

De doorlatendheid van de bodem voor infiltratiedoeleinden

De doorlatendheid van de bodem voor infiltratiedoeleinden

Een gebiedsdekkende inventarisatie voor het Waterschap Peel en Maasvallei

H. Th. L. Massop, J. W. J. van der Gaast en E. Kiestra

Alterra-rapport 1212

Alterra, Wageningen, 2005

REFERAAT

H. Th. L. Massop, J. W. J. van der Gaast en E. Kiestra, 2005. *De doorlatendheid van de bodem voor infiltratiedoelinden. Een gebiedsdekkende inventarisatie voor waterschap Peel en Maasvallei*. Wageningen, Alterra, Alterra-rapport 1212. 97 blz.; 25 fig.; 6. tab.; 30 ref.

In opdracht van waterschap Peel en Maasvallei is een onderzoek uitgevoerd naar de geohydrologische eigenschappen van het topsysteem. Het waterschap gebruikt deze informatie bij de beoordeling en advisering ten behoeve van infiltratievoorzieningen. Voor de beoordeling van deze voorziening zijn de doorlatendheid en de dikte van de deklaag van belang alsook het doorlaatvermogen van het onderliggende watervoerende pakket. Voor het gebiedsdekkend vaststellen van de eigenschappen is het gebied geschematiseerd in 60 eenheden op basis van bodemeigenschappen en opbouw diepere ondergrond. Aan deze eenheden is een k-waardetabel gekoppeld. Deze tabel is gebaseerd op beschikbare metingen en schattingen en aangevuld met metingen die in het kader van dit onderzoek zijn uitgevoerd. Naast k-waarden is een diktekaart van de deklaag vervaardigd op basis van bruikbare boringen. Het doorlaatvermogen van het eerste watervoerend pakket is afgeleid uit verschillende bronnen, waaronder pompproeven. Een belangrijk punt bij gebruik van de geïnventariseerde gegevens is de anisotropie van de deklaag als gevolg van het voorkomen van klei, leem of veenlagen.

Trefwoorden: k-waarde, doorlatendheid, anisotropie, infiltratie, boorgatmeting.

ISSN 1566-7197

Dit rapport kunt u bestellen door € 25,- over te maken op banknummer 36 70 54 612 ten name van Alterra, Wageningen, onder vermelding van Alterra-rapport 1212. Dit bedrag is inclusief BTW en verzendkosten.

© 2005 Alterra
Postbus 47; 6700 AA Wageningen; Nederland
Tel.: (0317) 474700; fax: (0317) 419000; e-mail: info.alterra@wur.nl

Niets uit deze uitgave mag worden veelevoudigd en/of openbaar gemaakt door middel van druk, fotokopie, microfilm of op welke andere wijze ook zonder voorafgaande schriftelijke toestemming van Alterra.

Alterra aanvaardt geen aansprakelijkheid voor eventuele schade voortvloeiend uit het gebruik van de resultaten van dit onderzoek of de toepassing van de adviezen.

Inhoud

1	Inleiding	11
1.1	Achtergrond	11
1.2	Probleem- en doelstelling	11
1.3	Plan van aanpak en Leeswijzer	11
2	Gebiedsbeschrijving	13
2.1	Geo(hydro)logische beschrijving	13
2.2	Bodemopbouw	15
2.3	Landgebruik	17
2.4	Waterhuishouding	17
3	K-waarde kaart	19
3.1	Inleiding	19
3.2	Indeling in schematisatie-eenheden	19
3.3	‘Verdieping’ bodemkaart op basis informatie uit NITG-boringen.	22
3.4	k-waarden gegevens	24
3.4.1	Beschikbare k-waardegegevens	24
3.4.2	Aanvullende gemeten k-waardegegevens	26
3.4.3	Definitieve k-waarde tabel	31
3.5	K-waarde kaart	32
4	Dikte en anisotropie deklaag	35
4.1	Dikte deklaag	35
4.2	Anisotropie	38
5	Dikte en doorlaatvermogen 1 ^e watervoerend pakket	43
5.1	Doorlaatvermogen	43
5.2	Doorlaatfactor 1 ^e watervoerend pakket	44
6	Infiltratievoorzieningen in de praktijk	45
6.1	Inleiding	45
6.2	Infiltratie boven grondwaterstand	46

6.3 Infiltratie bij ondiepe grondwaterstand	47
6.4 Uittreeweerstand	49
7 Conclusies en aanbevelingen	51
Literatuur	53
<i>Bijlagen</i>	
1 Tabellen bij de k-waardekaart	57
2 Tabellen bij de bodemopbouw locaties boorgatmetingen	67
3 Tabellen bij de gevoeligheidsanalyse boorgatmetingen	71
4 Kaart bij dikte deklaag	79
5 Kaarten NITG	81
6 Infiltratie-theorie (Peeboom, 1987)	83
7 Ruimtelijke beïnvloeding (Van der Gaast en Stuyt, 2000)	87
8 Belangrijkste detailkarteringen uit de jaren zeventig	95

Woord vooraf

Het Waterschap Peel en Maasvallei heeft opdracht gegeven aan Alterra om een k-waarde kaart voor infiltratiedoeleinden te vervaardigen. Het project is beschreven in dit rapport. Met behulp van dit resultaat is het mogelijk om de kansrijkdom voor het afkoppelen van regenwater te bepalen. De projectleiding was in handen van J.W.J. van der Gaast. De bodemkundige analyse is uitgevoerd door E. Kiestra en H.Th.L. Massop heeft de geohydrologische analyse grotendeels uitgevoerd. De auteurs willen de heren D. Coenen, F. Verdonschot en J.M.P.M. Peerboom bedanken voor de prettige samenwerking binnen dit project.

Samenvatting

In het kader van WB21 en de Watertoets zijn er doelstellingen opgelegd voor (vasthouden van water door) het afkoppelen van bebouwd gebied teneinde de rioolwaterzuiveringen te ontlasten. Bij het afkoppelen wordt op steeds meer plaatsen water via infiltratievoorzieningen in de bodem gebracht. Het waterschap heeft hierbij behoefte aan informatie voor de beoordeling en advisering ten behoeve van deze infiltratievoorzieningen.

In opdracht van waterschap Peel en Maasvallei is een onderzoek uitgevoerd naar de geohydrologische eigenschappen van het topsysteem. Voor de beoordeling van infiltratievoorzieningen zijn de doorlatendheid en de dikte van de deklaag van belang alsook het doorlaatvermogen van het onderliggende watervoerende pakket.

Voor het gebiedsdekkend vaststellen van de geohydrologische eigenschappen is het gebied geschematiseerd in 60 eenheden op basis van bodemeigenschappen en opbouw diepere ondergrond. Voor deze eenheden is een k-waardetabel opgesteld. Voor deze tabel is gebruik gemaakt van beschikbare metingen en schattingen. Verder zijn aanvullende metingen uitgevoerd met de boorgatenmethode. Deze aanvullende metingen hebben tevens informatie opgeleverd over de onzekerheid in de k-waarde. De schematisatie-eenhedenkaart en de k-waardetabel geven de k-waardekaart op het bodemniveau (80 – 120 cm - mv) van de infiltratievoorzieningen.

Naast k-waarden is een diktekaart van de deklaag vervaardigd op basis van bruikbare boringen. Niet alle beschikbare boringen waren bruikbaar omdat een groot deel op 2 m - mv stopte. Verder was een oudere diktekaart van de deklaag beschikbaar. Combinatie van de boorgegevens voor de oudere diktekaart met bruikbare boringen van NITG heeft een nieuwe kaart opgeleverd. Ook is nagegaan of er binnen de deklaag op grotere diepte kans bestaat op de aanwezigheid van slecht doorlatende lagen (anisotropie).

Het doorlaatvermogen van het eerste watervoerend pakket is afgeleid uit verschillende bronnen, waaronder pompproeven. In de Roerdal Slenk is het doorlaatvermogen groot ($> 3000 \text{ m}^2/\text{d}$), op de Horst is het doorlaatvermogen lager (gemiddeld ca $1000 \text{ m}^2/\text{d}$) en meer variabel.

Bij het beoordelen van infiltratievoorzieningen is het belangrijk om de situatie goed in te schatten om bijv. berekeningen te kunnen uitvoeren. Zo is de stromingssituatie in de omgeving van een infiltratievoorziening met de bodem boven het grondwater anders dan met een bodem in het grondwater. Ook is het belangrijk om na te gaan of de infiltratievoorziening met de bodem in het watervoerend pakket steekt, of dat onder de bodem nog slecht doorlatende lagen aanwezig zijn.

1 Inleiding

1.1 Achtergrond

In het kader van WB21 en de Watertoets zijn er doelstellingen opgelegd voor (vasthouden van water door) het afkoppelen van bebouwd gebied teneinde de rioolwaterzuiveringen te ontlasten. Voor het infiltreren van overtollig regenwater in de ondergrond wordt gebruik gemaakt van verschillende systemen. Het kan hierbij gaan om open systemen zoals wadi's of gesloten systemen zoals kratten of infiltratie koffers. Voor het infiltreren is de doorlatendheid en het doorlaatvermogen van de bodem van groot belang.

1.2 Probleem- en doelstelling

Momenteel worden er op projectbasis, door gemeenten, projectontwikkelaars en het Waterschap Peel en Maasvallei, metingen uitgevoerd van de k-waarde teneinde meer inzicht te krijgen in de doorlatendheid van de bodem. De gemeten doorlatendheid wordt vervolgens gebruikt bij het ontwerp van infiltratievoorzieningen. Uit de doorlatendheidsmetingen die zijn uitgevoerd binnen het beheersgebied van het waterschap blijkt echter dat de gemeten doorlatendheid sterk variabel is. Een goede inschatting van de doorlatendheid blijkt op basis van één tot enkele metingen per project moeilijk te geven. Daarnaast wordt momenteel voor verschillende projecten gebruik gemaakt van verschillende meettechnieken, waardoor onderlinge vergelijking vaak moeilijk is. Om de bovenstaande problemen te ondervangen heeft het waterschap behoefte aan een gebiedsdekkende k-waardekaart. Bij het vervaardigen van de k-waardekaart moet rekening worden gehouden met het infiltratiedoel en de daarvoor gebruikte constructies, wat inhoudt dat het primair gaat om de verzadigde doorlatendheid van de ondergrond. Daarnaast is het voor het ontwerp van infiltratievoorzieningen ook van belang inzicht te hebben in het doorlaatvermogen en afhankelijk van de situatie wellicht ook de onverzadigde doorlatendheid. Voor het ontwerp van infiltratievoorzieningen is dus inzicht in o.a. de doorlatendheid en de dikte van de bodemlagen van de ondergrond van belang.

De doelstelling van het project is het in kaart brengen van de geohydrologische eigenschappen van het topsysteem, in termen van dikte en doorlatendheden. Dit geeft het waterschap de mogelijkheid om aanvragen voor infiltratievoorzieningen te evalueren.

1.3 Plan van aanpak en Leeswijzer

In hoofdstuk 2 wordt allereerst beknopt een beschrijving gegeven van het beheersgebied van het waterschap Peel en Maasvallei, hierbij komen de volgende onderdelen aan bod:

Geo(hydro-)logische opbouw;
Bodemopbouw;
Landgebruik;
Waterhuishouding.

Bij infiltratievoorzieningen wordt water geïnfiltreerd op het niveau van ca 1-2 m - mv. Het is de bedoeling dat het water infiltreert in de deklaag en vervolgens via het onderliggende watervoerende pakket wordt afgevoerd. Van belang voor de werking van de infiltratie is doorlatendheid van het bodemmateriaal op het niveau van de infiltratievoorziening, de dikte en weerstand van de deklaag en het doorlaatvermogen van het onderliggende watervoerende pakket. Voor de beschrijving is het onderzoek opgesplitst in drie onderdelen. Het eerste onderdeel heeft betrekking op de analyse en schematisatie van de ondergrond op basis van geohydrologie en bodemfysica. Deze analyse resulteert in een kaart met schematisatie-eenheden die een overeenkomstige hydrologische opbouw hebben, hierbij is de samenvoeging van bodemeenheden tot schematisatie-eenheden vooral gebaseerd op overeenkomst in bodemkundige materiaaleigenschappen op het niveau van ca 1,00 m - mv. Door inventarisatie van beschikbare meetgegevens van k-waarden is een k-waarde tabel opgesteld. Deze tabel is aangevuld met een beperkt aantal metingen die in het kader van dit onderzoek zijn verricht. Dit heeft geresulteerd in een definitieve k-waarde tabel. Combinatie van de k-waarde tabel met de schematisatie-eenheden geeft de zgn. k-waarde kaart. Deze werkwijze en resultaten zijn beschreven in hoofdstuk 3.

In hoofdstuk 4 wordt de dikte van de deklaag nader uitgewerkt. Binnen de deklaag kunnen slecht doorlatende lagen voorkomen, die bemoeilijken de infiltratie. Ook dit aspect wordt belicht in hoofdstuk 4. In hoofdstuk 5 is de verzamelde informatie over het doorlaatvermogen van het onderliggende watervoerende pakket weergegeven. Een kleiner doorlaatvermogen betekent dat de infiltratie-mogelijkheden beperkter zijn dan bij een groter doorlaatvermogen, hierdoor is het af te koppelen areaal via de infiltratievoorziening ook kleiner. Tot slot zijn in hoofdstuk 6 de conclusies en aanbevelingen opgenomen.

2 Gebiedsbeschrijving

Waterschap Peel en Maasvallei is op 1 januari 1994 ontstaan uit de waterschappen Het Maasterras, Midden-Limburg en Noord-Limburg. Het beheersgebied beslaat ca 128 000 ha en wordt begrensd in het westen door de provinciegrens met Noord-Brabant, in het noorden door de provinciegrens met Gelderland, in het oosten door de landsgrens met Duitsland, en in het zuiden globaal door de rivier de Maas waarbij de grens boven Roermond in oostelijke richting afbuigt naar de grens met Duitsland. In dit hoofdstuk worden kort enkele karakteristieke eigenschappen van het gebied beschreven.

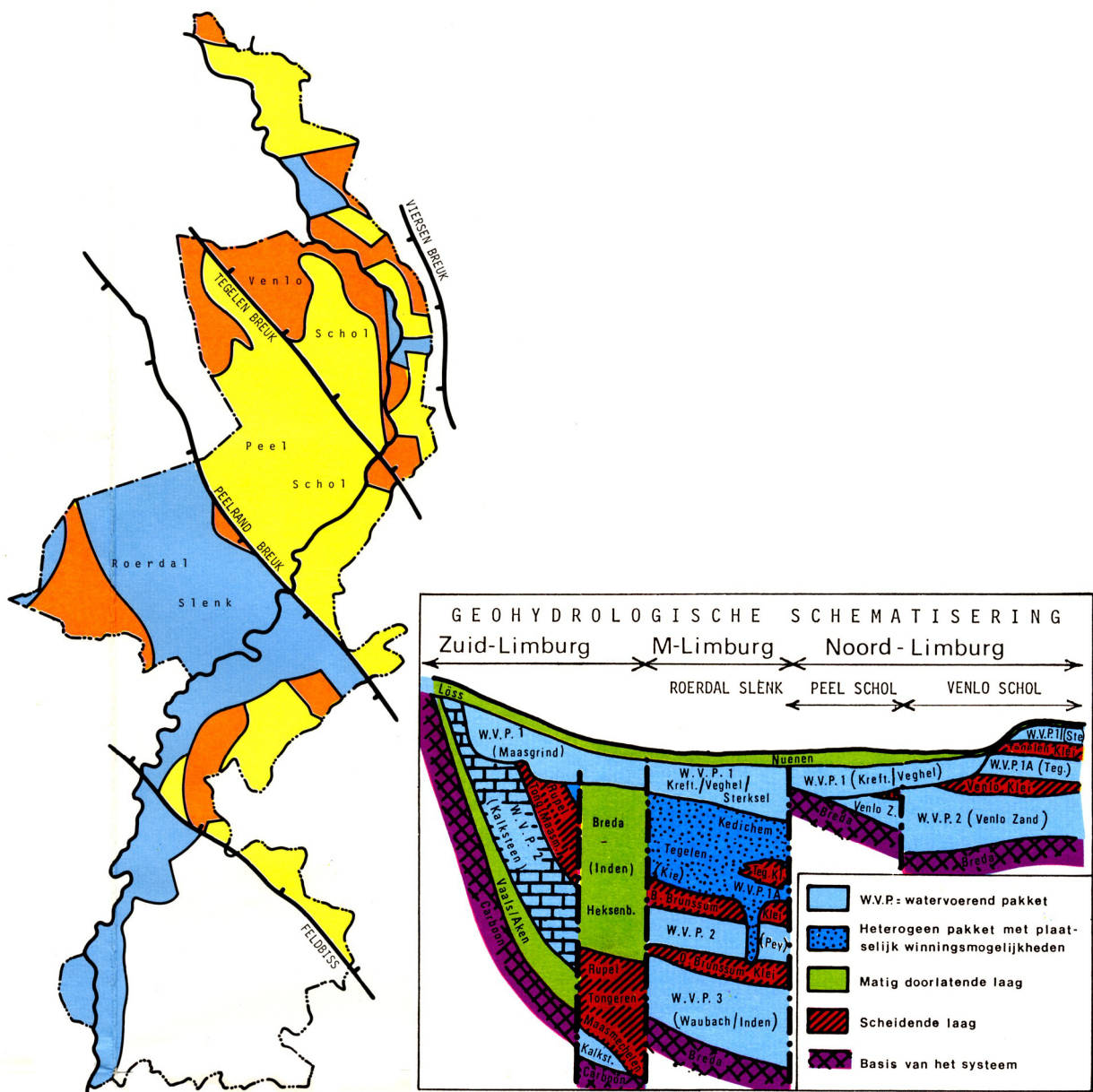
2.1 Geo(hydro)logische beschrijving

Het beheersgebied van waterschap Peel en Maasvallei ligt in Noord en Midden Limburg. De opbouw van de ondergrond is in het verre verleden in belangrijke mate beïnvloed door verticale bewegingen in de aardkorst. De bewegingen vinden plaats in breukzones. Als gevolg van de verschuivingen langs deze breuklijnen bevinden de geologische afzettingen aan weerszijden van een breuk zich op verschillende diepte, ook kan de dikte aan weerszijden van de breuk verschillend zijn. De belangrijkste breuken, waar aan weerszijde van de breuk aanzienlijke verschillen zijn ontstaan in geologische opbouw zijn:

- Feldbiss;
- Peelrandbreuk;
- Tegelenbreuk;
- Vierssen breuk.

Het gebied tussen de Vierssen breuk en de Tegelenbreuk wordt aangeduid als de Venloschol, en tussen de Tegelenbreuk en de Peelrandbreuk als de Peelschol. Tussen de Peelrandbreuk en de Feldbiss ligt de Roerdalslenk die in Noord-Brabant als Centrale Slenk wordt aangeduid. In figuur 1 is de ligging van de breuken, de Roerdalslenk en de schollen weergegeven.

Voor de hydrologie kunnen geologische afzettingen op basis van hydraulische eigenschappen worden geclassificeerd in slecht of matig doorlatende lagen en watervoerende pakketten. In figuur 1 is schematisch de geohydrologische opbouw van de ondergrond weergegeven. Voor waterschap Peel en Maasvallei zijn de geohydrologische opbouw van Noord- en Midden Limburg van belang.



Figuur 1 Ligging breuken, Roerdalslenk en schollen en geohydrologische schematisering van Limburg (Ontleend aan Gondwaterplan Limburg).

De hydrologische basis wordt zowel in Midden als Noord-Limburg gevormd door afzettingen behorende tot de Formatie van Breda. Deze afzettingen komen in de Roerdalslenk op grote diepte voor, waarboven 3 watervoerende pakketten worden onderscheiden, die onderling gescheiden zijn door slecht doorlatende kleilagen. Het bovenste watervoerende pakket bestaat uit twee delen. Het onderste deel is een heterogeen pakket dat plaatselijk watervoerend is (Formatie van Kedichem, Tegelen en Kiezeloölietformatie). Het bovenste deel bestaat uit goed doorlatende zanden die

behoren tot de Formatie van Sterksel, Kreftenheye en Veghel. Aan de bovenzijde wordt dit pakket afgedekt door afzettingen behorend tot de Nuenengroep

Op de Peelschol kunnen boven de Formatie van Breda een of twee watervoerende pakketten worden onderscheiden, eventueel gescheiden door kleilagen. Het totale pakket is als gevolg van erosie dunner dan in de Slenk. Het bovenste watervoerende pakket bestaat uit zanden die behoren tot de Formaties van Sterksel, Veghel en Kreftenheye. Ook in dit gebied wordt het pakket aan de bovenzijde afgedekt door afzettingen behorende tot de Nuenengroep die in dikte afnemen.

De deklaag wordt overwegend gevormd door afzettingen behorende tot de Nuenengroep. Het begrip Nuenengroep is ingevoerd voor de Centrale Slenk om afzettingen samen te vatten behorende tot de Formatie van Twente en Eindhoven, inclusief de tussengelegen aantoonbare Formatie van Asten. Het geheel komt overeen met het begrip Zanddiluvium volgens Zonneveld. Het betreft fijne zanden, lemig zand, zandige leem, en leem (De Ridder, 1967). Het pakket wordt als matig doorlatend gekenmerkt.

Voor dit onderzoek zijn vooral de dikte en doorlatendheid van de deklaag (Nuenengroep) en het daarondergelegen 1^e watervoerend pakket van belang. Deze eigenschappen worden in de volgende hoofdstukken nader uitgewerkt.

In deze studie zijn de benamingen gebruikt voor geologische formaties, die tot voor kort gangbaar en ingeburgerd zijn. In oude publicaties worden begrippen gebruikt als Diluvium en Alluvium, deze komen overeen met Pleistocene en Holocene afzettingen. In de nieuwe lithostratigrafische tabel (Mulder et al, 2003) worden alle Pleistocene Maasafzettingen niet meer aangeduid als behorend tot bijv. Betuweformatie of Formatie van Veghel, Kreftenheje of Sterksel maar tot de Formatie van Beegden. Eolische en lokale terrestrische afzettingen behorende tot de Nuenengroep of Formatie van Twente of Asten worden sinds kort aangeduid als afzettingen behorende tot de Formatie van Boxtel.

Langs de Maas worden rivierafzettingen aangetroffen behorende tot de Betuweformatie, deze afzettingen zijn vaak kleiig of zavelig.

2.2 Bodemopbouw

Op de bodemkaart 1 : 50 000 worden voor het beheersgebied van waterschap Peel en Maasvallei 202 eenheden en associaties onderscheiden. Van deze 202 onderscheidingen beslaan 11 onderscheidingen samen meer dan 50% van het areaal (tabel 1).

Tabel 1 Belangrijkste bodemtypen binnen beheersgebied van waterschap peel en Maasvallei

Volgnr	Bodemtype	Aantal vlakken	Areaal		
			ha	Perc.	Perc. Cum.
59	zEZ23	164	13890.6	10.8%	10.8%
26	Hn21	215	11219.6	8.7%	19.5%
29	Hn23	150	9415.7	7.3%	26.9%
55	bEZ23	87	5471.2	4.3%	31.1%
202	BEBOUW	41	5366.1	4.2%	35.3%
85	Zd21	44	4837	3.8%	39.1%
70	pZn23	70	4654.4	3.6%	42.7%
63	pZg23	48	3132.2	2.4%	45.1%
89	Zb23	42	3005.2	2.3%	47.5%
56	bEZ30	47	2335.3	1.8%	49.3%
31	Hn30	56	1982.9	1.5%	50.8%

De grootste oppervlakte aan gronden bestaat uit sterk lemige enkeerdgronden (zEZ23). Ze komen als grote aaneengesloten bouwlandcomplexen voor in het midden van het beheersgebied van Peel en Maasvallei. De gronden bestaan uit een cultuurdek (voor een deel opgebracht) dikker dan 50 cm. De meeste cultuurdekken zijn niet dikker dan 80 cm. De ondergrond bestaat voornamelijk uit ‘oud dekzand’, waarin plaatselijk (löss)leemlagen (meer dan 50 % kleiner dan 50 µm) of zeer sterk lemig zand (32,5-50% kleiner dan 50 µm) voorkomen. Daarnaast komen in het centrale en westelijke deel grote oppervlakten aan veldpodzolgronden (Hn21 en Hn 23) voor. Deze gronden bestaan uit jong dekzand op oud dekzand (Hn21) of uit oud dekzand (Hn23). Ze hebben een bovengrond van 20-30 cm. Onder de bovengrond heeft zich veelal een humuspodzol (inspoelingslaag) ontwikkeld. Ook bij deze groep gronden komen in het fijnzandige dekzand regelmatig leemlagen in de ondergrond voor. De kans op het voorkomen van leemlagen binnen 120 cm – mv is bij de veldpodzolgronden met code Hn23 (zwak en sterk lemig fijn zand)) groter dan met de gronden met code Hn21 (leemarm en zwak lemig fijn zand). Naast de veldpodzolgronden komen op uitgebreide schaal gooreerdgronden (pZn23) en bekeerdgronden (pZg23) voor. Door hun lagere ligging t.o.v. van de veldpodzolgronden heeft zich hierin geen humuspodzol kunnen ontwikkelen. De bekeerdgronden hebben een roestige zandondergrond als gevolg van kwel of stagnatie. Ook binnen de gooreerdgronden en bekeerdgronden komen leemlagen voor. Plaatselijk zijn de bekeerdgronden afgedekt met Holocene beekklei. In de omgeving van Weert en Neer begint het leem plaatselijk al vanaf het maaiveld en is meer dan 40 cm dik. Deze gronden worden dan tot de leemgronden gerekend. Detailkarteringen (bijlage 8) die niet gebiedsdekkend en niet digitaal beschikbaar zijn geven een beter beeld met betrekking tot het voorkomen van sterk lemig zand en leemlagen dan de bodemkaart 1 : 50 000.

Richting de Peel heeft zich op het dekzand in het Holoceen nog veen kunnen vormen. Deze gronden komen op de bodemkaart voor als moerige gronden (minder dan 40 cm veen op zand) en als veengronden (meer dan 40 cm veen op zand). Omdat het niet of wel voorkomen van veen of het niet of wel aanwezig zijn van andere profielkenmerken (podzolering, roest), op korte afstand erg kan variëren, zijn

op de bodemkaart 1 : 50 000 veel associaties gebruikt. Ook heeft zich in sommige beekdalen veen kunnen ontwikkelen (bijv. ten zuiden en oosten van Heythuysen).

Verspreid in het gebied komen grote aaneengesloten complexen van duinvaaggronden (Zd21) voor. Dit zijn stuifzandgronden ontstaan als gevolg van het relatief 'vrij recent' verstuiwen van dekzand. Deze hoog en drooggelegen gronden zijn nadien vaak bebost.

De gronden vlak aan weerskanten van de Maas, en ten oosten van de Maas hebben een andere profielopbouw dan in het midden en oosten van het gebied. De meeste gronden zijn ontstaan in vrij grofzandig rivierzand (Formatie van Kreftenheije en Sterksel). Vlak langs de Maas komen jonge rivierkleigronden (meestal zavelige ooivaag- en poldervaaggronden) voor op oud grofzandig rivierzand. In het Pleistoceen is langs de Maas ook veel lokaal zand verstoven en ook lokaal weer afgezet. Vaak is dit zand iets minder grof. Doordat het zand van origine mineralogisch rijker is dan het dekzand heeft zich in dit materiaal vaak geen humuspodzol kunnen ontwikkelen. De bodemvorming heeft zich voornamelijk gemanifesteerd in de vorming van briklagen en moderpodzolen. In het noordoosten van het gebied heeft zich in het grofzandige materiaal echter wel een humuspodzol kunnen ontwikkelen (Hn30). Langs de westkant van de Maas komen op de overgang naar het westelijker gelegen dekzand grote oppervlakten aan lemige vorstvaaggronden (Zb23) voor. Hoewel het moedermateriaal waarschijnlijk toch uit dekzand bestaat, is het materiaal te rijk voor de vorming van een humuspodzol. Ook bij deze lemige vorstvaaggronden kunnen lemlagen in de ondergrond voorkomen. Langs de Maas komen in de omgeving van de dorpen op grote schaal bouwlandcomplexen voor die op de bodemkaart zijn aangeduid als bruine enkeerdgronden (bEZ30). Deze enkeerdgronden zijn bruiner (minder organische stof) en grover dan de zwarte enkeerdgronden (zEZ23).

2.3 Landgebruik

Het beheersgebied ligt globaal voor 1/3 deel in gras, verder wordt 1/3 akkerbouwmatig gebruikt, dit is incl. het areaal maïs. Opvallend is een hoog percentage overige landbouwgewassen (11 %), dit betreft o.a. tuinbouwgewassen zoals asperges. Het resterende deel (1/3) is ongeveer gelijkmatig verdeeld over bos en natuur enerzijds en stedelijk gebied en infrastructuur, met versnipperd groen tussen de bebouwing, anderzijds. Infiltratieprojecten voor regenwater zullen vooral binnen of in de directe nabijheid van bebouwde gebieden worden gepland.

2.4 Waterhuishouding

Het beheersgebied van waterschap Peel en Maasvallei heeft een oppervlak van ca. 128.000 ha. Het gebied watert af op de Maas. De afwatering wordt gekenmerkt door een groot aantal relatief korte beken aan weerszijden van de Maas. De beken lozen afzonderlijk op de Maas. Enkele belangrijke beken die aan de westzijde uitkomen op

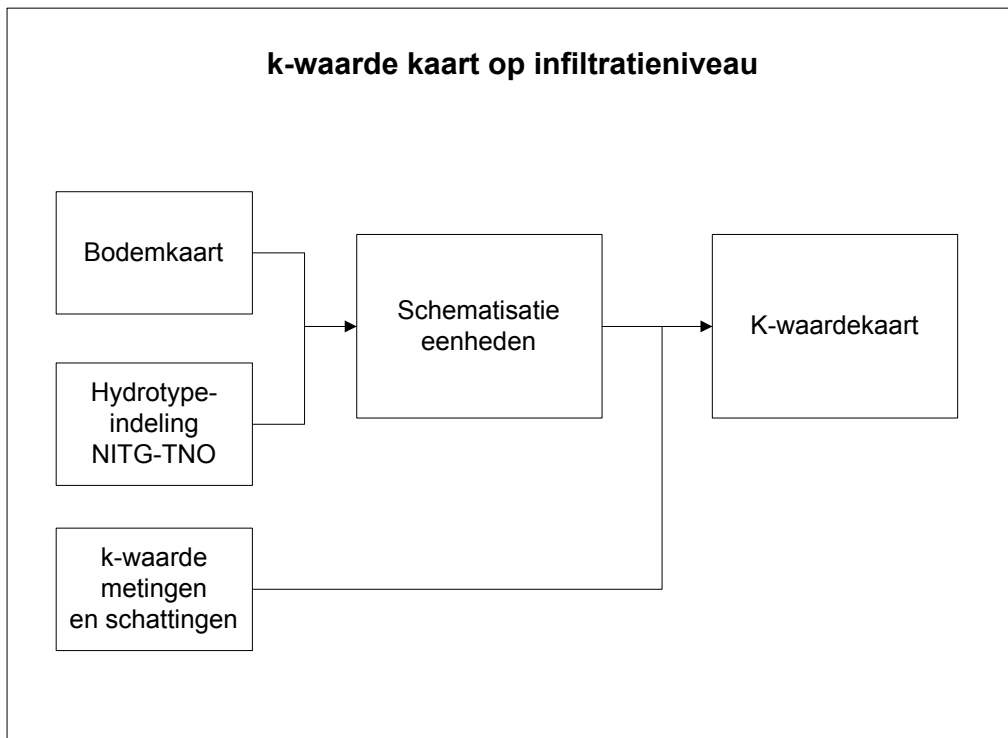
de Maas zijn de Tungelroysche beek/Neerbeek bij Neer en de Everlosche beek ten noorden van Blerick. Aan de oostzijde van de Maas wateren de volgende belangrijke rivieren af op de Maas, de Niers bij Gennep en de Swalm bij Swalmen.

De afwatering op de Maas blijkt ook uit de maaiveldhoogteverdeling. Het gebied helt van zowel het oostelijk als het westelijk deel van het waterschap naar de Maas, daarnaast is er een helling van Zuid naar Noord.

3 K-waarde kaart

3.1 Inleiding

De gevolgde werkwijze voor het maken van een k-waarde kaart voor waterschap Peel en Maasvallei staat weergegeven in figuur 2. Als eerste stap worden hiervoor schematisatie-eenheden afgeleid uit de bodemkaart en de geohydrologische opbouw van de ondergrond. Voor verschillende bodemmateriaalsoorten zijn k-waarden geïnventariseerd en aangevuld met metingen in het veld. De combinatie van beide gegevens levert de k-waardekaart voor het beheersgebied van waterschap Peel en Maasvallei. Deze kaart geeft de doorlatendheid op het niveau waarop infiltratie zal plaatsvinden.



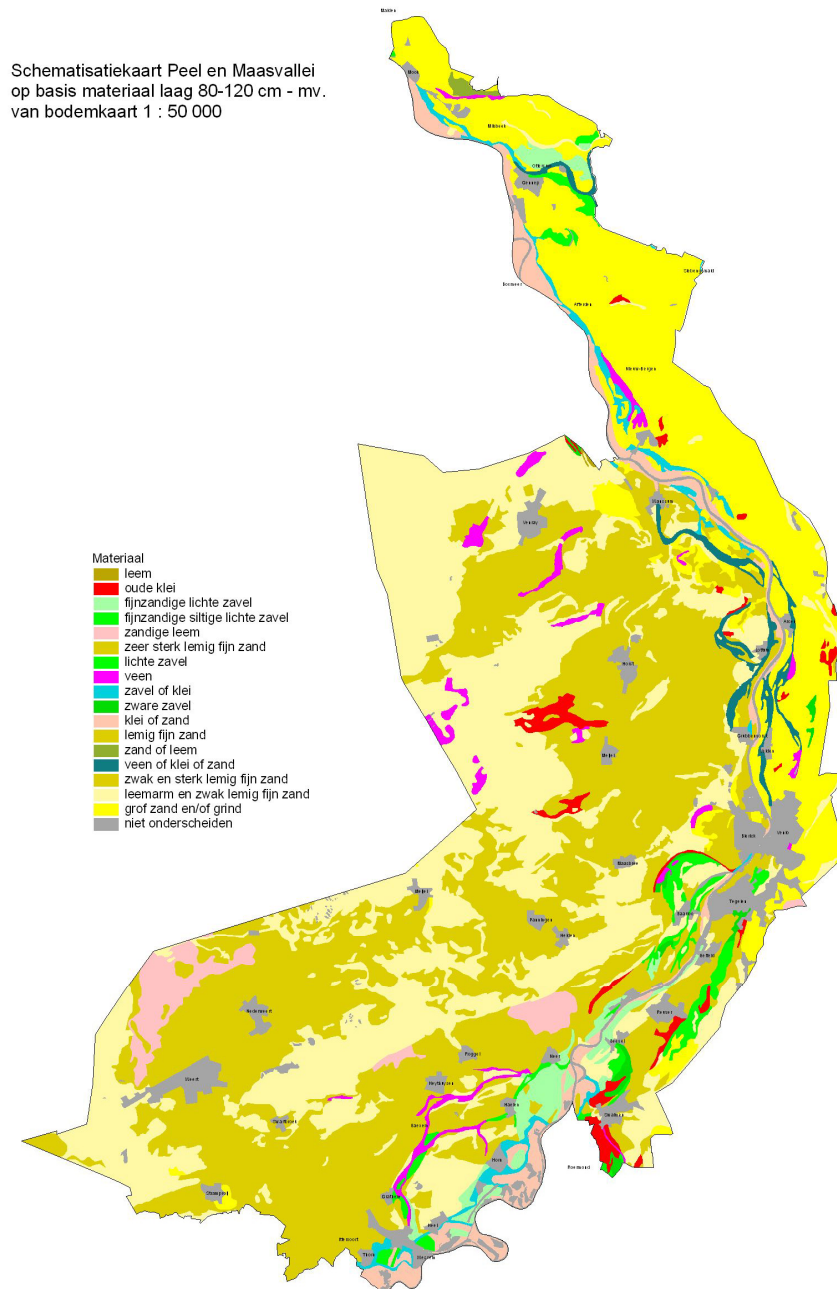
Figuur 2 Werkwijze bij bepaling van de k-waarde kaart

3.2 Indeling in schematisatie-eenheden

Voor de gebiedsindeling op basis van bodemmateriaal is de opbouw van de ondergrond van belang. Informatie hierover is te ontleen aan de bodemkaart en de schematisatie van de diepere ondergrond uitgevoerd door NITG (Wateratlas).

De eigenschappen van het bodemmateriaal zijn tot een diepte van 1,20 m - mv beschreven in de toelichting bij de bodemkaart 1: 50 000. Deze kaart is gebiedsdekkend digitaal beschikbaar. Omdat bij de infiltratievoorzieningen van

regenwater, vooral de eigenschappen van bodemlagen dieper dan 1 m - mv van belang zijn, is de bodemkaart geassocieerd naar materiaalsoorten die voorkomen op een diepte van 80-120 cm - mv. Hierbij zijn in eerste instantie 17 materiaalsoorten onderscheiden. Het resultaat is in figuur 3 weergegeven.

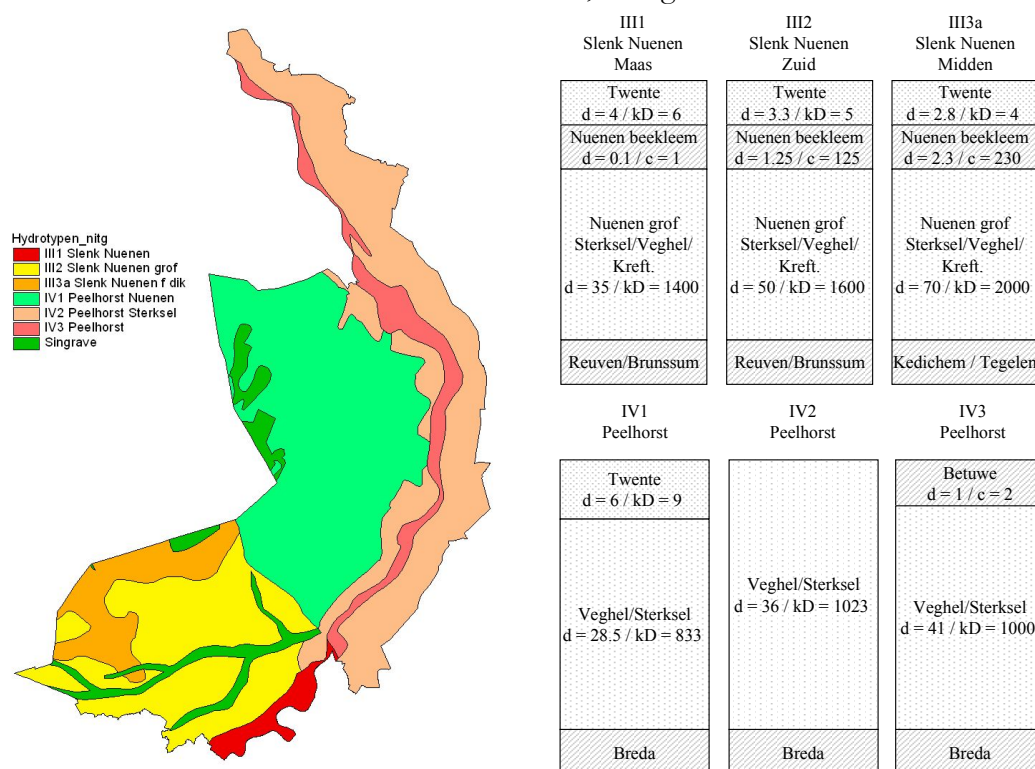


Figuur 3 Kaart met bodemmateriaal tussen 80-120 cm – mv

In de periode 1970-1980 is nog een aantal detailkarteringen uitgevoerd (schaal 1 : 10 000) (bijlage 8). Omdat deze detailkarteringen niet gebiedsdekkend en niet digitaal zijn, zijn ze niet direct bruikbaar en daardoor in dit onderzoek niet meegenomen. Het verdient wel aanbeveling deze kaarten te laten scannen en te

georefereren, waardoor ze bruikbaar worden in een GIS-omgeving. Deze kaarten geven gedetailleerdere informatie en meer onderscheid in bodemtypen. Hierdoor is op basis van detailkarteringen bijvoorbeeld meer informatie bekend over de verbreiding van storende leemlagen, welke van grote invloed is op de doorlatendheid van de bodem. Vooral in het beheersgebied van waterschap Peel en Maasvallei komen relatief veel gronden voor met een hoog leemgehalte. Dit komt maar in geringe mate tot uiting in de bodemkaart 1: 50.000.

Door NITG is de diepere ondergrond geschematiseerd in een beperkt aantal geohydrologische eenheden op basis van de opbouw van de matig diepe ondergrond. Totaal kunnen 6 eenheden worden onderscheiden, zie figuur 4.

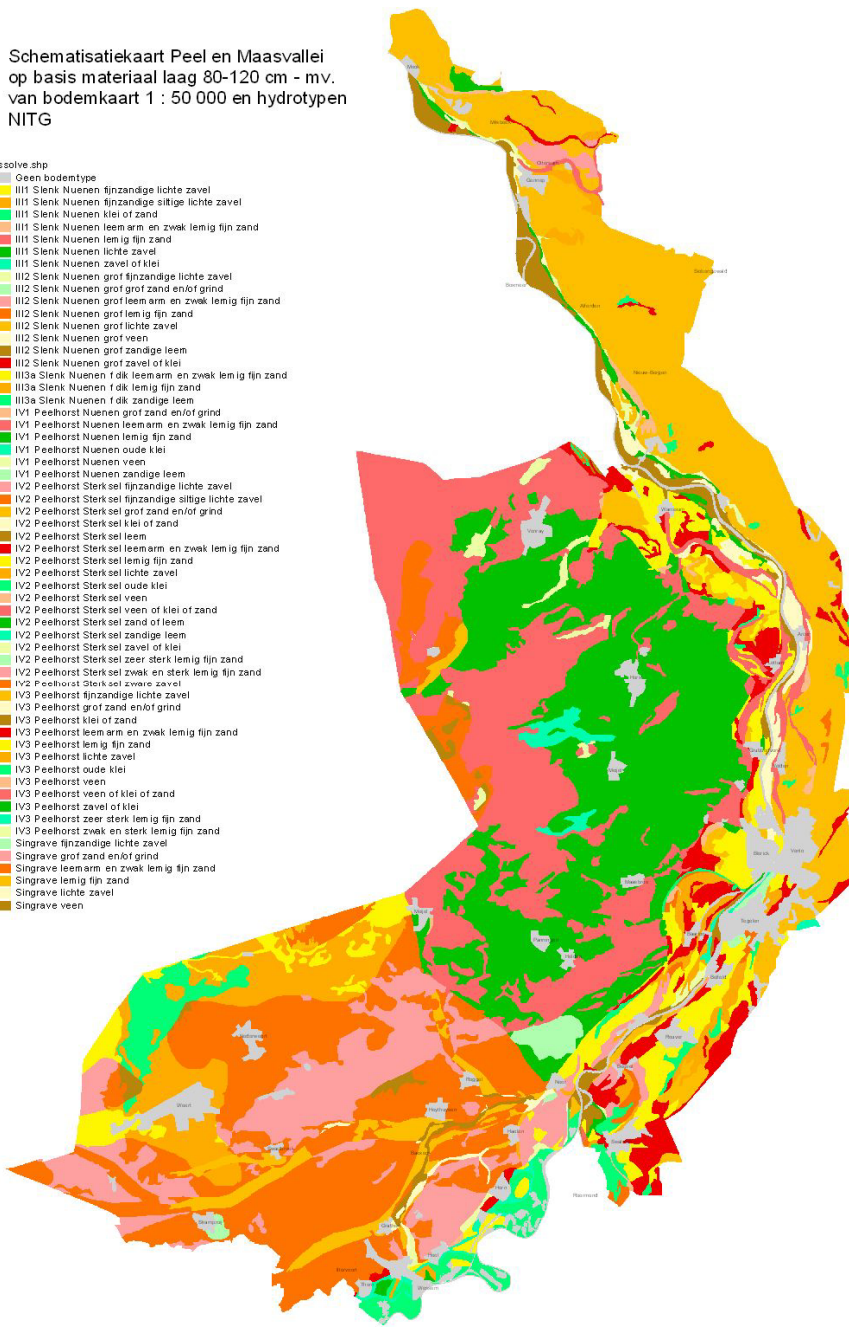


Figuur 4 Geohydrologische schematisatie van de ondergrond voor waterschap Peel en Maasvallei

Naast de 6 geohydrologische eenheden of hydrotypen wordt de eenheid Singraven onderscheiden. Voor de ruimtelijke schematisering zijn de kaarten uit figuur 3 en 4 vervolgens gecombineerd. Bij deze combinatie ontstaan een aantal kleine eenheden, snippers ed. Om het aantal schematisatie-eenheden te beperken, zijn vervolgens vlakken samengevoegd. Hierbij is een grens gehanteerd van 10 ha. De resulterende kaart met schematisatie-eenheden is weergegeven in figuur 5.

Schematisatiekaart Peel en Maasvallei
op basis materiaal laag 80-120 cm - mv.
van bodemkaart 1 : 50 000 en hydrotypen
NITG

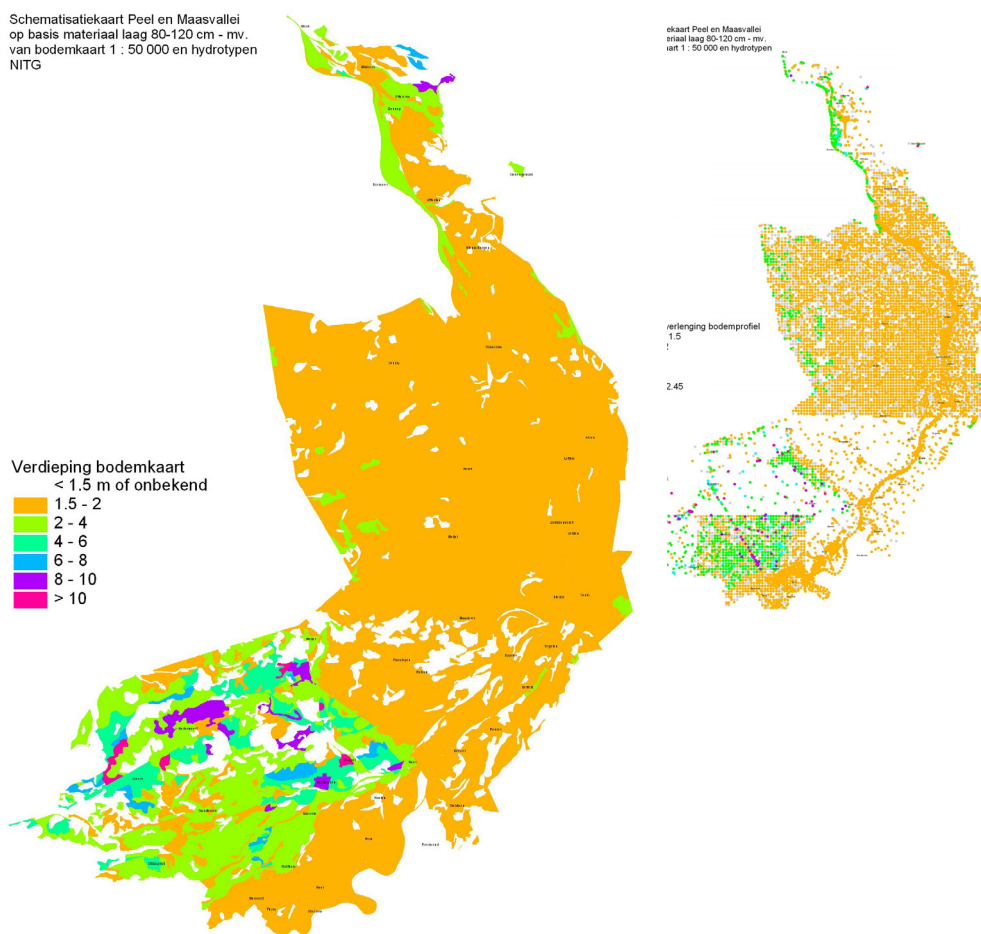
- Dissolve.shp
- Geen bodemtype
 - III1 Slenk Nuenen fijnzandige lichte zavel
 - III1 Slenk Nuenen fijnzandige siltige lichte zavel
 - III1 Slenk Nuenen klei of zand
 - III1 Slenk Nuenen leem arm en zwak lemig fijn zand
 - III1 Slenk Nuenen lemig fijn zand
 - III1 Slenk Nuenen lichte zavel
 - III1 Slenk Nuenen zavel of klei
 - III2 Slenk Nuenen grof fijnzandige lichte zavel
 - III2 Slenk Nuenen grof grof zand en/of grind
 - III2 Slenk Nuenen grof leem arm en zwak lemig fijn zand
 - III2 Slenk Nuenen grof lemig fijn zand
 - III2 Slenk Nuenen grof lichte zavel
 - III2 Slenk Nuenen grof veen
 - III2 Slenk Nuenen grof zandige leem
 - III2 Slenk Nuenen grof zavel of klei
 - III3a Slenk Nuenen f dk leem arm en zwak lemig fijn zand
 - III3a Slenk Nuenen f dk lemig fijn zand
 - III3a Slenk Nuenen f dk zandige leem
 - IV1 Peelhorst Nuenen grof zand en/of grind
 - IV1 Peelhorst Nuenen leem arm en zwak lemig fijn zand
 - IV1 Peelhorst Nuenen lemig fijn zand
 - IV1 Peelhorst Nuenen oude klei
 - IV1 Peelhorst Nuenen veen
 - IV1 Peelhorst Nuenen zandige leem
 - IV2 Peelhorst Sterk sel fijnzandige lichte zavel
 - IV2 Peelhorst Sterk sel fijnzandige siltige lichte zavel
 - IV2 Peelhorst Sterk sel grof zand en/of grind
 - IV2 Peelhorst Sterk sel klei of zand
 - IV2 Peelhorst Sterk sel leem
 - IV2 Peelhorst Sterk sel leem arm en zwak lemig fijn zand
 - IV2 Peelhorst Sterk sel lemig fijn zand
 - IV2 Peelhorst Sterk sel lichte zavel
 - IV2 Peelhorst Sterk sel oude klei
 - IV2 Peelhorst Sterk sel veen
 - IV2 Peelhorst Sterk sel veen of klei of zand
 - IV2 Peelhorst Sterk sel zand of leem
 - IV2 Peelhorst Sterk sel zandige leem
 - IV2 Peelhorst Sterk sel zavel of klei
 - IV2 Peelhorst Sterk sel zeer sterk lemig fijn zand
 - IV2 Peelhorst Sterk sel zwak en sterk lemig fijn zand
 - IV2 Peelhorst Sterk sel zware zavel
 - IV3 Peelhorst fijnzandige lichte zavel
 - IV3 Peelhorst grof zand en/of grind
 - IV3 Peelhorst klei of zand
 - IV3 Peelhorst leem arm en zwak lemig fijn zand
 - IV3 Peelhorst lemig fijn zand
 - IV3 Peelhorst lichte zavel
 - IV3 Peelhorst oude klei
 - IV3 Peelhorst veen
 - IV3 Peelhorst veen of klei of zand
 - IV3 Peelhorst zavel of klei
 - IV3 Peelhorst zeer sterk lemig fijn zand
 - IV3 Peelhorst zwak en sterk lemig fijn zand
 - Singrave fijnzandige lichte zavel
 - Singrave grof zand en/of grind
 - Singrave leem arm en zwak lemig fijn zand
 - Singrave lemig fijn zand
 - Singrave lichte zavel
 - Singrave veen



Figuur 5 Schematisatie-eenheden waterschap Peel en Maasvallei

3.3 ‘Verdieping’ bodemkaart op basis informatie uit NITG-boringen.

Omdat infiltratie vaak op grotere diepte dan 120 cm - mv plaatsvindt, is nagegaan of de bodemkaart kan worden ‘verdiept’ met gegevens uit diepere boringen. Om de bodemkaart te verdiepen is voor alle beschikbare NITG-boringen de onderkant van de laag bepaald welke begint boven de 120 cm - mv (onderkant van de bodemkaart).



Figuur 6 Gemiddelde diepte verdiept bodemvlak uit bodemkaart.

Op deze manier is de bodemkaart, die meer onderscheidingen kent, te verdiepen met boringen uit het NITG bestand die slechts worden onderscheiden op basis van grof zand, fijn zand, leem, klei en veen. Als het hoofdbestanddeel, bijv. fijn zand, overeenkomt met de bodemkaart wordt vervolgens aangenomen dat daarmee de onderste laag uit de bodemkaart kan worden verdiept. De verkregen gegevens zijn in figuur 6 op twee manieren weergegeven, nl. als gemiddelde diepte onderkant per onderscheiden bodemvlak en als puntinformatie.

Uit beide kaarten kunnen we het volgende concluderen:

- De meeste boringen geven de mogelijkheid om de bodemkaart te verdiepen;
- een aantal boringen is op 2,00 m - mv afgekapt (zie hoofdstuk 4); voor deze boringen is de verdieping mogelijke onderschat;
- de verdieping reikt voor het grootste deel tot 1,5-2,0 m – mv;
- in de Roerdalslenk is verdere verdieping mogelijk;
- de bezetting met boringen in het zuidelijk deel van het waterschap is ijler dan in het noordelijke deel.

3.4 k-waarden gegevens

Voor het omzetten van de kaart met schematisatie-eenheden naar een k-waarde kaart dient een k-waarde tabel naar materiaalsoort te worden gemaakt. Voor het opstellen van deze tabellen waren vooraf de volgende bronnen beschikbaar:

- Schattingen op basis van BIS-boringen (89 boringen);
- Metingen verzameld door waterschap Peel en Maasvallei.

Naast deze vooraf beschikbare gegevens zijn na inventarisatie van de beschikbare gegevens aanvullende metingen uitgevoerd.

3.4.1 Beschikbare k-waardegegevens

Als eerste stap zijn de k-waarden geschat op basis van BIS boringen en de gegevens van het waterschap gekoppeld aan de kaart met schematisatie-eenheden. In bijlage 1, tabel B1.2 en B1.3, zijn de k-waarden uit beide bronnen per schematisatie-eenheden weergegeven. Beide tabellen zijn vervolgens gecombineerd (bijlage 1, tabel B1.4).

Uit deze combinatie van gegevens blijkt dat niet voor alle onderscheiden schematisatie-eenheden gegevens beschikbaar zijn uit beide gegevensbronnen. Voor eenheden waar vergelijking mogelijk is, blijkt dat voor sommige eenheden er een goede overeenkomst is tussen geschatte doorlatendheid op basis van boorgegevens (Alterra) en de gemeten doorlatendheid (waterschap). Er zijn echter ook enkele eenheden waarbij de waarden aanzienlijk verschillen. Oorzaken van deze verschillen kunnen zijn:

- vergelijking van 1 meting met meerdere andere metingen, waardoor uitschieters een grotere rol spelen;
- verschil in materiaalaanduiding (geen uniformiteit);
- verschil in niveau, waardoor het bodemmateriaal verschilt.

Vooraf de eenheden: IV2 Peelhorst Sterksel fijnzandige lichte zavel en Singrave lemig fijn zand verschillen.

Uit bijlage 1 tabel B1.6 en B1.7 blijkt dat er behoorlijke verschillen kunnen zitten in de omschrijving van het bodemmateriaal, bijv.

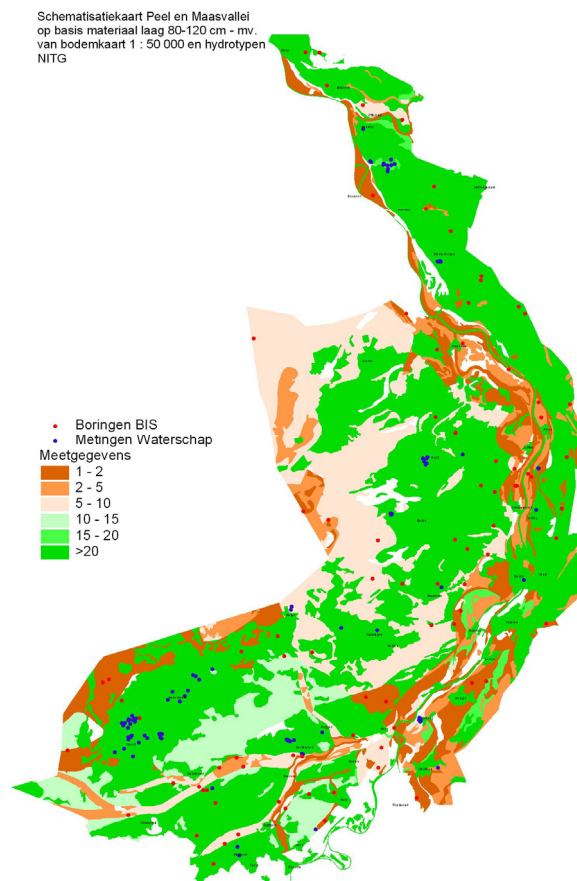
Matig fijn zand versus grof zand en/of grind en
Zeer fijn tot matig fijn zand versus lichte zavel.

Het aantal metingen per schematisatie-eenheid (bijlage 1, tabel B1.4) is gekoppeld aan de schematisatie-eenhedenkaart. In figuur 7 is per schematisatie-eenheid het aantal beschikbare meetgegevens weergegeven. Naarmate meer gegevens per schematisatie-eenheid beschikbaar zijn, kan ook iets worden gezegd over de spreiding in de k-waarde.

Uit figuur 7 kan het volgende worden geconcludeerd:

- er zijn een aantal schematisatie-eenheden waarvoor geen k-waarden beschikbaar zijn (witte vlakken);

- voor een aantal schematisatie-eenheden is het aantal metingen te gering, om op basis van de beschikbare waarden een goede schatting te kunnen maken van het betrouwbaarheidsinterval van de k-waarde (oranje gebieden);
- gebieden met een gering aantal beschikbare k-waarden bevinden zich vooral langs de Maas, in het dal van de Tungelroysche beek, en op de grens met Noord-Brabant;
- de metingen die zijn verzameld door het waterschap bevinden zich vaak in clusters dichtbij elkaar (blauwe punten).



Figuur 7 Aantal metingen per schematisatie-eenheid en locatie k-waarde schattingen en metingen.

Vanwege het ontbreken van voldoende dekking van de schematisatie-eenheden met k-waarde gegevens, is eveneens op basis van materiaalcode (bijlage 1, tabellen B1.8 en B1.9) een kaart (bijlage 1, figuur B1.1) gemaakt. Deze tabellen zijn daarvoor gecombineerd tot tabel B1.5.

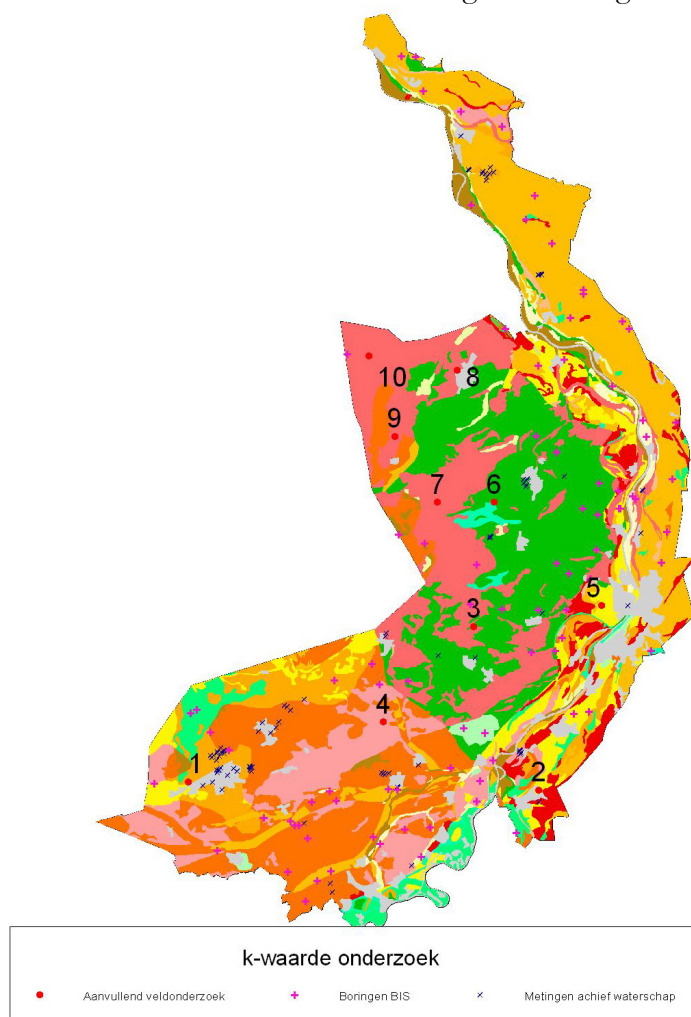
Uit bijlage 1, figuur B1.1 blijkt dat uitgaande van materiaalsoort er meer k-waarden per eenheid beschikbaar zijn waardoor er ook meer gezegd kan worden over het betrouwbaarheidsinterval van de k-waarde.

Ook uit bijlage 1, tabel B1.5 blijkt dat voor zavelig materiaal de k-waarde volgens de database van het waterschap veel hogere waarden geeft dan de schattingen op basis

van het BIS. Een mogelijke verklaring is dat het zavelige materiaal vooral ondiep voorkomt en de metingen zijn uitgevoerd in de diepere zandige ondergrond. Bijlage 1, figuur B1.2 geeft aan dat de gebieden langs de Maas zijn gelegen, hier mag worden verwacht dat onder de zavelige afzettingen grovere zandlagen met hogere doorlatendheden voorkomen.

3.4.2 Aanvullende gemeten k-waardegegevens

Op basis van de hiaten met betrekking tot k-waarden en de ligging van mogelijke toekomstige bouwlocaties (infiltratieprojecten) zijn door het waterschap 10 locaties geselecteerd, waar door middel van veldonderzoek boorgatmetingen zijn verricht. In figuur 8 is de ligging van de geselecteerde punten weergegeven evenals de locaties, waarvan vooraf k-waarden door meting of schattingen bekend waren.



Figuur 8 Locaties 1 t/m 10 waar aanvullende boorgatmetingen zijn uitgevoerd

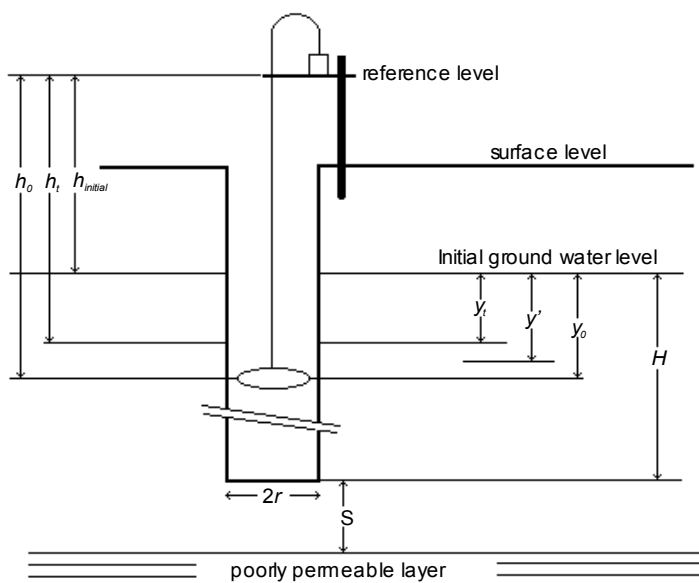
Als eerste stap zijn boorbeschrijvingen gemaakt van de meetlocaties (bijlage 2, tabel B2.1). Hierbij zijn boringen uitgevoerd tot in het grondwater. Het boorgat is open gelaten, zodat bij het vervolgbezoek de grondwaterstand ten opzichte van maaiveld

direct kon worden gemeten. Op 22 en 27 april zijn boorgatmetingen uitgevoerd. In figuur 9 is ter illustratie een boorgatopstelling weergegeven (locatie 7).



Figuur 9 Boorgatmeting locatie 7

Voor aanvang van de boorgatmeting wordt de initiële grondwaterstand gemeten. Vervolgens wordt een nieuw boorgat geboord, diameter 7 cm, tot ca 50-70 cm onder de initiële grondwaterstand. In het boorgat wordt een metalen filter geplaatst met de diameter van het boorgat. Om de waterstand in het boorgat te verlagen wordt met een puls water uit het boorgat gepulst (boorgatenmethode). De verlaagde waterstand in het boorgat veroorzaakt een stroming naar het boorgat, waardoor de waterstand stijgt. Om de snelheid van het stijgen van de waterstand in het boorgat te kunnen meten laat men een vlotter in het boorgat zakken tot op de waterspiegel, aan de vlotter is een meetband bevestigd, deze wordt bevestigd in een houder (zie figuur 9 en figuur 10).



Figuur 10 Schema opstelling boorgatmeting

Door toestroming van water naar het boorgat stijgt de waterspiegel in het boorgat en wordt de vlotter met de meetband omhoog geduwd. Met constante tijdsintervallen wordt vervolgens de waterstand afgelezen ten opzichte van een referentieniveau. Met onderstaande formule is vervolgens de k-waarde te berekenen (WUR, 2003).

$$k = C \frac{\Delta y}{\Delta t}$$

Waarin:

- k = doorlaatfactor ($\text{m} \cdot \text{d}^{-1}$);
- C = geometrie factor (-);
- Δy = verticale afstand bij twee opeenvolgende metingen (cm) ;
- t = tijd (s);
- b_i = uitgangsgroundwaterstand t.o.v. referentiepunt (cm).

De geometriefactor uit de bovenstaande formule is weergegeven in de onderstaande relatie:

$$C = \frac{4000 \frac{r}{y'}}{\left(20 + \frac{H}{r}\right)\left(2 - \frac{y'}{H}\right)} \quad S > 6r$$

Waarin:

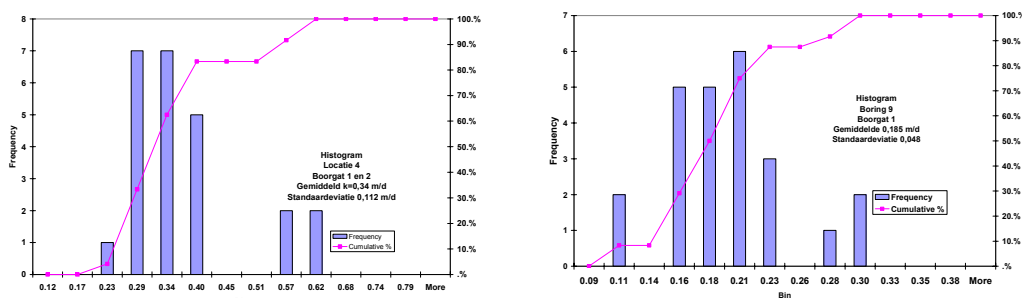
- H = natte lengte van het boorgat (cm);
- y' = verticale afstand tussen grondwaterniveau en gemiddeld niveau tussen twee opeenvolgende metingen (cm);
- r = straal van het boorgat (cm);
- S = afstand tussen onderkant boorgat en de diepere (ondoorlatend) bodemlaag (cm).

De metingen in een boorgat zijn gedurende 3-4 minuten om de 10/20 seconden uitgevoerd, dit levert ca 10 bepalingen van de k-waarde op. De berekende waarden zijn vervolgens gemiddeld. In elk boorgat zijn op deze wijze minimaal 2 doorgaande metingen uitgevoerd. Op elke locatie is in principe in 2 boorgaten gemeten. Locatie 2 was vanwege de grote diepte van de grondwaterstand niet te bemeten. De resultaten van de overige 9 locaties zijn in tabel 2 weergegeven.

Tabel 2 Resultaten k-waarde in m/d m.b.v. boorgatmetingen

Boorgat→	1		2			3		Gemiddeld	
Meting→	1	2	1	2	3	1	2	Log(k)	k
Locatie 1	0.53	0.34	1.18	0.77				0.63	0.70
Locatie 2	Niet gemeten								
Locatie 3	0.26	0.32	0.10	0.31				0.22	0.25
Locatie 4	0.65	0.71	0.62	0.90				0.71	0.72
Locatie 5	1.06	0.84						0.95	0.95
Locatie 6	0.46	0.55	0.25	0.51	0.90			0.41	0.50
Locatie 7	0.74	0.90	0.62	0.38	1.05	0.51	0.30	0.51	0.53
Locatie 8	0.82	0.87	0.99	1.07				0.83	0.94
Locatie 9	0.20	0.17	0.14	0.11				0.15	0.15
Locatie 10	0.88	0.86	0.42	0.43				0.58	0.60

De gemiddelde k-waarde kan op twee manieren worden bepaald, nl. rekenkundig en geometrisch of logaritmisch (tabel 2). Het geometrisch gemiddelde is een middeling die wordt uitgevoerd na een logaritmische transformatie van de gegevens. Het geometrisch gemiddelde moet worden gehanteerd indien de gegevens niet normaal verdeeld zijn. Het niet normaal verdeeld zijn van meetgegevens wordt vaak veroorzaakt door een harde grens. Vooral lage k-waarden kunnen worden beïnvloed door de grenswaarde van 0. K-waarden zijn immers altijd groter dan 0, waardoor uitschieters in de meetwaarden maar aan één kant van de verdeling voor kunnen komen. Dit heeft tot gevolg dat gemeten k-waarden veelal niet normaal verdeeld maar lognormaal verdeeld zijn. De eerste indruk uit tabel 2 is dat de k-waarde volgens beide middelingmethoden weinig verschilt. In figuur 11 zijn de verdelingen van de berekende k-waarden voor 2 locaties uitgezet.



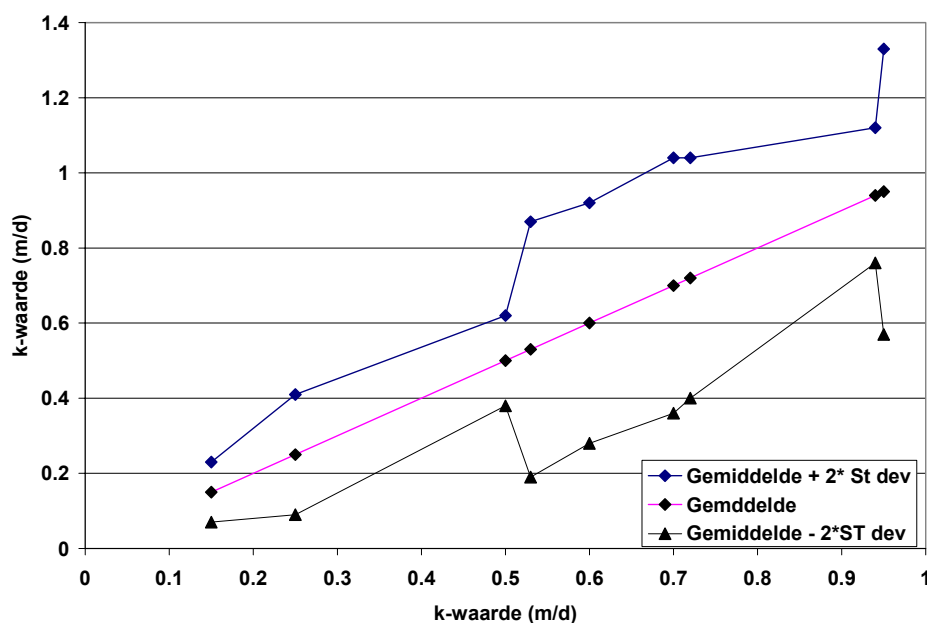
Figuur 11 Verdeling van de k-waarde per tijdsinterval voor de 2 diepe boorgaten bij locatie 4 (links) en voor alle metingen van een boorgat bij locatie 9.

De verdelingen in figuur 11 lijken enigszins af te wijken van de normale verdeling doordat enkele relatief hoge meetwaarden voorkomen, wat tot uiting komt in een staart naar hogere k-waarden. Bij de verdere berekeningen heeft het gebruik van een lognormaal verdeelde k-waarde de voorkeur.

Tabel 3 Standaarddeviatie tussen afzonderlijke waarnemingen

Boorgat	1		2			3		Gemiddelde
Meting	1	2	1	2	3	1	2	
1	0.20	0.07	0.21	0.21				0.17
2	Niet gemeten							
3	0.10	0.10	0.04	0.06				0.08
4	0.10	0.12	0.14	0.30				0.16
5	0.18	0.20						0.19
6	0.06	0.05	0.07	0.04	0.11			0.06
7	0.11	0.38	0.11	0.24	0.07	0.10	0.18	0.17
8	0.07	0.07	0.10	0.14				0.09
9	0.05	0.05	0.03	0.01				0.04
10	0.11	0.04	0.04	0.43				0.16

De standaarddeviatie tussen de metingen in elk boorgat is weergegeven in tabel 3. Het gemiddelde van de standaardafwijking voor elke boorgatmeting uit tabel 3 is gebruikt voor het weergeven van het 95%-betrouwbaarheidsgebied in figuur 12. Deze varieert tussen 0,04 en 0,19 cm. De laagste standaarddeviatie komt overeen met de laagste gemeten k-waarde.



Figuur 12 95% betrouwbaarheidsinterval gemeten k-waarden

Bij gebruik van de boorgatmeting kunnen er verschillende fouten optreden die het resultaat kunnen beïnvloeden. Deze fouten kunnen ontstaan door de volgende oorzaken:

- diameter boorgat is groter uitgeboord dan 7,0 cm, effect werkt in één richting;
- boorgat is dieper uitgeboord of is gedeeltelijk vol gelopen, effect kan in twee richtingen werken;
- het referentieniveau is te hoog of te laag vastgesteld, effect kan in twee richtingen werken;

- de uitgangsgrondwaterstand is nog niet bereikt.

Om het effect van mogelijke fouten te onderzoeken is een gevoeligheidsanalyse uitgevoerd, waarbij de volgende aanpassingen zijn gehanteerd:

1. $r=3,5 \text{ cm} \rightarrow 4 \text{ cm}$,
2. H verhoogd met 5 cm,
3. H verlaagd met 5 cm,
4. h_{init} verhoogd met 5 cm,
5. h_{init} verlaagd met 5 cm,
6. $k_{\text{max}} \rightarrow r=4,0 \text{ cm}$, H verlaagd met 5 cm, h_{init} verhoogd met 5 cm,
7. $k_{\text{min}} \rightarrow H$ verhoogd met 5 cm, h_{init} verlaagd met 5 cm.

De samenvatting van de resultaten van de analyse is weergegeven in tabel 4. In bijlage 3, tabel B3.1 t/m B3.16 zijn de afzonderlijke tabellen weergegeven.

Tabel 4 Gevoeligheidsanalyse op k-waarde door variatie in r, H en h_{init}

Boor- gat	Meet- gegevens		Betrouwbaar- heidsinterval		r	H			h_{init}		k	
			Gemiddelde									
Meting	Gem.	stdev	+2*stdev	-2*stdev	4 cm	+5cm	-5cm	+5cm	-5cm	max	min	
1	0.70	0.17	1.04	0.36	0.82	0.66	0.74	0.73	0.67	0.91	0.62	
3	0.25	0.08	0.41	0.09	0.28	0.23	0.26	0.26	0.23	0.33	0.21	
4	0.72	0.16	1.04	0.40	0.85	0.69	0.77	0.79	0.69	0.98	0.62	
5	0.95	0.19	1.33	0.57	1.09	0.91	1.02	1.00	0.94	1.20	0.86	
6	0.50	0.06	0.62	0.38	0.61	0.51	0.51	0.53	0.51	0.69	0.45	
7	0.53	0.17	0.87	0.19	0.73	0.62	0.64	0.66	0.61	0.81	0.57	
8	0.94	0.09	1.12	0.76	1.05	0.87	0.99	0.95	0.91	1.17	0.84	
9	0.15	0.04	0.23	0.07	0.18	0.15	0.15	0.16	0.15	0.20	0.14	
10	0.60	0.16	0.92	0.28	0.74	0.64	0.64	0.74	0.60	0.92	0.53	

Uit tabel 4 blijkt dat de berekende k-waarde als gevolg van variatie in de r, H en h_{init} altijd binnen het 95%-betrouwbaarheidsinterval van de k-waarde ligt. Ook indien alle fouten dezelfde kant uitwerken ligt de k-waarde bijna altijd binnen het 95%-betrouwbaarheidsinterval die berekend wordt op basis van de metingen. Alleen de berekende k_{max} voor locatie 6 en 8 valt buiten het 95%-betrouwbaarheidsinterval. Op basis van deze analyse lijkt het er op dat de onzekerheid op basis van de meetgegevens is overschat. Hierbij moet echter worden opgemerkt dat bij de analyse geen rekening is gehouden met de factor tijd (het interval). De algehele conclusie is dat het 95%-betrouwbaarheidsinterval berekend op basis van de metingen een geschikte maat is om variatie in de k-waarde als gevolg van mogelijke meetfouten te beschrijven.

3.4.3 Definitieve k-waarde tabel

De beschikbare meetgegevens van het waterschap en de schattingen van de k-waarde op basis van materiaalsoort en aan de hand van boringen (BIS), aangevuld met specifiek voor dit onderzoek verrichte boorgatmetingen zijn gebruikt voor het opstellen van een definitieve k-waarde tabel (tabel 5). Voor alle onderscheiden materiaalsoorten die tussen 80-120 cm - mv worden onderscheiden (figuur 3) zijn

waarden geschat voor de k_h , de standaard deviatie (st dev), de anisotropie (aniso) en de k_v . De k_h waarde is dus afgeleid uit beschikbare gegevens, waarbij tevens is gekeken naar de k_{sat} voor ondergronden uit de zogenaamde Brabantreeks (Stiboka, 1988) die qua omschrijving overeenkomen met het materiaal op een diepte van 80-120 cm - mv. Voor de anisotropiefactor per materiaalsoort is voor klei/leem en grind een waarde 1, voor zandige afzettingen een waarde 3 en voor veen, zavel of tussenvormen de waarde 2 aangehouden. Met de anisotropiefactor is de k_v te bepalen als de k_h bekend is. De standaarddeviatie is toegekend op basis van de ervaring opgedaan met de boorgatmetingen gecombineerd met de schattingen voor k_{min} en k_{max} .

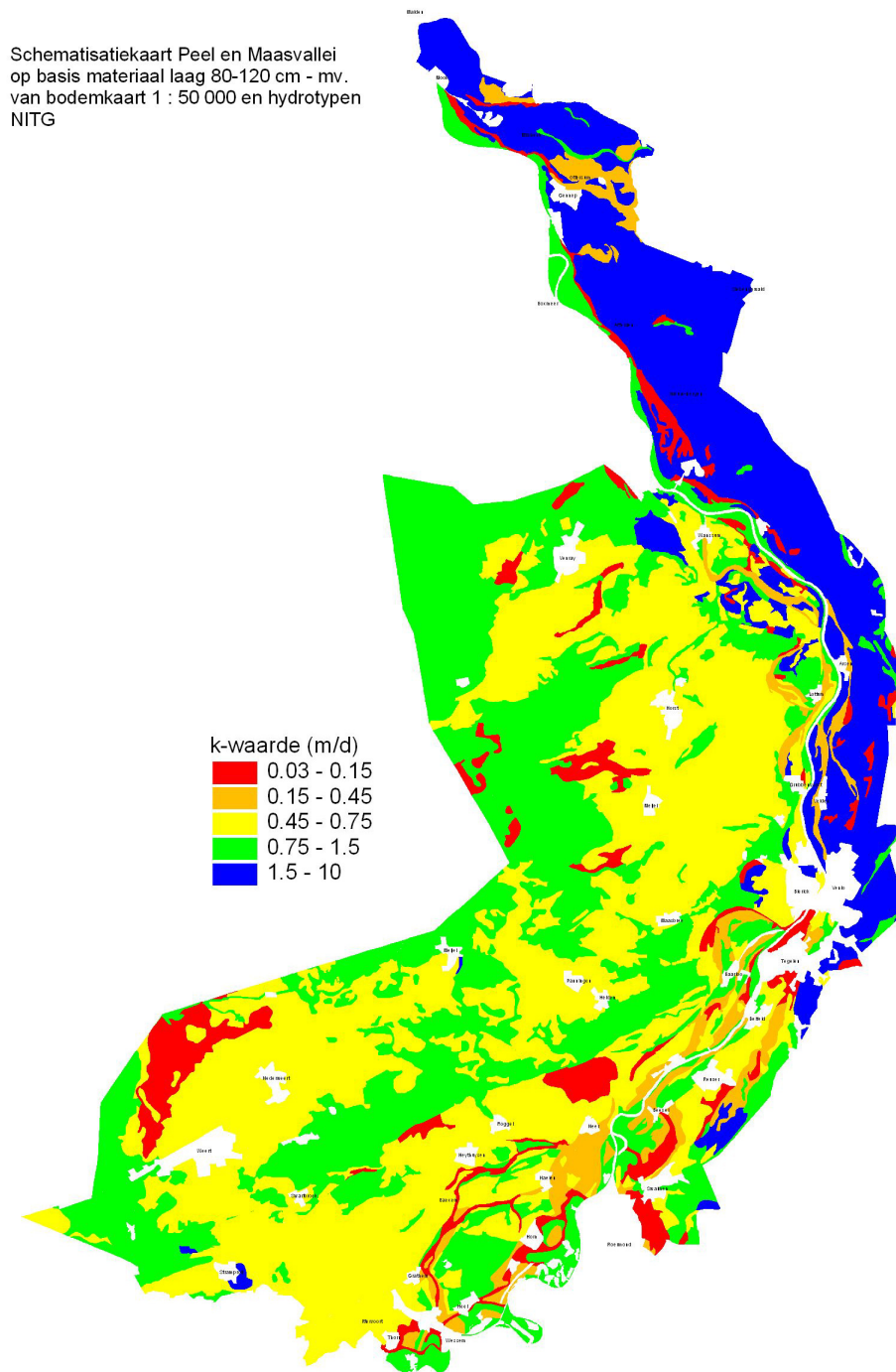
Tabel 5 Afgeleide k-waarde per materiaalsoort.

Materiaal	Resulterende k-waarde				Brabantreeks	Schatting op basis materiaalsoort				Waterschap		BIS boringen		
	k_h	st dev	aniso	k_v		k_{gem}	aniso	k_{min}	k_{max}	n	k_h	n	k_h	
Geen								0.00	0.00	5	0.41	1	10.0	
fijnzandige lichte zavel	0.25	0.10	2	0.13	0.350	0.09	3	0.01	0.24			4	0.43	
fijnzandige siltige lichte zavel	0.25	0.10	2	0.13	0.350	0.09	3	0.01	0.24			1		
grof zand en/of grind	10.0	2.00	1	10.0	8.000	10.0	0	3	1.00	20.0	11	16.7	9	6.15
klei of zand	1.00	0.25	3	0.33		0.30	3	0.06	10.0			1	0.15	
oude klei	0.10	0.10	1	0.10	0.350	0.06	3	0.01	0.20			2	0.05	
leemarm en zwak lemig fijn zand	1.00	0.25	3	0.33	1.750	1.50	2	0.30	3.00	2	5.50	1		
lemig fijn zand	0.60	0.15	3	0.20	1.000	0.45	3	0.06	0.90	34	1.31	2	0.97	
lichte zavel	0.35	0.10	2	0.18	0.350	0.15	1	0.03	0.45	6	2.90	3		
veen	0.10	0.05	2	0.05	0.080	0.15	1	0.01	0.60			2	0.3	
zandige leem	0.10	0.05	2	0.05	0.080	0.09	3	0.01	0.20			5	0.42	
zavel of klei	0.15	0.05	2	0.08		0.15	2	0.06	0.30					
zeer sterk lemig fijn zand	0.15	0.05	3	0.05	0.270	0.09	3	0.01	0.15					
zwak en sterk lemig fijn zand	0.45	0.25	3	0.15	1.500	0.45	3	0.06	1.00					
zware zavel	0.15	0.05	2	0.08	0.018	0.15	1	0.03	0.30			1	0.15	
veen of klei of zand	0.45	0.25	3	0.15		0.45	3	0.03	5.00					
zand of leem	0.45	0.25	3	0.15		0.45	3	0.01	3.00					
leem	0.03	0.02	1	0.03	0.050	0.03	3	0.01	0.15			1	0.03	

3.5 K-waarde kaart

Door de k-waarde tabel (tabel 5) te combineren met de grondsoortenkaart (figuur 3) is een k-waarde kaart gemaakt van het materiaal tussen 80-120 cm - mv. Dit betreft de horizontale doorlatendheid. In figuur 13 is de k waarde ruimtelijk weergegeven. Gebieden met lage k-waarden zijn vooral gelegen langs de Maas. Daarnaast komen enkele geïsoleerde gebieden voor met zandige leem, oude klei of veen, die eveneens een lage k-waarde hebben. In een strook ten oosten van de Maas komen relatief hoge k-waarden voor, hier is de dikte van de deklaag gering en zit het grove zand relatief ondiep. Voor het overgrote deel van het gebied zijn k-waarden geschat tussen de 0,6-1,0 m/d.

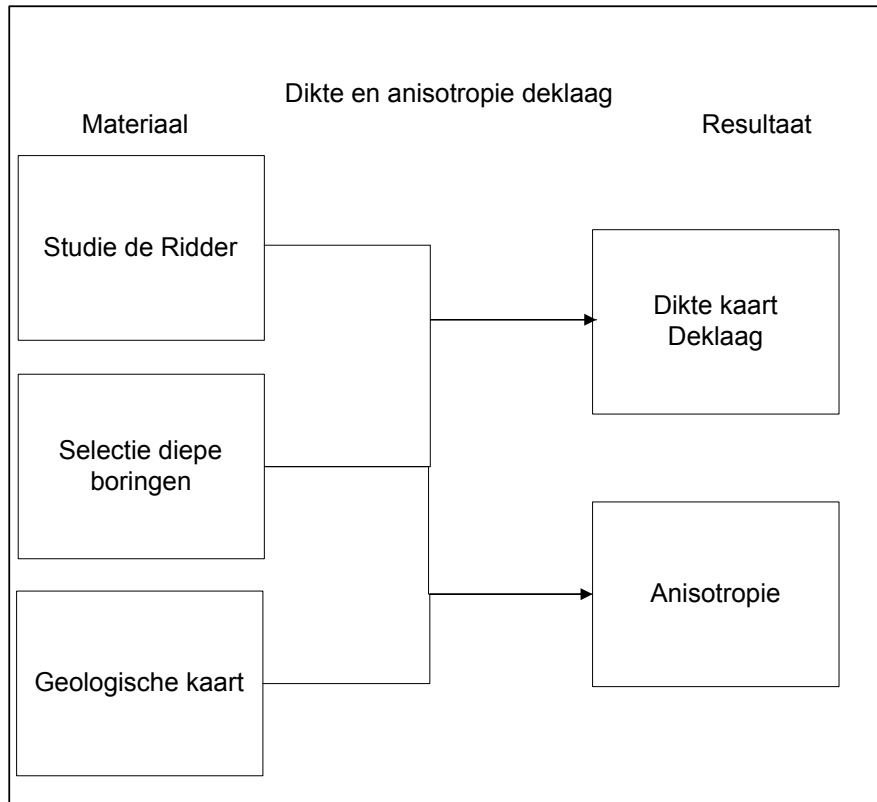
Deze kaart geeft vooral de horizontale k-waarde weer van het materiaal op ca 1,0 m - mv. Bij infiltratie in de deklaag is ook de verticale doorlatendheid van belang, deze is als gevolg van gelaagdheid veelal lager (tabel 5). Deze k-waarden hebben betrekking op de eigenschappen van de bodemlaag waarin water infiltreert. Daarnaast kunnen op grotere diepte binnen de deklaag lagen voorkomen met afwijkende eigenschappen (bijv. klei, leem of veen), die van invloed zijn op de infiltratiemogelijkheden.



Figuur 13 K-waarde kaart

4 Dikte en anisotropie deklaag

De gevolgde werkwijze bij het maken van een dikte kaart van de deklaag en de anisotropie van de deklaag is weergegeven in figuur 14.



Figuur 14 Werkwijze bij bepaling dikte kaart deklaag en anisotropie

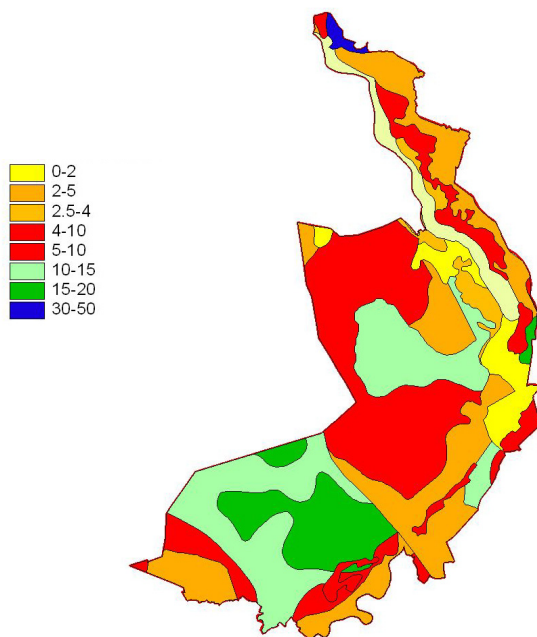
4.1 Dikte deklaag

De deklaag wordt gevormd door afzettingen behorende tot de Nuenengroep. Het begrip Nuenengroep is ingevoerd voor de Centrale Slenk om afzettingen samen te vatten behorende tot de Formatie van Twente en Eindhoven, incl. de tussengelegen aantoonbare Formatie van Asten. Het geheel komt overeen met het begrip zanddiluvium volgens Zonneveld. De Ridder et al, 1967 omschrijft het zanddiluvium als fijne zanden, lemig zand, zandige leem, en leem die de Veghel en Grubbenvorst formatie bedekt. Voor het vaststellen van de dikte van de deklaag is gebruik gemaakt van de volgende bronnen:

- Studie Kwetsbaarheid (Duijvenbouden en Breeuwsma, 1987);
- Studie De Ridder (1967);
- LGM Dikte (Pastoors, 1992);
- Boringen NITG (Linden Van der, 2002);
- Waterconservering.

Studie kwetsbaarheid

Een van de resultaten van deze studie is een diktekaart van het afdekkende pakket (figuur 15). Het afdekkend pakket is in deze studie gedefinieerd als het pakket bestaande uit een of meerdere matig tot slecht doorlatende lagen, gelegen boven het eerste watervoerend pakket. De totale dikte van de deklaag is de som van de met water onverzadigde en de waterverzadigde laag. Uit deze afdekkende laag is geen waterwinning van enige omvang mogelijk ($kD < 250 \text{ m}^2/\text{d}$). Het eerste watervoerend pakket wordt gekarakteriseerd door de aanwezigheid van meer grofzandig ontwikkelde lagen met een $kD > 250 \text{ m}^2/\text{d}$. Globaal kunnen we uit de kaart afleiden dat de dikte van de deklaag gering is langs de Maas en relatief dik is in de Centrale Slenk (meer dan 10 m).



Figuur 15 Dikte afdekkende laag in meters uit studie kwetsbaarheid (Duyvenbooden et al., 1987)

Studie De Ridder

Door De Ridder is een diktekaart gemaakt van het Zanddiluvium. Hiervoor zijn boringen geplaatst en geïnterpreteerd o.a. voor het vaststellen van de dikte van de deklaag. Op basis van de boorgegevens en de ligging van geologische breuken zijn isolijnen voor de dikte van de deklaag gemaakt (Bijlage 4, figuur B4.1). Uit deze figuur volgt in grote lijnen hetzelfde beeld. Een geringe dikte ten oosten van de Maas en de grootste dikte in de Centrale Slenk.

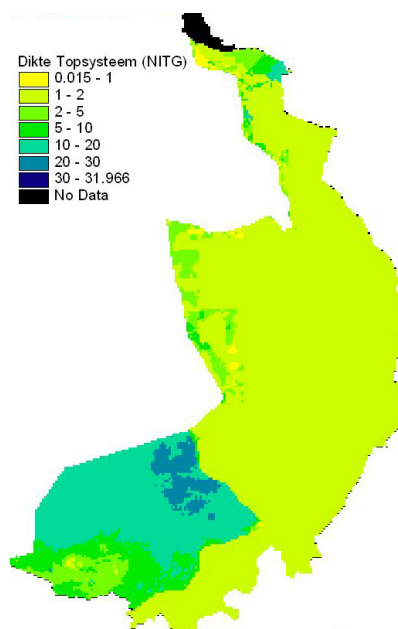
Landelijk GrondwaterModel (LGM)

In LGM is alleen in de Centrale Slenk een deklaag meegenomen. Daarbuiten is een dikte van 0 m gehanteerd.

Boringen NITG

Door NITG is voor de boringen in hun Archief de dikte van de deklaag bepaald. De diepteligging van de onderkant van het topsysteem is afgeleid uit REGIS-

gidslaagbestanden. De REGIS-bestanden zijn niet landsdekkend. De ontbrekende delen zijn aangevuld. Een deel van het beheersgebied van het waterschap behoort tot het deelgebied Lage Rijn- en Maasterrassen, hiervoor is een vaste dikte van 2 m toegepast. Daardoor hebben de meeste boringen een dikte deklaag tot 2 m - mv, dit blijkt ook uit de resulterende diktekaart (figuur 16).



Figuur 16 Dikte deklaag in meters uit landelijk karakterisatie topsysteem (Van der Linden et al., 2002)

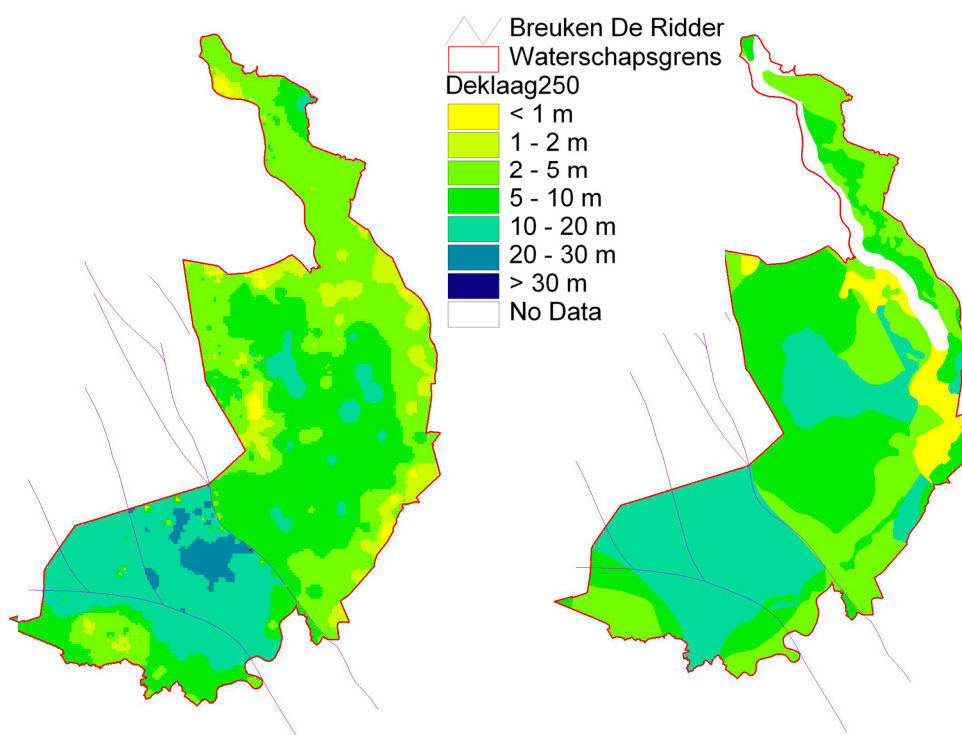
Waterconservering (RWCM-model)

Door NITG is in een EUREGIO studie onderzoek gedaan naar de mogelijkheden voor waterconservering. Een van de resultaten van deze studie was een aantal databestanden m.b.t. tot de opbouw van de ondiepe ondergrond. In bijlage 5 is de dikte van de het freatisch watervoerend pakket (1a) weergegeven evenals de weerstand van de onderliggende c-waarde. In het westelijke deel van het waterschap is een weerstandsbiedende laag aanwezig met een zeer hoge c-waarde, de weerstand neemt af in oostelijke richting en is afwezig in het dal van de Maas. De dikte van het freatisch pakket is overwegend enkele meters, en vertoont een grillig verloop met uitschieters. Doordat de onderzijde van de onderscheiden lagen is afgekapt bij het bereiken van een bepaalde grootte van de c-waarde, is de dikte niet altijd een maat voor de dikte van de deklaag. Daarom zijn de gegevens niet direct bruikbaar voor het bepalen van de dikte van de deklaag.

Resulterende diktekaart deklaag

Uit enkele bronnen (De Ridder, Studie kwetsbaarheid) blijkt dat de deklaag dikker is dan de dikte die uit NITG-boringen kan worden afgeleid. Om de diktekaart van “de Ridder” te verbeteren is daarom een selectie gebruikt uit de beschikbare NITG-boringen. Totaal waren 14302 NITG boringen beschikbaar. Van deze boringen waren 2744 boringen ondieper dan de dikte van de deklaag (geen doorboring deklaag). Van de resterende boringen zijn de boringen waaraan een dikte van de

deklaag van 2 m is opgelegd, niet gebruikt om een nieuwe dikte kaart te maken. In de studie van de Ridder et al, is voor 286 locaties de dikte geschat. Samen met de geselecteerde NITG-boringen zijn in totaal 1413 boringen geschikt bevonden en gebruikt voor het maken van een diktekaart van de deklaag. Hiervoor is gebruik gemaakt van interpolatie met een weging gebaseerd op de inverse van de afstand (IDW). De 12 dichtstbijzijnde punten zijn gebruikt en er is rekening gehouden met de ligging van breuken, zoals aangegeven in de studie van de Ridder. Op deze manier is een diktekaart gemaakt van de deklaag (figuur 17). Naast deze diktekaart is in figuur 17 de diktekaart uit de studie kwetsbaarheid weergegeven, op deze kaart worden slechts een beperkt aantal dikteklassen onderscheiden.

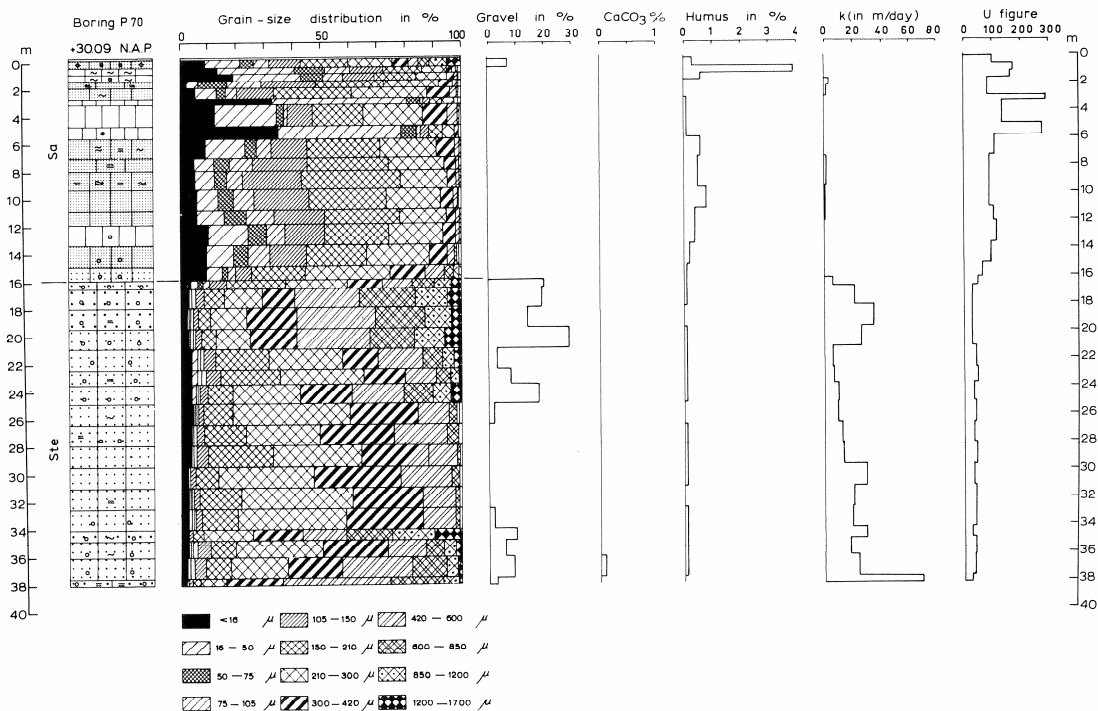


Figuur 17 Dikte deklaag afgeleid uit punten NITG-boringen en Studie de Ridder (links) en studie kwetsbaarheid (rechts).

De figuren komen redelijk overeen. Voor de dikte in de Centrale Slenk is er een goede overeenkomst met de NITG-kaart.

4.2 Anisotropie

Bij de beschrijving van de data van het RWCM model is al aangegeven dat er ondiep weerstandbiedende lagen kunnen voorkomen. De deklaag is niet opgebouwd uit materiaal met een uniforme samenstelling. Om dit te illustreren is in figuur 18 de opbouw van de ondergrond ter plaatse van boring P70, gelegen ten westen van Nederweert, weergegeven.



Figuur 18 Boring P70 (De Ridder, 1967)

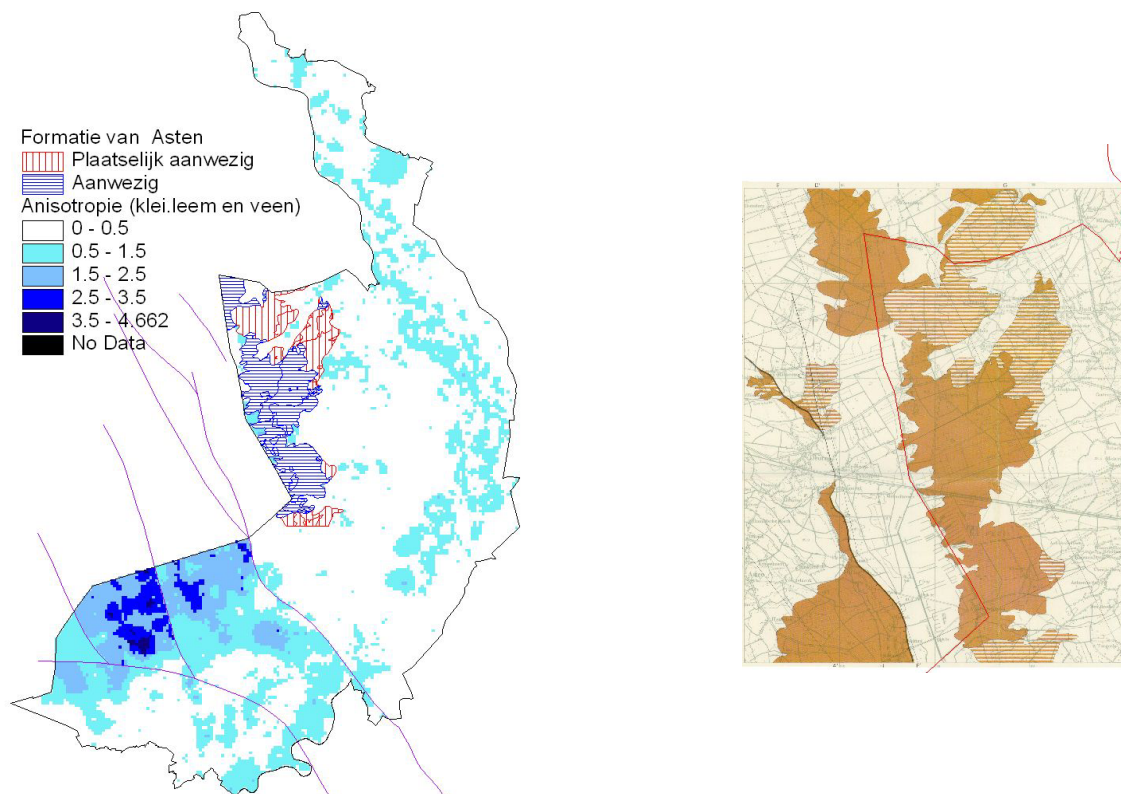
In figuur 18 is goed te zien dat de deklaag (Sa is Zanddiluvium) is opgebouwd uit meerdere lagen, die verschillen in samenstelling. Deze lagen kunnen bestaan uit klei/leem, veen en fijn of grof zand. Deze materiaalsoorten verschillen ook in doorlatendheid. Deze gelaagdheid noemen we anisotropie. Er is op twee manieren gekeken naar de samenstelling van de deklaag, nl:

- geologische kaart
- boringenbestand van NITG

Geologische kaarten zijn niet gebiedsdekkend beschikbaar. De geologische kaart Venlo 52 West (van den Toorn, 1976) geeft de ligging weer van afzettingen behorende tot de Formatie van Asten, dit betreft een organogeen laagcomplex van enkele centimeters tot enkele meters dikte. Op de Peelhorst, ten zuiden van de Nieuwe Hazenhut en ten westen van de lijn Meerselo-America, en in het zuidelijk deel van de Centrale Slenk rust de Formatie van Asten als een aaneengesloten organogeen laagcomplex op het zwak golvende dekzandrelief van de Formatie van Eindhoven. Hier is de Formatie van Asten het dikst (1 à 2 meter) in de depressies (duinpannen) en het dunst (enkele centimeters) op de culminaties (duinen) van de onderliggende formatie. In de duinpannen bestaat de Formatie van Asten van boven naar onder gewoonlijk uit humeus (lemig) fijn zand op humeuze of venige leem en (sterk veraard) veen op humeus (lemig) fijn zand of op gyttja en leemgyttja. Op de duinpannen bestaat de Formatie van Asten uit een laag humeus (lemig) zand, die bij ontsluiting in vele gevallen de A-laag van een podzolprofiel blijkt te zijn. Ten oosten van dit gebied en in de zuidoosthoek van het kaartblad komt de Formatie van Asten niet aangesloten, maar plaatselijk hoofdzakelijk als opvulling van geulen voor. De Formatie van Asten bestaat hier uit humeuze en venige leem (soms op leemgyttja),

waarboven, waartussen en waaronder humeus (lemig) zand voorkomt. Het sterk veraarde veen komt hier minder voor. De dikte varieert van enkele centimeters tot 1 à 2 meter. De kaart met de verspreiding van de Formatie van Asten, voor zover bekend, is digitaal gemaakt.

Alle beschikbare boringen zijn geanalyseerd op het voorkomen van klei, leem of veenlagen, tevens is het aantal lagen bepaald. Zand wordt binnen de boringen onderscheiden als grof en fijn zand. Ondiep treffen we overwegend fijn zand aan, hierop is dus vooral de k-waardekaart gebaseerd. De aanwezigheid van lagen met grof zand zal de gemiddelde doorlatendheid van de deklaag verhogen, dit in tegenstelling tot klei, leem of veenlagen die een verlagend effect hebben op de gemiddelde doorlatendheid van de deklaag. Voor de werking van infiltratievoorzieningen is dus vooral de aanwezigheid in de deklaag van klei, leem of veenlagen van belang. Hierbij is alleen gekeken naar de lagen waarvan de onderkant dieper ligt dan 1 m - mv., omdat ondiepe lagen via de bodemkaart zijn meegenomen. Voor alle boringen is een getal bekend dat aangeeft het aantal slecht doorlatende lagen binnen de aangeboorde deklaag. Deze puntgegevens zijn vervolgens gebruikt om een gridkaart te vervaardigen van het aantal slechtdoorlatende lagen binnen de deklaag (figuur 19). Het aantal slecht doorlatende lagen is niet gelijk aan de anisotropiefactor maar geeft wel informatie over de gelaagdheid van de deklaag. Indien klei-, leem- of veenlagen voorkomen dient hiermee bij het ontwerp van de infiltratievoorziening rekening te worden gehouden. De invloed van deze lagen wordt bepaald door de dikte, de verbreiding en de doorlatendheid van deze lagen.



Figuur 19 Anisotropie binnen de deklaag, aantal laagjes met klei, veen of leem binnen de deklaag en het voorkomen van de Formatie van Asten

Uit figuur 19 blijkt dat in de Roerdalslenk het grootste aantal laagjes klei, veen en leem voorkomt. Op de Horst is vooral het voorkomen van de Formatie van Asten bepalend en verder komt in een strook langs de Maas een slecht doorlatende laag voor.

5 Dikte en doorlaatvermogen 1^e watervoerend pakket

5.1 Doorlaatvermogen

Nadat infiltratiewater de deklaag (verticaal) heeft gepasseerd, wordt het door het watervoerende pakket (horizontaal) afgevoerd. De grootte van het doorlaatvermogen bepaalt of het water gemakkelijk kan worden afgevoerd. Om inzicht te krijgen in het doorlaatvermogen van het bovenste watervoerend pakket zijn verschillende bronnen geraadpleegd, nl:

- Landelijk GrondwaterModel (LGM);
- Grondwaterkaarten van Nederland;
- Hydrologisch onderzoek Tungelroysche beek;
- Reconstructiegebied Nederweert.

Landelijk Grondwater Model

In figuur 20 is het doorlaatvermogen van het eerste watervoerend pakket uit LGM weergegeven. In LGM is de ondergrond geschematiseerd in 4 watervoerende pakketten en 3 scheidende lagen en een deklaag. Voor het eerste watervoerende pakket is de kD-waarde weergegeven, indien scheidende lagen ontbreken, zijn watervoerende pakketten samengevoegd. De kD voor de Centrale Slenk is groter dan 2000 m²/d, voor de Peelhorst varieert de kD tussen 250-1000 m²/d.

Grondwaterkaarten van Nederland

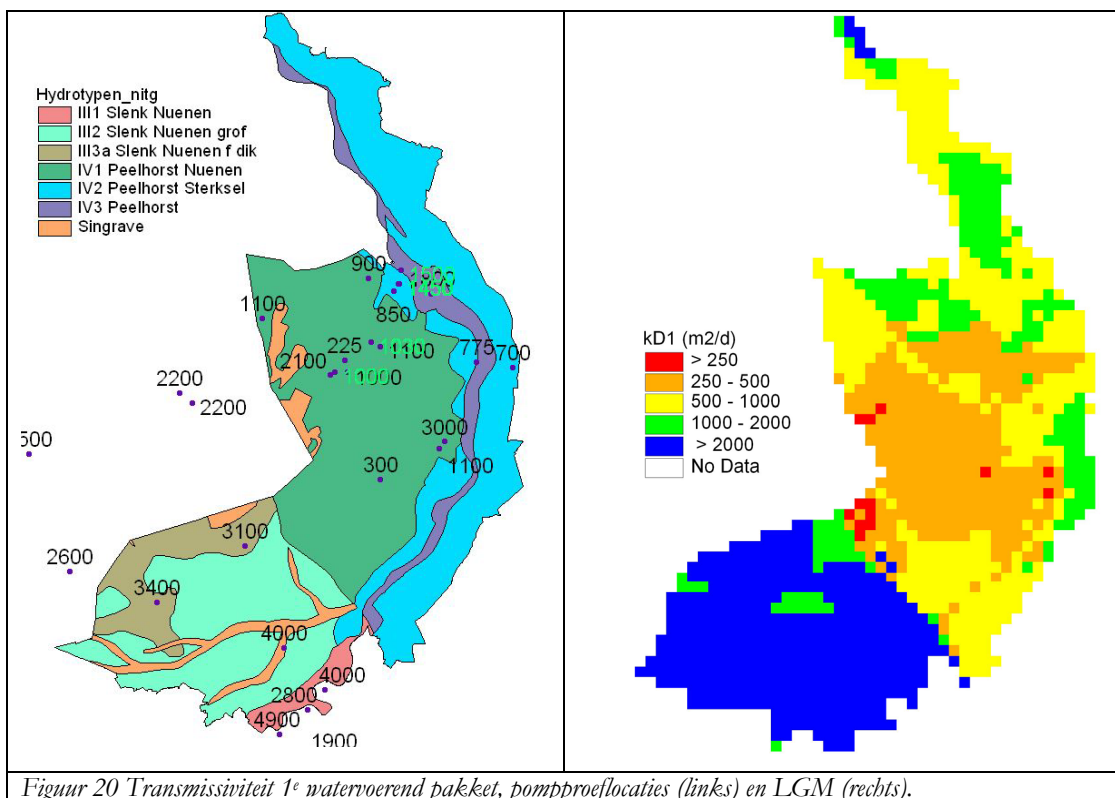
Uit de Grondwaterkaarten zijn locaties afgeleid, waar pomp- en putproeven zijn gehouden, voor zover deze konden worden gelokaliseerd. Deze locaties zijn weergegeven in figuur 20. Ook hierin komt het beeld naar voren van een grote kD-waarde in de Centrale Slenk en een lagere kD-waarde op de Peelhorst.

Hydrologisch onderzoek Tungelroysche beek

Het modelgebied van de studie voor de Tungelroysche beek is voor een deel gelegen in de Centrale Slenk, hiervoor zijn kD-waarden van 1000 tot meer dan 5000 m²/d gebruikt, overwegend is de kD-waarden 3000-5000 m²/d.

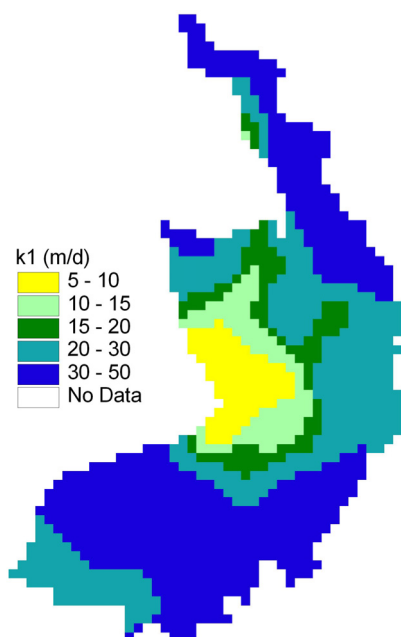
Reconstructiegebied Nederweert

Het onderzoeksgebied maakt deel uit van de Roerdal Slenk, die in het noordwesten overgaat in de Centrale Slenk van Noord-Brabant. In het noordoosten en zuidwesten wordt dit dalingsgebied begrensd door respectievelijk de Peelrandbreuk en de Feldbiss. Het eerste watervoerende pakket heeft volgens deze studie een dikte van 30 à 60 m. Het doorlaatvermogen bedraagt 1100 tot meer dan 4000 m²/d.



5.2 Doorlaatfactor 1^e watervoerend pakket

In figuur 21 is de doorlaatfactor van het eerste watervoerende pakket afgeleid uit LGM weergegeven.

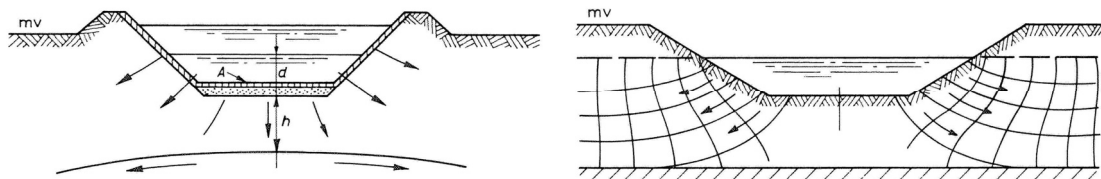


Figuur 21 Doorlaatfactor 1^e watervoerend pakket uit LGM.

6 Infiltratievoorzieningen in de praktijk

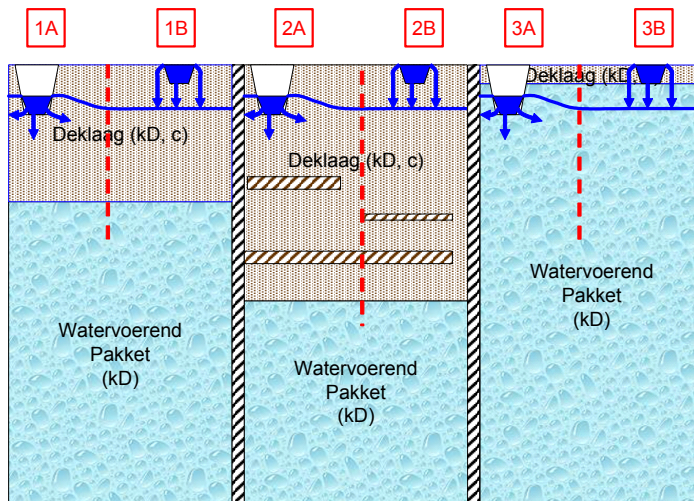
6.1 Inleiding

Bij het ontwerpen c.q. beoordelen van een aanvraag voor een infiltratievoorziening kunnen verschillende situaties worden onderscheiden. Allereerst is het van belang te onderzoeken of de bodem van de infiltratievoorziening in contact staat met het grondwater of doorboven is gesitueerd (figuur 22, situatie A of B).



Figuur 22 Stromingsituatie nabij infiltratievoorziening, A boven grondwaterspiegel (links) en B in grondwater (rechts)

In beide gevallen hebben we met verschillende stromingsituaties van doen. Vervolgens is het van belang na te gaan of de infiltratievoorziening in direct contact staat met het onderliggende watervoerende pakket (situatie 3 figuur 23). In deze situatie kan het water gemakkelijk zijdelings worden afgevoerd. Bevindt de infiltratievoorziening zich in een deklaag dan is het van belang te onderzoeken of de deklaag uniform van samenstelling is (situatie 1 figuur 23) of dat rekening moet worden gehouden met slecht doorlatende klei/leem of veenlagen in de deklaag (situatie 2 figuur 23), die de afvoer naar het onderliggende watervoerende pakket bemoeilijken.



Figuur 23 Verschillende stromingsituaties bij infiltratievoorzieningen.

In tabel 6 is voor de onderscheiden stromingsituaties aangegeven hoe hieraan kan worden gerekend.

Tabel 6 Rekenwijze bij verschillende stromingssituaties

Stromingssituatie	(On)-verzadigd	Rekenwijze
1A	verzadigd	Formule 2
1B	onverzadigd	Formule 1, Bijlage 5
2A	verzadigd	Model Numeriek
2B	onverzadigd	Model Numeriek
3A	verzadigd	Formule 2 en 3
3B	onverzadigd	Formule 1, Bijlage 5

Voor eenvoudige stromingssituaties (situatie 1 en 3) zijn analytische formules beschikbaar. Situatie 2 (figuur 23) is door de complexe gelaagdheid niet eenvoudig analytisch op te lossen, om deze situaties toch door te kunnen rekenen kan gebruik worden gemaakt van numerieke grondwatermodellen, voorbeelden zijn MODFLOW en Microfem. Formules om infiltratievoorzieningen door te rekenen zijn ontleend aan de bronbemalingpraktijk, waarbij retourbemaling vergelijkbare situaties optreden (Fraanje, 1974) en de bepaling van effecten van drainage (Van der Gaast en Stuyt, 2000).

6.2 Infiltratie boven grondwaterstand

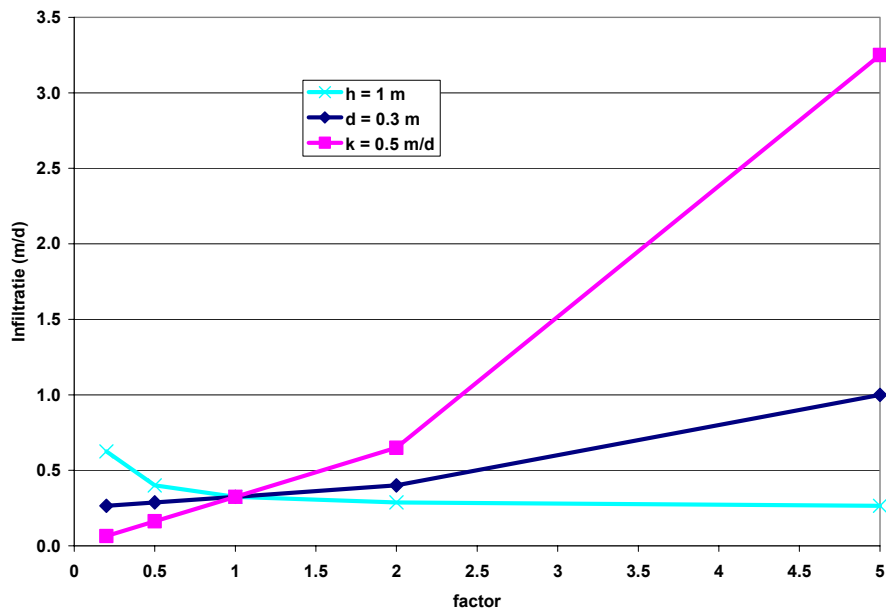
In de situatie dat een infiltratiebassin wordt gevuld en de grondwaterstand bevindt zich op enige diepte onder de bodem van het bassin, dan is de k -waarde kleiner dan de verzadigde k -waarde. De maximale infiltratie die in deze situatie optreedt, wordt bepaald door de zwaartekracht en de drukhoogtegradiënt tussen het bodemoppervlak en het vochtfront. Omdat deze in droge gronden groter is dan in natte gronden zal de maximale infiltratie groter zijn. In een volkomen verzadigde grond is de drukhoogte 0 en wordt de maximale infiltratie gelijk aan de verzadigde doorlatendheid (k_s). Door Peerboom (1987) is de infiltratie theorie beschreven (Bijlage 6), waarin onder andere de formule van Stroosnijder is gegeven. Probleem bij de toepassing van deze formule is de bepaling van de sorptiviteit. De sorptiviteit is afhankelijk van het initieel vochtgehalte van de grond aan het begin van de infiltratie, het verzadigd vochtgehalte en de diffusiteit van de grond. Daarnaast neemt de sorptiviteit af naarmate het bergingsvermogen van de grond kleiner wordt.

Door Fraanje (1974) wordt voor de stromingssituaties met een infiltratievoorziening (figuur 22 A) boven het grondwaterniveau formule 1 gegeven:

$$Q = \frac{k}{2} \frac{(h + d)}{h} A \quad (1)$$

Hierin is:

- Q = infiltratiedebiet in m³/m infiltratieleiding;
- A = bodemoppervlak per meter infiltratieleiding;
- k = doorlaatfactor m/d;
- h = afstand bodem infiltratieleiding tot grondwatervlak in m;
- d = dikte waterlaag boven bodem infiltratieleiding in m.



Figuur 24 Gevoeligheid infiltratiedebiet voor variatie in de parameters h, d en k

Met deze relatie zijn een aantal berekeningen uitgevoerd om de gevoeligheid van het infiltratiedebiet voor variatie in de waarde h, d en k te bepalen. Uit figuur 24 blijkt duidelijk de gevoeligheid van het infiltratiedebiet voor de grootte van de k -waarde.

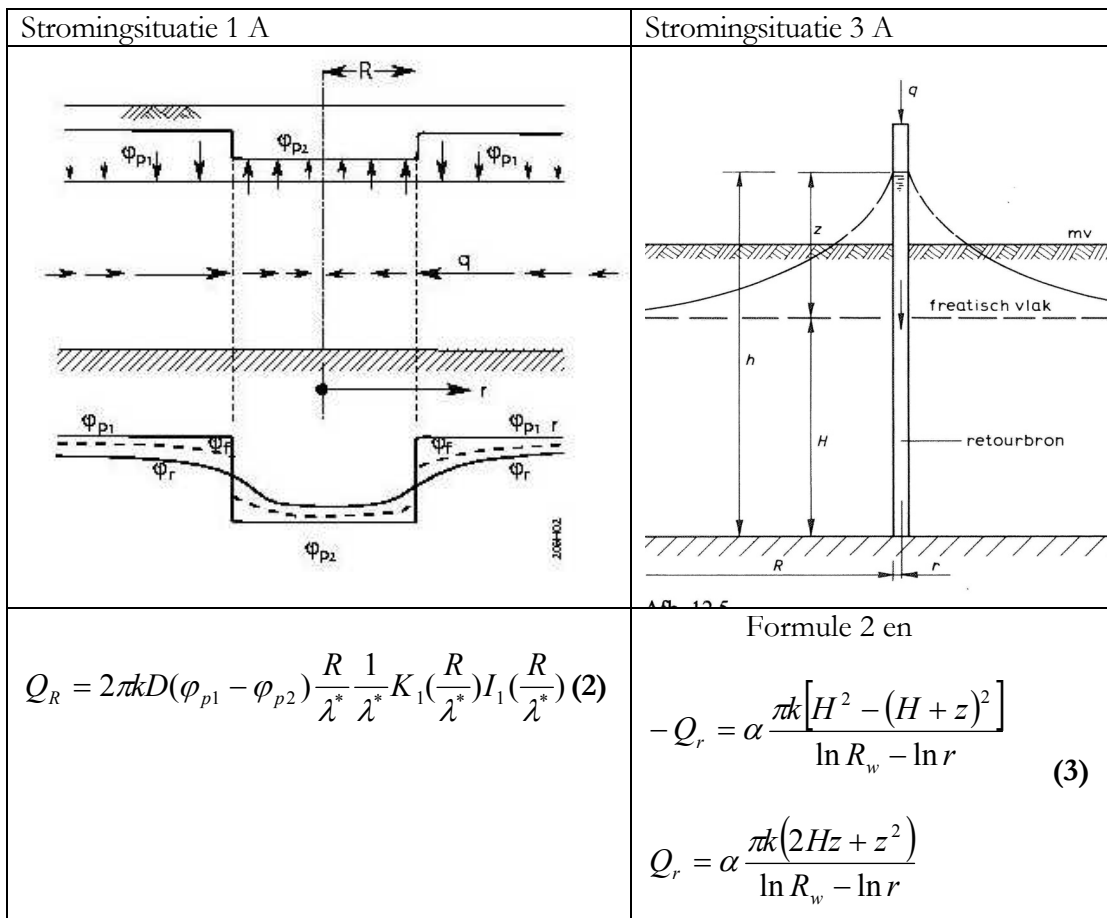
6.3 Infiltratie bij ondiepe grondwaterstand

Voor situaties waarbij de infiltratievoorziening contact maakt met het grondwater en het al dan niet aanwezig zijn van een deklaag dienen andere formules te worden toegepast. In figuur 25 zijn voor situatie 1A en 3A uit figuur 22 de stromingsituatie en de bijbehorende formules weergegeven.

In bijlage 7 zijn de achtergronden bij formule 2 voor situatie 1 A beschreven (Van der Gaast en Stuyt, 2000 en Van der Gaast et al., in prep).

In de formule 2 is:

- Q_R = stroming over de rand van de infiltratievoorziening in het eerste watervoerend pakket (m^3/d);
- kD = doorlaatvermogen (m^2/d);
- $\varphi_{p1} - \varphi_{p2}$ = peilverhoging infiltratievoorziening (m);
- R = straal van de infiltratievoorziening (m);
- λ^* = spreidingslengte ($\sqrt{kD(c+c_d)}$) (m);
- c_d = drainageweerstand (d);
- c = weerstand deklaag (d);
- K_1 = Besselfunctie orde 1;
- I_1 = Besselfunctie orde 1.



Figuur 25 Situatie en bijbehorende formules voor berekening van infiltratievoorzieningen.

Deze formule maakt gebruik van de spreidingslengte (λ^*), die weer afhankelijk is van het doorlaatvermogen van het watervoerende pakket (kD), de weerstand van de deklaag c en de drainageweerstand. Naast de spreidingslengte is het doorlaatvermogen van het 1^e watervoerend pakket, de hoogte van de peilopzetting en de grootte van de cirkelvormige infiltratievoorziening van belang.

Voor de situatie waarbij de bodem van de infiltratievoorziening contact maakt met het watervoerend pakket kan eveneens gebruik worden gemaakt van de formule 2. In dit geval is de c -waarde van de deklaag 0 dagen, en wordt de spreidingslengte bepaald uit het product van het doorlaatvermogen van het watervoerend pakket (kD) en de drainageweerstand. Ook kan formule 3 worden gebruikt. De factor α is een reductie factor die bij retourbemaling wordt toegepast en varieert tussen 0,2 en 0,5. De factor R_w is de Reikwijdte hiervoor worden verschillende formules gebruikt om deze factor te bepalen, een bekende is die volgens Sichardt:

$$R_w = 3000\varphi\sqrt{k}$$

Hierin is: φ = potentiaalverlaging/potentiaalstijging in m;
 k = doorlaatfactor in m/s.

Voor grote bouwputten met geringe potentiaalverlagingen geeft Weber:

$$R_0 = \sqrt{(R_w^2 + A^2)}$$

Een derde formule is die van Kussakin.

$$R_w = 575\varphi\sqrt{Hk}$$

Voor het berekenen van het debiet van de infiltratievoorziening kan in de meeste gevallen gebruik worden gemaakt van de formule (2). Hiervoor wordt de infiltratievoorziening geschematiseerd tot een cirkelvormige infiltratiewerk, de bijbehorende straal is met onderstaande formule te berekenen.

$$R = \sqrt{\frac{(Lengte * Breedte)}{\pi}}$$

6.4 Uittreeweerstand

Een aspect dat niet wordt meegenomen in de formules is de vorming van een uittreeweerstand. We spreken van een uittreeweerstand als zich op de bodem een sliblaag vormt of als de bodem onder de infiltratievoorziening door inspoeling verstopt raakt. De weerstand kan ontstaan door de aanvoer van gesuspenseerd materiaal, dat zich afzet op de bodem als de stroomsnelheid afneemt en/of de waterkwaliteit sterk verandert (Jousma en Massop, 1996). Het slib kan afkomstig zijn uit verschillende bronnen:

- erosieprodukten;
- lozingen (straat, daken);
- dode plantenresten;
- mineralen neerslagen.

De factoren die bijdragen aan de vorming van een weerstand zijn:

- Stroomsnelheid (slibdeeltjes zullen eerst bij zeer lage snelheden tot bezinking komen).
- Stijghoogteverschillen, bij een infiltratie is het grondwaterpeil lager dan het waterpeil in de infiltratievoorziening, hierdoor kunnen bij infiltratie fijne deeltjes in de poriën van de bodem dringen, wat leidt tot verstopping en extra weerstand.
- Chemie van het water, door combinatie van zuur en basisch water of zuurstofarm en zuurstofrijk water kunnen zich chemische neerslagen vormen. Hierbij kan bijvoorbeeld gedacht worden aan de afzetting van ijzeroxide.
- Chemische en biologische processen, door oxidatie wordt organisch materiaal afgebroken, afhankelijk van licht en zuurstof kan zich hierbij plantaardig materiaal ophopen op de bodem.
- Droogvallen infiltratievoorziening. Hierbij kan de sliblaag inklinken, breken of scheuren. Hierdoor neemt de weerstand af.

- Onderhoud, door uitbaggeren kan de weerstand geheel of gedeeltelijk worden verwijderd.

Het verdient aanbeveling de vorming en de weerstand van een eventuele sliblaag te monitoren zodat bijtijds kan worden gereageerd en calamiteiten kunnen worden voorkomen.

7 Conclusies en aanbevelingen

De combinatie van materiaaleigenschappen van de bodem op ca 1,0 m - mv met de opbouw van de diepere ondergrond heeft een kaart opgeleverd met een beperkt aantal van 60 schematisatie-eenheden.

Voor het maken van een k-waardetabel is gebruik gemaakt van beschikbare metingen, schattingen op basis van BIS-boringen en aanvullende veldmetingen. Door combinatie van alle gegevens is een definitieve k-waarde tabel opgesteld, die gebiedsdekkend kan worden toegepast.

De in het kader van dit onderzoek uitgevoerde boorgatmetingen hebben naast aanvulling op al beschikbare k-waarden, inzicht gegeven in de onzekerheid. Uit analyse blijkt dat het 95%-betrouwbaarheidsinterval op basis van de meetgegevens een geschikte maat is om de variatie in de k-waarde als gevolg van mogelijke meetfouten te beschrijven. De grootte van de standaard deviatie ligt in de orde van 0,05-0,25 m/d.

Ondanks de grote dichtheid aan diepere boringen waren deze slechts beperkt toepasbaar om de dikte van de deklaag uit af te leiden. De studie van De Ridder (1967) aangevuld met een selectie van de NITG-boringen is gebruikt om de diktekaart van de Ridder te verbeteren.

Uit analyse van de bodemopbouw van de deklaag blijkt dat deze zeer complex van samenstelling is. Op basis van beschikbare boringen en geologische kaarten is getracht inzicht te geven in de anisotropie van het topsysteem. Vanwege de anisotropie van de deklaag is het veelal niet mogelijk van één k-waarde voor de deklaag te spreken.

Het doorlaatvermogen van het bovenste watervoerend pakket is in de Roerdal Slenk groot. Overwegend groter dan 3000 m²/d. Op de Horst zijn de waarden lager globaal rond de 1000 m²/d met uitschieters naar beneden (300 m²/d) en naar boven (3000 m²/d).

Voor de beoordeling van infiltratievoorzieningen is het van belang te bepalen of de bodem van de voorziening zich boven het grondwater bevindt. Vervolgens is het belangrijk om na te gaan of de bodem in het onderliggende watervoerende pakket steekt. Indien dit laatste niet het geval is, dient nagegaan te worden of zich onder de infiltratievoorziening slecht doorlatende bodemlagen bevinden. Zeker in het laatste geval dient de k-waarde van de deklaag te worden aangepast en is de infiltratie niet met eenvoudige formules te bepalen.

Voor de bodemopbouw is gebruik gemaakt van de bodemkaart 1 : 50 000. Voor delen van het waterschap zijn detailkarteringen beschikbaar. Deze karteringen geven meer detailinformatie over de samenstelling van de bodem, o.a. over de aanwezigheid

van leemlagen en sterk lemige zandlagen. Met deze informatie is een betere inschatting of differentiatie van de k-waarde mogelijk. Hiertoe dienen de kaarten te worden gescand en gegeorefereerd.

Om beter inzicht te krijgen in het effect van anisotropie op de werking van infiltratievoorzieningen verdient het aanbeveling om in de toekomst metingen te verrichten naar debieten en grondwaterstanden. Hierbij dient zowel aandacht te worden besteed aan de vorming van een uittreeweerstand op of direct onder de bodem alsook aan de grondwaterstanden op iets grotere afstand tot de infiltratievoorziening.

Het verdient aanbeveling om bij de inrichting van nieuwe infiltratievoorzieningen ook aandacht te besteden aan de werking van de infiltratievoorziening en wel speciaal aan de mogelijke vorming van een uittreeweerstand. Daarbij is het nodig om onderzoek te doen naar de wijzen waarop infiltratievoorzieningen het beste kunnen worden gemonitord, waarbij zowel aandacht wordt besteed aan het tijdig signaleren van calamiteiten (alarm) alsook de afname van de werking van de infiltratievoorziening door de vorming van een uittreeweerstand.

Literatuur

- Bakel, P.J.T. van, H.Th.L. Massop, R.H. Kemmers en B. van Delft, 2004. *Eerste analyse van de hydrologische en bodemchemische geschiktheid van het landgoed Lankeet voor herstel watersysteem*. Wageningen, Alterra-rapport, in prep.
- Bolt, F.J.E., van der, P.E. Dik, W.W. Immerzeel, J. Runhaar, 2004. *Waterbeheer reconstructiegebied Nederweert*. Wageningen, Alterra-rapport 612.
- (Duyvenbouden, W. van en A. Breeuwsma, eindredactie) Bouwmans, L., A. Breeuwsma, W. van Duyvenbouden, D.J. Groot Obbink, S. Jelgersma, H. van Straten en J.H.M. Wosten, 1987. *Kwetsbaarheid van het grondwater. Kartering van kenmerken van de Nederlandse bodem in relatie tot de kwetsbaarheid van het grondwater voor verontreiniging*. RIVM rapport 840387003.
- Cattenstart, G.C., 1983. *Geohydrologische inventarisatie van waterwingebieden*. Landinrichtingsdienst, Utrecht.
- Gaast, J.W.J. van der en J.M.P.M Peerboom, 1996. *Geohydrologisch onderzoek in het Purmerbos: uitwerking en interpretatie van doorlatendheidsmetingen en pompproeven*. SC-DLO rapport 437. Wageningen.
- Gaast, J.W.J. van der, H.Th.L. Massop en P.J.T. van Bakel, in prep. *Snelle oudjes gaan ArcView: Het gebruik van analytische formules voor de bepaling van effecten van waterhuishoudkundige ingrepen in combinatie met een geografisch informatiesysteem*
- Gaast, J.W.J. van der en L.C.P.M. Stuyt, 2000. *Drainagevergunningen. Methodiek voor de beoordeling van aanvragen voor de aanleg van buisdrainage*. Alterra-rapport 12, Wageningen.
- Lekahena, 1983. *Grondwaterkaart van Nederland, 1983. Centrale Slenk 44 Oost, 45 West en Oost, 50 Oost, 51 West en Oost, 52 West, 56 Oost, 57 West, 57 Oost, 58 West*.
- Grondwaterkaart van Nederland, 1973. *Vierlingsbeek 46 West en Oost*.
- Grondwaterkaart van Nederland, 1978. *Venlo 52 Oost*.
- Rooijen, van, 1985. *Grondwaterplan Provincie Limburg*
- Hell, van A, E. Meijer en E. Veling, 2004. *Risico op grondwateroverlast door infiltratie in beeld gebracht*. H2O, 13.
- Jansen, E.J., 1999. *Hydrologisch onderzoek Tungelroyse beek. Hydrologische modellering en systeemanalyse*. TAUW, Deventer.

Jousma, G., en H. Th. L. Massop, 1996. *Intreeweerstanden van waterlopen. Inventarisatie en analyse*. TNO-rapport GG-R-96-15(A)). TNO, Delft

Linden, W. van der, en H.J.T. Weerts, A.H.M. Kremers en C.B.M te Stroet, 2001. *Landsdekkende karakterisatie topsysteem. Vooronderzoek met aanpak*. TNO-rapport NITG 01-195-A. Delft.

Linden, W. van der, A.H.M. Kremers en H.J.T. Weerts, 2002a. *Landsdekkende karakterisatie topsysteem*. Eindrapport. TNO-rapport NITG 02-112-B. Delft.

Linden, W. van der, 2002b. *Landsdekkende karakterisatie topsysteem 1: 250.000*. Eindrapport. TNO-rapport NITG 02-176-B. Delft.

NITG, Reizende Waterconserveringsmaatregel. RWCM versie 1.0

Massop, H. Th. L., L. C. P. M. Stuyt, P. J. T. van Bakel, J. M. M. Bouwmans en H. Prak, 1997. *Invloed van de oppervlaktewaterstand op de grondwaterstand. Leidraad voor kwantificering van de effecten van veranderingen in de oppervlaktewaterstand*. Wageningen, SC-DLO rapport 420.1.

Meij, J.L. van der, 2000. *Paramet: Ruimtelijke parametrisering van k-waarden waarbij rekening wordt gehouden met het afzettingmilieu*. Deelrapport 2. TNO-rapport NITG 00-308-B.

Mulder, E.F. J. de, M.C. Geluk, I. Ritsema, W.E. Westerhoff en T.E. Wong, 2003. *De ondergrond van Nederland. Geologie van Nederland, deel 7*. NITG-TNO.

Pastoors, M.J.H., 1992. *Landelijk grondwater Model. Conceptuele modelbeschrijving 10*. RIVM. Bilthoven.

Peerboom, J.M.P.M., 1987. *Aanpassingen aan het model SWATRE t.b.v. de simulatie van het gedrag van zwellende en krimpende kleigronden*. ICW-nota 1807, Wageningen.

Ridder, N.A. de en P. Hondius, 1958. *De geohydrologische gesteldheid van Noord-Limburg*. Ernst L.F., 1958. *Onderzoek van grondwaterstromingen in het Lollebeekgebied*. In: Geologisch en hydrologisch onderzoek in Noord-Limburg ICW, mededeling 4.

Ridder, N.A. de, P. Hondius en J. Hellings, 1967. *Hydrological investigations of the Peel region and its environs*. ICW, Technical Bulletin 48.

Toorn, J.C. van den, 1976. *Toelichting bij de geologische kaart van Nederland 1 : 50.000. Blad Venlo West (52 W)*. RGD. Haarlem.

Stiboka, 1988. *Bodemkundig-agrohydrologisch onderzoek Midden- en Oost-Brabant*. Rapport nr. 1864. Wageningen.

Stuurman, R., G. van Beusekom en J. Reckman, 2000. *Watersystemen in beeld. Een beschrijving en kaarten van grond- en oppervlaktewatersystemen in Noord-Brabant*. TNO-rapport NITG 00-10-A, Delft.

Werkgroep, '*Vernieuwend waterbeheer in Veenweide*', 2004. *Vernieuwend Waterbeheer in Veenweide. Naar een duurzaam waterbeheer voor veehouder en waterbeheerder*. Projectplan – Concept (Bijdrage Hydrologisch onderzoek De Wit Reeuwijk, H.Th.L.Massop en E. Kiestra).

Wit, K. E., H. Th. L. Massop, J. G. te Beest, M. Wijnsma en W. J. M. te Riele, 1991. *Effecten van grondwaterstanddalingen op de hydrologische situatie in de natuurgebieden Tuspeel en Heelderpeel*. Wageningen, SC-DLO rapport 129.

WUR, 2003. *Practical hydrology and water Quality*. Prakticumhandleiding.

Bijlage 1 Tabellen bij de k-waardekaart

Tabel B1.1 Bodemcodes (1 : 50 000) en daaruit afgeleid materiaal tussen 80 en 120 cm – mv

Volg_nr	Bodemtype	Aantal vlakken	Materiaal	Ha
1	Vc	3	veen	53.8
2	Vs	5	veen	289.4
3	Vk	4	veen	119.7
4	Vp	12	leemarm en zwak lemig fijn zand	616.9
5	Vz	11	leemarm en zwak lemig fijn zand	372.1
6	aVz	4	leemarm en zwak lemig fijn zand	172.7
7	pVc	2	veen	174.2
8	zVc	6	veen	298.5
9	zVp	14	leemarm en zwak lemig fijn zand	632.6
10	zVz	10	leemarm en zwak lemig fijn zand	407.8
11	vWp	41	leemarm en zwak lemig fijn zand	845.1
12	vWz	22	leemarm en zwak lemig fijn zand	747.7
13	vWzg	5	grof zand en/of grind	119.4
14	zWp	16	leemarm en zwak lemig fijn zand	523.1
15	zWz	16	leemarm en zwak lemig fijn zand	717.1
16	zWzx	1	oude klei	24.7
17	kWz	1	leemarm en zwak lemig fijn zand	28.7
18	Y21	10	leemarm en zwak lemig fijn zand	404.3
19	Y23	6	lemig fijn zand	257.0
20	Y23b	12	lemig fijn zand	537.6
21	Y23x	2	oude klei	18.8
22	Y30	13	grof zand en/of grind	1376.3
23	Y30x	2	oude klei	45.9
24	cY23	2	lemig fijn zand	156.9
25	cY30	1	grof zand en/of grind	94.4
26	Hn21	215	leemarm en zwak lemig fijn zand	11219.6
27	Hn21g	4	grof zand en/of grind	260.7
28	Hn21x	1	oude klei	12.4
29	Hn23	150	lemig fijn zand	9415.7
30	Hn23x	6	oude klei	257.0
31	Hn30	56	grof zand en/of grind	1982.9
32	Hn30g	13	grof zand en/of grind	931.1
33	Hn30x	1	oude klei	8.5
34	Hd21	20	leemarm en zwak lemig fijn zand	980.8
35	Hd30	26	grof zand en/of grind	1780.0
36	cHn21	9	leemarm en zwak lemig fijn zand	208.5
37	cHn23	5	lemig fijn zand	170.1
38	cHn30	3	grof zand en/of grind	86.9
39	cHd30	3	grof zand en/of grind	149.7
40	BKh25	1	fijnzandige lichte zavel	24.5
41	BKh25x	3	oude klei	195.3
42	BKd25	21	fijnzandige lichte zavel	1895.4
43	BKd25x	3	oude klei	143.4
44	BKd26	3	fijnzandige siltige lichte zavel	66.0
45	BKh26	3	fijnzandige siltige lichte zavel	32.7
46	BZd23	4	zwak en sterk lemig fijn zand	251.9
47	BZd24	4	zeer sterk lemig fijn zand	207.1
48	EZg21w	1	veen	92.4
49	EZg23	9	lemig fijn zand	466.8
50	EZg23w	3	veen	126.5
51	EZg30	1	grof zand en/of grind	38.2
52	EZg30g	1	grof zand en/of grind	45.5
53	EZg30v	1	veen	6.2
54	bEZ21	12	leemarm en zwak lemig fijn zand	863.1
55	bEZ23	87	lemig fijn zand	5471.2
56	bEZ30	47	grof zand en/of grind	2335.3
57	bEZ30x	1	oude klei	28.7
58	zEZ21	25	leemarm en zwak lemig fijn zand	903.5
59	zEZ23	164	lemig fijn zand	13890.6
60	zEZ23g	2	grof zand en/of grind	101.3
61	zEZ30	4	grof zand en/of grind	89.1

62	pZg21	6	leemarm en zwak lemig fijn zand	256.2
63	pZg23	48	lemig fijn zand	3132.2
64	pZg23g	1	grof zand en/of grind	164.3
65	pZg23t	1	leem	23.5
66	pZg23x	2	oude klei	134.9
67	pZg30	1	grof zand en/of grind	24.7
68	pZn21	36	leemarm en zwak lemig fijn zand	1805.4
69	pZn21g	2	grof zand en/of grind	88.1
70	pZn23	70	lemig fijn zand	4654.4
71	pZn23g	1	grof zand en/of grind	35.7
72	pZn23x	2	oude klei	503.3
73	pZn30	16	grof zand en/of grind	885.8
74	pZn30g	7	grof zand en/of grind	315.9
75	pZn30w	1	veen	44.7
76	cZd23	1	lemig fijn zand	93.1
77	cZd30	3	grof zand en/of grind	299.3
78	Zn21	19	leemarm en zwak lemig fijn zand	570.4
79	Zn21x	2	oude klei	33.5
80	Zn23	25	lemig fijn zand	1065.7
81	Zn23x	2	oude klei	63.7
82	Zn30	17	grof zand en/of grind	709.3
83	Zn30g	1	grof zand en/of grind	3.6
84	Zn30x	2	oude klei	30.0
85	Zd21	44	leemarm en zwak lemig fijn zand	4837.0
86	Zd30	17	grof zand en/of grind	1613.2
87	Zb21	34	leemarm en zwak lemig fijn zand	1791.7
88	Zb21g	2	grof zand en/of grind	69.9
89	Zb23	42	lemig fijn zand	3005.2
90	Zb23g	3	grof zand en/of grind	82.6
91	Zb23x	1	oude klei	10.7
92	Zb30	20	grof zand en/of grind	812.6
93	Zb30g	1	grof zand en/of grind	13.0
94	Rn15C	2	zavel of klei	35.2
95	Rn62C	1	leemarm en zwak lemig fijn zand	15.8
96	Rn95C	24	zavel of klei	1366.2
97	Rd10A	14	klei of zand	633.0
98	Rd10C	32	klei of zand	1411.1
99	Rd90C	23	klei of zand	1225.8
100	KRn1	21	lichte zavel	1339.1
101	KRn1g	18	grof zand en/of grind	829.5
102	KRn2	11	zwarte zavel	395.8
103	KRn2g	23	grof zand en/of grind	1018.5
104	KRn2w	2	veen	35.1
105	KRn8g	1	grof zand en/of grind	333.3
106	KRd1	10	lichte zavel	436.1
107	KRd1g	15	grof zand en/of grind	654.6
108	pKRn1	4	lichte zavel	109.1
109	pKRn1g	11	grof zand en/of grind	714.8
110	pKRn2	1	zwarte zavel	26.0
111	pKRn2g	9	grof zand en/of grind	380.2
112	Ln5	6	zandige leem	1637.2
113	Ln5g	3	grof zand en/of grind	114.9
114	Ld5	1	zandige leem	44.5
115	Ld5g	1	grof zand en/of grind	61.3
116	pLn5	5	zandige leem	711.5
117	ABv	2	veen	463.4
118	ABz	1	leemarm en zwak lemig fijn zand	97.7
119	AMm	9	veen of klei of zand	1153.4
120	U4546nr108	1	zand of leem	153.1
121	U4546nr109	1	grof zand en/of grind	65.9
122	U4546nr120	1	grof zand en/of grind	15.7
123	U4546nr122	1	veen of klei of zand	167.5
124	U4546nr123	1	leemarm en zwak lemig fijn zand	104.2
125	U4546nr124	1	grof zand en/of grind	6.9
126	U52Onr001	1	leemarm en zwak lemig fijn zand	23.8
127	U52Onr002	1	grof zand en/of grind	53.5
128	U52Onr101	1	grof zand en/of grind	28.9
129	U52Onr102	1	leemarm en zwak lemig fijn zand	32.5

130	U52Onr103	3	lemig fijn zand	265.0
131	U52Onr104	1	lemig fijn zand	93.9
132	U52Onr105	1	lemig fijn zand	55.0
133	U52Onr106	4	grof zand en/of grind	421.0
134	U52Onr107	4	grof zand en/of grind	96.5
135	U52Onr108	1	leemarm en zwak lemig fijn zand	129.9
136	U52Onr109	1	grof zand en/of grind	765.4
137	U52Onr110	1	leemarm en zwak lemig fijn zand	6.4
138	U52Wnr003	1	leemarm en zwak lemig fijn zand	304.0
139	U52Wnr004	1	leemarm en zwak lemig fijn zand	555.5
140	U52Wnr005	1	leemarm en zwak lemig fijn zand	602.9
141	U52Wnr006	1	leemarm en zwak lemig fijn zand	214.8
142	U52Wnr007	3	lemig fijn zand	465.0
143	U52Wnr008	1	lemig fijn zand	316.2
144	U52Wnr010	1	leemarm en zwak lemig fijn zand	75.2
145	U52Wnr102	2	leemarm en zwak lemig fijn zand	136.8
146	U52Wnr103	1	leemarm en zwak lemig fijn zand	99.7
147	U52Wnr104	2	leemarm en zwak lemig fijn zand	418.1
148	U52Wnr105	1	leemarm en zwak lemig fijn zand	59.9
149	U52Wnr106	6	leemarm en zwak lemig fijn zand	535.0
150	U52Wnr107	2	lemig fijn zand	628.1
151	U52Wnr108	1	lemig fijn zand	108.9
152	U52Wnr109	3	lemig fijn zand	518.3
153	U52Wnr110	1	lemig fijn zand	50.7
154	U52Wnr111	3	leemarm en zwak lemig fijn zand	139.9
155	U52Wnr112	1	lemig fijn zand	64.0
156	U52Wnr113	1	leemarm en zwak lemig fijn zand	13.5
157	U52Wnr115	2	leemarm en zwak lemig fijn zand	174.0
158	U52Wnr117	1	leemarm en zwak lemig fijn zand	109.7
159	U52Wnr119	1	lemig fijn zand	46.9
160	U52Wnr121	1	grof zand en/of grind	48.3
161	U52Wnr123	1	leemarm en zwak lemig fijn zand	225.2
162	U52Wnr125	5	leemarm en zwak lemig fijn zand	427.1
163	U52Wnr126	1	lemig fijn zand	120.0
164	U5758nr001	1	lemig fijn zand	37.7
165	U5758nr002	5	leemarm en zwak lemig fijn zand	295.7
166	U5758nr004	1	leemarm en zwak lemig fijn zand	400.7
167	U5758nr005	1	leemarm en zwak lemig fijn zand	55.2
168	U5758nr006	1	lemig fijn zand	160.8
169	U5758nr007	4	lemig fijn zand	454.7
170	U5758nr010	1	leemarm en zwak lemig fijn zand	4.3
171	U5758nr011	1	leemarm en zwak lemig fijn zand	67.7
172	U5758nr012	1	leemarm en zwak lemig fijn zand	40.7
173	U5758nr101	2	leemarm en zwak lemig fijn zand	38.5
174	U5758nr102	2	leemarm en zwak lemig fijn zand	152.4
175	U5758nr103	1	leemarm en zwak lemig fijn zand	4.0
176	U5758nr105	4	lemig fijn zand	129.1
177	U5758nr106	1	lemig fijn zand	106.9
178	U5758nr107	12	lemig fijn zand	1269.0
179	U5758nr108	1	lemig fijn zand	3.8
180	U5758nr109	8	lemig fijn zand	582.8
181	U5758nr110	1	leemarm en zwak lemig fijn zand	73.2
182	U5758nr111	1	leemarm en zwak lemig fijn zand	212.2
183	U5758nr113	2	lemig fijn zand	26.6
184	U5758nr114	1	leemarm en zwak lemig fijn zand	136.6
185	U5758nr115	1	leemarm en zwak lemig fijn zand	107.8
186	U5758nr116	1	leemarm en zwak lemig fijn zand	130.7
187	U5758nr117	1	leemarm en zwak lemig fijn zand	32.6
188	U5758nr118	2	leemarm en zwak lemig fijn zand	148.1
189	U5758nr119	2	leemarm en zwak lemig fijn zand	3.9
190	U5758nr120	1	leemarm en zwak lemig fijn zand	171.5
191	U5758nr121	1	leemarm en zwak lemig fijn zand	139.0
192	U5758nr122	2	leemarm en zwak lemig fijn zand	17.3
193	U5758nr123	1	leemarm en zwak lemig fijn zand	170.7
194	U58Onr001	1	leemarm en zwak lemig fijn zand	17.1
195	U58Onr104	1	leemarm en zwak lemig fijn zand	150.7
196	U58Onr105	2	leemarm en zwak lemig fijn zand	61.4
197	Ja GROEVE	18		250.8

198	b AFGRAV	8	94.6
199	e VERWERK	4	147.9
200	c OPHOOG	14	321.6
201	g WATER	65	1805.1
202	h BEBOUW	41	5366.1
203	h DIJK	1	1.6

Tabel B1.2 Geschatte doorlatendheden uit BIS (ALTERRA) in relatie tot schematisatieeenheden

Boringen_bis_kop	Aantal	Rekunkundig		Anisotropie	Logaritmisch	
		Gemiddelde k_h	Standaarddeviatie k_h		Gemiddelde k_h	Standaarddeviatie k_h
Schematisatieeenheid						
III2 Slenk Nuenen grof fijnzandige lichte zavel	1	0.15		3.00		
III2 Slenk Nuenen grof leemarm en zwak lemig fijn zand	1	0.15		1.00		
III2 Slenk Nuenen grof lemig fijn zand	12	0.50	0.39	2.67	0.36	2.51
III2 Slenk Nuenen grof lichte zavel	1	0.45		3.00		
III2 Slenk Nuenen grof veen	1	0.45		3.00		
III3a Slenk Nuenen f dik leemarm en zwak lemig fijn zand	1	1.50		2.00		
III3a Slenk Nuenen f dik lemig fijn zand	1	0.03		3.00		
III3a Slenk Nuenen f dik zandige leem	2	0.27	0.25	3.00	0.20	3.12
IV1 Peelhorst Nuenen leemarm en zwak lemig fijn zand	6	1.38	0.31	1.83	1.34	1.27
IV1 Peelhorst Nuenen lemig fijn zand	13	0.65	0.47	2.46	0.45	2.79
IV1 Peelhorst Nuenen zandige leem	2	0.73	0.39	2.50	0.67	1.76
IV2 Peelhorst Sterksel fijnzandige lichte zavel	3	0.52	0.85	2.67	0.11	9.57
IV2 Peelhorst Sterksel grof zand en/of grind	15	6.94	5.57	3.00	3.12	6.46
IV2 Peelhorst Sterksel leem	1	0.03		3.00		
IV2 Peelhorst Sterksel leemarm en zwak lemig fijn zand	2	5.23	6.75	2.50	2.12	8.96
IV2 Peelhorst Sterksel lemig fijn zand	2	0.55	0.64	2.50	0.30	5.49
IV2 Peelhorst Sterksel lichte zavel	1	10.00		2.00		
IV2 Peelhorst Sterksel oude klei	2	0.05	0.02	3.00	0.04	1.63
IV2 Peelhorst Sterksel zandige leem	1	0.09		3.00		
IV2 Peelhorst Sterksel zware zavel	1	0.15		3.00		
IV3 Peelhorst grof zand en/of grind	3	3.72	5.46	2.00	1.14	8.19
IV3 Peelhorst klei of zand	1	0.15		2.00		
IV3 Peelhorst lemig fijn zand	4	0.31	0.29	2.25	0.24	2.16
IV3 Peelhorst veen of klei of zand	1	1.50		3.00		
Singrave leemarm en zwak lemig fijn zand	4	0.40	0.41	2.25	0.29	2.45
Singrave lemig fijn zand	6	0.29	0.18	3.00	0.24	2.05
Singrave veen	1	0.15		1.00		
Totaal	89	1.94	3.63	2.57		

Tabel B1.3 Gemeten doorlatendheden (bron waterschap) in relatie tot schematisatieeenheden

Schematisatieeenheid	Aantal	Rekenkundig		Logaritmisch	
		Gemiddelde k_h	Standaarddeviatie k_h	Gemiddelde k_h	Standaarddeviatie k_h
Geen bodemtype	38	2.29	2.75	0.94	5.63
III2 Slenk Nuenen grof leemarm en zwak lemig fijn zand	13	2.59	3.64	1.27	3.38
III2 Slenk Nuenen grof lemig fijn zand	44	1.16	2.26	0.32	5.02
III3a Slenk Nuenen f dik lemig fijn zand	20	1.23	1.30	0.69	3.17
IV1 Peelhorst Nuenen leemarm en zwak lemig fijn zand	2	5.50	4.24	4.61	2.38
IV1 Peelhorst Nuenen lemig fijn zand	25	1.30	1.15	0.98	2.21
IV2 Peelhorst Sterksel fijnzandige lichte zavel	4	25.45	36.39	13.04	3.41
IV2 Peelhorst Sterksel grof zand en/of grind	22	12.67	18.59	3.53	6.91
IV2 Peelhorst Sterksel leemarm en zwak lemig fijn zand	3	12.30	3.84	11.91	1.37
IV2 Peelhorst Sterksel lichte zavel	18	32.03	33.39	14.08	4.51
IV2 Peelhorst Sterksel veen of klei of zand	1	0.50			
Singrave lemig fijn zand	4	2.68	1.71	2.26	1.98
Totaal	194	6.42	15.86	1.23	6.46

Tabel B1.4 Gemiddelde doorlatendheid per schematisatie eenheid uit vooraf beschikbare gegevens

Schematisatieeenheid	Aantal Bis	k_h Bis	Aantal waterschap	k_h waterschap	Aantal totaal	k totaal
Geen bodemtype			38	0.94	38	0.94
III2 Slenk Nuenen grof fijnzandige lichte zavel	1	0.15			1	0.15
III2 Slenk Nuenen grof leemarm en zwak lemig fijn zand	1	0.15	13	1.27	14	1.19
III2 Slenk Nuenen grof lemig fijn zand	12	0.36	44	0.32	56	0.33
III2 Slenk Nuenen grof lichte zavel	1	0.45			1	0.45
III2 Slenk Nuenen grof veen	1	0.45			1	0.45
III3a Slenk Nuenen f dik leemarm en zwak lemig fijn zand	1	1.50			1	1.50
III3a Slenk Nuenen f dik lemig fijn zand	1	0.03	20	0.69	21	0.66
III3a Slenk Nuenen f dik zandige leem	2	0.20			2	0.20
IV1 Peelhorst Nuenen leemarm en zwak lemig fijn zand	6	1.34	2	4.61	8	2.16
IV1 Peelhorst Nuenen lemig fijn zand	13	0.45	25	0.98	38	0.80
IV1 Peelhorst Nuenen zandige leem	2	0.67			2	0.67
IV2 Peelhorst Sterksel fijnzandige lichte zavel	3	0.11	4	13.04	7	7.50
IV2 Peelhorst Sterksel grof zand en/of grind	15	3.12	22	3.53	37	3.36
IV2 Peelhorst Sterksel leem	1	0.03			1	0.03
IV2 Peelhorst Sterksel leemarm en zwak lemig fijn zand	2	2.12	3	11.91	5	7.99
IV2 Peelhorst Sterksel lemig fijn zand	2	0.30			2	0.30
IV2 Peelhorst Sterksel lichte zavel	1	10.00	18	14.08	19	13.87
IV2 Peelhorst Sterksel oude klei	2	0.04			2	0.04
IV2 Peelhorst Sterksel zandige leem	1	0.09			1	0.09
IV2 Peelhorst Sterksel zware zavel	1	0.15			1	0.15
IV2 Peelhorst Sterksel veen of klei of zand			1	0.50	1	0.50
IV3 Peelhorst grof zand en/of grind	3	1.14			3	1.14
IV3 Peelhorst klei of zand	1	0.15			1	0.15
IV3 Peelhorst lemig fijn zand	4	0.24			4	0.24
IV3 Peelhorst veen of klei of zand	1	1.50			1	1.50
Singrave leemarm en zwak lemig fijn zand	4	0.29			4	0.29
Singrave lemig fijn zand	6	0.24	4	2.26	10	1.05
Singrave veen	1	0.15			1	0.15

Tabel B1.5 Beschikbare doorlatendheidsgegevens per materiaalsoort

Materiaal	Aantal Bis	k_h Bis	Aantal waterschap	k_h waterschap	Aantal totaal	k totaal
niet onderscheiden	1	10.00	38	0.94	39	1.17
fijnzandige lichte zavel	4	0.12	4	13.04	8	6.58
grof zand en/of grind	19	2.56	22	3.53	41	3.08
klei of zand	1	0.15			1	0.15
leem	1	0.03			1	0.03
leemarm en zwak lemig fijn zand	12	0.70	18	2.13	30	1.56
lemig fijn zand	39	0.32	93	0.55	132	0.48
lichte zavel	2	2.12	18	14.08	20	12.89
oude klei	2	0.04			2	0.04
veen	2	0.26			2	0.26
zandige leem	5	0.28			5	0.28
zware zavel	1	0.15			1	0.15
veen of klei of zand			1	0.50	1	0.50
Totaal	89	0.52	194	1.23	283	1.01

Tabel B1.6 Omschrijving materiaal volgens bestand waterschap en volgens interpretatie van de bodemkaart, aantal metingen.

Aantal metingen voor k (m/dag)	Materiaal Alterra						Totaal
	grof zand en/of grind	leemarm en zwak lemig fijn zand	lemig fijn zand	lichte zavel	(blank)		
100 cm zeer fijn sterk siltig zand			1			1	
15 cm zeer fijn matig siltig zand; 50 cm zeer fijn sterk siltig zand			1			1	
35 cm matig fijn; matig siltig zand; 30 cm sterk siltige klei			1			1	
70 cm zeer fijn sterk siltig zand			1			1	
70 cm zeer fijn; sterk siltig zand			1			1	
80 cm zeer fijn sterk siltig zand			1			1	
fijn zand; siltig leem; veen					5	5	
matig fijn zand	3		3			6	
matig grof; zwak siltig zand	3					3	
zand; matig fijn; matig siltig; roodbruin; sterk roesthoudend			3			3	
zand; matig fijn; sterk siltig; lichtbruin; matig roesthoudend			3			3	
zand; matig fijn; zwak siltig			2			2	
zand; matig fijn; zwak siltig; lichtbruin; matig roesthoudend			3			3	
zand; matig grof; zwak siltig; lichtbruin; matig roesthoudend			3			3	
zeer fijn tot matig fijn zand	3			6		9	
zeer fijn; matig siltig zand			1			1	
(blank)	2	2	10			14	
Totaal	11	2	34	6	5	58	

Tabel B1.7 Omschrijving materiaal volgens bestand waterschap en volgens interpretatie van de bodemkaartgemiddelde k-waarde.

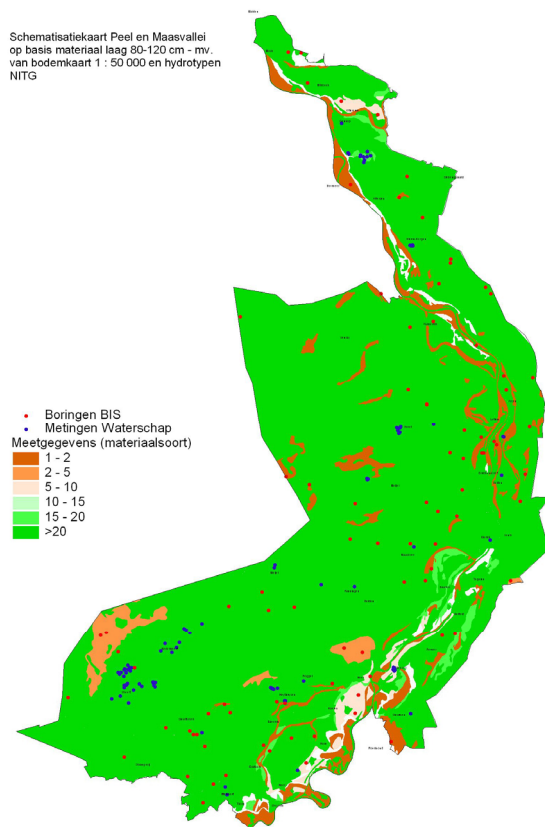
Gemiddelde voor k (m/dag)	Materiaal Alterra					Totaal
	grof zand en/of grind	leemarm en zwak lemig fijn zand	lemig fijn zand	lichte zavel	(blank)	
100 cm zeer fijn sterk siltig zand			1.30			1.30
15 cm zeer fijn matig siltig zand; 50 cm zeer fijn sterk siltig zand			0.30			0.30
35 cm matig fijn; matig siltig zand; 30 cm sterk siltige klei			0.10			0.10
70 cm zeer fijn sterk siltig zand			0.70			0.70
70 cm zeer fijn; sterk siltig zand			0.50			0.50
80 cm zeer fijn sterk siltig zand			1.70			1.70
fijn zand; siltig leem; veen					0.41	0.41
matig fijn zand	55.67		3.77			29.72
matig grof; zwak siltig zand	3.63					3.63
zand; matig fijn; matig siltig; roodbruin; sterk roesthoudend			0.84			0.84
zand; matig fijn; sterk siltig; lichtbruin; matig roesthoudend			0.87			0.87
zand; matig fijn; zwak siltig			4.25			4.25
zand; matig fijn; zwak siltig; lichtbruin; matig roesthoudend			1.59			1.59
zand; matig grof; zwak siltig; lichtbruin; matig roesthoudend			1.63			1.63
zeer fijn tot matig fijn zand	0.12			2.87		1.95
zeer fijn; matig siltig zand			1.10			1.10
(blank)	2.70	5.50	0.42			1.47
Totaal	16.70	5.50	1.31	2.87	0.41	4.46

Tabel B1.8 Geschatte doorlatendheden uit BIS (ALTERRA) op basis materiaalomschrijving

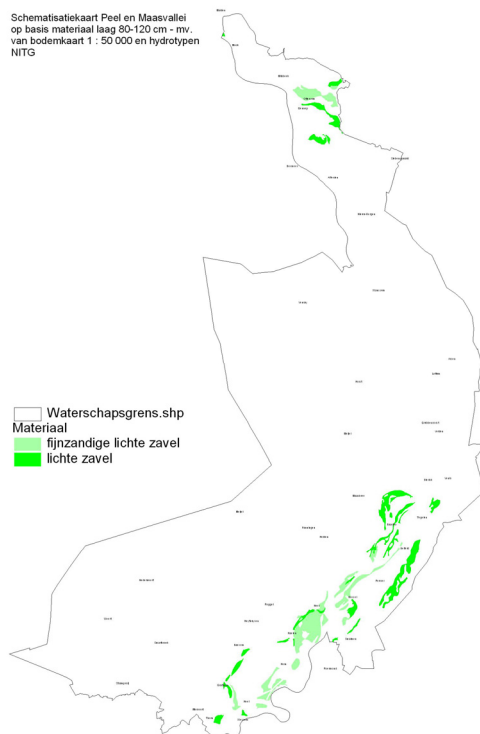
Materiaal	Totaal	Rekenkundig		Logaritmisch	
		k gemiddeld	standaard deviatie	k gemiddeld	standaard deviatie
fijnzandige lichte zavel	4	0.43	0.72	0.12	6.36
grof zand en/of grind	19	6.15	5.49	2.56	6.25
klei of zand	1	0.15		0.15	
leem	1	0.03		0.03	
leemarm en zwak lemig fijn zand	12	0.97	0.60	0.70	2.70
lemig fijn zand	39	0.49	0.40	0.32	2.69
lichte zavel	2	5.23	6.75	2.12	8.96
niet onderscheiden	1	10.00		10.00	
oude klei	2	0.05	0.02	0.04	1.63
veen	2	0.30	0.21	0.26	2.17
zandige leem	5	0.42	0.37	0.28	2.94
zwarte zavel	1	0.15		0.15	
Totaal	89	1.94	3.63	0.52	5.14

Tabel B1.9 Gemeten doorlatendheden via waterschap

Materiaal	Totaal	Rekenkundig		Logaritmisch	
		k gemiddeld	standaard deviatie	k gemiddeld	standaard deviatie
fijnzandige lichte zavel	4	25.45	36.39	13.04	3.41
grof zand en/of grind	22	12.67	18.59	3.53	6.91
leemarm en zwak lemig fijn zand	18	4.53	5.08	2.13	3.96
lemig fijn zand	93	1.28	1.81	0.55	4.12
lichte zavel	18	32.03	33.39	14.08	4.51
niet onderscheiden	38	2.29	2.75	0.94	5.63
veen of klei of zand	1	0.50		0.50	
Totaal	194	6.42	15.86	1.23	6.46



Figuur B1.1 Aantal metingen per materiaal soort en locatie k -waarde schattingen en metingen.



Figuur B1.2 Voorkomen van zavelige afzettingen met hoge k -waarden volgens tabel B1.5.

Bijlage 2 Tabellen bij bodemopbouw locaties boorgatmetingen

Tabel B2.1 Bodemopbouw locaties boorgatmetingen

Boor nr	Topk nr	Karteerder	Jaar	Maand	Bodem gebruik	Sub groep	Code Zand grofheid	Code Leem gehalte	Achter voegsel	Ver Gra ving
1001	57H	KIE	2005	4	GR	2q	42	3		
1002	58G	KIE	2005	4	AK	4t	43	2		
1003	58B	KIE	2005	4	WN	4k	42	4		
1004	52G	KIE	2005	4	AK	c4i	42	2		
1005	58A	KIE	2005	4	AM	5t	43	2	t15	
1006	52D	KIE	2005	4	Gr	2r	42	3		
1007	52D	KIE	2005	4	AK	2r	43	2		
1008	52B	KIE	2005	4	BT	4i	43	2		G
1009	52B	KIE	2005	4	GR	2r	43	2	t12	F
1010	52A	KIE	2005	4	BL	2r	43	2	t12	

Boor nr	GHG	GLG	Gt	Bew.b.diepte	grw.stand op 22/4/2005	Opmerkingen
1001	50	190	Vld	55		
1002	300	400	VIIIId	100		
1003	5	70	IIa	30		
1004	35	115	Vbo	60		
1005	350	450	VIIIId	100		voor meting boorgat geboord op laagst gelegen terreingedeelte
1006	50	130	Vlo	60	75	
1007	50	130	Vlo	50	70	
1008	300	400	VIIIId	50	300	voor meting boorgat geboord op laagst gelegen terreingedeelte (met bomen)
1009	30	120	Vbo	50	50	
1010	70	160	Vlo	50	130	

Boor nr	Laag nr	Begin diepte	Eind diepte	Horizont code	Org stof	Lutum	Leem	M50	Geo code	Ksat	Opmerkingen
1001	1	0	35	1Aa/Bhe	4.0		28	130	692		B-resten
1001	2	35	55	1Ce1	0.5		25	130	412	20	
1001	3	55	70	1Ce2			16	140	412	80	iets roest
1001	4	70	90	2Cu			35	100	422	15	lossleem
1001	5	90	110	3Ce			12	140	321	80	iets roest
1001	6	110	170	4Cg			55	95	422	5	lossleem
1001	7	170	200	5Cer			8	140	412	150	
1001	8	200	250	5Cr			8	140	412	150	
1002	1	0	30	1Aap	3.5		11	160	692		grindjes/bruin
1002	2	30	45	1Bws			11	160	412		grindjes/bruin
1002	3	45	100	1Cy			8	170	412	200	grindjes/geelbruin
1002	4	100	130	1Cg1			8	155	412	200	iets roest
1002	5	130	170	1Cg2			30	100	412	10	gelaagd
1002	6	170	190	1Cg3			8	170	412	500	
1002	7	190	220	2Cu			6	300		500	
1002	8	220	250	2Cg1			10	400			iets gelaagd
1002	9	250	300	2Cg2			6	400		800	geelbruin
1002	10	300	350	2Cg3			4	800		1000	
1003	1	0	15	1Ah	6.0	7	35	110	340	5	zwart
1003	2	15	55	1Cg		7	35	110	340	5	bruingrijs
1003	3	55	80	1Cer			8	165	413	150	grijs;houtresten
1003	4	80	150	1Cr			12	155	413	60	grijs; iets gelaagd
1004	1	0	35	1Aa/Cep	4.0		12	145	693		
1004	2	35	60	1Ce1	0.4		12	145	412	60	
1004	3	60	110	1Ce2	0.3		10	160	412	150	iets roest
1004	4	110	135	1Cer			10	160	412	150	iets roest; iets houtresten
1004	5	135	200	1Cr			10	160	412	150	iets roest; iets houtresten
1005	1	0	30	1Ap	2.0		14	155	692		bruin
1005	2	30	60	1Bw			18	155	412		bruin
1005	3	60	100	1Cy1			16	155	412		
1005	4	100	120	1Cy2			6	190	412		
1005	5	120	150	1Cy3			14	155	412		
1005	6	150	180	2Cu			40	110	422		lossleem
1005	7	180	220	3Cu			6	190			bont
1005	8	220	260	4Cu			40	100	422		lossleem
1005	9	260	350	5Cg			8	190			leembandjes
1006	1	0	30	1Ap	6.0		28	140	412		B-resten
1006	2	30	60	1Cg1	0.5		30	140	412		
1006	3	60	120	1Cg2	0.5		14	145	412		
1006	4	120	160	1Cgr	0.5		12	150	412		
1006	5	160	220	1Cr			10	160	413		nog iets roest

1007	1	0	30	1Ap	5.5	12	155	321		zwart
1007	2	30	50	1A/B/C	3.0	12	155	321		
1007	3	50	70	1BCe	0.5	12	155	321	60	
1007	4	70	100	1Ce	0.4	12	150	321	30	met waterhard
1007	5	100	140	1Cer	0.3	10	155	321	100	
1007	6	140	200	1Cr	0.3	10	155	321	100	op ca. 180 lossleemlaag van 10 cm; na 200 zeer fijn zand

1008	1	0	25	1A/Ce	3.5	12	155	693		iets afgegraven
1008	2	25	50	1Ce1		10	155	412		geel
1008	3	50	130	1Ce2		10	145	412		geel
1008	4	130	150	1Ce3		12	150	412		grindjes geel; met roestvlekken
1008	5	150	180	1Cg1		12	145	412	80	grijs; met roestvlekken
1008	6	180	250	1Cg2		8	140	412	120	iets roest
1008	7	250	335	1Cer		14	140	412	80	
1008	8	335	350	1Cr		14	140	412	80	

1009	1	0	50	1A/B/C	6.5	12	155	693		
1009	2	50	70	1BCe	0.5	10	155	411		
1009	3	70	100	1Ce	0.5	10	155	411	60	
1009	4	100	120	1Cer		16	155	412	40	
1009	5	120	180	2Cr	6.0	35	100	422	5	eerste 15 cm bijna moerig
1009	6	180	200	3Bher	1.5	10	155	412	40	
1009	7	200	220	3Cr		10	145	412	80	

1010	1	0	25	1Ap	6.0	12	155	692		
1010	2	25	40	1E	2.0	10	155	411		
1010	3	40	50	1Bhe	2.0	10	155	411		
1010	4	50	70	1BCe	0.5	10	155	411		
1010	5	70	120	1Ce		10	140	412		
1010	6	120	145	2Cu		30	100	422	15	iets gelaagd
1010	7	145	200	2Cer		6	170	413	120	

Bijlage 3 Tabellen bij de gevoeligheidsanalyse boorgatmetingen

Tabel B3.1 Resultaten *k*-waarde in *m/d* mbv boorgatmetingen

Boorgat	1		2			3		Gemiddelde k	
Meting	1	2	1	2	3	1	2	Logarit- misch	Reken- kundig
1	0.53	0.34	1.18	0.77				0.63	0.70
2	Niet gemeten								
3	0.26	0.32	0.10	0.31				0.22	0.25
4	0.65	0.71	0.62	0.90				0.71	0.72
5	1.06	0.84						0.95	0.95
6	0.46	0.55	0.25	0.51	0.90			0.41	0.50
7	0.74	0.90	0.62	0.38	1.05	0.51	0.30	0.51	0.53
8	0.82	0.87	0.99	1.07				0.83	0.94
9	0.20	0.17	0.14	0.11				0.15	0.15
10	0.88	0.86	0.42	0.43				0.58	0.60

Tabel B3.2 Standaarddeviatie tussen afzonderlijke waarnemingen

Boorgat	1		2			3		
Meting	1	2	1	2	3	1	2	Gem
1	0.20	0.07	0.21	0.21				0.17
2								
3	0.10	0.10	0.04	0.06				0.08
4	0.10	0.12	0.14	0.30				0.16
5	0.18	0.20						0.19
6	0.06	0.05	0.07	0.04	0.11			0.06
7	0.11	0.38	0.11	0.24	0.07	0.10	0.18	0.17
8	0.07	0.07	0.10	0.14				0.09
9	0.05	0.05	0.03	0.01				0.04
10	0.11	0.04	0.04	0.43				0.16

Tabel B3.3 Resultaten *k*-waarde in *m/d* mbv boorgatmetingen waarbij *r*=4 cm ipv 3,5 cm

Boorgat	1		2			3		Gemiddelde k	
Meting	1	2	1	2	3	1	2	Logarit- misch	Reken- kundig
1	0.64	0.41	1.46	0.94				0.78	0.82
2									
3	0.31	0.39	0.12	0.38				0.27	0.28
4	0.80	0.87	0.75	1.10				0.87	0.85
5	1.30	1.03						1.15	1.09
6	0.55	0.66	0.30	0.62	1.09			0.51	0.61
7	0.91	1.09	0.76	0.46	1.28	0.62	0.36	0.72	0.73
8	1.00	1.05	1.21	1.30				1.01	1.05
9	0.24	0.21	0.17	0.14				0.18	0.18
10	1.06	1.04	0.51	0.53				0.74	0.74

Tabel B3.4 Standaarddeviatie tussen afzonderlijk waarnemingen waarbij *r*=4 cm ipv 3,5 cm

Boorgat	1		2			3		
Meting	1	2	1	2	3	1	2	Gem
1	0.24	0.09	0.26	0.26				0.21
2								
3	0.12	0.13	0.04	0.07				0.09
4	0.12	0.14	0.17	0.37				0.20
5	0.22	0.24						0.23
6	0.07	0.05	0.08	0.05	0.13			0.08
7	0.14	0.47	0.13	0.29	0.08	0.12	0.22	0.21
8	0.09	0.08	0.12	0.16				0.11
9	0.06	0.06	0.04	0.02				0.05
10	0.14	0.05	0.04	0.53				0.19

Tabel B3.5 Resultaten *k*-waarde in *m/d* mbv boorgatmetingen waarbij H 5cm is verlengd (dieper boorgat)

Boorgat	1		2			3		Gemiddeld	
Meting	1	2	1	2	3	1	2	Logarit- misch	Reken- kundig
1	0.49	0.34	1.12	0.73				0.61	0.66
2									
3	0.24	0.30	0.09	0.29				0.21	0.23
4	0.62	0.68	0.58	0.85				0.67	0.69
5	1.00	0.79						0.89	0.91
6	0.46	0.55	0.25	0.51	0.90			0.42	0.51
7	0.74	0.90	0.62	0.38	1.05	0.51	0.30	0.59	0.62
8	0.76	0.80	0.92	0.99				0.78	0.87
9	0.20	0.17	0.14	0.11				0.15	0.15
10	0.88	0.86	0.42	0.43				0.61	0.64

Tabel B3.6 Standaarddeviatie tussen afzonderlijk waarnemingen waarbij H 5cm is verlengd (dieper boorgat)

Boorgat	1		2			3		
Meting	1	2	1	2	3	1	2	Gem
1	0.19	0.07	0.19	0.20				0.16
2								
3	0.10	0.10	0.03	0.05				0.07
4	0.09	0.11	0.13	0.29				0.15
5	0.17	0.19						0.18
6	0.06	0.05	0.07	0.04	0.11			0.06
7	0.11	0.38	0.11	0.24	0.07	0.10	0.18	0.17
8	0.07	0.06	0.09	0.13				0.09
9	0.05	0.05	0.03	0.01				0.04
10	0.11	0.04	0.04	0.43				0.16

Tabel B3.7 Resultaten k -waarde in m/d mbv boorgatmetingen waarbij H 5cm is verkort (dichtlopen boorgat)

Boorgat	1		2			3		Gemiddelde k	
Meting	1	2	1	2	3	1	2	Logarit- misch	Reken- kundig
1	0.57	0.39	1.25	0.80				0.69	0.74
2									
3	0.28	0.34	0.11	0.32				0.24	0.26
4	0.69	0.75	0.67	0.96				0.76	0.77
5	1.14	0.90						1.02	1.02
6	0.46	0.55	0.25	0.51	0.90			0.42	0.51
7	0.74	0.90	0.62	0.38	1.05	0.51	0.30	0.59	0.64
8	0.91	0.95	1.09	1.18				0.89	0.99
9	0.20	0.17	0.14	0.11				0.15	0.15
10	0.88	0.86	0.42	0.43				0.61	0.64

Tabel B3.8 Standaarddeviatie tussen afzonderlijk waarnemingen waarbij H 5cm is verkort (dichtlopen boorgat)

Boorgat	1		2			3		
Meting	1	2	1	2	3	1	2	Gem
1	0.22	0.09	0.22	0.23				0.19
2								
3	0.11	0.11	0.04	0.06				0.08
4	0.10	0.13	0.15	0.32				0.18
5	0.20	0.22						0.21
6	0.06	0.05	0.07	0.04	0.11			0.06
7	0.11	0.38	0.11	0.24	0.07	0.10	0.18	0.17
8	0.08	0.07	0.11	0.15				0.10
9	0.05	0.05	0.03	0.01				0.04
10	0.11	0.04	0.04	0.43				0.16

Tabel B3.9 Resultaten k -waarde in m/d mbv boorgatmetingen waarbij $H_{initial}$ 5cm is verdiept (diepere aanvangsgrondwaterstand)

Boorgat	1		2			3		Gemiddelde k	
Meting	1	2	1	2	3	1	2	Logarit- misch	Reken- kundig
1	0.56	0.36	1.24	0.84				0.68	0.73
2									
3	0.30	0.34	0.13	0.32				0.25	0.26
4	0.73	0.81	0.71	1.00				0.81	0.79
5	1.14	0.91						1.02	1.00
6	0.49	0.57	0.28	0.53	0.92			0.45	0.53
7	0.81	0.96	0.67	0.42	1.13	0.55	0.33	0.64	0.66
8	0.87	0.93	0.99	1.14				0.87	0.95
9	0.21	0.18	0.14	0.12				0.16	0.16
10	1.04	1.05	0.50	0.54				0.74	0.74

Tabel B3.10 Standaarddeviatie tussen afzonderlijk waarnemingen waarbij $H_{initial}$ 5cm is verdiept (diepere aanvangsgrondwaterstand)

Boorgat	1		2			3		
Meting	1	2	1	2	3	1	2	Gem
1	0.21	0.08	0.21	0.22				0.18
2								
3	0.12	0.11	0.05	0.06				0.09
4	0.10	0.12	0.15	0.34				0.17
5	0.19	0.21						0.20
6	0.07	0.05	0.07	0.04	0.10			0.06
7	0.13	0.40	0.11	0.26	0.07	0.10	0.20	0.18
8	0.08	0.08	0.10	0.14				0.10
9	0.05	0.05	0.04	0.01				0.04
10	0.11	0.06	0.04	0.54				0.19

Tabel B3.11 Resultaten k -waarde in m/d mbv boorgatmetingen waarbij $H_{initial}$ 5cm is verondiept (ondiepere aanvangsgrondwaterstand)

Boorgat	1		2			3		Gemiddelde k	
Meting	1	2	1	2	3	1	2	Logarit- misch	Reken- kundig
1	0.51	0.32	1.13	0.71				0.60	0.67
2									
3	0.23	0.30	0.08	0.30				0.20	0.23
4	0.60	0.64	0.56	0.83				0.65	0.69
5	1.01	0.79						0.90	0.94
6	0.44	0.54	0.23	0.49	0.91			0.40	0.51
7	0.69	0.85	0.59	0.35	1.00	0.48	0.27	0.55	0.61
8	0.79	0.83	0.99	1.03				0.80	0.91
9	0.19	0.17	0.13	0.11				0.15	0.15
10	0.78	0.75	0.37	0.37				0.53	0.60

Tabel B3.12 Standaarddeviatie tussen afzonderlijk waarnemingen waarbij $H_{initial}$ 5cm is verondiept (ondiepere aanvangsgrondwaterstand)

Boorgat	1		2			3		
Meting	1	2	1	2	3	1	2	Gem
1	0.20	0.07	0.21	0.21				0.17
2								
3	0.09	0.10	0.03	0.06				0.07
4	0.09	0.12	0.13	0.28				0.16
5	0.18	0.19						0.19
6	0.06	0.04	0.06	0.04	0.12			0.07
7	0.10	0.37	0.10	0.22	0.07	0.09	0.16	0.16
8	0.07	0.06	0.10	0.13				0.09
9	0.05	0.04	0.03	0.01				0.03
10	0.11	0.03	0.04	0.37				0.14

Tabel B3.13 Resultaten k -waarde in m/d mbv boorgatmetingen waarbij $H_{initial}$ 5cm is verdiept (diepere aanvangsgrondwaterstand), $r=4cm$ en H is 5 cm verkort

Boorgat	1		2			3		Gemiddelde k	
Meting	1	2	1	2	3	1	2	Logarit- misch	Reken- kundig
1	0.73	0.47	1.61	1.08				0.88	0.91
2									
3	0.38	0.44	0.17	0.41				0.33	0.33
4	0.94	1.04	0.92	1.29				1.04	0.98
5	1.48	1.18						1.32	1.20
6	0.65	0.77	0.36	0.70	1.26			0.60	0.69
7	1.05	1.25	0.86	0.54	1.46	0.71	0.42	0.83	0.81
8	1.15	1.21	1.40	1.50				1.16	1.17
9	0.27	0.24	0.19	0.15				0.21	0.20
10	1.33	1.35	0.65	0.69				0.95	0.92

Tabel B3.14 Standaarddeviatie tussen afzonderlijk waarnemingen waarbij $H_{initial}$ 5cm is verdiept (diepere aanvangsgrondwaterstand), $r=4cm$ en H is 5 cm verkort

Boorgat	1		2			3		
Meting	1	2	1	2	3	1	2	Gem
1	0.27	0.10	0.27	0.29				0.23
2								
3	0.16	0.15	0.06	0.08				0.11
4	0.13	0.15	0.20	0.43				0.23
5	0.25	0.27						0.26
6	0.09	0.06	0.10	0.05	0.15			0.09
7	0.17	0.52	0.14	0.33	0.09	0.13	0.25	0.23
8	0.10	0.10	0.13	0.19				0.13
9	0.07	0.06	0.05	0.02				0.05
10	0.15	0.07	0.05	0.69				0.24

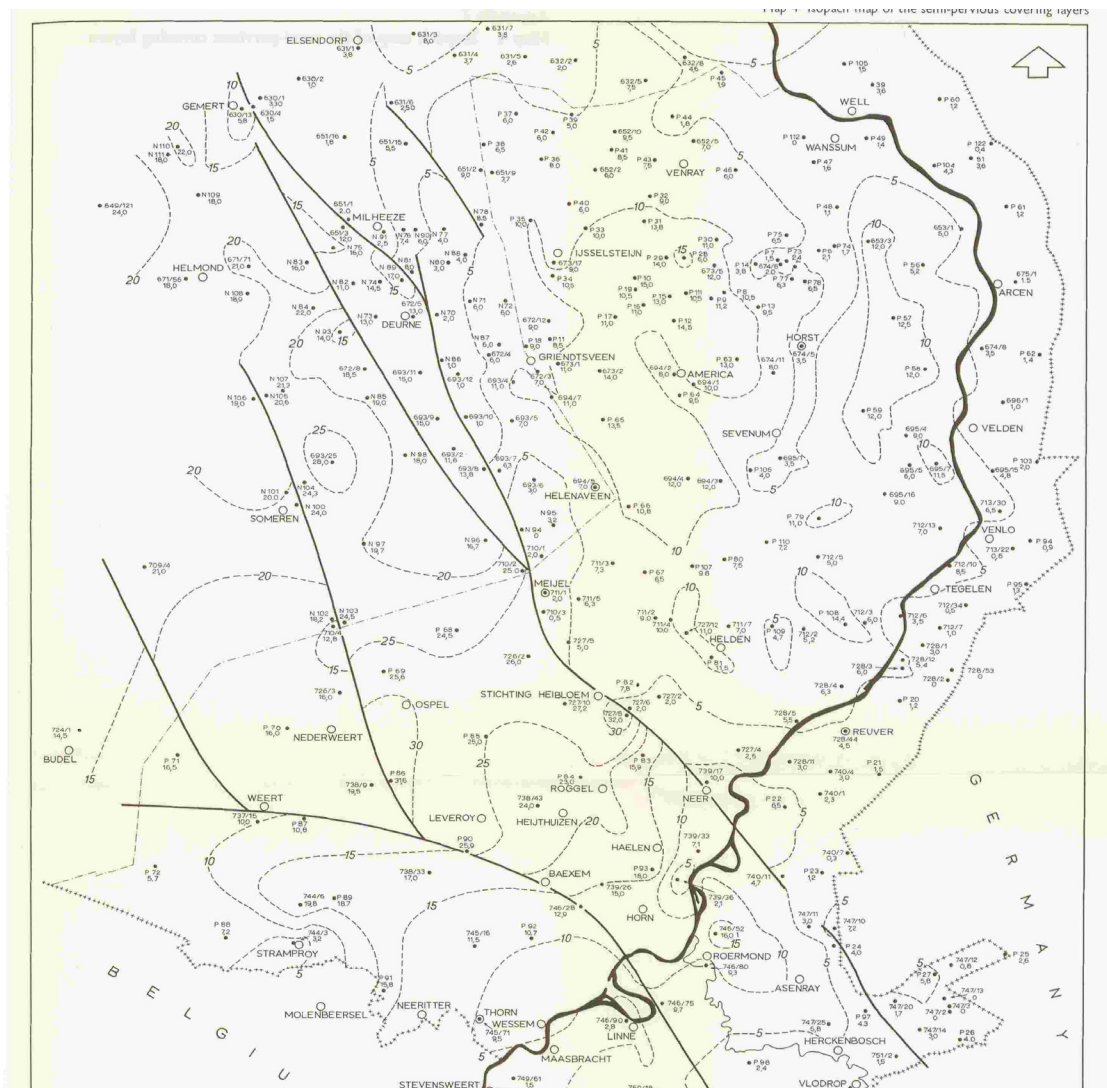
Tabel B3.15 Resultaten k -waarde in m/d mbv boorgatmetingen waarbij $H_{initial}$ 5cm is verondiept (ondiepere aanvangsgrondwaterstand) en H is 5 cm verlengd

Boorgat	1		2			3		Gemiddelde k	
Meting	1	2	1	2	3	1	2	Logarit- misch	Reken- kundig
1	0.47	0.30	1.07	0.68				0.57	0.62
2									
3	0.21	0.29	0.08	0.28				0.19	0.21
4	0.56	0.61	0.52	0.78				0.61	0.62
5	0.94	0.74						0.83	0.86
6	0.39	0.47	0.21	0.45	0.79			0.37	0.45
7	0.65	0.79	0.55	0.33	0.93	0.45	0.26	0.52	0.57
8	0.73	0.76	0.92	0.94				0.74	0.84
9	0.18	0.15	0.12	0.10				0.14	0.14
10	0.72	0.70	0.35	0.35				0.50	0.53

Tabel B3.16 Standaarddeviatie tussen afzonderlijk waarnemingen waarbij $H_{initial}$ 5cm is verondiept (ondiepere aanvangsgrondwaterstand) en H is 5 cm verlengd

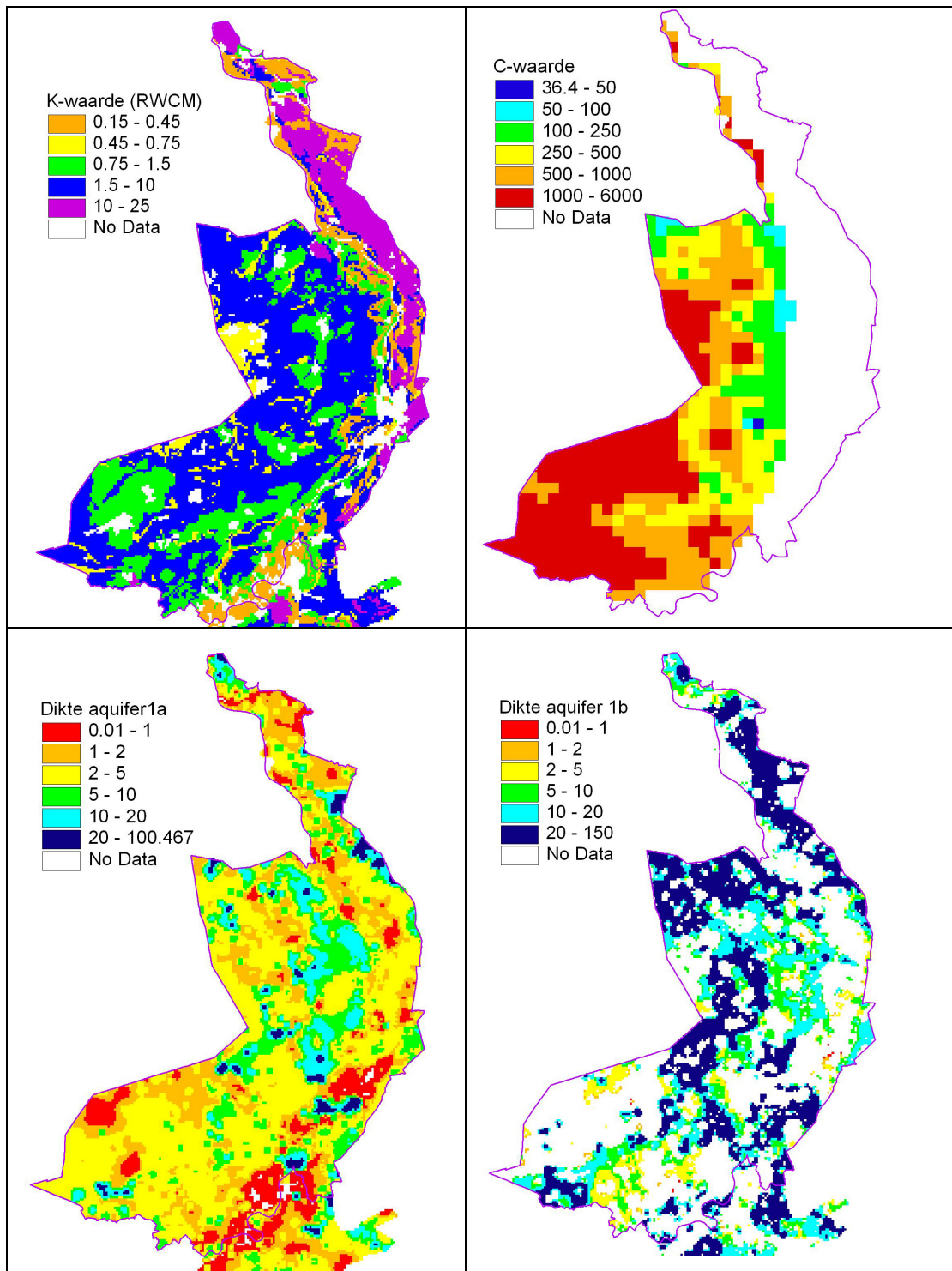
Boorgat	1		2			3		
Meting	1	2	1	2	3	1	2	Gem
1	0.18	0.07	0.19	0.20				0.16
2								
3	0.08	0.09	0.03	0.05				0.06
4	0.09	0.11	0.12	0.26				0.14
5	0.16	0.18						0.17
6	0.05	0.04	0.06	0.04	0.10			0.06
7	0.10	0.35	0.10	0.21	0.07	0.09	0.15	0.15
8	0.07	0.06	0.09	0.12				0.08
9	0.04	0.04	0.03	0.01				0.03
10	0.10	0.03	0.03	0.35				0.13

Bijlage 4 Kaart bij dikte deklaag



Figuur B4.1 Diktekaart zanddiluvium (De Ridder, 1967)

Bijlage 5 Kaarten NITG



Figuur B5.1 RWCM-data (NITG)

Bijlage 6 Infiltratie-theorie (Peerboom, 1987)

Matrix- infiltratie

De verticale infiltratie in de bodemmatrix wordt bepaald door twee krachten, namelijk de zwaartekracht en de capillaire kracht die de bodem op het water uitoefent (drukhoogte). In droge bodems overheersen de capillaire krachten, in natte bodems overheerst de zwaartekracht.

De verticale infiltratie in de bodemmatrix is maximaal indien er zich een laag water op het maaiveld bevindt. Deze maximale matrixinfiltratie I_{\max} wordt bepaald door de zwaartekracht die steeds constant is, en de drukhoogtegradiënt tussen het bodemoppervlak en het vochtfront. In natte gronden is deze drukhoogtegradiënt kleiner dan in droge gronden, zodat in droge gronden de maximale matrixinfiltratie groter is dan in natte gronden, in een volkomen verzadigde grond is de drukhoogte zelfs gelijk aan 0, I_{\max} wordt dan gelijk aan de verzadigde doorlatendheid k_s .

Tijdens het verloop van de infiltratie wordt de afstand tussen bodemoppervlak en het begin van het vochtfront steeds groter, dit betekent dat bij gelijkblijvende drukhoogten (geen waterbeweging behalve die in het vochtfront) de gradiënt afneemt. Dit betekent dat de I_{\max} in de tijd afneemt, in het extreme geval als het hele bodemprofiel verzadigd is, tot de verzadigde doorlatendheid k_s .

Bovenstaande geldt voor de infiltratie van water in de bodemmatrix indien er zich een hoeveelheid vrij water aan het maaiveld bevindt, de zogenaamde constante potentiaal infiltratie. In werkelijkheid treedt deze situatie echter niet meteen op nadat er neerslag op het maaiveld terecht komt. Eerst zal de neerslag met de intensiteit waarmee deze op het bodemoppervlak terecht komt in de bodemmatrix infiltreren zonder de vorming van plassen, de zogenaamde constante flux infiltratie. Of de neerslag plasvorming zal veroorzaken hangt af van de neerslagintensiteit:

- indien de neerslagintensiteit P kleiner is dan de verzadigde doorlatendheid k_s van de bodem zal nooit plasvorming optreden, aangezien k_s de minimale infiltratie beschrijft in de situatie dat de capillaire krachten geen invloed meer hebben.
- indien P groter is dan de maximale infiltratie I_{\max} van de grond bij een bepaald vochtgehalte, treedt onmiddellijk plasvorming op.
- indien P groter is dan K_s maar kleiner dan I_{\max} , treedt na verloop van tijd plasvorming op, aangezien het met een constante flux infiltrerende water het bodemprofiel steeds natter maakt en dus de infiltratiesnelheid kleiner.

In het navolgende zal eerst de theorie van de constante potentiaal infiltratie beschreven worden, daarna zal ingegaan worden op het proces dat zich hiervoor afspeelt, de constante flux infiltratie. In de beschrijving wordt steeds uitgegaan van een bodemprofiel dat in beginsel een uniforme vochtverdeling heeft.

Constante Potentiaal Infiltratie

Voor de beschrijving van maximale infiltratie in verschillende bodems onder een constante potentiaal, zijn veel verschillende uitdrukkingen in omloop, met name met betrekking tot infiltratie in isotrope grond met een uniforme vochtverdeling. De

meeste uitdrukkingen vertonen veel gelijkens met de empirisch bepaalde formule van Kostiakov uit 1932:

$$I(t) = C * t^\alpha$$

$I(t)$ = cumulatieve infiltratie op tijdstip;

t = tijd [dag];

C, α = nader te bepalen empirische constanten.

De constanten in de formule hebben echter geen vaste fysische betekenis, bovendien wordt er geen onderscheid gemaakt tussen de stroming onder invloed van de capillaire krachten en die onder invloed van de zwaartekracht.

De formule van Philip uit 1957, maakt duidelijk onderscheid in deze twee stromingen, door het introduceren van een lineaire term in de vergelijking, die de invloed van de zwaartekracht representeert (samen met hogere orde termen die echter verwaarloosbaar klein zijn):

$$I(t) = S(\theta) * \sqrt{t} + A * t \quad (10)$$

$S(\theta)$ = sorptiviteit van de bodem [$m/d^{0.5}$];

θ = vochtgehalte [m^3/m^3];

A = nader te bepalen constante [m/d].

Uit de formule volgt duidelijk dat de invloed van de capillaire kracht afneemt in de loop van het infiltratieproces, en dat de invloed van de zwaartekrachtcomponent steeds groter wordt.

HESTERS (1985) leidt af dat voor t naderend naar 0, de formule van Philip overgaat in die van Kostiakov waarbij α en C op respect. 0.5 en $S(\theta)$ gesteld worden, en dat voor t naderend naar oneindig beide formules in elkaar overgaan door voor α en C respect. 1 en k_s (verzadigde doorlatendheid) te nemen.

De sorptiviteit die in de formule gebruikt wordt, is afhankelijk van het initieel vochtgehalte van de grond aan het begin van de infiltratie (θ_i), het verzadigd vochtgehalte van de grond (θ_s) en de diffusiviteit van de grond $D(\theta) = (k(\theta)/(d\theta/dh))$. De sorptiviteit neemt af naarmate het bergingsvermogen van de grond kleiner wordt, dus indien het initiële vochtgehalte groter wordt.

STROOSNIJDER (1975) geeft een uitdrukking voor de infiltratiecapaciteit van de grond, waarin alle constanten een vast omschreven fysische betekenis hebben:

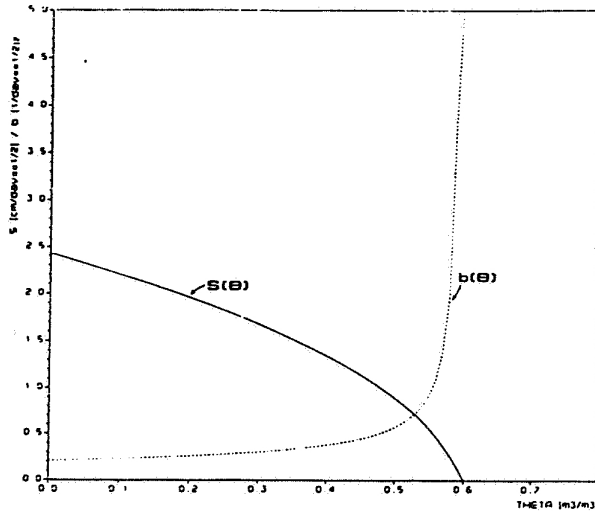
$$I(t) = S(\theta)/b(\theta) * (1 - e^{-b(\theta)*\sqrt{t}}) + K_s * t \quad (11a)$$

$$i(t) = \frac{dI}{dt} = 0.5 * S(\theta) * 1/\sqrt{t} * e^{-b(\theta)*\sqrt{t}} + K_s \quad (11b)$$

$$b(\theta) = \text{constante gelijk aan } 4 * K_s / 3S(\theta) \text{ [1/dag}^{\frac{1}{2}}\text{]}$$

$$K_s = \text{verzadigde doorlatendheid [m/d]}$$

Evenals in de vorige formule bepaalt het eerste lid de invloed van de capillaire krachten op de infiltratiesnelheid. In de formule bepaald de waarde van de parameter $b(\theta)$ de snelheid van afzwakken van deze capillaire kracht op de infiltratie. De tweede term bepaald de invloed van de zwaartekracht. In figuur 6.1 is het verloop van de sorptiviteit met het vochtgehalte gegeven, zoals die voor de grond die bij het onderzoek betrokken is geweest bepaald is uit de bodemkarakteristieken.



Figuur 6.1 Het verloop van de uit de bodemkarakteristieken bepaalde sorptiviteit en de parameter b voor het onderzoekssperceel.

Ook de formule van Stroosnijder nadert onder bepaalde omstandigheden naar die van Philip en van Kostikov; voor kleine t nadert de e -macht in de formule naar $1 - b\sqrt{t} + 1/2b^2 t$. De parameter A in de formule van Philip kan dan uitgedrukt worden door $(1 - Sb/2k_{sw}) k_{sw} t$.

Alhoewel de formule uit STROOSNIJDER (1975) duidelijk omschreven parameters bevat, is een exacte bepaling hiervan niet eenvoudig. Het bepalen van de sorptiviteit is een moeilijke zaak. In principe is deze factor te bepalen uit de pF-curve en de doorlatendheidskarakteristiek van de grond, STROOSNIJDER (1975) geeft hiervoor enkele mogelijkheden, waaronder:

$$S = 2 * (\theta_s - \theta_i) * \sqrt{D(\theta)/\pi} \quad \text{in het geval } D = \text{constant} \quad (12)$$

$$S(\theta) = \left\{ 2 * \int_{\theta_i}^{\theta} (\theta - \theta_i) * D(\theta) d\theta \right\}^{1/2} \quad \text{in het geval } D = f(\theta) \quad (13a)$$

of in discrete vorm:

$$S(\theta) = \left\{ 2 * \sum_{\theta_i}^{\theta} \{ (\theta - \theta_i) * D(\theta) * \Delta\theta \}^{1/2} \right\} \quad (13b)$$

Aangezien de diffusiviteit meestal niet als constant beschouwd kan worden, biedt formule (13) meer toepassingsmogelijkheden. Echter de helling van de pF-curve en

de waarde van de doorlatendheid in het nattere traject is hier van overheersende invloed, en moeilijk te bepalen. STROOSNIJDER (1975) komt m.b.v. deze berekeningen uit de pF-curve en doorlatendheidskarakteristiek, voor zware zeeklei tot een sorptiviteit van $1.94 \text{ cm/dag}^{0.5}$ en een factor b van $0.15 \text{ 1/dag}^{0.5}$ bij een volkomen uitgedroogde bodemmatrix.

Een directe bepaling van de sorptiviteit in het veld voor verschillende vochtgehalten, verdient echter sterk de voorkeur. STROOSNIJDER (1976) en CLOTHIER et. al. (1981) geven hiervoor enkele methoden.

Constante Flux Infiltratie

Indien neerslag op het bodemoppervlak terecht komt zal in het begin alle neerslag direct infiltreren in de bodemmatrix, de zogenaamde constante flux infiltratie. De infiltratiesnelheid is dan gelijk aan de neerslagintensiteit. Deze infiltratiesnelheid is altijd kleiner dan de infiltratiesnelheid die optreedt onder een constante potentiaal aan het oppervlak, die immers de maximale infiltratiesnelheid representeert.

Tijdens de constante flux infiltratie treedt er geen aaneengesloten vochtfront in de bodem op, zoals dat wel gebeurt tijdens de constante potentiaal infiltratie. Toepassing van de formules van Kostiakov, Philip of Stroosnijder is dan niet meer mogelijk, aangezien er geen constante potentiaal aan het maaiveld en geen aaneengesloten vochtfront optreedt. Pas na verloop van tijd, als er plasvorming optreedt, gaat de constante flux infiltratie over in een constante potentiaal infiltratie. Eerst moet dus het tijdstip waarop plasvorming optreedt berekend worden.

PERROUX (1981) en CLOTHIER (1981), geven een benaderde formule voor het tijdstip waarop plasvorming optreedt in een constante flux situatie:

$$t_p = s(\theta)^2 / 2 * i * (i - k_s) \quad (14)$$

t_p : tijd tot aan plasvorming [d]

i : constante flux [cm/d]

$s(\theta)$: sorptiviteit [cm/ \sqrt{d}]

k_s : verzadigde doorlatendheid [cm/d]

Indien de formules voor de constante potentiaal infiltratie toegepast zouden worden voor de constante flux situatie, waarbij het tijdstip van plasvorming gesteld zou worden op het tijdstip waarop de maximale infiltratie bij constante potentiaal gelijk geworden is aan de neerslagintensiteit, zou dit leiden tot kleinere waarden voor t_p . Dit komt omdat in een constante potentiaal infiltratie steeds de maximale infiltratie I_{max} optreedt, in dezelfde tijd kan dus meer water infiltreren in de bodemmatrix, waardoor de infiltratiecapaciteit met name in het begin van de infiltratie sneller afneemt in vergelijking met de constante flux situatie. Indien de flux groot is t.o.v. van de verzadigde doorlatendheid, blijkt dat t_p twee keer zo groot is als b.v. bij de eerder beschreven (foutieve) toepassing van de formule van Kostiakov met $a = 0.5$ en $C = S(\theta)$.

Bijlage 7 Ruimtelijke beïnvloeding (Van der Gaast en Stuyt, 2000)

Het effect van een infiltratiebassin, met een c-waarde onder het bassin, op de grondwaterstand is te berekenen. Bij de bepaling van het effect op de grondwaterstand spelen de spreidingslengte en de drainageweerstand een cruciale rol. In de formule voor de spreidingslengte kan de c-waarde vervangen worden door de c^* -waarde (zie volgende paragraaf):

$$\lambda^* = \sqrt{kDc^*} \quad (1)$$

waarin:

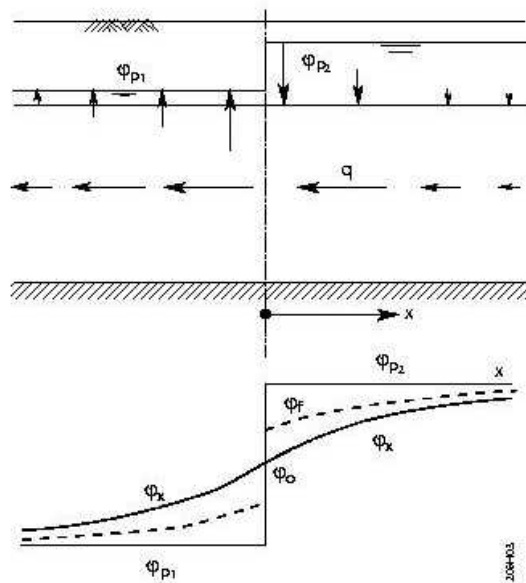
λ^*	: spreidingslengte	(m)
k	: doorlaatfactor	(m/d)
D	: laagdikte	(m)
c^*	: vervangende c-waarde	(d)

De vervangende waarde voor de spreidingslengte kan vervolgens gebruikt worden in de formule van Mazure (1936) voor de bepaling van effecten van twee gebieden met een verschillend peil en een rechte grens (figuur 7.1) (Edelman, 1972; TNO, 1964; Verruijt, 1974):

$$\frac{Q_x}{Q_0} = \frac{(\varphi_p - \varphi_x)}{(\varphi_p - \varphi_k)} = e^{-x/\lambda^*} \quad (2)$$

waarin:

Q_x	: debiet in het eerste watervoerend pakket op een afstand x	(m ³ /dag)
Q_0	: debiet in het eerste watervoerend pakket op een afstand 0	(m ³ /dag)
φ_x	: stijghoogte in het eerste watervoerend pakket op een afstand x	(m)
φ_p	: polderpeil	(m)
φ_0	: stijghoogte in het eerste watervoerend pakket op de grens tussen de twee gebieden	(m)
λ^*	: spreidingslengte ($\sqrt{kDc^*}$)	(m)
x	: afstand	(m)



Figuur 7.1 Overzicht van de effecten van 2 gebieden met een verschillend polderpeil (Naar Edelman, 1972)

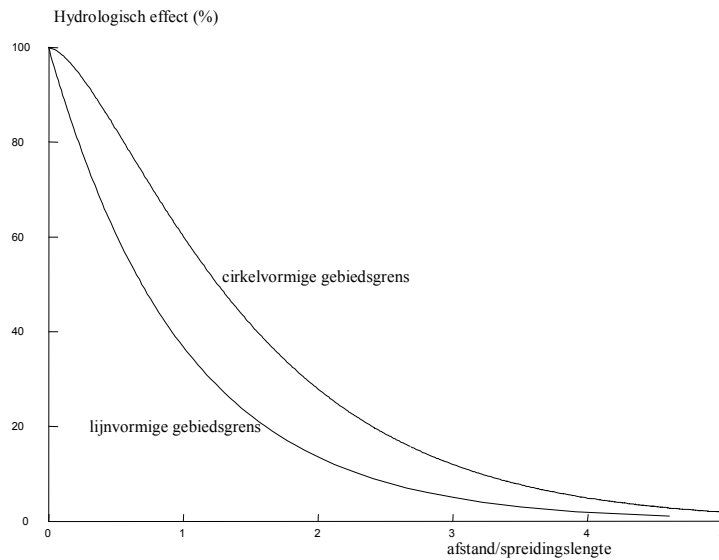
De afname van zowel het debiet als het stijghoogteverschil is logaritmisch met de afstand tot de gebiedsgrens volgens $e^{-x/\lambda}$. In figuur 7.2 is deze afname van het debiet bij toename van de afstand (x) weergegeven. Aan de hand van figuur 7.2 kan geconcludeerd worden dat het effect van peilverschillen in theorie oneindig ver door gaat. Praktisch gezien blijkt echter dat op een afstand groter dan driemaal de spreidingslengte (3λ) nog maar een beïnvloeding van 5% plaatsvindt.

Bij gebieden die min of meer cirkelvormig zijn, speelt radiale stroming een belangrijke rol. Voor de verhouding tussen het debiet in het eerste watervoerend pakket op een afstand r vanaf een gebied met een afwijkend peil ten opzichte van de omgeving, geldt de volgende formule (figuur 7.2) (TNO, 1964):

$$\frac{Q_r}{Q_R} = \frac{\frac{r}{\lambda^*} K_1\left(\frac{r}{\lambda^*}\right)}{\frac{R}{\lambda^*} K_1\left(\frac{R}{\lambda^*}\right)} \quad (3)$$

waarin:

- Q_r : debiet in het eerste watervoerend pakket op een afstand r (m^3/dag)
- Q_R : debiet in het eerste watervoerend pakket op een afstand R (m^3/dag)
- r : afstand (m)
- R : straal van het gebied (m)
- λ^* : spreidingslengte ($\sqrt{kDc^*}$) (m)
- K_1 : Besselfunctie van de tweede soort en van de orde 1



Figuur 7.2 Grondwaterstandsverlaging in de omgeving; het uitstralingseffect; grafische weergave van formule 2 en 4.

Indien de straal (R) van het cirkelvormige gebied klein is ten opzichte van de spreidingslengte, kan bovenstaande formule vereenvoudigd worden. Voor de verhouding tussen het debiet in het eerste watervoerend pakket op een afstand r vanaf een onttrekking en het debiet op een afstand r geldt dan volgende formule (TNO, 1964):

$$\frac{Q_r}{Q_R} = \frac{r}{\lambda^*} K_1\left(\frac{r}{\lambda^*}\right) \quad (4)$$

In figuur 7.2 is het verloop van formule 4 weergegeven. Uit deze figuur kan geconcludeerd worden dat de invloed van peilverschillen snel afneemt bij toename van de afstand. Op een afstand van viermaal de spreidingslengte (4λ) is de beïnvloeding nog maar 5%.

Voor bij benadering cirkelvormige gebieden met peilverschillen is het hydrologische effect afhankelijk van de straal van het gebied waarin een afwijkend peil gehandhaafd wordt. Het hydrologische effect neemt met de volgende constante toe bij toename van de straal van het gebied:

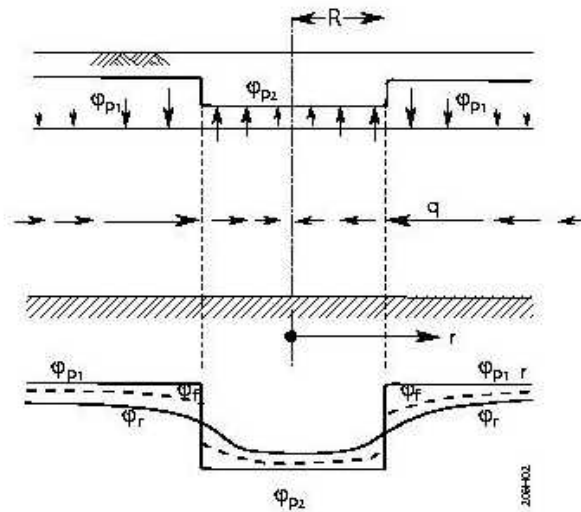
$$\text{constante} = \frac{1}{\frac{R}{\lambda^*} K_1\left(\frac{R}{\lambda^*}\right)} \quad (5)$$

Voor effectberekeningen van ingrepen in de freatische grondwaterstand in open profielen geldt:

$$\frac{\varphi_r - \varphi_0}{\varphi_R - \varphi_0} = \frac{K_0\left(\frac{r}{\lambda^*}\right)}{K_0\left(\frac{R}{\lambda^*}\right)} \quad (6)$$

waarin:

- φ_r : stijghoogte in het eerste watervoerend pakket op een afstand r (m)
- φ_R : stijghoogte in het eerste watervoerend pakket op de rand van een cirkelvormig gebied (m)
- φ_0 : stijghoogte in het eerste watervoerend pakket in de uitgangssituatie (m)
- r : afstand (m)
- R : straal van het gebied (m)
- λ^* : spreidingslengte ($\sqrt{kDc^*}$) (m)
- K_0 : Besselfunctie van de tweede soort en van de orde 0



Figuur 7.3: Situatieschets voor een cirkelvormig gebied (naar Edelman, 1972)

Op een afstand van vier maal de spreidingslengte (λ) is de invloed van het bassin tot minder dan 5% van de in het bassin optredende verandering gereduceerd. De verhoging van de grondwaterstand rond een infiltratiebassin hangt af van de grondwaterstandsverlaging Δb die door het bassin wordt veroorzaakt. Bij de methode (in zijn huidige vorm) wordt bij de berekening van de spreidingslengte geen rekening gehouden met de 'anisotropie' of heterogeniteit van de factoren die de spreidingslengte bepalen.

De drainageweerstand (c_d) is onder natte omstandigheden kleiner dan onder droge, en daarmee neemt de spreidingslengte onder natte omstandigheden af. De spreidingslengte, en daarmee ook van de mate van grondwaterstandsverlaging (beïnvloeding) door de geplande drainage zijn dus seizoensafhankelijk (zomer/winter).

Voedingsweerstand

Door grondwateraanvulling stijgt de grondwaterstand. Indien de grondwaterstand stijgt tot boven de ontwateringsbasis wordt een grondwaterstroming opgewekt naar de ontwateringsmiddelen (sloten/buisdrainage). Een deel van de grondwateraanvulling kan als wegzijging het gebied verlaten, of er kan kwelwater worden aangevoerd. Verschillen in oppervlaktewaterpeilen kunnen eveneens een grondwaterstroming opwekken. Bij de berekening van effecten van ingrepen in het hydrologisch systeem is de weerstand van het systeem van belang. In de praktijk worden de begrippen drainageweerstand en voedingsweerstand gebruikt. Beide weerstanden verschillen van elkaar indien er sprake is van een weerstandbiedende laag in de ondergrond. De voedingsweerstand heeft betrekking op de totale weerstand tussen de waterlopen en het watervoerend pakket en is met name gedefinieerd om grondwaterstandsverlagingen te berekenen bij een onttrekking aan het watervoerend pakket (Technische werkgroep grondwaterplan, 1985). De drainageweerstand omvat de totale weerstand die de afvoer van het neerslagoverschot ondervindt vanaf het freatisch vlak naar de waterlopen. De voedingsweerstand is dus gelijk aan (Wit et al., 1991; Drecht, 1997) :

$$c_v = c_d^* + c \quad (7)$$

waarin:

c_v	: voedingsweerstand	(d)
c_d^*	: vlakgemiddelde drainageweerstand	(d)
c	: weerstand van het afdekkende pakket	(d)

Ook Ernst (1983) geeft aan dat de drainageweerstand in vereenvoudigde vorm meegenomen kan worden in analytische berekeningen indien een afzonderlijke beschouwing van elk ontwateringsmiddel achterwege blijft. Voor grotere deelgebieden, die intern als homogeen worden aangenomen, kan de drainageweerstand als fictieve c -waarde (c^*), in de vorm van een diffuse bron, aan de bovenzijde van het geologische profiel meegenomen worden (Ernst, 1983; van der Schaaf, 1995). In gevallen dat de bovenlaag in werkelijkheid goed doorlatend is (figuur 7.4A) kan voor de vervangende c -waarde (c^*) de volgende formule gebruikt worden:

$$c^* = \alpha c_d \quad (8)$$

waarin:

c^*	: vervangende c -waarde	(d)
α	: vormfactor	(-)
c_d	: drainageweerstand	(d)

Indien de goed doorlatende bovenlaag een relatief laag doorlaatvermogen (kD -waarde) heeft (bijvoorbeeld door een kleine laagdikte (Figuur 7.4B)) zal geen belangrijk horizontaal transport over wat grotere afstand door deze laag plaatsvinden. De vervangende c -waarde (c^*) van de bovenlaag kan in dit geval uitgedrukt worden in de volgende formule:

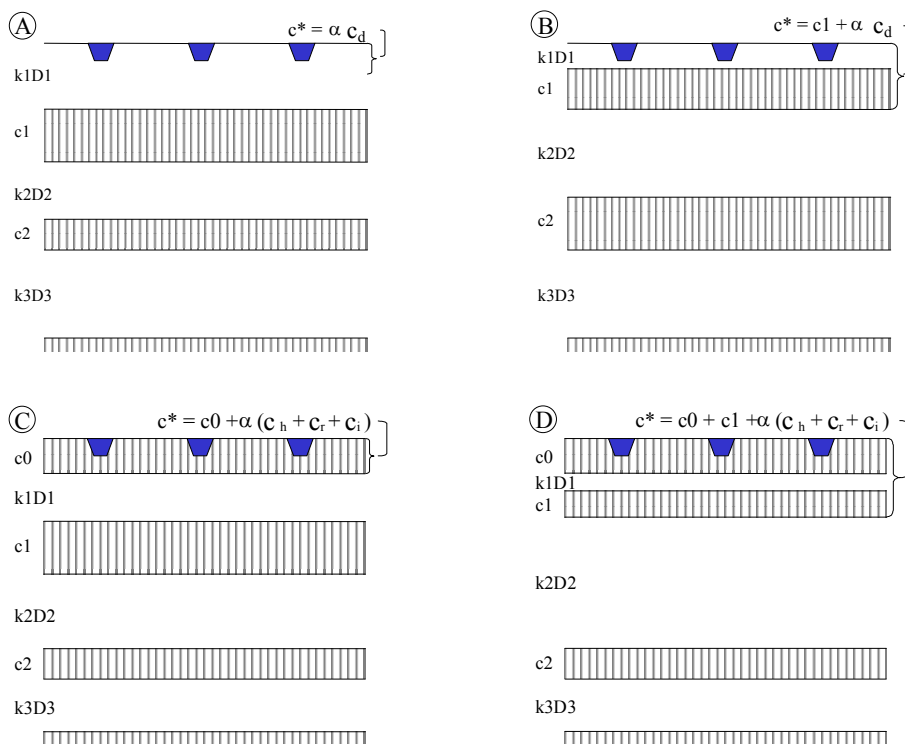
$$c^* = c_1 + \alpha c_d \quad (8)$$

In die gevallen dat de bovenlaag slecht doorlatend is met daaronder een watervoerend pakket met een hoog doorlaatvermogen, wordt voor de bepaling van de vervangende c -waarde de weerstand van het afdekkende pakket enigszins verhoogd aan de hand van de volgende formule (Figuur 7.4C):

$$c^* = c_0 + \alpha (c_h + c_r + c_i) \quad (9)$$

Indien de doorlatendheid van het eerste watervoerende pakket gering is kan deze laag, evenals bij situatie B in figuur 7.3, weggelaten worden (figuur 7.4D). Voor de bepaling van de vervangende c -waarde kan dan gebruik gemaakt worden van de volgende formule:

$$c^* = c_0 + c_1 + \alpha (c_h + c_r + c_i) \quad (10)$$



Figuur 7.4. Vervanging van de open waterlopen met radiale stroming (discrete invoer) door een fictieve slecht doorlatende bovenlaag met verticale weerstand c^* (diffuse invoer) (Naar Ernst, 1983). A. Een goed doorlatende bovenlaag met verticale weerstand c^* . B. Een goed doorlatende bovenlaag met relatief hoge kD -waarde. C. Een slecht doorlatende bovenlaag met relatief hoge kD -waarde in het eronder gelegen eerste watervoerende pakket. D. Een slecht doorlatende bovenlaag met relatief lage kD -waarde in het eronder gelegen eerste watervoerende pakket.

Stroming over de rand van het infiltratiebassin in het 1^e watervoerend pakket

Voor het berekenen van het infiltratiedebiet van een infiltratievoorziening is de volgende formule afgeleid (Van der Gaast, Massop en Van Bakel, in prep).

$$Q_R = 2\pi RkD(\varphi_{p1} - \varphi_{p2}) \frac{R}{\lambda} \frac{1}{\lambda} K_1\left(\frac{R}{\lambda}\right) I_1\left(\frac{R}{\lambda}\right) \quad (11)$$

- Hierin is
- Q_R = stroming over de rand van de infiltratievoorziening in het eerste watervoerend pakket (m^3/d)
 - kD = doorlaatvermogen (m^2/d)
 - $\varphi_{p1} - \varphi_{p2}$ = peilverhoging infiltratievoorziening (m)
 - R = straal van de infiltratievoorziening (m)
 - λ^* = spreidingslengte ($\sqrt{kD(c+c_d)}$) (m)
 - c_d = drainageweerstand (d)
 - c = weerstand deklaag (d)
 - K_1 = Besselfunctie van de orde 1
 - I_1 = Besselfunctie van de orde 1

Bijlage 8 Belangrijkste detailkarteringen uit de jaren zeventig

Naam	Doel	Auteur	Jaar	Schaal	Ha	Rapport
Weert-Stramproij	Ruilverkaveling	Groot Obbink/Stoffelsen en	1974	10000	6690	1091
Horst	Boswachterij	Mekkink en Lynden v.	1980	10000	520	1486
Beesel-Swalmen	Ruilverkaveling	Obbink en Mulder	1975	10000	3030	1143
Melderslo	Ruilverkaveling	Visschers en Beekman	1978	10000	7095	1273
Land v. Thorn	Ruilverkaveling	Bles/Beekman en Leenders	1978	10000	5108	1320
Velden	Ruilverkaveling	Leenders	1975	10000	1460	1144
Everlose Beek	Ruilverkaveling	Teunissen van Manen	1970	25000	12555	371