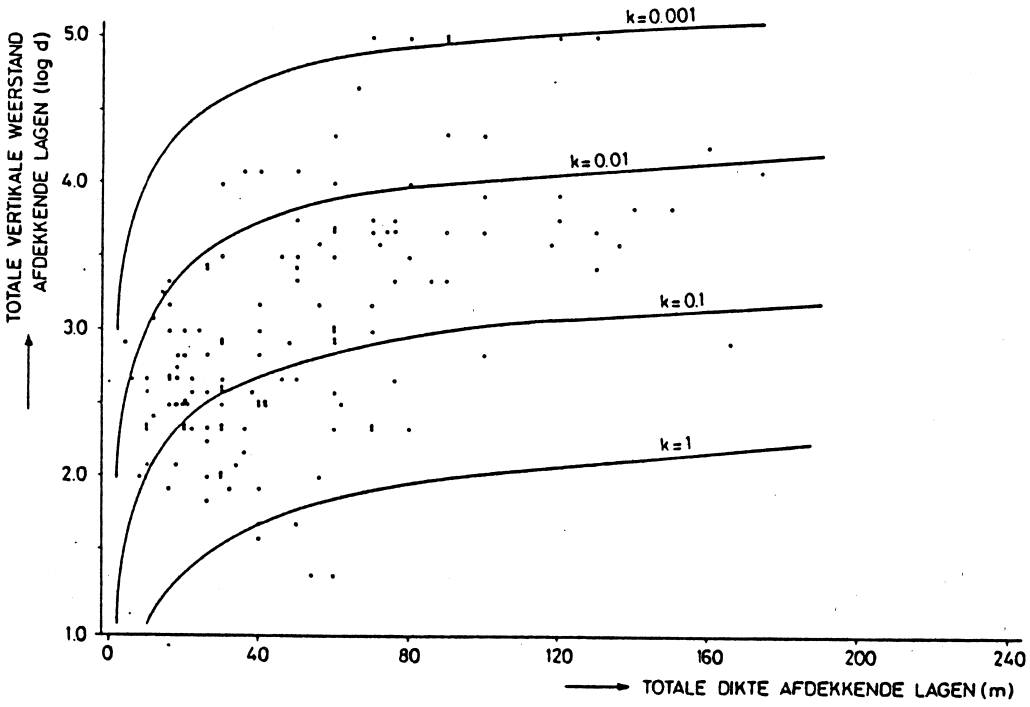
LEGENDA:

ONTTREKKINGEN:

- • 1 - 2
- • 3 - 5
- ● 6 - 10
- ● 11 - 15
- ⬤ 16 - 20
- > 20 AANGEGEVEN AANTAL

Figuur 3. Samenhang tussen de totale verticale weerstand van het dekpakket en de diepte van de onttrekking (3.1) resp. de dikte van het geëxploiteerde watervoerende pakket (3.2), en tussen de diepte van de onttrekking en de dikte van het geëxploiteerde watervoerende pakket (3.3).

Diepte van de onttrekking en verticale weerstand van het dekpakket
Figuur 3.1 geeft de samenhang weer tussen de diepte van de onttrekking (boveneinde putfilter) en de verticale weerstand van het dekpakket. Hoewel de spreiding aanmerkelijk is, naar klasse C-waarde voor enkele dikte-klassen, en naar dikte-klasse voor vrijwel elke klassen C-waarden, is er toch een duidelijke samenhang tussen beide kenmerken. Figuur 4 geeft deze samenhang, en de spreiding daarin, in grafiekvorm weer. Er zij op gewezen dat de lengtemaat waarop beide kenmerken betrokken zijn niet overeenstemmen: de weerstand betreft de dikte van de lagen tot het bovenste geëxploiteerde pakket, en de diepte bevat ook daarvan een gedeelte. In hoofdstuk 3 wordt nader ingegaan op de samensamenhang tussen laagdikte en verticale weerstand voor afzonderlijke bodemlagen.



Figuur 4. Samenhang tussen de diepte van de onttrekking en de verticale weerstand van het dekpakket.

Dikte van het geëxploiteerde pakket en verticale weerstand van het dekpakket

Figuur 3.2 geeft de samenhang weer tussen de dikte van het geëxploiteerde watervoerende pakket en de verticale weerstand van de daarboven gelegen lagen. Benevens een samenhang die voortkomt uit die tussen de diepte van de onttrekking en de dikte van het watervoerende pakket, waarop hieronder nader ingegaan zal worden, is er geen sprake van een samenhang tussen de hier beschouwde kenmerken.

Dikte van het geëxploiteerde pakket en diepte van de onttrekking

Figuur 3.3 tenslotte geeft de samenhang weer tussen het diepte van de onttrekking en de dikte van het geëxploiteerde watervoerende pakket. Uit de figuur blijkt dat relatief dunne geëxploiteerde pakketten op relatief grote diepte ontbreken. Vermoedelijk liggen hier financieel-economische overwegingen aan ten grondslag: waar geen watervoerende lagen met een groot (potentieel) leverend vermogen vermoed worden zal in het algemeen geen diepe winning gerealiseerd worden.

3. Kenmerken van bodemlagen

3.1. Kenmerken van watervoerende bodemlagen

In de tabellen 6 t/m 9 zijn de beschouwde kenmerken van watervoerende bodemlagen samengevat. Deze kenmerken zijn de aard en dikte van de lagen, het doorlaatvermogen of kD-waarde van de lagen, en de doorlatendheid van het materiaal. In totaal werden 438 watervoerende lagen beschouwd.

Aard van de lagen
In tabel 6 is de verdeling van de lagen naar aard van de laag gegeven. Van ca. 30% van de lagen is de aard niet gespecificeerd. Het merendeel van de overige lagen bestaat uit matig-grove tot grove zanden. De bodemlagen in de groep met de aanduiding "overig" betreffen voornamelijk slibhoudende zanden. De onttrokken hoeveelheid grondwater per categorie is mede gebaseerd op een slechts globale schatting van de onttrekking per afzonderlijke laag indien de totale onttrekking uit meer dan één watervoerende laag plaatsvindt. In voorkomende gevallen is de verhouding tussen de deelonttrekkingen gebaseerd op de verhoudingen van putfilterlengten enerzijds en doorlatendheden anderzijds.

Aard van de bodemlagen	Aantal lagen		Geschatte onttrokken hoeveelheid grondwater (miljoen m^3/jaar)	
	aantal	%	hoeveelheid	%
fijne zanden	23	5	5	1
matig-grove zanden	91	21	181	26
grove zanden	128	29	293	42
duinzanden	26	6	28	4
kalksteenpakketten	13	3	27	4
overig	16	4	17	2
onbekend	141	32	144	21
totaal	438	100	695	100

Tabel 6. Frequentieverdeling van watervoerende lagen naar aard.

Dikte van de lagen
In tabel 7 is de verdeling van de lagen naar laagdikte gegeven. Van ca. 10% van de lagen is de dikte niet bekend. De verdeling is gelijkmatig in de range's van laagdikten van resp. 10 tot 50 à 60, 50 à 60 tot 100, 100 tot 150 en 150 tot 200 meter. Betrokken op de hoeveelheid per categorie lagen onttrokken grondwater dragen vooral de lagen met dikten van meer dan 80 à 100 meter relatief veel bij aan het totaal.

Dikte van de bodemlagen (m)	Aantal lagen		Geschatte onttrokken hoeveelheid grondwater (miljoen m^3/jaar)	
	aantal	%	hoeveelheid	%
0 - 10	13	3	4	1
10 - 20	51	12	25	4
20 - 30	54	12	48	7
30 - 40	52	12	71	10
40 - 50	56	13	70	10
50 - 60	35	8	65	9
60 - 70	17	4	38	5
70 - 80	19	4	38	5
80 - 90	18	4	61	9
90 - 100	13	3	31	4
100 - 125	26	6	76	11
125 - 150	17	4	63	9
150 - 200	16	4	66	10
> 200	11	3	36	5
onbekend	41	9	2	-
totaal	438	100	695	100

Tabel 7. Frequentieverdeling van watervoerende lagen naar laagdikte.

Doorlaatvermogen
In tabel 8 zijn de lagen geordend naar doorlaatvermogen. Voor ca. 35% van de lagen is het doorlaatvermogen niet bekend. Aan deze lagen wordt ca. 10% van de hoeveelheid grondwater onttrokken. Van deze lagen met onbekende kD-waarde betreft ca. 20% van het aantal en ca. 50% van de onttrokken hoeveelheid grondwater winningen in de duinen of uit kalksteenpakketten. De mediaan, betrokken op het aantal lagen, bedraagt globaal 1500 m^2/dag, en betrokken op de onttrokken hoeveelheid zo'n 2500 m^2/dag.

Doorlaatvermogen van de lagen (m^2/dag)	Aantal lagen		Geschatte onttrokken hoeveelheid grondwater (miljoen m^3/jaar)	
	aantal	%	hoeveelheid	%
< 500	35	8	17	2
500 - 1000	47	11	54	8
1000 - 2000	83	19	183	26
2000 - 3000	58	13	145	21
3000 - 4000	30	7	82	12
4000 - 5000	13	3	34	5
> 5000	23	5	106	15
onbekend	148	34	73	10
totaal	438	100	695	100

Tabel 8. Frequentieverdeling van watervoerende lagen naar doorlaatvermogen

Doorlatendheid

In de tabellen 9a en -b tenslotte zijn de lagen geordend naar doorlatendheid. Tabel 9a geeft het aantal lagen als functie van aard én doorlatendheid. Uit de tabel blijkt dat de aanduiding van de aard van de laag, zoals gegeven in de enquete, te globaal is om een verband met de doorlatendheid aan te ontlenen (ook indien de indeling tussen 10 en 100 m^2/dag verfijnd zou worden).

Aard van de bodemlaag	Doorlatendheid (m/dag)				
	< 1	1 - 10	10 - 100	>100	onbekend
fijne zanden		3	7		13
matig-grove zanden		8	65	2	16
grove zanden		3	95	7	23
overig		3	8		6
duinzanden		4	5		17
kalksteenpakketten		1	3		9
onbekend	1	8	67		65
totaal aantal	1	30	250	9	149
(%)	(-)	(7)	(57)	(2)	(34)
totaal onttrokken hoeveelheid	-	40	554	28	73
(%)	(-)	(6)	(80)	(4)	(10)

Tabel 9a. Frequentieverdeling van watervoerende lagen naar doorlatendheid en aard

De verdeling van de watervoerende lagen naar doorlatendheid is in tabel 9b voor een verfijnde klasse-indeling weergegeven. De verschillen in het totaal van de beide tabellen zijn een gevolg van afronding. Uit tabel 9b blijkt dat de watervoerende lagen vrij gelijkmatig verdeeld zijn over de klassen met doorlatendheden van 10 tot 50 m/dag. Boven deze waarde neemt het aantal lagen geleidelijk af.

Doorlatendheid van de lagen (m/dag)	Aantal lagen		Geschatte onttrokken hoeveelheid grondwater (miljoen m^3/jaar)	
	aantal	%	hoeveelheid	%
10 - 20	50	11	117	17
20 - 30	47	11	100	15
30 - 40	42	10	97	14
40 - 50	42	10	81	12
50 - 60	29	7	50	7
60 - 70	21	5	66	9
70 - 80	14	3	33	5
80 - 90	3	1	1	-
90 - 100	2	1	7	-
totaal	250	59	552	79

Tabel 9b. Frequentieverdeling van watervoerende lagen naar doorlatendheid tussen 10 en 100 m/dag

3.2. Kenmerken van weerstandbiedende bodemlagen

In de tabellen 10 t/m 12 is de informatie samengevat waarover met betrekking tot weerstandbiedende lagen beschikt werd. De besproken kenmerken zijn de aard van de lagen, de dikte, de verticale weerstand en de doorlatendheid. In de tabellen is steeds de verdeling van het aantal lagen, onderscheiden naar aard, gegeven per kenmerk-klasse. De gepresenteerde informatie heeft betrekking op 267 weerstandbiedende lagen.

Aard van de lagen

De meest frequent aangetroffen weerstandbiedende lagen bestaan uit kleien: marien, fluviatiel en, voor zover niet aangeduid als (kei)leem, potklei en dergelijke, glaciaal. Deze lagen representeren ca. 45% van het totale aantal. De tweede groep lagen, ca. 20% van het totale aantal, bestaat uit laminaties van zand en klei: zandige kleien tot slibhoudende zanden, vooral rivierafzettingen. Minder algemeen, maar regionaal belangrijk, zijn leemhoudende zanden (12%), laminaties van klei én veen (10%) en keileem (8%). Incidenteel tenslotte worden weerstandbiedende lagen genoemd bestaande uit fijnzand (3%), veen en potklei (beide 1%).

Door de geënqueteerde waterleidingbedrijven is voor 70% van de lagen een indicatie gegeven van de laterale verbreiding onder de 25-jaarszone rond de winning (deze zone is overigens niet nader gespecificeerd). Ca. 45% van de lagen wordt in deze zone ononderbroken geacht, en 25% van de lagen onderbroken. De verhouding tussen het aantal ononderbroken en onderbroken lagen varieert met de aard van de lagen en de dikte van de laag.

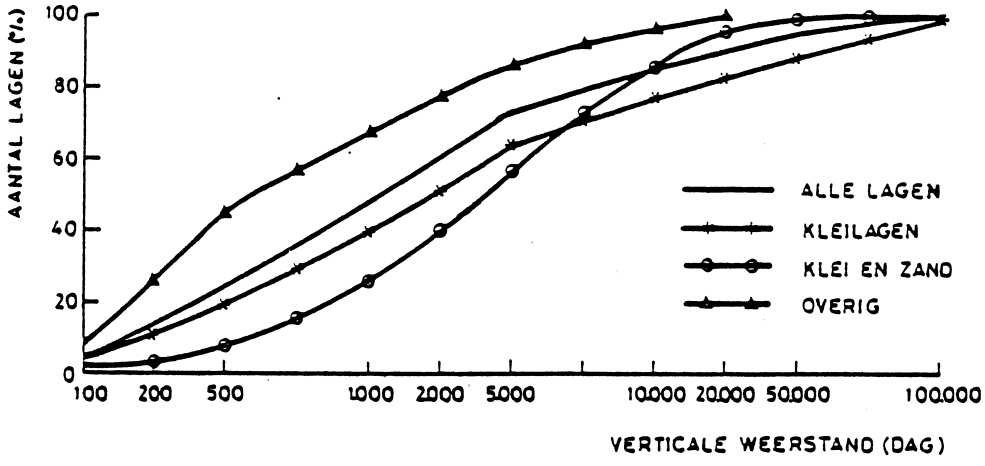
Dikte van de lagen
De verdeling van het aantal lagen naar laagdikte is gegeven in tabel 10. Ca. 60% van de lagen is minder dan 20 m dik. Hieronder begrepen zijn vrijwel alle onderbroken kleilagen en een belangrijk deel van de overige lagen voor zover niet bestaande uit laminaties van klei en zand. De dikte van deze laatste groep beloopt in 70% van de gevallen meer dan 20 m.

Dikte (m)	Aard van de laag										totaal	
	klei				klei en zand				overig	onbekend		
	g	o	n	totaal	g	o	n	totaal	totaal	totaal	aantal	%
10	17	20	6	43	2	2	4	8	31		82	31
10 - 20	18	7	13	38	3	2	3	8	35	2	83	31
20 - 30	8	1	7	16	8	2	3	13	15	1	45	17
30 - 40	3	2	2	7	1		2	3	8		18	7
40 - 50	3		1	4	3		2	5	4		13	5
50 - 70	4	1		5	7	1	2	10	3		18	7
70 - 100	2			2	3		1	4	2		8	3
totaal	55	31	10	115	27	7	17	51	98	3	267	
%				43				19	37	1		100

g: ononderbroken
o: onderbroken
n: verbreiding niet bekend

Tabel 10. Verdeling van weerstandbiedende lagen als functie van de aard en de dikte

Vertikale weerstand van de lagen
Voor ca. 20% van de weerstandbiedende lagen is de verticale weerstand niet bekend. Dit zijn veelal "secundaire" weerstandbiedende lagen op een lokatie waarvan alleen de aard, de ligging en de dikte gerapporteerd zijn. De verdeling van de lagen als functie van de aard en de verticale weerstand is gegeven in tabel 11. In figuur 5 is de cumulatieve frequentieverdeling voor enkele typen lagen grafisch weergegeven.



Figuur 5. Cumulatieve frequentieverdeling van het aantal weerstandbiedende lagen naar verticale weerstand.

Voor een kleine 40% van de lagen bedraagt de verticale weerstand minder dan 1000 dagen, voor 30% 1000 tot 10.000, en voor 10% meer dan 10.000 dagen. Tot de groep lagen met een relatief geringe verticale weerstand, tot 1000 dagen, behoren vrijwel alle onderbroken kleilagen alsmede een belangrijk deel van de onderbroken lagen bestaande uit klei en zand en van de lagen van overige samenstelling. Tot de middengroep, 1000 - 10.000 dagen, behoort een belangrijk deel van de kleilagen waarvan de verbreiding onbekend is en de ononderbroken lagen bestaande uit klei en zand. De lagen met een grote verticale weerstand tenslotte betreffen vooral ononderbroken kleilagen.

Verticale weerstand (dag)	Aard van de laag										totaal	
	klei				klei en zand				overig	onbekend		
	g	o	n	totaal	g	o	n	totaal	totaal	totaal	aantal	%
< 200	1	7		8		1		1	17		26	10
200 - 500	7	7		14	1	2	1	4	19		37	14
500 - 1000	5	5	3	13	3	1	3	7	15		35	13
1000 - 2000	2	1	5	8	3	2	1	6	8		22	8
2000 - 3000	5	1	3	9	3			3	4		16	6
3000 - 5000	9		2	11	3	1	2	6	6		23	8
5000 - 10.000	2		3	5	10		1	11	2	2	20	7
10.000 - 50.000	7	1	2	10	3		2	5	5		20	7
> 50.000	9		1	10	1			1			11	4
onbekend	8	9	10	27			7	7	22	1	57	22
totaal	55	31	29	115	27	7	17	51	98	3	267	
%				43				19	37	1		100

g: ononderbroken
o: onderbroken
n: verbreiding niet bekend

Tabel 11. Verdeling van weerstandbiedende lagen als functie van de aard en de verticale weerstand.

Doorlatendheid van de lagen
Uit de verticale weerstand en de dikte van de laag kan de doorlatendheid van het materiaal c.q. de laag bepaald worden. Hoewel de doorlatendheid een eigenschap van het materiaal is, vormt dit kenmerk in dit verband een grootheid die zowel eigenschappen van het materiaal (micro-structuur: stapeling van deeltjes, grootte, vorm en dichtheid van poriën etc.) als van de laag (macro-structuur: inhomogeniteiten, discontinuïteiten, beperkte verbreiding etc.) reflecteert. De aldus verkregen k-waarde loopt uiteen van minder dan 10^{-4} tot meer dan 10^{-1} m/dag. De verdeling van de lagen naar aard en doorlatendheid is in tabel 12 weergegeven.

De verdeling naar aard en grootte van de doorlatenheid volgt globaal die van aard en verticale weerstand, met dien verstande dat een grote verticale weerstand overeenstemt met een kleine doorlatendheid. De lagen met een doorlatendheid van minder dan 10^{-3} m/dag bestaan vrijwel allemaal uit ononderbroken klei. Doorlatendheden van 10^{-3} en tot 10^{-2} m/dag worden frequent gevonden voor ononderbroken kleilagen, voor kleilagen waarvan de verbreiding niet bekend is, alsmede voor de lagen bestaande uit klei en zand. Een doorlatendheid van meer dan 10^{-2} m/dag tenslotte wordt gevonden voor een deel van de ononderbroken kleilagen, voor vrijwel alle onderbroken kleilagen, voor een deel van de lagen bestaande uit zand en klei, alsmede voor de lagen van overige samenstelling. De spreiding in k-waarden voor groepen lagen van gelijke aard is veelal groot.

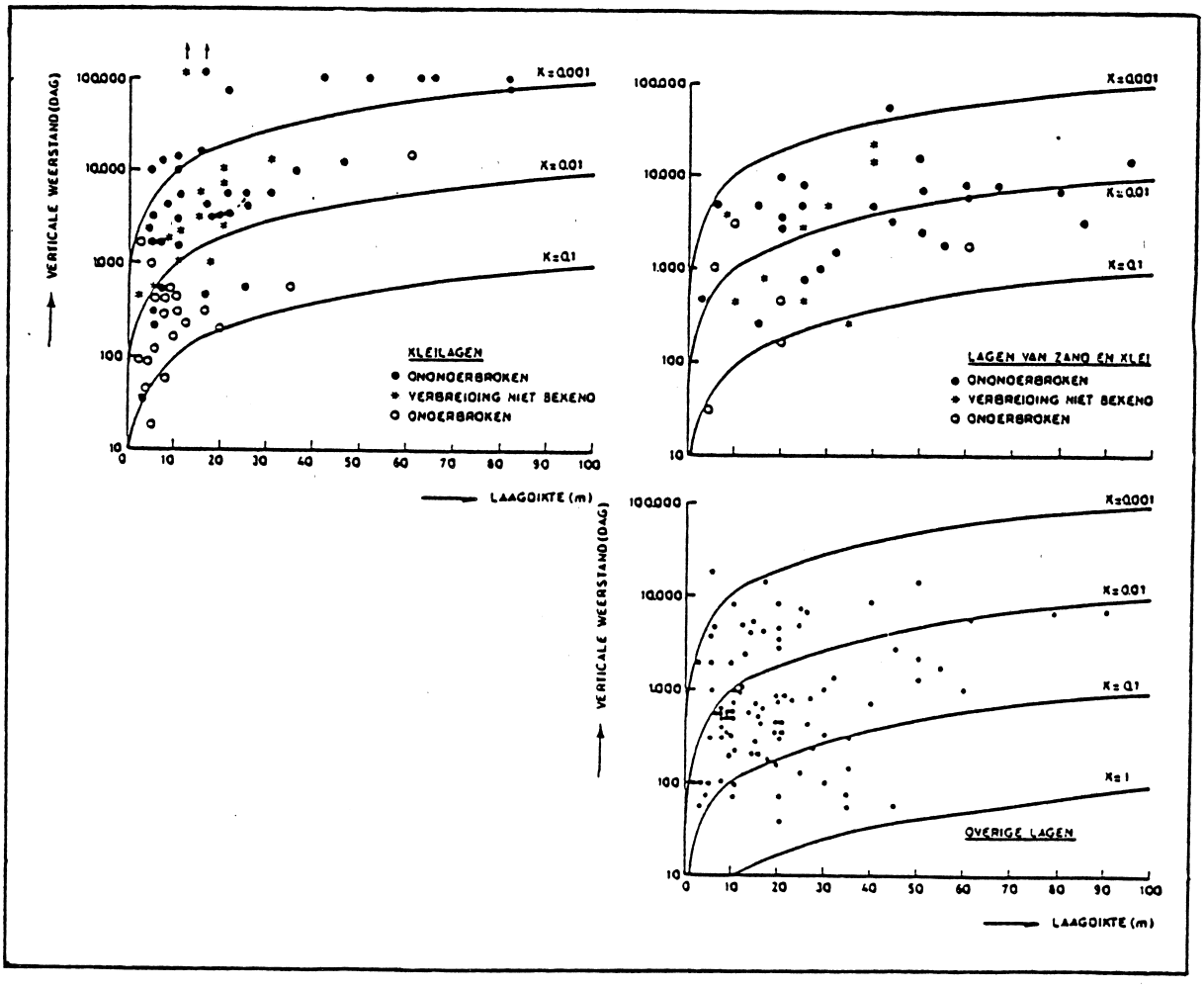
Doorlatendheid (m/dag)	Aard van de laag										totaal	
	klei				klei en zand				overig	onbekend		
	g	o	n	totaal	g	o	n	totaal	totaal	totaal	aantal	%
$< 10^{-4}$	1		1	2							2	1
$10^{-4} - 10^{-3}$	11			11	1			1	1		13	5
$10^{-3} - 10^{-2}$	25	3	15	43	16	2	6	24	14	2	83	31
$10^{-2} - 10^{-1}$	10	16	3	29	10	3	3	16	48		93	34
$10^{-1} - 1$		3		3		2	1	3	13		19	7
onbekend	8	9	10	27			7	7	22	1	57	22
totaal	55	31	29	115	27	7	17	51	98	3	267	
%				43				19	37	1		100

g: ononderbroken
o: onderbroken
n: verbreiding niet bekend

Tabel 12. Verdeling van weerstandbiedende lagen als functie van de aard en de doorlatendheid

Samenhang tussen kenmerken

In figuur 6 tenslotte is een beeld gegeven van de samenhang tussen de kenmerken van weerstandbiedende lagen: aard, dikte, verticale weerstand en doorlatenheid. Hoewel uit figuur 6 blijkt dat er zich wat de verdeling van de lagen betreft verschillen voordoen die samenhangen met de aard van de lagen, zoals de verschillen in samenhang tussen k-waarde c.q. c-waarde en laagdikte voor kleilagen resp. laminaties van klei en zand, illustreert deze figuur bovenal de grote mate van spreiding die zich in de kenmerken voordoet. Hieruit blijkt eens te meer dat schattingen van een (onbekende) grootheid, gebaseerd op algemene verbanden met andere (bekende) grootheden, een grote afwijking kunnen introduceren tussen de vermeende en de feitelijke situatie op een lokatie. Deze conclusie onderstreept de noodzaak om ofwel op basis van ter plaatse vastgestelde kenmerken van bodemlagen, ofwel niet dan met de grootste voorzichtigheid, te werk te gaan wanneer het gaat om het vaststellen van beschermingsgebieden van grondwaterwinningen.



Figuur 6. Samenhang tussen kenmerken van weerstandbiedende bodemlagen (k in m/dag).

Ruimtelijke verbreiding van en discontinuiteiten binnen slecht-doorlatende laagpakketten; Dr. E.F.J. de Mulder, Rijks Geologische Dienst, Haarlem

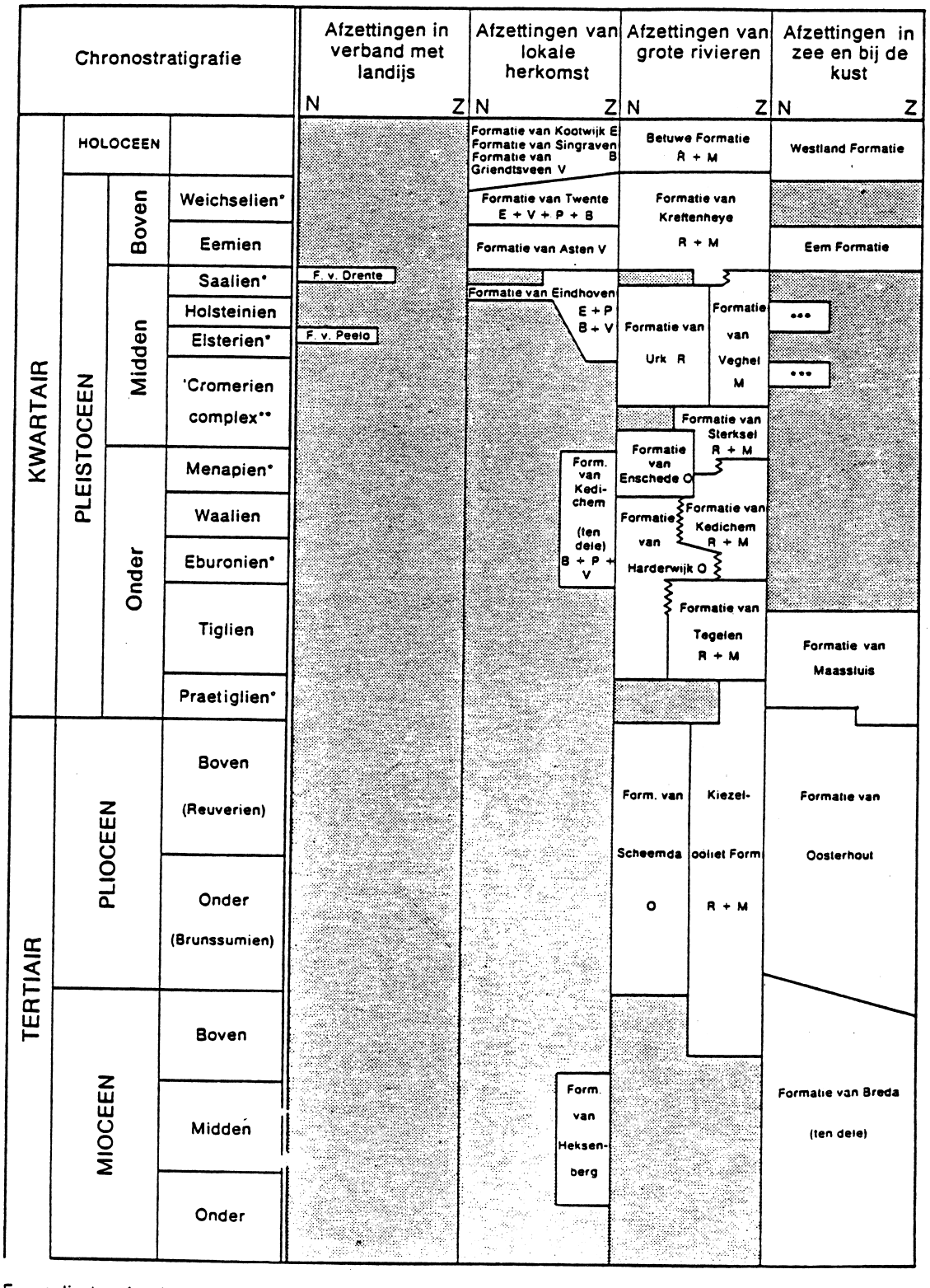
I Typologische indeling van slecht-doorlatende laagpakketten

De samenstelling van aardlagen is geheel bepaald door de afzettingsomstandigheden en de post-sedimentaire geschiedenis. Voor een typologische indeling van de laagpakketten boven de aquifer waarin de onttrekking plaats vindt, kan daarom het beste gebruik gemaakt worden van de lithostratigrafische indeling van de nederlandse aardlagen in formaties en laagpakketten. Deze indeling berust op overeenkomst in afzettingsomstandigheden, ouderdom en herkomst van het gesedimenteerde materiaal.

De laagpakketten in elk waterwingebied kunnen in principe stratigrafisch benoemd en in een typologische indeling ingepast worden, ongeacht diepte, dikte en locatie. De mate van betrouwbaarheid van de stratigrafische aanduiding van de laagpakketten is echter afhankelijk van de mate van bekendheid met de regionale geologische situatie bij de geoloog.

Binnen lithostratigrafische eenheden (waarvan de verbreiding over grotere gebieden karteerbaar moet zijn) kunnen aanzienlijke variaties in samenstelling (lithologie) optreden. Deze variaties zijn deels inherent aan de afzettingsomstandigheden zelf en deels het gevolg van de postsedimentaire geschiedenis (vervormingen door vorstwerking, breuken, ontstaan van "oerbanken" etc.).
Voorbeelden van de eerstgenoemde vorm van variabiliteit zijn laterale trends, zoals bijvoorbeeld de korrelgrootte-afname van het zand stroomafwaarts, en geulpatronen in een waddengebied; voorbeelden van laatstgenoemde vorm zijn discontinuïteiten zoals breuken, vorstspleten, oerbanken etc.

Een rangschikking van kwartaire en jong-tertiaire formaties naar genese en ouderdom is afgebeeld in figuur 1. Figuur 2 toont zeer globaal welke van de kwartaire en tertiaire laagpakketten als slecht-doorlatend beschouwd kunnen worden.

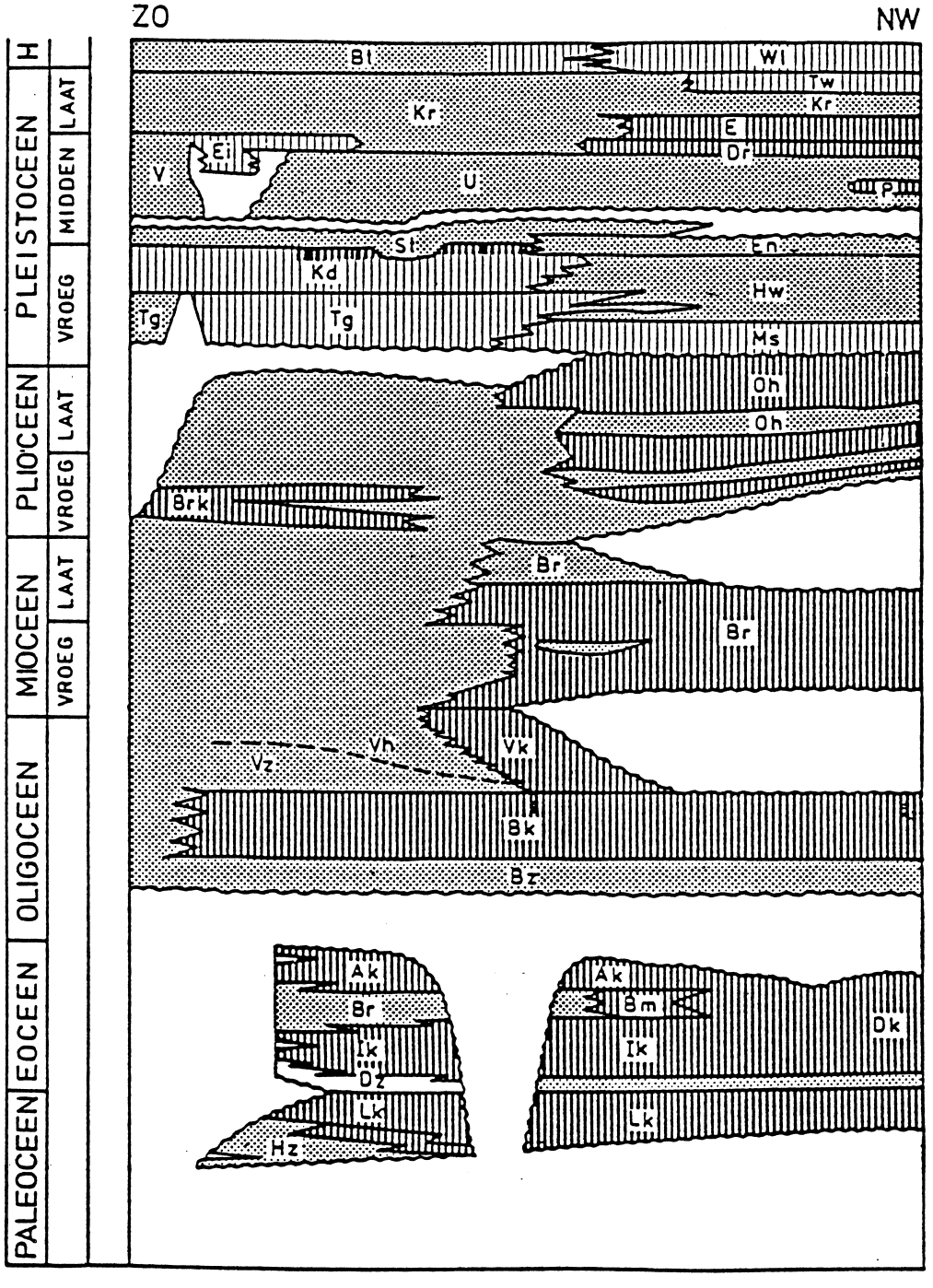


E = eolische afzettingen
P = periglaciale afzettingen
B = beekafzettingen
V = veen

R = Rijn
M = Maas
O = oostelijke noordduitse rivieren en voorlopers

*koude tijd
**complexe eenheid bestaande uit tenminste 4 warme en 3 koude tijden
***nog onbenoemd, voorlopig bij Formatie van Urk

Figuur 1. Kwartaire en jong-tertiaire formaties naar genese en ouderdom



Klei

zand en klei

vnl. zand

Hiaat

Wl Westland Formatie (marien, perimarien)
Bt Betuwe Formatie (fluviatiel: Rijn en Maas)
Tw Formatie van Twente (periglaciaal)
Kr Formatie van Kreftenheye (fluviatiel: Rijn en Maas)
E Eem Formatie (marien, perimarien)
Ei Formatie van Eindhoven (periglaciaal)
Dr Formatie van Drente (glaciaal, periglaciaal)
V Formatie van Veghel (fluviatiel: Maas)
U Formatie van Urk (fluviatiel: Rijn)
P Formatie van Peelo (glaciaal, periglaciaal)
St Formatie van Sterksel (fluviatiel: Rijn en Maas)
En Formatie van Enschede (fluviatiel: noordduitse rivieren)

Kd Formatie van Kedichem (fluviatiel: Rijn en Maas)
Hw Formatie van Harderwijk (fluviatiel: noordduitse rivieren)
Tg Formatie van Tegelen (fluviatiel: Rijn en Maas)
Ms Formatie van Maassluis (marien)
Oh Formatie van Oosterhout (marien)
Br Formatie van Breda (marien)
Brk Klei van Brunssum (fluviatiel: Rijn)
Vh Formatie van Veldhoven (marien)
Vz Zand van Voort (marien)
Vk Klei van Veldhoven (marien)
Bk Klei van Boom (marien)
Bz Zand van Berg (marien)
Ak Klei van Asse (marien)
Br Zand van Brussel (marien)
Bm Mergel van Brussel(marien)
Dk Klei van Dongen (marien)
Dz Zand van Dongen (marien)
Ik Klei van Ieper (marien)
Lk Klei van Landen (marien)
Hz Zand van Heers (marien)

Figuur 2. Tijd/plaats diagram van tertiaire en kwartaire lithostratigrafische eenheden.

In onderstaande tabel is van een tiental laagpakketten, die in het algemeen als slecht-doorlatend bekend staan en frequent in het afdekpakket boven producerende aquifers voorkomen, het afzettingsmilieu, de ouderdom, de lithologie en de globale verbreiding weergegeven.

Typologische eenheid	Afzettings-milieu	Ouderdom	Lithologie	Verbreiding
1. Westland Formatie: Oude Wadklei (Afz.v.Calais)	marien, getijde	Holoceen	klei, vaak gelaagd met zand en veen	Noord en West Nederland
2. Westland Formatie: Basisveen	moeras, perimarien	Holoceen	veen	Noord en West Nederland
3. Betuwe Formatie: komafzettingen	fluviatiel	Holoceen	klei en veen	Oostelijk rivierengebied, IJssel en Maasdal
4. Eem Formatie: Eemklei	marien, getijde	Pleistoceen (Eemien)	klei, soms gelaagd met zand of veen	Noord, Midden en Noordwest Nederland
5. Formatie van Drente: Bekkenklei	lacustro-glaciaal	Pleistoceen (Saalien)	klei, gelaagd met silt	Middenwest, Midden en Middenoost Nederland
6. Formatie van Peelo: Potklei	verm. lacustro-glaciaal	Pleistoceen (Elsterien)	(siltige) klei	Noord Nederland
7. Formatie van Kedichem: Kedichem klei	fluviatiel	Pleistoceen (Menapien-Eburonien)	(siltige) klei en veen	Middenwest, Midden en Zuid Nederland
8. Formatie van Tegelen: Tegelen klei	fluviatiel	Pleistoceen (Tiglien)	(siltige) klei en veen	Midden, Zuidwest en Zuid Nederland
9. Formatie van Maassluis: Maassluis klei	marien	Pleistoceen (Pre)tiglien)	(zandige) klei, vaak gelaagd met zand	Zuid Nederland; op grotere diepte in Noord, Midden en West Nederland
10 Formatie van Oosterhout: Oosterhout klei	marien	Plioceen	klei, soms gelaagd met zand	In Zuid Nederland en op grotere diepte in Noord, West en Midden Nederland

Tabel I: geologische kenmerken van een tiental geselecteerde, slechtdoorlatende laagpakketten.

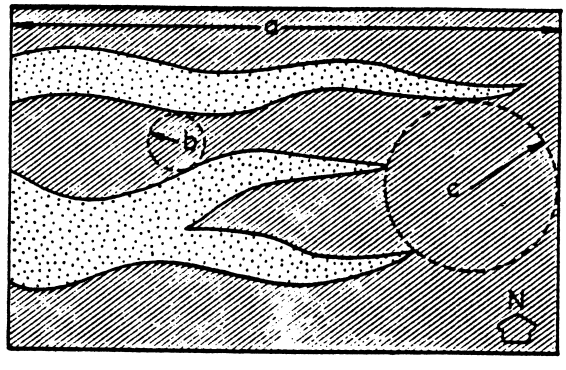
II Ruimtelijke verbreiding, homogeniteit van en discontinuïteiten binnen slecht-doorlatende laagpakketten; een kwantitatieve benadering.

Van de in Tabel I onderscheiden typologische eenheden kan - bij benadering - een meer kwantitatieve aanduiding van de laterale verbreiding, de variatie in homogeniteit en de kans op het voorkomen van breuken, in relatie tot bijvoorbeeld de dikte worden gegeven (zie tabellen II, III en IV). Hierbij dient nadrukkelijk te worden opgemerkt dat dit slechts een zeer globale en schematische benadering is en dat de geologische opbouw op locale en zelfs regionale schaal van de in onderstaande tabellen verstrekte kwantitatieve gegevens kan afwijken. Voor een meer betrouwbare benadering zouden de in de tabellen gegeven laageigenschappen onder meer naar regio uitgesplitst dienen te worden.

Typologische eenheid	Maximale dikte	Dikte categorie	Grootste lengtemaat aaneengesloten pakket		
			100-1000 m	1-10 km	>10 km
1. Westland Formatie:	circa 15 m	0 - 5 m			x
Oude Wadklei		meer dan 5 m		x	
(Afz. v. Calais)					
2. Westland Formatie:	circa 1 m	0 - 50 cm			x
Basisveen		meer dan 50 cm		x	
3. Betuwe Formatie:	circa 10 m	0 - 5 m			x
Komafzettingen		meer dan 5 m	x		
4. Eem Formatie:	circa 35 m	0 - 25 m		x	
Eemklei		meer dan 25 m	x		
5. Formatie van Drente:	circa 60 m	0 - 55 m		x	
Bekkenklei		meer dan 55 m	x		
6. Formatie van Peelo:	circa 100m	0 - 15 m		x	
Potklei		meer dan 15 m	x		
7. Formatie van Kedichem:	circa 35 m	0 - 10 m			x
Kedichem klei		meer dan 10 m		x	
8. Formatie van Tegelen:	circa 30 m	0 - 10 m			x
Tegelen klei		meer dan 10 m		x	
9. Formatie van Maassluis:		0 - 5 m		x	
Maassluis klei	circa 20 m	meer dan 5 m		x	
10. Formatie van Oosterhout:		0 - 10 m			x
Oosterhout klei	circa 250m	meer dan 10 m		x	

Tabel II: Kwantitatieve benadering van de maximale laterale verbreiding (zie figuur 3:a) van een 10-tal geselecteerde aaneengesloten slecht-doorlatende laagpakketten, gerangschikt naar diktecategorie.

In onderstaande tabel wordt de homogeniteit van een aantal slecht-doorlatende laagpakketten kwantitatief benaderd. Het begrip "homogeen" heeft in dit verband vooral betrekking op de mate van ondoorlatendheid, waarbij het optreden van zandpakketten binnen een kleipakket meer aandacht heeft gekregen dan het optreden van veenlagen. Als onderscheid met Tabel II geldt dat in Tabel III vooral de (helft van de) gemiddeld kleinste lengtemaat van langgerekte voorkomens voor de classificatie bepalend zijn (zie figuur 3:b). Omdat ook bij de homogeniteit van een laagpakket de plaats van groot belang is, zullen de in de tabel aangegeven waarden van regio tot regio sterk kunnen verschillen (zie figuur 3: b en c).



figuur 3. Hypothetisch kaartfragment

Typologische eenheid	Dikte categorie	wrs. homogeen + binnen gebied met straal r (gemiddeld) <100 m	<1000 m	<10 km	>10 km
1. Westland Formatie:	0 - 5 m		x		
Oude Wadklei	meer dan 5 m		x		
2. Westland Formatie:	0 - 50 cm		x		
Basisveen	meer dan 50 cm	x			
3. Betuwe Formatie:	0 - 5 m		x		
Komafzettingen	meer dan 5 m	x			
4. Eem Formatie:	0 - 25 m			x	
Eemklei	meer dan 25 m		x		
5. Formatie van Drente:	0 - 55 m			x	
Bekkenklei	meer dan 55 m		x		
6. Formatie van Peelo	0 - 15 m		x		
Potklei	meer dan 15 m	x			
7. Formatie van Kedichem:	0 - 10 m			x	
Kedichem klei	meer dan 10 m		x		
8. Formatie van Tegelen:	0 - 10 m			x	
Tegelen klei	meer dan 10 m		x		
9. Formatie van Maassluis:	0 - 5 m			x	
Maassluis klei	meer dan 5 m		x		
10. Formatie van Oosterhout:	0 - 10 m			x	
Oosterhout klei	meer dan 10 m		x		

Tabel III Kwantitatieve benadering van de mate van (geohydrologische) homogeniteit van een 10-tal geselecteerde, slecht-doorlatende laagpakketten, gerangschikt naar diktecategorie.

Tenslotte wordt in onderstaande tabel een benadering gegeven van de kans op het voorkomen van breuken, zodanig dat hierdoor geohydrologisch relevante verstoringen optreden. Aansluitend bij hetgeen eerder opgemerkt is, geldt zeker ten aanzien van breuken dat hun voorkomen geheel regionaal bepaald is. Breuken van enige importantie tot diepten van minder dan 100 m komen in Nederland alleen voor in het zuiden, midden en oosten van het land. De informatie in Tabel IV heeft daarom alleen betrekking op laatstgenoemde regio's. Andere, geohydrologisch significante inhomogeniteiten, zoals doorsnijdingen met zandig opgevulde geulen zijn verwerkt in Tabel III: variatie in samenstelling.

Typologische eenheid	Dikte categorie	kans op breuk op afstand: <0,5 km	1-3 km	5-10 km
1. Westland Formatie:	0 - 5 m	-	-	-
Oude Wadklei	meer dan 5 m	-	-	-
(Afz. v. Calais)				
2. Westland Formatie:	0 - 50 cm	-	-	-
Basisveen	meer dan 50 cm	-	-	-
3. Betuwe Formatie:	0 - 5 m	-	-	-
Komafzettingen	meer dan 5 m	-	-	-
4. Eem Formatie:	0 - 25 m	-	-	-
Eemklei	meer dan 25 m	-	-	-
5. Formatie van Drente:	0 - 55 m	-	-	-
Bekkenklei	meer dan 55 m	-	-	-
6. Formatie van Peelo:	0 - 15 m	-	-	-
Potklei	meer dan 15 m	-	-	-
7. Formatie van Kedichem:	0 - 10 m	<20%	<20%	20-40%
Kedichem klei	meer dan 10 m	<20%	<20%	<20%
8. Formatie van Tegelen:	0 - 10 m	<20%	<20%	20-40%
Tegelen klei	meer dan 10 m	<20%	<20%	20-40%
9. Formatie van Maassluis:	0 - 5 m	<20%	<20%	20-40%
Maassluis klei	meer dan 5 m	<20%	<20%	-
10. Formatie van Oosterhout:	0 - 10 m	<20%	<20%	20-40%
Oosterhout klei	meer dan 10 m	<20%	<20%	-

Tabel IV Kwantitatieve benadering van de kans op geohydrologisch relevante breuken in (voormalig) tektonisch aktieve gebieden, binnen een 10-tal geselecteerde slecht-doorlatende laagpakketten, gerangschikt naar diktecategorie.

E.F.J. de Mulder

Verblijftijden en intrekgebieden bij de winning van grondwater uit pakketten met semi-spanningswater.

Dr.ir. C. van den Akker, Rijksinstituut voor Volksgezondheid en Milieuhygiëne, Leidschendam

Inleiding

Voor de bepaling van beschermingszones rondom winplaatsen van grondwater dient volgens de richtlijnen en aanbevelingen van de Commissie Bescherming Waterwingebieden uit te worden gegaan van de verblijftijd van het grondwater in het watervoerende pakket (CBW) (1). De verblijftijd in afdekkende, minder goed doorlatende lagen wordt volgens de richtlijnen in de bepaling van de beschermingszones niet verdisconteerd vanwege de grote onzekerheid in de beschermende werking. Onder de in Nederland geldende hydrologische omstandigheden leidt dit laatste vaak tot het paradoxale resultaat dat de beschermingszones bij freatische winningen kleiner zijn dan bij winningen van (semi)-spanningswater. Alhoewel de C.B.W. zich dit indertijd heeft gerealiseerd is eerst nu met de instelling van de Voorlopige Technische Commissie Bodembescherming (VTCB) dit probleem weer aangevat als een punt van nadere studie.

De vraag bij het verdisconteren van de verblijftijd in slechtdoorlatende lagen in de totale verblijftijd is tweeledig. Ten eerste dient aangegeven te worden hoe de beoordeling moet plaatsvinden van de al of niet afsluitende werking van slechtdoorlatende lagen. Ten tweede dienen rekenmethodieken beschikbaar te zijn om de verblijftijd in de slechtdoorlatende lagen te kwantificeren. Het onderhavige artikel beoogt een bijdrage te leveren in het beschikbaar komen van rekenmethodieken.
Daarnaast is het de bedoeling dat in dit artikel een ander aspect wordt belicht dat wellicht in de praktijk bij de vaststelling van beschermingszones te weinig aandacht krijgt. Dit aspect is de locale geohydrologische situatie die voor de vaststelling van beschermingsgebieden gebaseerd op verblijftijden in de bodem van groot belang blijkt te zijn. Door middel van enkele voorbeeldbereke-

ningen zal dit laatste worden toegelicht. De gepresenteerde berekeningsmethodiek en de voorbeelden hebben betrekking op een relatief eenvoudig systeem van semi-spanningswater. Uitbreiding naar meer complexe systemen (meerdere watervoerende pakketten, gelaagdheid, puttenvelden e.d.) is binnen zekere grenzen mogelijk en voor een groot deel al gerealiseerd in computerprogrammatuur.

Uitgangspunten voor de berekeningen van verblijftijden.

Bij de vaststelling van beschermingszones wordt gebruik gemaakt van veelal summiere gegevens. Basis voor de vaststelling is een berekening van de verblijftijden van waterdeeltjes in het watervoerende pakket waaruit wordt onttrokken. Vaak wordt hierbij de hulp ingeroepen van het computerprogramma FLOP. (van den Akker) (1). In een door het KIWA uitgevoerde evaluatie (van Beek) (2) blijkt voor een steekproef van 34 winningen in 20 gevallen deze rekenmethodiek te zijn gebruikt. Het programmapakket is dan ook op zeer ruime schaal verspreid en tal van instanties zoals provinciale waterstaten, waterleidingbedrijven en ingenieursbureaus hebben de beschikking gekregen over FLOP. Het programma is gemakkelijk te gebruiken en laat zich relatief eenvoudig implementeren op diverse rekenapparaten.
Als instrument voor de berekening van stroombanen en verblijftijden voldoet het programma FLOP redelijk aan de behoefte. Dezelfde rekentechniek heeft daarom ook nu weer als basis gediend voor de beantwoording van de vraag m.b.t. rekenmethodieken voor de vaststelling van het effect van slechtdoorlatende lagen op de stroombanen en verblijftijden.

Afleiding van de vergelijkingen voor semi-spanningswater

De vraag m.b.t. de beschermende werking van afsluitende lagen heeft in eerste instantie geleid tot de volgende probleemstelling.

Is het mogelijk om met het FLOP-programma als basis een rekenprogramma te schrijven dat de berekening van stroombanen en verblijftijden mogelijk maakt van waterdeeltjes komende vanaf het maaiveld die uiteindelijk in het putfilter van een onttrekking terechtkomen. In de berekening dienen de stroombanen in drie dimensies te worden vastgesteld en het effect van de reeds aanwezige geohydrologische situatie (natuurlijke afstroming, kwel, infiltratie) moet mede in beschouwing worden genomen. Als uitgangspunt wordt gekozen voor analytische oplossingen van grondwaterstromingsproblemen die relatief gemakkelijk in FLOP-programma's zijn te implementeren.

In het navolgende wordt gerekend met het geval van een pakket met semi-spanningswater met aan de onderzijde een ondoorlatende basis. Boven de slechtdoorlatende laag is een vast polderpeil aanwezig. In het pakket wordt aangeno-

men dat de verticale grondwaterstroming zonder weerstand kan plaatsvinden. Er wordt gebruik gemaakt van een cartesisch coordinaten stelsel x,y,z. Voor de eenvoud wordt in het navolgende aangenomen dat de natuurlijke afstroming alleen in x richting plaatsvindt en dat ook het polderpeil alleen in x-richting lineair verloopt.

De stijghoogteverandering door een onttrekking aan een pakket met semi-spanningswater d.m.v. een volkomen filter in een stationaire situatie kan beschreven worden met de formule van de Glee.

$$s = -\frac{Q}{2\pi kH} K_o\left(\sqrt{(x-x_1)^2 + (y-y_1)^2} / \lambda\right)$$

waarin:

s = verlaging van de stijghoogte (L)

Q = onttrekking (negatief) (L /T)

kH= doorlaatvermogen (L /T)

λ = spreidingslengte = $\sqrt{kHc}$ (L)

c = hydraulische weerstand (T)

x_1 en y_1 = de afstand van de put tot resp. x en y-as.

K_o= gemodificeerde Besselfunctie van de o^e-orde

De door deze onttrekking veroorzaakte snelheidscomponenten in het pakket zijn :

$$\frac{dx}{dt} = \frac{1}{2\pi nH\lambda} \frac{Q(x-x_1)}{\sqrt{(x-x_1)^2+(y-y_1)^2}} \cdot K_1\left(\sqrt{(x-x_1)^2 + y-y_1)^2} / \lambda\right)$$

$$\frac{dy}{dt} = \frac{1}{2\pi nH\lambda} \frac{Q(y-y_1)}{\sqrt{(x-x_1)^2+(y-y_1)^2}} \cdot K_1\left(\sqrt{(x-x_1)^2 + (y-y_1)^2} / \lambda\right)$$

waarin n = porositeit van het watervoerende pakket (-)

K_1= gemodificeerde Besselfunctie van de 1e orde.

Naast de snelheidscomponenten geintroduceerd door de onttrekking is er verder het snelheidsveld van de bestaande natuurlijke grondwaterstroming. Deze wordt geacht aanwezig te zijn in de x-richting.

Het polderpeil ϕ_p wordt aangenomen te varieren volgens

$$\phi_p = Cx + D$$

Door toepassing van de wet van Darcy en het principe van continuiteit volgt.

$$\frac{\partial^2\phi}{\partial x^2} - \frac{\phi - Cx - D}{\lambda^2} = 0$$

De oplossing van deze partiele differentiaalvergelijking is:

$$\phi - Cx - D = Ae^{x/\lambda} + Be^{-x/\lambda}$$

De constante A en B volgen uit randvoorwaarden. Deze randvoorwaarden worden als volgt gekozen. Stel dat op x=o de grondwaterstijghoogte $\phi = \phi_o$ en op $x = L$ is $\phi = \phi_L$.

Substitutie van de randvoorwaarden geeft:

$$A = \phi_o - D - \frac{-\phi_L + CL + D + (\phi_o - D)e^{L/\lambda}}{e^{L/\lambda} - e^{-L/\lambda}}$$

$$B = \frac{(\phi_o - D)\, e^{L/\lambda} - \phi_L + CL + D}{e^{L/\lambda} - e^{-L/\lambda}}$$

De snelheidscomponent t.g.v. de natuurlijke afstroming in x-richting is dus:

$$\frac{dx}{dt} = -\frac{k}{n}\frac{d\phi}{dx} = -\frac{k.C}{n} - \frac{k}{n\lambda} Ae^{x/\lambda} + \frac{k}{n\lambda} Be^{-x/\lambda}$$

De snelheidscomponent in de z-richting kan gevonden worden door gebruik te maken van een benaderende oplossing die in 1976 door Bruggeman werd gebruikt. (interne RID-rapporten). Recent heeft Strack hierover gepubliceerd in Water Resources Research. (Strack) (3).
De methode houdt in dat de Dupuit-Forchheimer aanname blijft gelden, dus in een verticaal heerst in het pakket dezelfde stijghoogte, doch dat er stroming in de verticaal optreedt zonder dat dit gepaard gaat met weerstand.
Dit wil zeggen dat een waterdeeltje in het watervoerende pakket door de voeding van het pakket op die plaats zo wordt verplaatst dat de horizontale stromingscomponenten gelijkmatig over de dikte van het pakket worden verdeeld. Voor

een pakket met konstante dikte H en een voeding N geldt dan:

$$q_z = \frac{N}{H} z$$

De voeding N laat zich schrijven als de som van de voeding door de slechtdoorlatende laag t.g.v. de onttrekking en t.g.v. de natuurlijke afstroming, dus:

$$N = -\frac{Q}{2\pi kHC} K_o(\sqrt{(x-x_1)^2 + (y-y_1)^2} / \lambda) - \frac{Ae^{x/\lambda} + Be^{-x/\lambda}}{c}$$

en

$$\frac{dz}{dt} = \frac{q_z}{n} = -\frac{z}{nH} \{\frac{Q}{2\pi\lambda^2} K_o(\sqrt{(x-x_1)^2 + (y-y_1)^2} / \lambda) + \frac{Ae^{x/\lambda} + Be^{-x/\lambda}}{C}\}$$

Het complete stelsel simultane gewone differentiaalvergelijkingen dat de snelheid weergeeft in het watervoerende pakket is dus :

$$\frac{dx}{dt} = \frac{1}{2\pi nH\lambda} \frac{Q(x-x_1)}{\sqrt{(x-x_1)^2+(y-y_1)^2}} \cdot K_1(\sqrt{(x-x_1)^2 + (y-y_1)^2} / \lambda) -$$

$$- \frac{kC}{n} - \frac{k}{n\lambda} Ae^{x/\lambda} + \frac{k}{n\lambda} Be^{-x/\lambda}$$

$$\frac{dy}{dt} = \frac{1}{2\pi nH\lambda} \frac{Q(y-y_1)}{\sqrt{(x-x_1)^2+(y-y_1)^2}} \cdot K_1(\sqrt{(x-x_1)^2 + (y-y_1)^2} / \lambda)$$

$$\frac{dz}{dt} = -\frac{z}{nH} \{\frac{Q}{2\pi\lambda^2} K_o(\sqrt{(x-x_1)^2 + (Y-y_1)^2} / \lambda) + \frac{Ae^{x/\lambda} + Be^{-x/\lambda}}{C}$$

Met behulp van het principe van superpositie kunnen meerdere putonttrekkingen en/of putinfiltraties in de berekening worden meegenomen.

De berekening van de stroombanen en verblijftijden in de slechtdoorlatende laag wordt uitgevoerd met de differentiaalvergelijking die de verticale snelheid ($\frac{dz}{dt}$) beschrijft. Deze differentiaalvergelijking reduceert nu, aangezien z=H, tot :

$$\frac{dz}{dt} = -\frac{Q}{2\pi n_1 \lambda^2} K_o(\sqrt{(x-x_1)^2 + (y-y_1)^2} / \lambda) - \frac{Ae^{x/\lambda} + Be^{-x/\lambda}}{C}$$

waarin n_1 = porositeit van de slechtdoorlatende laag (-).

De bovenstaande vergelijkingen dienen als basis voor een FLOP programma waarmee onder een aantal aannamen dus stroombanen en verblijftijden kunnen worden berekend in een pakket met semi spanningswater en in de daarbovenliggende

slechtdoorlatende laag.

Toepassing van de rekenmethodiek

Met de rekenmethodiek zoals die in het voorgaande is beschreven kan nu een antwoord worden gevonden op verschillende vragen. Deze vragen hebben betrekking op :

- de invloed van diverse geo-hydrologische parameters op de verblijftijden van waterdeeltjes
- de invloed van de ter plaatse aanwezige hydrologische situaties op de verblijftijden van waterdeeltjes.

Het is duidelijk dat in werkelijke situaties waarbij stroombanen en verblijftijden moeten worden vastgesteld van geval tot geval grote verschillen in geohydrologische parameters en hydrologische situaties aanwezig kunnen zijn. Het zal daarom nauwelijks mogelijk zijn om tot een eenvoudige, algemeen geldende vaststelling van verblijftijden te komen met de hulp van bijvoorbeeld grafieken of tabellen. Vaststelling van beschermingszones op grond van verblijftijden moet dan ook worden gebaseerd op ter plaatse uitgevoerd geohydrologisch onderzoek waarbij juist die lokale situatie zeer belangrijk kan zijn.
Ten einde een en ander te verduidelijken is een aantal voorbeeld berekeningen uitgevoerd aan een onttrekking uit een pakket met semi-spanningswater.
De keuze van een dergelijke onttreking uit een systeem met een watervoerend pakket is arbitrair en dit geldt tevens voor de gekozen geohydrologische parameters. Getracht is echter om reeele waarden voor de diverse grootheden te kiezen.
De resultaten van de berekeningen zijn niet zonder meer over te dragen naar andere situaties. Er is echter met deze berekeningen geprobeerd, via een soort gevoeligheidsanalyse, het belang van diverse parameters en de hydrologische uitgangsituatie te kwalificeren.

De gekozen uitgangssituatie voor de berekeningen is de volgende: In een homogeen, isotroop watervoerend pakket met konstante dikte wordt water onttrokken door middel van een volkomen put. Aan de onderzijde is het pakket begrensd door een ondoorlatende basis en aan de bovenzijde door een slechtdoorlatende laag met een constante dikte en een constante hydraulische weerstand. Boven de slechtdoorlatende laag is een polderpeil dat lineair in de x-richting varieert. De grondwaterstroming in het pakket die aanwezig is voordat de onttrekking wordt gerealiseerd is in de richting van de x-as. De volumestroomdichtheid van deze stroming wordt vastgelegd door twee gemeten stijghoogten in het watervoerende pakket, een bovenstrooms en een benedenstrooms van de plaats van onttrekking.
De geohydrologische uitgangssituatie wordt voor de "standaard"berekening ge-

karakteriseerd door de volgende parameterwaarden:

$k = 20$ m/dag (doorlatendheidscoefficient watervoerende pakket)

$H = 50$ m. (dikte pakket)

$H' = 10$ m. (dikte slechtdoorlatende laag)

$k' = 1 * 10^{-2}$ (doorlatendheidscoefficient slechtdoorlatende laag)

$C = -1 * 10^{-3}$ (helling polderpeil in x-richting)

$D = +0.5$ m. (hoogte polderpeil op x=o)

$Q = 3* 10^{6}$ m^3/jaar (onttrekking aan het watervoerende pakket).

De onttrekking is gesitueerd op x = 500 m.

In deze standaardsituatie is onderscheid gemaakt tussen een van oorsprong aanwezige kwel situatie en een infiltratiesituatie. In de kwelsituatie geldt:

$\phi_o = +1,0$ m (op x=0)

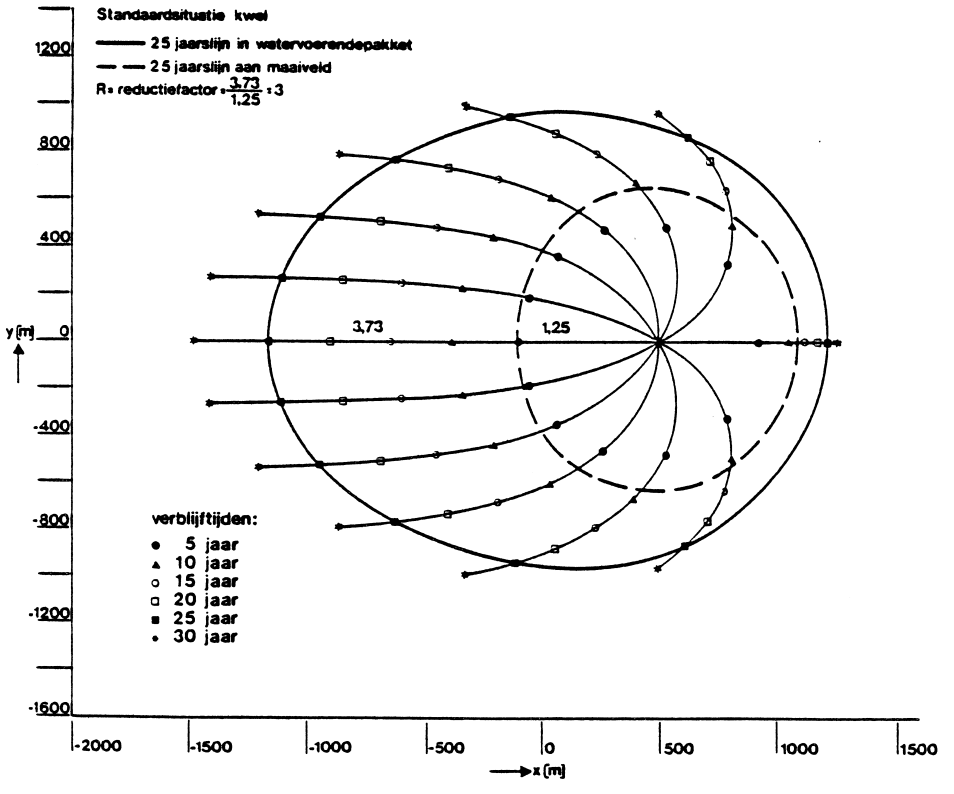
$\phi_L = -0,2$ m (op x=L waarbij L = 1000 m)

In de infiltratiesituatie geldt:

$\phi_o = +0,3$ m (op x=0)

$\phi_L = -1,0$ m (op x=L waarbij L = 1000 m)

Deze standaardsituaties zijn doorgerekend met het computerprogramma FLOP. De 25-jaarszone voor de kwelsituatie is aangegeven op afbeelding 1. Het oppervlak van deze zone is 3,73 km^2, waarbij alleen de verblijftijd in het watervoerende pakket in beschouwing is genomen, dus volgens de richtlijnen van de CBW.



Afbeelding 1.

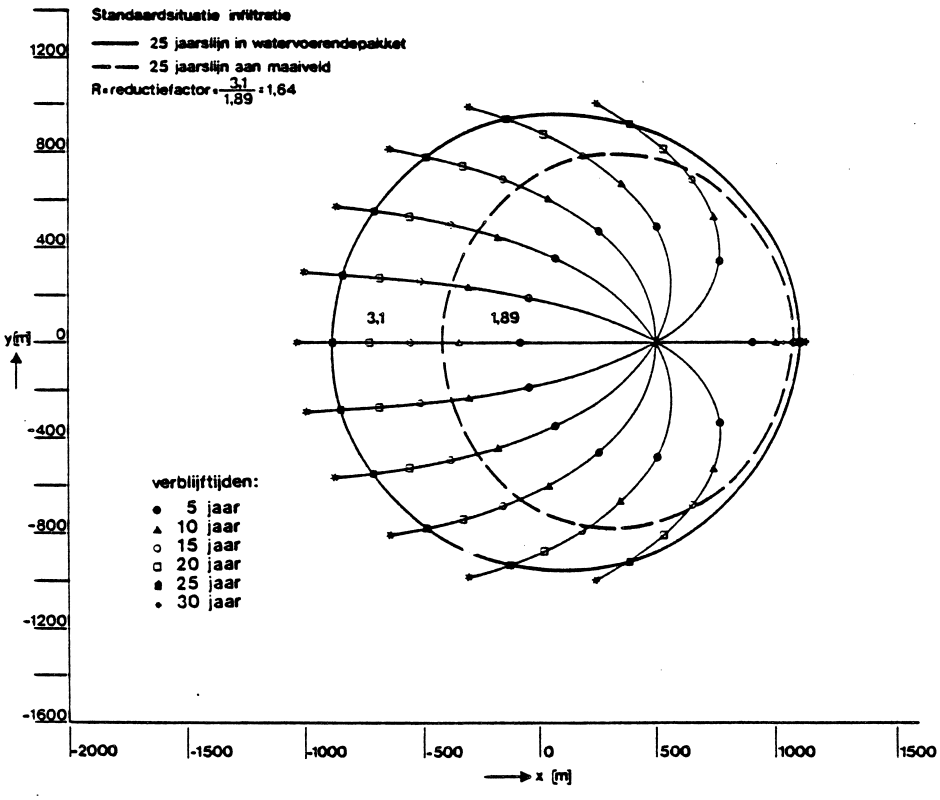
25-jaarszones in een kwelsituatie

Wordt de verblijftijd tot aan maaiveld (d.i. bovenkant slechtdoorlatende laag) berekend dan blijkt de 25-jaars zone nog slechts een oppervlak van 1,25 km^2 te beslaan.
Er wordt nu een reductiefactor gevonden, die is gedefinieerd als:

$$R = \frac{\text{oppervlak 25 jaarszone in het watervoerende pakket (CBW-richtlijn)}}{\text{oppervlak 25 jaarszone aan het maaiveld.}}$$

In de standaardsituatie met kwel is R = 3.

De berekening van de isochroon van 25 jaar in het geval van infiltratie resulteert in een oppervlak van de 25 jaarszone volgens de CBW richtlijn van 3.1 km .
Wordt ook de verblijftijd tot aan maaiveld meegenomen dan reduceert deze zone tot 1,89 km^2. In deze specifieke situatie is dus de reductiefactor R=1,64.
In afbeelding 2 zijn beide zones weergegeven.



Afbeelding 2.
25-jaarszones in een infiltratie-situatie

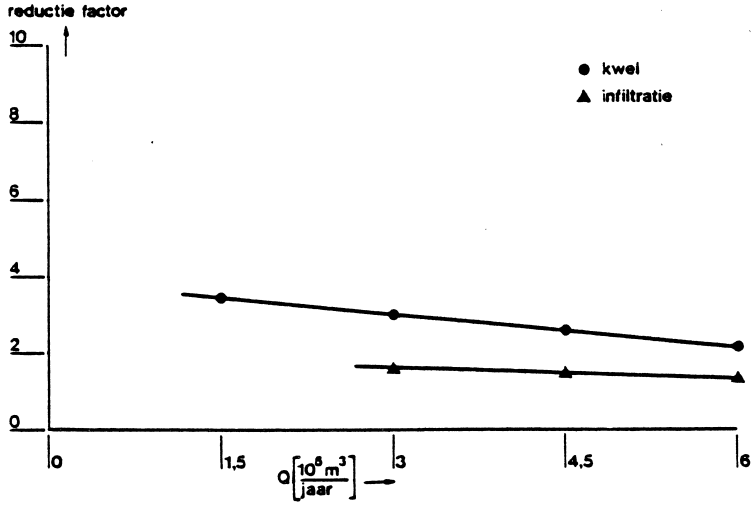
In deze twee standaardberekeningen waarin alleen de oorspronkelijke geohydrologische situatie verschillend is met betrekking tot kwel en infiltratie

komt al meteen het verschil in reductiefactor naar voren. Het blijkt dat deze voor een situatie met kwel groter is dan in een infiltratie situatie, hetgeen met wat geohydrologisch inzicht uiteraard ook wel te verwachten was. Teneinde de invloed van diverse grootheden op de reductiefactor na te gaan is een aantal berekeningen uitgevoerd waarin steeds een parameter is gewijzigd. Zo zijn uitgaande van de standaard kwelsituatie en de standaard infiltratie-situatie wijzigingen aangebracht in de volgende grootheden

- de grootte van de onttrekking
- de dikte van de afsluitende slechtdoorlatende laag (de c-waarde blijft echter constant)
- de waarde van de hydraulische weerstand (c-waarde) van de slechtdoorlatende laag.

De resultaten van de bijbehorende berekeningen zijn in de grafieken 1,2 en 3 weergegeven. Deze grafieken worden hierna achtereenvolgens nader bekeken.

In grafiek 1 is op de horizontale as de grootte van de onttrekking uitgezet in miljoenen m^3 per jaar. Op de verticale as is de reductiefactor weergegeven. In deze grafiek zijn naast de beide standaardsituaties de resultaten van de berekeningen weergegeven met $4,5 * 10^6$ en $6 * 10^6$ m^3/jaar. Uit deze grafiek blijkt dat er een dalende tendens aanwezig is in de reductiefactor bij toenemende onttrekkingsgrootte en dat voor de kwelsituatie de reductiefactor systematisch groter is dan voor de infiltratiesituatie. Bovendien is de afname van de reductiefactor bij toenemende onttrekkingsgrootte geprononceerder bij de kwelsituatie dan bij de infiltratiesituatie.

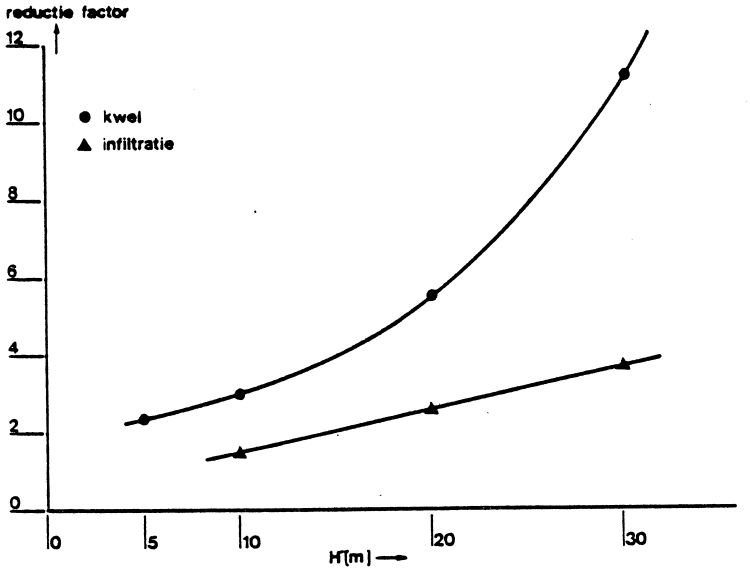


Grafiek 1 Reductiefactor als functie van de grootte van de onttrekking

In grafiek 2 is op de horizontale as de dikte van de slechtdoorlatende laag uitgezet waarbij geldt dat de c-waarde constant wordt gehouden (1000 dagen). Dit betekent dus dat bij toenemende dikte van de laag de doorlatendheid evenredig groter wordt, immers

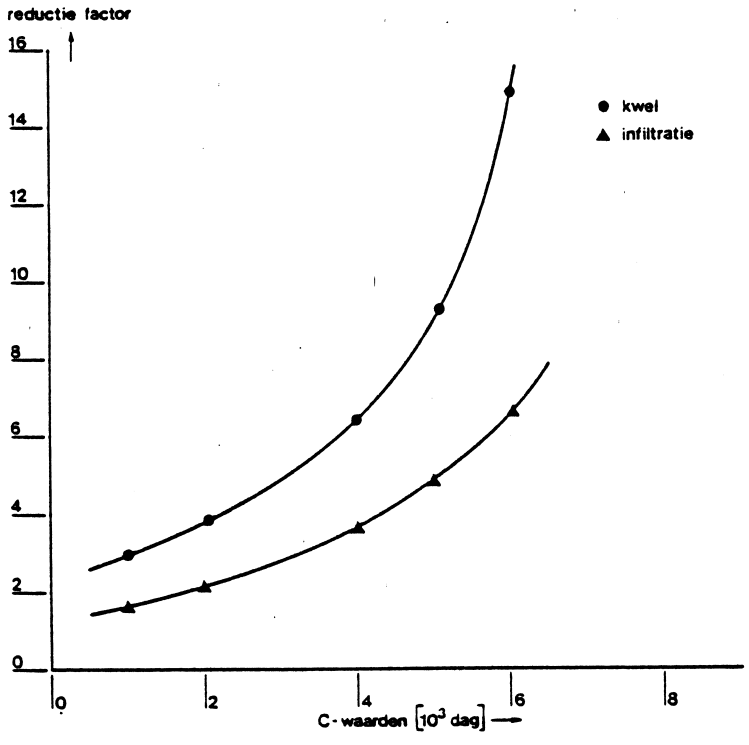
$$c = \frac{H'}{k'}$$

Op de verticale as is de reductiefactor uitgezet.
De resultaten van een aantal berekeningen zijn weergegeven, waaronder de beide standaardsituaties waarvoor geldt $H' = 10$m.
Uit deze grafiek blijkt de grote invloed van de dikte van de afsluitende laag op de reductiefactor.
In de situatie met infiltratie is voor geringe dikte van de afsluitende laag de reductiefactor relatief laag. Voor dikkere afsluitende lagen bijvoorbeeld meer dan 10 m. is de verblijftijd van waterdeeltjes in deze laag echter niet te verwaarlozen. De reductiefactor kan dan oplopen tot waarden van 3 a 4 voor lagen met dikten varierend van ruim twintig tot ruim dertig meter. Bij kwelsituaties is de invloed van de dikte van de slechtdoorlatende laag nog veel groter. Hier kan bij laagdikten van 20 tot 30 meter de reductiefactor varieren van ongeveer 5 tot 11. Voor dunnere lagen van bijvoorbeeld 5 m. is de reductiefactor altijd nog ruim 2, althans met als basis de hier gekozen standaardsituatie.



Grafiek 2 Reductiefactor als functie van de dikte van de slecht-doorlatende laag

In grafiek 3 is op de horizontale as de hydraulische weerstand van de afsluitende laag uitgezet. Hierbij is de dikte van de laag constant gehouden (H'=10 m.) en de toename van de weerstand wordt gerealiseerd door een afnemende doorlatendheid. Op de verticale as staat de reductiefactor R. Ook hier is de reductiefactor voor de kwelsituatie systematisch hoger dan in de infiltratie situatie. Opvallend is echter de sterke stijging in de reductiefactor bij toenemende weerstand van de slechtdoorlatende laag. Dit geldt in hoge mate voor de kwelsituatie, doch voor de infiltratiesituatie is de stijging ook zeker niet gering. Met deze grafiek in de hand is het dan ook volkomen duidelijk waarom er grote vraagtekens geplaatst worden bij de CBW-richtlijn dat geen rekening mag worden gehouden met de invloed op de verblijftijd van waterdeeltjes in afsluitende lagen.



Grafiek 3 Reductiefactor als functie van de C-waarde

Conclusies

In het voorgaande is getracht aan te tonen indien bij een onttrekking uit een pakket met semi-spanningswater sprake is van aaneengesloten afdekkende minder goed doorlatende lagen, dat

- de lokale situatie met betrekking tot de natuurlijke grondwaterstroming belangrijk kan zijn voor de grootte van de verblijftijdszones aan maaiveld.
- de aanwezige geohydrologische parameters zoals c-waarden en diktes van afsluitende lagen een belangrijke reductie van de grootte van beschermingszones kunnen betekenen indien wordt uitgegaan van zonering gebaseerd op verblijftijden.

Aanbevelingen

De vaststelling van beschermingszones rondom grondwaterwinningen zou gebaseerd moeten worden op de geohydrologische situatie rond deze winningen. Dit houdt in dat bijvoorbeeld de bepaling van intrekgebieden belangrijk is. Eerst met de onderzoeksresultaten omtrent de geohydrologische situatie in de hand is een wel afgewogen pakket van beschermingsmaatregelen te nemen. Het vaststellen van verblijftijdszones is hierbij een (belangrijk) onderdeel.
Een goede bescherming van grondwaterwinningen zal echter nodig maken dat naast de verblijftijden ook de aard van de potentiele verontreinigingen nader in beschouwing wordt genomen.
Een adequate bescherming van grondwaterwinningen staat of valt echter met de bewaking van de grondwaterkwaliteit. De instelling van een beschermingszone gebaseerd op 10 jaar of 25 jaar verblijftijd creeert slechts een schijnveiligheid als verontreinigingen onopgemerkt naar de winputten kunnen stromen. Indien verontreingingen pas worden gesignaleerd door analyse van het gewonnen water op het pompstation is dat 10 of 25 jaar te laat. Gepleit wordt daarom voor onderzoek naar een systematische aanpak van het monitoringprobleem. Daarbij moet zowel de methodiek als de techniek van de monitoring ruime aandacht krijgen.

Literatuur

1. Commissie Bescherming Waterwingebied
Richtlijnen en aanbevelingen voor de bescherming van waterwingebieden.

2. C. van den Akker (1976). een numerieke berekeningsmethode van stroomlijnen of stroombanen met bijbehorende verblijftijden. H2O (9) 1976, nr. 21.

3. C. van den Akker (1982). Numerical analysis of the stream function in plane groundwater flow. Proefschrift TH-Delft, juni 1982.

4. C.G.E.M. van Beek (1985). Evaluatie van de omvang van beschermingszones rond grondwaterwinningen in Nederland. KIWA N.V. rapport SWO-84.248 februari 1985.

5. O.D.L. Strack (1984). Three-dimensional streamlines in Dupuit-Forchheimer models. Water Resources Research vol. 20 no. 7 july 1984.

R-OBW 86-24

VTCB voorlopige technische commissie bodembescherming

Secretaris van de
Commissie Onderzoek Bescherming
Waterwingebieden
ir. C.G.E.M. van Beek
KIWA
Groningenhaven 7
3433 PE Nieuwegein

Uw kenmerk :
Uw brief van :
Ons kenmerk : VTCB/S/86-92
Datum : 26 augustus 1986

Naar aanleiding van het advies Berekeningsgrondslag grondwaterbeschermingsgebieden belegt de V-TCB een discussiedag. Deze discussiedag zal gehouden worden op vrijdag 31 oktober a.s. in het vergadercentrum "Hoog Brabant" te Utrecht, van 10.30 tot ± 15.30 uur.

De commissie stelt zich voor de discussie te richten op een tweetal benaderingswijzen, die beide in haar advies besproken worden:

- het beschermingsgebied gebaseerd op de verblijftijd van water in de bodem: hierin is aan de orde het advies in engere zin, en met name de mogelijkheden om bij het vaststellen van het beschermingsgebied rekening te houden met slecht-doorlatende lagen; en

- het beschermingsgebied gebaseerd op het intrekgebied, verwoord in het advies als mogelijk op lange termijn te volgen benadering: hierin komen aan de orde de mogelijkheden deze benadering te volgen voor winningen van freatisch water resp. spanningswater, alsmede de relatie met de bodembescherming in algemene zin.

Er zullen circa 50 personen op uitnodiging aan de discussiedag deelnemen waaronder vertegenwoordigers van een aantal interprovinciale commissies, van enkele KIWA-commissies, van waterleidingbedrijven en van andere organisaties en diensten die betrokken zijn bij de aangesneden problematiek.

Adres
Dr. van der Stamstraat 2
2265 BC Leidschendam

Postadres
Postbus 450
2260 MB Leidschendam

Telefoon
070 - 209367

Naast een toelichting op het advies en op de overwegingen die aan het advies ten grondslag lagen, te geven door enkele leden van de betreffende werkgroep van de commissie, is voorzien dat er een reactie gegeven wordt op het advies van de zijde van de provincies, de rijksoverheid en de bedrijfstak.

Bijgaand treft u een Voorlopig programma van de discussiedag aan.

Ik mag u verzoeken de deelname van bij voorkeur niet meer dan 2 personen van uw instelling middels bijgaande formulieren aan het secretariaat van de commissie kenbaar te maken.

Hoogachtend,

ir. H. Haverkate,
voorzitter van de V-TCB.

Voorlopig programma Discussiedag Berekeningsgrondslag grondwaterbeschermingsgebieden

Plaats: vergadercentrum "Hoog Brabant", Utrecht
Datum : 31 oktober 1986, 10.00 uur

Indeling

10.00	Koffie	
10.30	Opening en inleiding discussiedag	ir. H. Haverkate
10.40	Filosofie achter de berekeningsgrondslag	ir. M.G.M. den Blanken
11.00	Geologische beschouwing	dr. E.F.J. de Mulder
11.20 - 11.40	Koffiepauze	
11.40	Berekeningsmethoden	dr.ir. C. van den Akker
12.00 - 13.30	Lunchpauze	
13.30	Lange termijn visie van het advies: een op intrekgebieden gerichte benadering	ir. H. Haverkate
13.50	Visie van de provincies	ir. J.A. Los, PWS Drenthe
14.10	Visie van het Rijk	vertegenwoordiger DGMH/BWS
14.30 - 14.50	Theepauze	
14.50	Visie van de bedrijfstak	vertegenwoordiger VEWIN
15.10	Discussie	
± 15.30	Sluiting discussiedag	