

32/446(437) 2<sup>de</sup> ex

**BIBLIOTHEEK  
STARINGGEBOUW**

**Geohydrologisch veldonderzoek in het Purmerbos**

**Uitwerkingen en interpretatie van doorlatendheidsmetingen en pompproeven**

**J.W.J. van der Gaast  
J.M.P.M. Peerboom**

**Rapport 437**

**DLO-Staring Centrum, Wageningen, 1996**



**21 NOV. 1996**

## REFERAAT

Gaast J.W.J. van der en J.M.P.M. Peerboom, 1996. *Geohydrologisch veldonderzoek in het Purmerbos; uitwerkingen en interpretatie van doorlatendheidsmetingen en pompproeven*. Wageningen, DLO-Staring Centrum. Rapport 437. 65 blz.; 18 fig.; 8 tab.; 17 ref.; 8 aanh.

In het Purmerbos, dat gelegen is in de Purmer, is in 1995 een geohydrologisch veldonderzoek uitgevoerd om hydrologische bodemconstanten te bepalen. In de bovenste 3 m van het afdekkend pakket, dat bestaat uit klei, zijn ongestoorde monsters gestoken voor het meten van de doorlatendheid. Naast deze doorlatendheidsmetingen hebben twee pompproeven plaatsgevonden. Uit het hydrologische veldonderzoek zijn de bodemconstanten bepaald voor de hydraulische weerstand van het afdekkend pakket ( $2750 \pm 500$  dagen) en de doorlatendheid van het eerste watervoerend pakket ( $625 \pm 50$  m<sup>2</sup>/d). Tijdens het onderzoek is naar voren gekomen dat binnen het afdekkend pakket een watervoerende zandlaag voorkomt met een doorlatendheid van ongeveer 1 m/d.

Trefwoorden: kwel, Noord-Holland, ongestoorde monsters, opschaling, Purmer.

ISSN 0927-4499

©1996. DLO-Staring Centrum, Instituut voor Onderzoek van het Landelijk Gebied (SC-DLO)  
Postbus 125, 6700 AC Wageningen.  
Tel.: (0317) 474200; fax: (0317) 424812; e-mail: postkamer@sc.dlo.nl

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

DLO-Staring Centrum aanvaardt geen aansprakelijkheid voor eventuele schade voortvloeiend uit het gebruik van de resultaten van dit onderzoek of de toepassing van de adviezen.

Project 4216

[RAP437.BtC/10-96]

## Inhoud

	blz.
Woord vooraf	7
Samenvatting	9
1 Inleiding	11
1.1 Projectkader en methodiek	11
1.2 Leeswijzer	11
2 Gebiedsbeschrijving	13
2.1 Ligging van het onderzoeksgebied	13
2.2 Geologie	13
2.2.1 Pleistoceen	13
2.2.2 Holoceen	16
2.3 Geohydrologie	17
3 Doorlatendheidsbepaling	21
3.1 Monstername	21
3.2 Meting van de doorlatendheid	21
3.3 Berekening van de weerstand	22
3.3.1 Traditionele methode	22
3.3.2 Opschalingstechniek	23
4 Uitwerking van de pompproeven	27
4.1 Het eerste watervoerend pakket	27
4.1.1 Methode Thiem	29
4.1.2 Methode Hantush-Jacob	31
4.1.3 Methode De Glee	31
4.1.4 Methode Walton	33
4.1.5 Methode Hantush	35
4.2 Het afdekkend pakket	38
4.3 Controleberekeningen	39
5 Kwelberekeningen	41
6 Conclusies	45
Literatuur	47

### **Tabellen**

1 Schematische weergave van de stratigrafie en hydrogeologische indeling van de kwartaire afzettingen (naar Westerhoff et al., 1987)	18
2 Maximale verlaging voor de waarnemingsfilters in het eerste watervoerend pakket	28
3 Berekende doorlaatvermogen met gebruikmaking van twee waarnemingsfilters	30
4 Uitkomsten van de Waltonmethode voor enkele waarnemingsfilters	34
5 Uitkomsten van de Hantushmethode voor enkele waarnemingsfilters	36
6 Berekende doorlaatvermogen van het eerste watervoerend pakket	45
7 Berekende bergingscoëfficiënt van het eerste watervoerend pakket	45
8 Berekende weerstand van het afdekkend pakket	46

### **Figuren**

1 Ligging van het onderzoeksgebied	13
2 Stratigrafische tabel van de kwartaire afzettingen in het gebied van de Purmer (Westerhoff et al., 1987)	14
3 Relatieve frequentieverdeling van de doorlatendheid	24
4 Semivariogram voor de doorlatendheid in verticale richting (lag = 0,5 m)	24
5 Gemiddeld semivariogram voor de doorlatendheid in horizontale richting (lag = 100 m)	25
6 Tijd-verlagingscurve voor de meetpunten in het eerste watervoerend pakket	28
7 Afpompingscurve voor de stationaire situatie	30
8 Afstands-verlagingscurve	32
9 Bessel-functie van de nulde orde	32
10 Waltoncurves voor verschillende waarden van $r/L$	34
11 Tijd-verlagingscurve voor een waarnemingsfilter	34
12 Tijd-verlagingscurve (Hantush-I-methode)	35
13 Afpomping-afstandcurve	37
14 Tijd-verlagingscurve voor de meetpunten in het holocene zandpakket	38
15 Berekende verlagingen	39
16 Stroomlijnen in het afdekkend pakket bij een kwel van 0,5 mm/d en een neerslagoverschot van 1 mm/d	42
17 Stroomlijnen in het afdekkend pakket bij een kwel van 0,5 mm/d en een neerslagtekort van 1 mm/d	42
18 Kwelberekening aan de hand van de stijghoogten in de deklaag en het eerste watervoerend pakket voor buis B36	43

### **Aanhangsels**

1 Detailkaart van het Purmerbos	49
2 Boorstaat van het boorpunt Purmerbos	51
3 Locatie van de ongestoorde monsters	53
4 Gegevens van de bemonstering	55
5 Meetprincipe	57
6 Berekening van de $c$ -waarde	59
7 Frequentieverdeling van de semivariantie voor verschillende lags	61
8 Meetnet van de pomproef	65

## Woord vooraf

In opdracht van Staatsbosbeheer heeft DLO-Staring Centrum in 1994 en 1995 een onderzoek uitgevoerd naar de weerstand van het afdekkend pakket in het Purmerbos dat gelegen is in de Purmer in de provincie Noord-Holland.

In november en december 1994 zijn ongestoorde monsters gestoken van de bovenste 3 m van het afdekkend pakket. Door middel van doorlatendheidsmetingen is de hydraulische weerstand van de desbetreffende laag bepaald. In juni 1995 is een pompproef uitgevoerd in het eerste watervoerend pakket, zodat de weerstand van het gehele afdekkend pakket bepaald kon worden.

Projectleider van het onderzoek was ir. J.M.P.M. Peerboom. Het onderzoek is uitgevoerd door drs. ing. J.W.J. van der Gaast. De monsternamen zijn verzorgd door de heren M. Wijnsma en H. Breunissen. De pompproef locatie is ingericht door de heren J.G. te Beest, L. Honkoop en M. Wijnsma. De uitvoering van de pompproeven is gedaan door J.W.J. van der Gaast, M. Wijnsma en L. Honkoop. Waardevolle adviezen ten aanzien van de opschalingstechniek zijn verleend door dr. M.F.P. Bierkens.

## Samenvatting

In opdracht van Staatsbosbeheer heeft DLO-Staring Centrum een geohydrologisch veldonderzoek uitgevoerd naar de hydraulische weerstand van het afdekkend pakket in het Purmerbos. De weerstand is bepaald door middel van doorlatendheidsmetingen aan ongestoorde monsters en twee pompproeven.

In de maanden november en december 1994 zijn ongestoorde monsters gestoken. De monsternamen heeft plaatsgevonden conform de stratified-random-methode. Op deze manier zijn 20 monsterlocaties random gekozen en vindt de monsternamen eveneens gebiedsdekkend plaats. Op deze 20 locaties zijn op drie diepten, eveneens random, monsters gestoken. Het bemonsterde kleipakket behoort tot de bovenste 3 m van het 12 m dikke afdekkend pakket. Met behulp van een volledig geautomatiseerde doorlatendheidsbak zijn de doorlatendheidsbepalingen aan de monsters uitgevoerd. De weerstand van de bemonsterde bodemlaag is berekend aan de hand van traditionele middelingprocedures en een opschalingstechniek. Beide berekeningmethoden geven een uitkomst van ongeveer 1000 dagen voor de weerstand van het bemonsterde pakket.

Naast de bemonstering is een pompproef in het eerste watervoerend pakket uitgevoerd om de weerstand van het totale afdekkend pakket te bepalen. Voorafgaande aan de inrichting van de proeflocatie, zijn modelberekeningen uitgevoerd. Aan de hand van deze berekening is, met gebruikmaking van de al bestaande waarnemingfilters, de pompproeflocatie ingericht. De pompproef is uitgevoerd in juni 1995. Gedurende 49 uur is grondwater onttrokken met een gemiddeld pompdebiet van  $1005 \text{ m}^3/\text{d}$ . Bij de pompproef is gebruik gemaakt van automatische registratieapparatuur, welke enkele dagen voor de pompproef is geïnstalleerd.

In januari 1996 is een tweede pompproef uitgevoerd. Bij deze pompproef is gedurende 5 uur, met een gemiddeld pompdebiet van  $24 \text{ m}^3/\text{d}$ , grondwater onttrokken uit de zandige laag die tot het afdekkend pakket behoort.

Bij de analyse van de pompproefgegevens is gebruik gemaakt van verschillende analytische en grafische berekeningsmethoden. De geschatte eindverlagingen zijn gecontroleerd met behulp van de Hantush-II-controleberekening. Tevens zijn de uitkomsten van de analytische berekeningsmethoden ter controle ingevoerd in een stationair stromingsmodel. De met het model berekende eindverlagingen zijn vergeleken met de gemeten verlagingen. Als eindresultaat is het doorlaatvermogen van het eerste watervoerend pakket vastgesteld op  $625 \pm 25 \text{ m}^2/\text{d}$ . De bergingscoëfficiënt is bepaald op  $4,5 \cdot 10^{-4}$ . De hydraulische weerstand van het onderste gedeelte van het afdekkend pakket vertoont veel spreiding in de berekeningen. Deze hydraulische weerstand, welke veroorzaakt wordt door het basisveen en een kleilaag, is gesteld op  $1750 \pm 250$  dagen. De zandige laag welke behoort tot het afdekkend pakket heeft een doorlatendheid van ongeveer  $1 \text{ m}/\text{d}$ . Voor de hydraulische weerstand van het gehele afdekkend pakket moet eveneens rekening gehouden worden met de bovenste kleilaag welke bemonsterd is. De totale hydraulische weerstand van het afdekkend pakket bedraagt hierdoor ongeveer  $2750 \pm 500$  dagen.

# 1 Inleiding

## 1.1 Projectkader en methodiek

In opdracht van Staatsbosbeheer wordt door DLO-Staring Centrum (SC-DLO) onderzoek verricht naar de waterbalans van bossen. Binnen dit onderzoek wordt ook aandacht besteed aan de analyse van de waterbalans van het Purmerbos. Hierbij is naar voren gekomen dat de kwel in het Purmerbos een belangrijke factor is in de waterbalans. In het kader van verdampingsonderzoek is de kwel echter onvoldoende bekend. Om meer inzicht te verkrijgen in de kwel in het Purmerbos, is door DLO-Staring Centrum in opdracht van Staatsbosbeheer een geohydrologisch onderzoek uitgevoerd naar de hydraulische weerstand van het afdekkend pakket.

Het onderzoek is opgesplitst in de volgende twee gedeelten:

- 1 *Monsternamen en analyse om de weerstand van het afdekkend pakket te bepalen.*  
In het onderzoeksgebied van het Purmerbos zijn 63 ongestoorde monsters gestoken. De bemonstering heeft plaatsgevonden in de bovenste 3 m van het afdekkend pakket. Deze monsters zijn in een laboratorium met behulp van een doorlatendheids-meetbak bemeten om de doorlatendheid vast te stellen. De gemiddelde weerstand van de bemonsterde bodemlaag is vervolgens berekend met behulp van twee methoden. Als eerste is uitgegaan van een traditionele methode waarbij gebruik wordt gemaakt van het harmonisch gemiddelde. Naast deze methode is de weerstand van de desbetreffende laag ook bepaald met behulp van een opschalingstechniek.
- 2 *Het uitvoeren van pompproeven.*  
Om inzicht te verkrijgen in de weerstand van het totale afdekkend pakket is een pompproef uitgevoerd in het eerste watervoerend pakket. In juni 1995 is gedurende 49 uur gepompt met een gemiddeld pompdebiet van 1005 m<sup>3</sup>/d. Metingen van de grondwaterstands daling gedurende de pompproef zijn uitgevoerd tot een afstand van ongeveer 600 m. De pompproef is uitgewerkt met behulp van verschillende analytische methoden en met gebruikmaking van een numeriek model. In januari 1996 is een tweede pompproef uitgevoerd in de zandige laag welke behoort tot het afdekkend pakket. Gedurende 5 uur is water onttrokken met een gemiddeld pompdebiet van 24 m<sup>3</sup>/d. De analyse van de pompproef heeft op de zelfde wijze plaatsgevonden als de pompproef in het eerste watervoerend pakket.

## 1.2 Leeswijzer

In het navolgende wordt allereerst in hoofdstuk 2 de geologie van het gebied besproken. Het al dan niet voorkomen van geologisch te onderscheiden lagen is in paragraaf 2.3 vertaald naar de geohydrologische opbouw van het gebied. In hoofdstuk 3 zijn de doorlatendheidsbepalingen beschreven, met de daarmee samenhangende monsternamen

en de vertaalslag naar de weerstand van het bemonsterde pakket. De pompproeven en de uitwerking van de pompproeven worden in hoofdstuk 4 besproken. Een toepassing van uitkomsten van het onderzoek wordt in hoofdstuk 5 aan de hand van kwelberekeningen besproken. In het laatste hoofdstuk zijn enkele conclusies naar aanleiding van het onderzoek weergegeven.



## 2 Gebiedsbeschrijving

### 2.1 Ligging van het onderzoeksgebied

Het Purmerbos is in het zuidelijk gedeelte van de Purmer gelegen (fig.1). In detail is het studiegebied en de locatie van de pompproef in aanhangsel 1 opgenomen. De gestoken bodemonmonsters zijn over het gehele studiegebied verspreid. De pompproeven hebben in het centrum van het gebied plaatsgevonden.



*Fig. 1 Ligging van het onderzoeksgebied*

## 2.2 Geologie

### 2.2.1 Pleistoceen

Bijna geheel Nederland behoorde gedurende het Tertiair en het daaropvolgende Kwartair tot het randgebied van het dalingsbekken van de Noordzee. Hierdoor zijn tijdens het Tertiair in Noord-Holland voornamelijk mariene fijnkorrelige sedimenten afgezet. De Formatie van Oosterhout die in het jongste gedeelte van het Tertiair, het Laat-Pliocene, is afgezet is hier het meest van belang omdat deze schelphoudende kleien de hydrologische basis vormen (Pomper, 1979; Westerhoff et al., 1987).

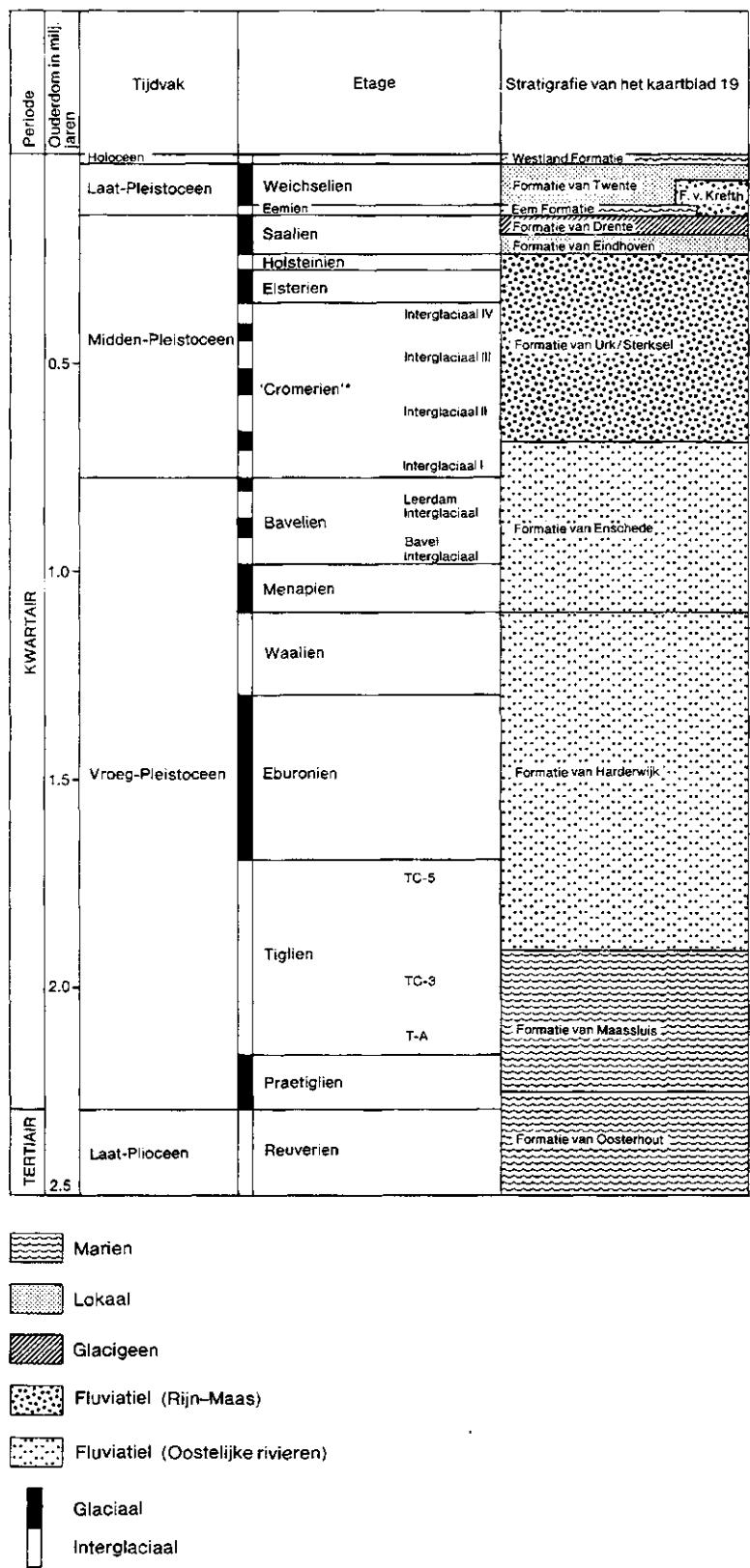


Fig. 2 Stratigrafische tabel van de kwartaire afzettingen in het gebied van de Purmer (Westerhoff et al., 1987)

In het Vroeg-Pleistoceen verplaatste de kustlijn zich naar het westen waardoor geleidelijk meer kustnabije afzettingen zijn gevormd. Dit is de, boven de Formatie van Oosterhout gelegen, Formatie van Maassluis die van Praetiglien en Tiglien ouderdom is (fig. 2).

Deze mariene afzetting is begonnen als ondiep marien en gaat over in een deltaïsche afzetting naar boven toe. De afzetting bestaat hierdoor uit zandige kalkhoudende kleien en slibhoudende fijne zanden. Door de verdergaande westwaartse beweging van de kustlijn zijn gedurende de resterende tijd van het Vroeg-Pleistoceen continentale afzettingen gevormd. Dit zijn de afzettingen die behoren tot de Formatie van Harderwijk en Enschede. Het zijn rivierafzettingen die door de oostelijke rivieren zijn afgezet. Dit zijn de rivieren die afkomstig zijn uit Noord-Duitsland, het Baltische gebied en Polen. De Formatie van Harderwijk is opgebouwd uit kalkloze, grove, grindhoudende zanden welke grijswit tot wit van kleur zijn. Het onderste deel van de Formatie bestaat uit zanden met een wat geringere korrelgrootte met kleinschakelingen. Vermoedelijk is dit deel afgezet door meanderende rivieren die gedurende het tweede deel van het Tiglien voor konden komen gezien de gematigde klimaatomstandigheden (Westerhof et al., 1987). De boven de Formatie van Harderwijk gelegen Formatie van Enschede bestaat eveneens uit grove tot zeer grove zanden. Sterke wisselingen in korrelgrootte zijn karakteristiek voor deze afzetting.

Gedurende het Cromerien, Elsterien, Holsteinien en Vroeg-Salien zijn de Formaties van Urk en Sterksel afgezet. Dit pakket is grotendeels opgebouwd uit kalkrijke, matig grove tot grove grindhoudende zanden. Lokaal kunnen enkele fijnzandige inschakelingen voorkomen. De Formaties zijn eveneens continentaal van aard, maar zijn in tegenstelling tot de twee eerder genoemde Formaties afgezet door de Rijn en de Maas.

In het Laat-Salien is er in Nederland landijsbedekking geweest. De hiermee samenhangende afzettingen worden gerekend tot de Formatie van Drente, welke complex van aard is. Tot de Formatie behoren grondmorene, lacustroglaciale afzettingen en fluvioglaciale afzettingen. De grondmorene bestaan uit een mengsel van zand, leem en stenen in wisselende percentages. Lacustroglaciale afzettingen zijn voornamelijk gevormd in smeltwatermeren. Deze afzettingen kunnen hierdoor zowel klei als zand bevatten. De fluvioglaciale afzettingen zijn gevormd door stromend smeltwater. Hierdoor bestaan deze afzettingen doorgaans uit kalkhoudend, matig grof tot matig fijn zand.

Na de afsmelting van het landijs werden door de stijging van het zeeniveau wederom mariene sedimenten afgezet tijdens het Eemien. Deze mariene afzettingen behoren tot de Eem Formatie en bestaan uit schelphoudende zanden met lokale tussenschakelingen van klei. De zanden zijn over het algemeen matig tot zeer grof en kalkrijk. De kleilagen kunnen plaatselijk zeer dik zijn en liggen in de meeste gevallen direct op de Formatie van Drente. Het Purmerbos is ongeveer gelegen op de scheiding van de verbreiding van de Formatie van Drente en de Eem Formatie (Werkgroep Noord-Holland, 1982; RGD, 1979a). Naar aanleiding van een boring welke door DLO-Staring Centrum is uitgevoerd in het kader van dit onderzoek, kan geconcludeerd worden dat beide Formaties in het gebied voorkomen (aanhangsel 2). Tijdens de boring is een kleipakket van 19 m gevonden.

Gedurende de laatste ijstijd uit het Weichselien zijn onder periglaciale omstandigheden eolische zanden in het gebied afgezet. Dit dekzand is een goed gesorteerd fijn zand dat soms leemhoudend is. Naast de dekzanden behoren ook de fluvioperiglaciale afzettingen tot de Formatie van Twente. Vaak betreft het hier omgewerkte afzettingen van de Eem Formatie waardoor ze in de meeste gevallen tot deze formatie worden gerekend.

### 2.2.2 Holoceen

Gedurende het Holoceen is in West-Nederland de Westland Formatie afgezet. De Formatie bestaat uit een grote verscheidenheid aan lithologische eenheden die variëren van grof zand tot zware klei en veen. Alle tijdens het Holoceen gevormde mariene-, kust-, lagunaire, estuariene en perimariene afzettingen worden gerekend tot de Westland Formatie (Westerhof et al., 1987).

De Holocene afzettingen die in het gebied van het Purmerbos voorkomen zijn het basisveen, welke de onderkant van de Westland Formatie begrenst, en de afzettingen van Calais, die bestaan uit klastische sedimenten uit lagunaire, estuariene en waddenmilieus die ouder zijn dan 3750 jaar.

Het basisveen is een dunne veenlaag die in de meeste gevallen direct op de zandige ondergrond van de Formatie van Twente is afgezet en dateert uit het Preboreaal en het Boreaal. Het basisveen gaat geleidelijk over in de kleiige laag van Velsen die behoort tot de afzettingen van Calais I. De laag van Velsen is afgezet in het Vroeg-Atlanticum en bestaat uit matig zware tot zware klei. In het Laat-Atlanticum wordt West-Nederland gekenmerkt door een kustzone die bestaat uit zandige platen die doorsneden zijn met geulen. Deze geulen hebben op veel plaatsen de eerder genoemde laag van Velsen en het Basisveen geërodeerd. Hierdoor komen de in het Laat-Atlanticum gevormde Beemster-afzetting op veel plaatsen in Noord-Holland direct op de Pleistocene afzettingen voor (RGD, 1979b). In het Purmerbos komt het basisveen op een diepte van 12 tot 12,5 m voor. De laag van Velsen is boven op het basisveen gelegen op een diepte van 7,25 tot 12 m. De Beemster-afzettingen worden gerekend tot de afzettingen van Calais II-IV. Een sterk wisselende lithologische samenstelling die varieert van matig grof zand tot zware klei is kenmerkend voor deze afzetting. Over het algemeen worden de afzettingen naar boven toe fijnkorreliger, matig grove kleiarne zanden gaan naar boven toe over in kleihoudende zanden die op hun beurt over gaan in zware blauwgrijze klei aan de top. De Beemster-afzettingen zijn op grond van lithologische kenmerken onder te verdelen in twee eenheden:

- a: Zanden van Stompetoren: fijne tot matig grove (100-300 µm) zanden die plaatselijk sterk kleihoudend kunnen zijn.
  - b: Beemster-klei: matig zware tot zware klei die over het algemeen het bovenste deel van de Beemster-afzettingen vormt.
- ad a. De zanden van Stompetoren zijn sterk kalkhoudend en bevatten veel gruis van mariene schelpen en zeeëgelstekels. De kleihoudende zeer fijne delen van deze zanden bevatten over het algemeen lutum. Ook komen er vaak inschakelingen van kleilaagjes in voor. De geulen die tijdens het Laat-Atlanticum tussen de

zandplaten voorkwamen zijn in een later stadium vaak opgevuld met deze zanden van Stompetoren. Het onderste deel van deze geulopvullingen bestaat vaak uit een kleihoudende laag. Meestal is deze klei gelaagd met zand en schelpresten.

- ad b. De Beemster-klei bestaat uit een pakket lichte tot zware klei. De kleilaag is meestal gelaagd met fijn zand en silt, met uitzondering van het bovenste deel van de klei. In de meeste gevallen is er sprake van een toename van de fijne fractie naar boven toe. De Beemster-klei gaat meestal, via een met zand en klei gelaagd traject, geleidelijk over in de er onder gelegen zanden van Stompetoren.

Jongere afzettingen die behoren tot de Westland Formatie, zoals Hollandveen en de afzettingen van Duinkerke, komen in het Purmerbos niet voor en worden hierom niet besproken.

### 2.3 Geohydrologie

De hydrologische karakteristieken van een gebied worden in belangrijke mate bepaald door de afzettingen in de ondergrond en hun lithologische samenstelling en ontstaanswijze. In het Purmerbos zijn tussen het afdekkend pakket en de hydrologische basis vier watervoerende pakketten te onderscheiden en er kunnen drie scheidende lagen voorkomen (tabel 1).

Aan de bovenkant van het hydrologisch pakket bevindt zich het afdekkend pakket dat de waterbewegingen in de ondergrond en aan het maaiveld in meer of mindere mate van elkaar scheidt. In het gebied van het Purmerbos wordt dit afdekkend pakket gevormd door de Holocene Westland Formatie, welke bestaat uit kleien, veen en slibhoudende zanden. Deze mariene afzettingen hebben een hoge hydraulische weerstand die in de Purmer tussen de 2500 tot 5000 dagen ligt (Werkgroep Noord-Holland, 1982; Provincie Noord-Holland, 1986).

Het eerste watervoerend pakket bestaat uit materiaal van de Formaties van Twente, Kreftenheye en de Eem Formatie. Het doorlaatvermogen van het eerste watervoerend pakket is over het algemeen niet hoog en varieert tussen de 200 en 1000 m<sup>2</sup>/d (Werkgroep Noord-Holland, 1982; Westerhoff et al., 1987).

In het gebied van de Purmer wordt de eerste scheidende laag gevormd door de Formatie van Drente en de Eem Formatie (RGD, 1979b). Op enkele plaatsen kan de eerste scheidende laag ontbreken (Werkgroep Noord-Holland, 1982; Provincie Noord-Holland, 1986; RGD, 1979b). De *c*-waarde van de eerste scheidende laag kan hierdoor in de Purmer variëren van 0 tot 1000 dagen (Werkgroep Noord-Holland, 1982).

Het tweede watervoerend pakket wordt gevormd door de zandige afzettingen van de Formaties van Urk, Sterksel en Enschede. Ook fluvioglaciale zanden, die behoren tot de Formatie van Drente, kunnen deel uitmaken van het tweede watervoerend pakket.

*Tabel 1 Schematische weergave van de stratigrafie en hydrogeologische indeling van de kwartaire afzettingen (naar Westerhoff et al., 1987)*

<i>Lithostratigrafie</i>	<i>Chronologie</i>	<i>Milieu van afzetting</i>	<i>Textuur</i>	<i>Hydrologische Betekenis</i>
Westland Formatie	Holoceen	marien	kleirijk	afdekkend pakket
Formatie van Twente	Weichselien	periglaciaal	fijn zand	1 <sup>e</sup> watervoerend pakket
Eem Formatie	Eemien	marien	klei en zand	-----
Formatie van Drente	Saalien	glaciaal	(Kei)leem en grof zand	1 <sup>e</sup> scheidende laag
Formatie van Urk/Sterksel	Holsteinien Elsterien Cromerien Menapien	fluviaal	fijne en grove zanden	2 <sup>e</sup> watervoerend pakket
Formatie van Enschede	Cromerien Menapien	fluviaal	grof zand en grind, aan basis lokaal klei	----- 2 <sup>e</sup> scheidende laag
Formatie van Harderwijk	Waalien Eburonien Tiglien	fluviaal	fijn en grof zand, onderin met kleilagen	3 <sup>e</sup> watervoerend pakket ----- 3 <sup>e</sup> scheidende laag
Formatie van Maasluis	Tiglien Praetglien	marien	bovenkant kleirijk, fijn zand en zandige klei	4 <sup>e</sup> watervoerend pakket
Formatie van Oosterhout	Pliocene	marien	kleirijk	hydrologische basis

De gemiddelde doorlatendheid wordt gesteld op ongeveer 20 m/d. Daarentegen kunnen ook doorlatendheden van 40 m/d voorkomen. Op grond van de gemiddelde doorlaatfactor zal het doorlaatvermogen ( $kD$ -waarde) van het tweede watervoerend pakket variëren van 1000 tot 3600 m<sup>2</sup>/d (Westerhoff et al., 1987). In het gebied van de Purmer ligt het doorlaatvermogen tussen de 1500-3000 m<sup>2</sup>/d (Werkgroep Noord-Holland, 1982).

De tweede scheidende laag bestaat uit kleiige afzettingen die aan de basis van de Formatie van Enschede voor kunnen komen. Over het algemeen is de laterale verbreiding gering en kan de dikte sterk variëren. Voor de Purmer wordt een  $c$ -waarde van 1000-10000 dagen aangehouden (Werkgroep Noord-Holland, 1982).

Het derde watervoerend pakket bestaat uit de Formatie van Harderwijk. Het bovenste jongste deel van de Formatie van Harderwijk bestaat uit grovere zanden die een hogere doorlatendheid hebben dan het er onder gelegen oude gedeelte van de Formatie van Harderwijk. De doorlaatfactoren variëren respectievelijk van omstreeks 100 tot 20-40 m/d. Als gevolg van de grote dikte (100-160 m) is het totale doorlaatvermogen zeer hoog, en kan variëren van 4000-10000 m<sup>2</sup>/d (Werkgroep Noord-Holland, 1982; Westerhoff et al., 1987).

Aan de basis van de Formatie van Harderwijk kan een kleilaag voorkomen van Tiglien ouderdom die gerekend wordt tot de derde scheidende laag. Gezien het geringe aantal boringen en de onzekerheid over de verbreiding van deze kleilaag, kunnen geen uitspraken worden gedaan over de geohydrologische eigenschappen van deze laag. Onder de Formatie van Harderwijk bevindt zich de Formatie van Maasluis. Deze Formatie wordt gerekend tot het vierde watervoerend pakket dat met een doorlatendheid van 5 à 7 m/d en een dikte van ongeveer 100 m, een doorlaatvermogen ( $kD$ -waarde) heeft van ca. 600 m<sup>2</sup>/d (Pomper, 1979; Werkgroep Noord-Holland, 1982; Westerhoff et al., 1987). Het hydrologisch profiel wordt aan de onderkant begrenst door de hydrologische basis, deze wordt gevormd door de Formatie van Oosterhout.

Het freatische grondwater wordt door een verhoogd chloridegehalte geclassificeerd als brak. Het zoet/zout-grensvlak ligt op ongeveer 10 m-NAP (Speelman en Houtman, 1979). De hierbij gehanteerde grens tussen brak en zout water is 1000 mg/l Cl. Witt (1980) geeft een chloridegehalte van 1000 tot 2000 mg/l voor het zuidelijke deel van de Purmer. Als classificatie van deze concentratie wordt matig brak aangehouden. Het matig brakke water komt in verschillende bodemlagen voor tot een diepte van 55 m. Door het voorkomen van brak grondwater tot in het freatische grondwater zullen de dichtheidsverschillen als gevolg van het voorkomen van zout zeer gering zijn. Bij een zoutconcentratie van 2000 mg/l is het soortelijk gewicht van water 1,0036 kg/l. Aangezien bij deze zoutconcentraties kleine verschillen in soortelijk gewicht voorkomen zijn hiervoor geen correcties bij de pompproeven uitgevoerd.

### **3 Doorlatendheidsbepaling**

Om inzicht te verkrijgen omtrent de weerstand van het afdekkend pakket zijn ongeroerde monsters gestoken van het bovenste gedeelte van het afdekkend pakket. Deze laag bestaat uit een ongeveer 3 m dikke laag Beemsterklei. Hieronder bevindt zich een zandig pakket. De bodemonsters zijn in de Beemsterklei gestoken in de periode november/december 1994.

#### **3.1 Monstername**

De ongeroerde monsters zijn gestoken met een steekapparaat, dat ontwikkeld is door het Instituut voor Cultuurtechniek en Waterhuishouding (ICW, heden SC-DLO) (Wit, 1960). In totaal zijn in het gebied op 20 locaties 63 monsters gestoken. De monsters hebben een lengte van 30 cm en een doorsnede van 5,7 cm. De bemonstering heeft plaatsgevonden conform de stratified random methode. Hierbij is uitgegaan van twintig monsterplekken waar op verschillende diepten ongeveer 3 ongeroerde monsters gestoken zijn. Hierbij is een regelmatig grid over het gebied gelegd. In ieder verkregen gridcel is random één boorpunt geloot. Op deze manier zijn de locaties random gekozen en is de bemonstering toch gebiedsdekkend (aanhangsel 3). Het gebiedsdekkende karakter van de bemonstering is van belang om nauwkeurig inzicht te verkrijgen omtrent de dikte van het bovenste kleipakket.

Op iedere monsterlocatie is getracht drie monsters te steken op verschillende dieptes. De monsterdiepten zijn eveneens random gekozen zodat analyses betreffende de variabiliteit van de doorlatendheid mogelijk zijn. Na het steken van de monsters is doorgeboord tot het onderliggende zandpakket zodat de dikte van het kleipakket nauwkeurig en gebiedsdekkend kon worden vastgesteld. In aanhangsel 4 zijn de bemonsteringlocaties en diepten weergegeven.

#### **3.2 Meting van de doorlatendheid**

Het doormeten van de ongeroerde monsters heeft plaatsgevonden in de door Wit ontwikkelde doorlatendheidsbak (Wit, 1961). Bij het doormeten is gebruik gemaakt van een geheel geautomatiseerde meetopstelling, waarbij een programmagestuurde robot de waterhoogten in de bak en binnen de monsterbussen meet. In eerste instantie is gebruik gemaakt van de falling-head methode waarbij het waterniveau buiten de monsters 2 tot 1 cm boven het niveau van de monsterbussen staat. Op deze manier is een drukhoogte gecreëerd van 1 tot 2 cm. Dit geringe drukhoogteverschil bleek te weinig voor de zeer langzaam doorstromende monsters, waardoor negatieve  $K$ -waarden werden gemeten. Daarom is de meetopstelling veranderd. Het waterniveau in de doorlatendheidsbak is verlaagd tot ongeveer 5 cm en het water binnen de monsterbussen is verhoogd totaan de rand van de monsterbussen. Op deze manier is een drukhoogte



verschil van ongeveer 25 cm gecreëerd (aanhangsel 5). De afname van de waterhoogte binnen de monsterbus is over verschillende perioden gemeten. Het tijdsinterval tussen de metingen was gemiddeld 12 uur. Tevens is de doorlatendheid over de gehele meetperiode berekend. Door gebruik te maken van een van onder afgesloten monsterbus met water kon voor de verdamping gecorrigeerd worden. De doorlatendheid kan bepaald worden met de volgende formule (Wit, 1961):

$$k = 14,4 \frac{L}{(t_2 - t_1)} \ln \frac{h_{t_1} - h_{vt_1}}{h_{t_2} - h_{vt_2}} \quad (1)$$

Waarin:

- $k$  : doorlatendheid (m/d)
- $L$  : monsterlengte (cm)
- $t$  : tijd (min)
- $h$  : peil monsterbus (mm)
- $h_v$  : peil verdampingsbus (mm)

Na het berekenen van de doorlatendheid is de  $k$ -waarde gecorrigeerd voor de temperatuur. Hiervoor is gebruik gemaakt van de volgende formule:

$$k_{10} = \frac{\eta_T}{\eta_{10}} k_T \quad (2)$$

Waarin:

- $k_{10}$ : doorlatendheid bij 10 °C (veldsituatie) (m/d)
- $\eta_T$ : dynamische viscositeit bij laboratoriumtemperatuur (20 °C) ( $\text{kg m}^{-1} \text{s}^{-1}$ )
- $\eta_{10}$ : dynamische viscositeit bij 10 °C ( $\text{kg m}^{-1} \text{s}^{-1}$ )
- $k_T$ : doorlatendheid bij laboratoriumtemperatuur (m/d)

### 3.3 Berekening van de weerstand

#### 3.3.1 Traditionele methode

Voor de berekening van de bodemweerstand is allereerst de doorlatendheid per locatie berekend met behulp van de volgende formule voor het harmonisch gemiddelde:

$$\bar{k}_H = n \frac{1}{\sum_{i=1}^n \frac{1}{k_i}} \quad (3)$$

Waarin:

- $k_H$ : gemiddelde doorlatendheid (harmonisch) (m/d)
- $n$ : aantal monsters
- $k_i$ : doorlatendheid van het monster (m/d)

Door gebruik te maken van het harmonisch gemiddelde in plaats van het rekenkundig gemiddelde worden de gegevens reciproque getransformeerd, zodat de lage doorlatendheden relatief meer bepalend zijn voor het gemiddelde. In een grondkolom wordt de doorlaatsnelheid van water ook met name bepaald door lagen waar de doorlatendheid relatief gering is. In aanhangsel 4 zijn de gemiddelde waarden weergegeven. Deze doorlatendheden per locatie zijn vervolgens omgerekend naar verticale weerstanden per locatie met gebruikmaking van de volgende formule:

$$c = \frac{D}{k_H} \quad (4)$$

waarin:

- $c$  : verticale weerstand (dagen)
- $D$  : laagdikte (m)
- $k_H$  : gemiddelde doorlatendheid (m/d)

Nu de  $c$ -waarde bekend is kan de laagweerstand over het gehele bemonsterde gebied berekend worden door middel van de volgende formule:

$$\frac{i}{c_g} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \frac{1}{c_i} \quad (5)$$

waarin:

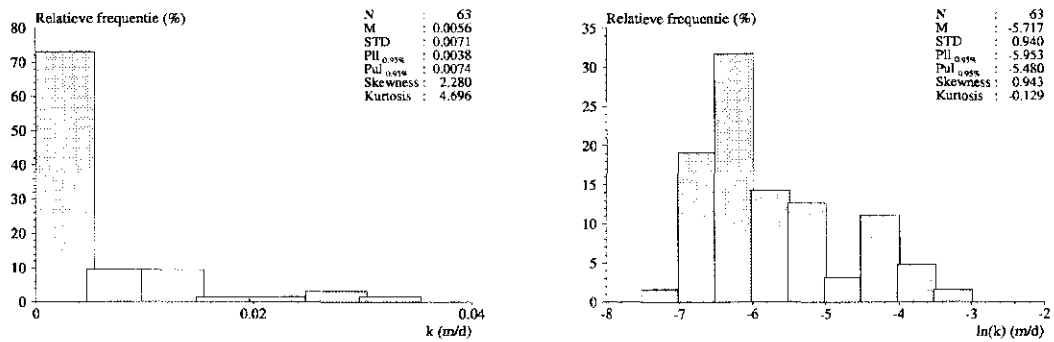
- $c_g$  : gemiddelde laagweerstand over het gebied (dagen)
- $c_i$  : laagweerstand per locatie (dagen)
- $n$  : aantal locaties

In aanhangsel 6 is de berekening voor de  $c$ -waarde weergegeven. Met behulp van deze methode is een laagweerstand voor het gebied berekend van 973 dagen.

### 3.3.2 Opschalingstechniek

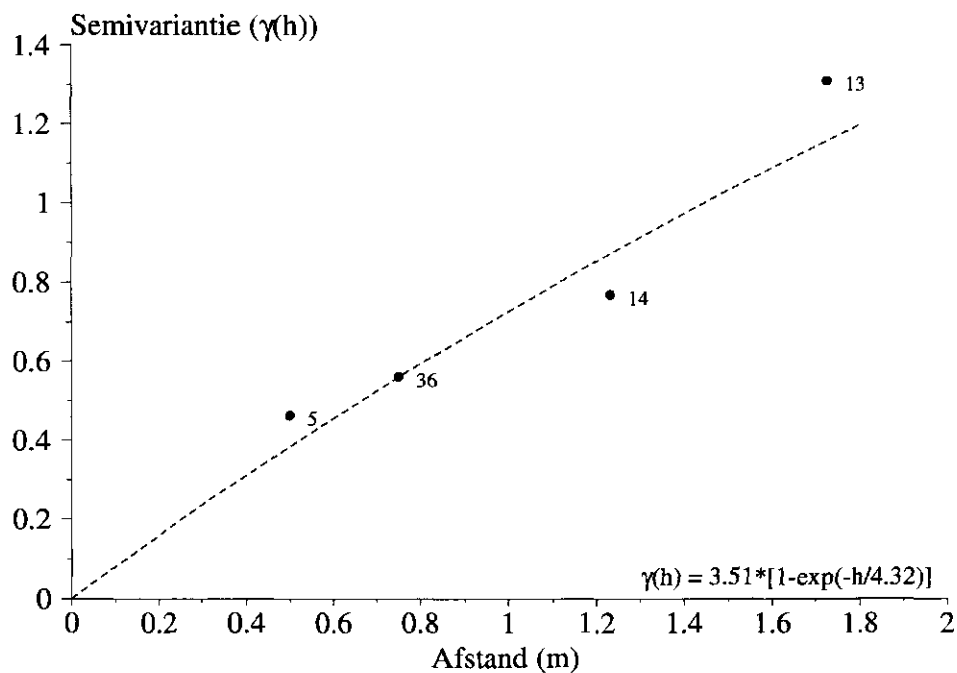
Naast een meer traditionele methode om de  $c$ -waarde te berekenen, kan de  $c$ -waarde ook berekend worden met behulp van een opschalingstechniek (Indelman en Dagan, 1993a,b). Bij deze methode wordt gekeken naar de variantie van de doorlatendheid in verticale en horizontale richting door middel van semivariogrammen. Alvorens de semivariogrammen worden opgesteld, wordt de  $k$ -waarde logaritmisches getransformeerd, gezien de log-normale verdeling die de  $k$ -waarde meestal aanneemt (fig. 3).

Om inzicht te krijgen in de ruimtelijke variabiliteit van een variabele is een variogram opgesteld. Een variogram beschrijft de relatie tussen het verschil van de waarde van een bepaalde eigenschap op verschillende afstand (lag) en richting. De ruimtelijke correlatie wordt uitgedrukt in een semivariantie. Het semivariogram voor de doorlatendheid in verticale richting kan direct opgesteld worden. Voor de lag is 0,5 m genomen aangezien dit de minimale bemonsteringsafstand is in de verticale richting (fig. 4).

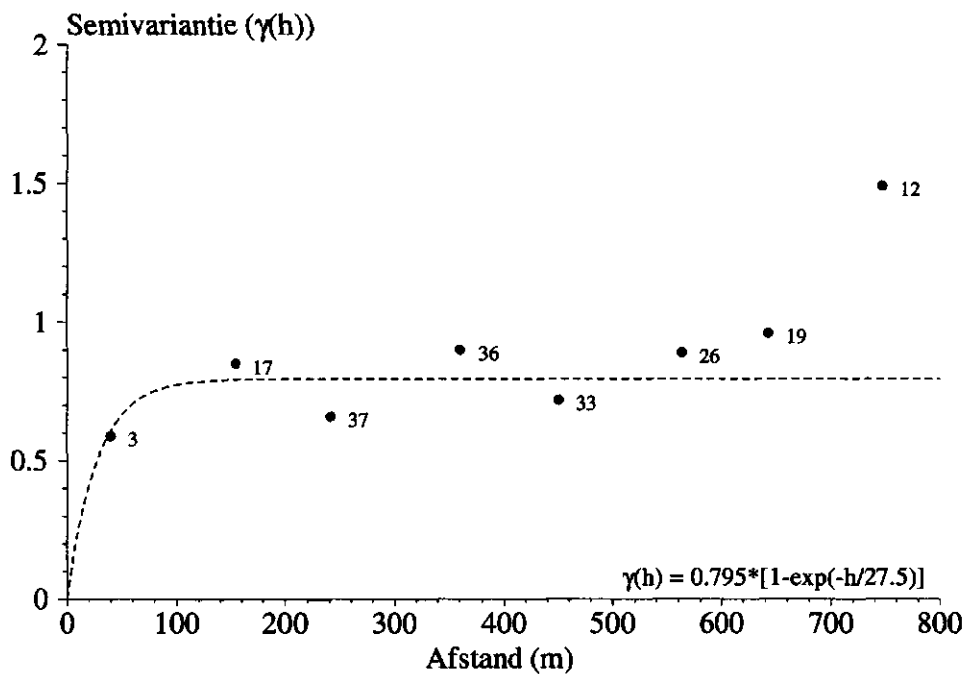


**Fig. 3** *Relatieve frequentieverdeling van de doorlatendheid*

In de horizontale richting moet een gemiddeld variogram opgesteld worden. Indien het gemiddelde van de verticale doorlatendheid als invoer voor het horizontale variogram genomen zou worden, worden uitersten afgevlakt. Om dit te voorkomen moet een gemiddeld variogram bepaald worden uit alle te construeren variogrammen. Aangezien hier vele mogelijkheden zijn (meer dan twee miljard) is er voor gekozen om een random trekking te verrichten. Voor elke lag-increment van 100 m zijn 1000 trekkingen gedaan. In aanhangsel 7 zijn de verdelingen van de semivariantie weergegeven voor iedere lag. Vervolgens is het gemiddelde bepaald voor iedere afstand (fig. 5).



**Fig. 4** *Semivariogram voor de doorlatendheid in verticale richting (lag = 0,5 m)*



**Fig. 5 Gemiddeld semivariogram voor de doorlatendheid in horizontale richting (lag = 100 m)**

Gebruik makend van beide variogrammen en een opschalingstechniek (Bierkens, 1994) is voor een blok van 750 m x 750 m en een diepte van 2,8 m de blokweerstand berekend. Voor de correlatielengtes van  $\ln(k)$  is in de horizontale richting 27,5 m genomen en in de verticale richting 4,3 m. De variantie van  $\ln(k)$  is 0,869. De gemiddelde blokweerstand is 1111 dagen. Het 95% interval varieert van 941 tot 1313 dagen.

De gemiddelde weerstand welke berekend is met de hiervoor besproken traditionele methode is iets lager maar valt ruim binnen het 95% interval.

## 4 Uitwerking van de pompproeven

### 4.1 Het eerste watervoerend pakket

Voor het inrichten van de pompproef is als eerste stap met behulp van het hydrologisch model Microfem en het pompproeven-programma MLU een analyse gemaakt van het hydrologische systeem. Op grond van deze analyse, waarbij gebruik is gemaakt van de gegevens zoals beschreven in hoofdstuk 3, is de inrichting van de pompproef vastgesteld. Bij de inrichting van de pompproef is uitgegaan van de reeds bestaande waarnemingsfilters in het eerste watervoerend pakket. In aanhangsel 8 is de inrichting van de pompproef weergegeven. De bestaande waarnemingsfilters zijn aangeduid met de letter B. In aanhangsel 2 staat de boorbeschrijving van de pompput. Het pompfilter is geplaatst op een diepte van 13,5 tot 28,5 m. Gezien de onzekerheid omtrent de dikte van de eerste scheidende laag is besloten om een waarnemingsfilter onder de eerste scheidende laag, in het tweede watervoerend pakket, te plaatsen. Uit de boorstaat komt naar voren dat de eerste scheidende laag zeer dik (19 m) is. Tijdens de pompproef was dan ook nagenoeg geen verlaging in het tweede watervoerend pakket merkbaar. Hierdoor kon voor de uitwerking van de pompproef de eerste scheidende laag als ondoorlatend beschouwd worden.

Zoals eerder vermeld, is voor de pompproef gebruikgemaakt van automatische registratieapparatuur. De apparatuur is vóór de pompproef geïnstalleerd, zodat de trend in het verloop van de grondwaterstand gevolgd kon worden. Aan de hand van deze verlaging, als gevolg van de verdamping, zijn de grondwaterstandsdingingen gecorrigeerd. De pompproef is uitgevoerd in juni 1995. De pomp is gestart op 27 juni om 10.32 uur en heeft gedurende 49 uur gedraaid tot 29 Juni 1995, om 11.31 uur. Gedurende deze periode is geen neerslag gevallen. De luchtdruk was in deze periode nagenoeg constant en bedroeg ongeveer 1020 hPa. Met betrekking tot het voorkomen van chloride in het grondwater is geen correctie uitgevoerd, gezien de geringe concentratieverschillen (paragraaf 2.3). In figuur 6 zijn de, voor de verdamping gecorrigeerde, verlagingen in het eerste watervoerend pakket tijdens de pompproef weergegeven. Met behulp van deze figuur is de maximale afpomping voor ieder meetpunt bepaald.

Voor het freatische grondwater geldt evenals voor het tweede watervoerend pakket, dat nagenoeg geen verlaging is waar te nemen als gevolg van de pompproef. De verlaging die is opgetreden in het freatische grondwater is vermoedelijk hoofdzakelijk toe te schrijven aan de verdamping. Op locaties ver van de pompput was de verlaging soms groter dan de verlagingen dichtbij de pompput. Ook is in enkele freatische buizen enige verandering in de verlaging te zien gedurende dag en nacht. Na correctie van de verlaging voor de verdamping, op grond van de verlaging in de periode voor de pompproef, resteert een maximale verlaging van 3 cm. Deze verlaging vindt echter op grotere afstand van de pompput plaats. Mogelijke verklaringen voor de verschillen in verlaging van het freatische water zijn: de vegetatie en het oppervlaktewater. Grondwaterstanden in de directe omgeving van bomen kunnen sterk beïnvloed worden door de hoge verdamping van bomen gedurende de dag. Veranderingen in het

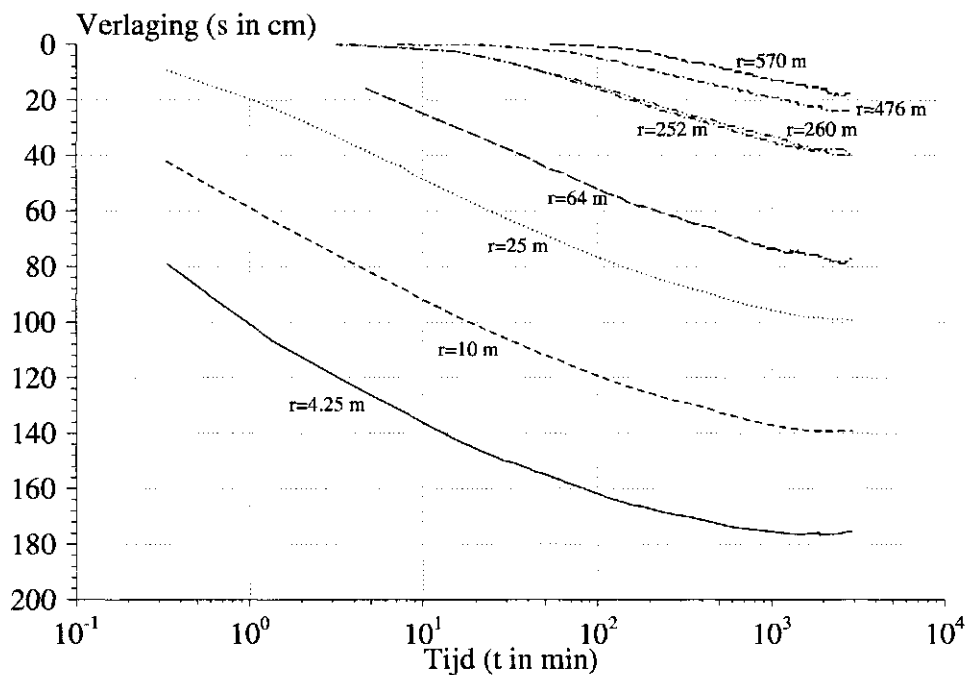


Fig. 6 Tijd-verlagingscurve voor de meetpunten in het eerste watervoerend pakket

Tabel 2 Maximale verlaging voor de waarnemingsfilters in het eerste watervoerend pakket

Waarnemingsfilter	Afstand tot de pompput (m)	Maximale afpompings (m)
N1D	4,25	1,78
N2D	10	1,40
N3D	25	1,00
B36	64	0,80
B37	252	0,40
B35	260	0,39
B39	476	0,24
B38	570	0,18

oppervlaktewaterpeil kunnen eveneens de verlaging van het freatische grondwater beïnvloeden. Samenvattend kan geconcludeerd worden dat bij de uitwerking van de pompproef uitgegaan kan worden van semispanningswater.

In figuur 6 is duidelijk te zien dat de verlaging constant is binnen een afstand van tenminste 64 m. In tabel 2 is de maximale afpompings voor de waarnemingsfilters in het eerste watervoerend pakket weergegeven. Het pompdebiet bedraagt gemiddeld 1005 m<sup>3</sup>/d. Tijdens de pompproef is het pompdebiet geleidelijk afgenomen van 1064 tot 990 m<sup>3</sup>/d. De sterkste afname van het pompdebiet vindt in de eerste 8 uur plaats. In deze beginperiode van het pompen ondervindt de pomp weinig weerstand omdat de grondwaterstandsverlaging zich nog in moet stellen.

#### 4.1.1 Methode Thiem

In een stationaire situatie geldt voor spanningswater:

$$Q = \frac{2\pi kD(S_{m1} - S_{m2})}{2,30 \log(r_2/r_1)} \quad (6)$$

Waarin:

- $Q$  = brondebiet ( $\text{m}^3/\text{d}$ )
- $kD$  = doorlaatvermogen van de aquifer ( $\text{m}^2/\text{d}$ )
- $r$  = afstand tot de pompput (m)
- $S_m$  = stationaire afpompings (m)

Indien sprake is van semi-spanningswater kan grondwateraanvulling in het pakket plaatsvinden. Hiervoor moet gecorrigeerd worden. De verlaging in het afdekkend pakket is echter zeer gering. Daarom is geen correctie uitgevoerd.

De twee waarnemingsfilters die het dichtst bij de pompput gelegen zijn wijken af van de andere waarnemingsfilters (fig. 7). Wanneer één logaritmische periode wordt beschouwd is formule (6) te vereenvoudigen tot:

$$kD = \frac{2,3Q}{2\pi \Delta s_m} \quad (7)$$

Met een gemiddeld pompdebiet van  $1005 \text{ m}^3/\text{d}$  en een  $\Delta s_m$  van  $0,6 \text{ m}$  bedraagt het doorlaatvermogen  $613 \text{ m}^2/\text{d}$ . Indien alleen de drie dichtst bij gelegen waarnemingsfilters beschouwd worden bedraagt het doorlaatvermogen  $357 \text{ m}^2/\text{d}$ .

Indien telkens twee waarnemingsfilters beschouwd worden kan formule (6) omschreven worden naar:

$$kD = \frac{2,30 Q}{2\pi (S_{m1} - S_{m2})} \log\left(\frac{r_2}{r_1}\right) \quad (8)$$

Wederom laten de waarnemingsfilters dichtbij de pompput een veel lager doorlaatvermogen zien dan de waarnemingsfilters die verder van de pompput zijn gelegen (tabel 3). Een mogelijke verklaring voor dit verschil in doorlaatvermogen is de plaatsing van het pompfilter. Indien het pompfilter niet volkomen is, ondervindt het toestromende water meer weerstand doordat het water in de directe omgeving van de pompput radiaal moet toestromen. Deze extra weerstand heeft een extra verlaging tot gevolg in de directe omgeving van de pompput. Het niet volkomen-zijn van de pompput is echter maar beperkt (aanhangel 2), daarom is deze verklaring niet voldoende.

Uit de boorbeschrijving komt echter ook naar voren dat het bovenste gedeelte van het eerste watervoerend pakket fijnzandiger is. Aangezien de waarnemingsfilters bovenin het eerste watervoerend pakket geplaatst zijn kan grondwateraanvulling naar de peilfilters bemoeilijkt worden. Het water zal dicht bij het pompfilter minder weerstand ondervinden naar het pompfilter toe dan naar een hoog gelegen waarnemingsfilter in een relatief

slecht doorlatende laag. Hierdoor kan men zich voorstellen dat naarmate een peilfilter dichterbij de pompput gelegen is er een extra verlaging plaatsvindt.

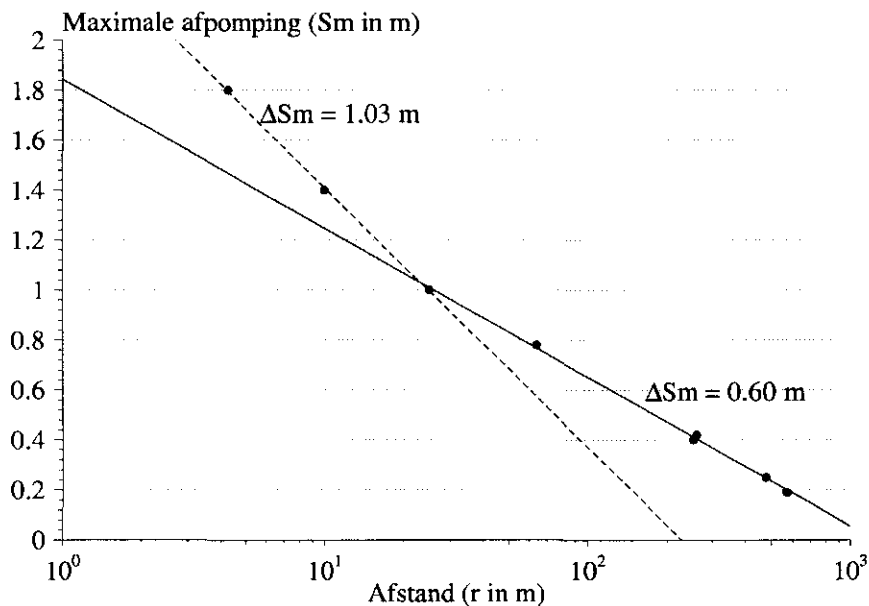


Fig. 7 Afpompingscurve voor de stationaire situatie

Tabel 3 Berekende doorlaatvermogen met gebruikmaking van twee waarnemingsfilters

$r_1$	$r_2$	$s_{m1}$	$s_{m2}$	$kD$
4.25	10	1.78	1.40	359
4.25	25	1.78	1.00	363
4.25	64	1.78	0.78	433
10	25	1.40	1.00	366
10	64	1.40	0.78	478
25	64	1.00	0.78	682
10	260	1.40	0.40	520
25	260	1.00	0.40	623
64	260	0.78	0.40	589
10	476	1.40	0.24	532
25	476	1.00	0.24	619
64	476	0.78	0.24	593
260	476	0.40	0.24	603



#### 4.1.2 Methode Hantush-Jacob

De methode Hantush-Jacob komt, wat betreft de berekening van het doorlaatvermogen, overeen met de methode Thiem. Het uitgangspunt van deze methode is een stationaire stroming waarvoor formule (7) geldt. Indien de rechte in figuur 7 wordt doorgetrokken, ontstaat een snijpunt op de y-as, waar de afstand tot de pompput logaritmisch is uitgezet. Op het snijpunt geldt:  $S_m = 0$  en  $r = r_0$ . Voor deze voorwaarden is door Hantush-Jacob de volgende formule voor de weerstand van het afdekkend pakket afgeleid:

$$c = \frac{(r_0/1,12)^2}{kD} \quad (9)$$

Berekening van het doorlaatvermogen geeft overeenkomstige waarden met de methode Thiem. De weerstand van het afdekkend pakket bedraagt 1574 dagen.

#### 4.1.3 Methode De Glee

Voor stationaire stroming en bij semispanningswater is door De Glee de volgende formule opgesteld:

$$S_m = \frac{Q}{2\pi kD} K_0\left(\frac{r}{L}\right) \quad (10)$$

Waarin:

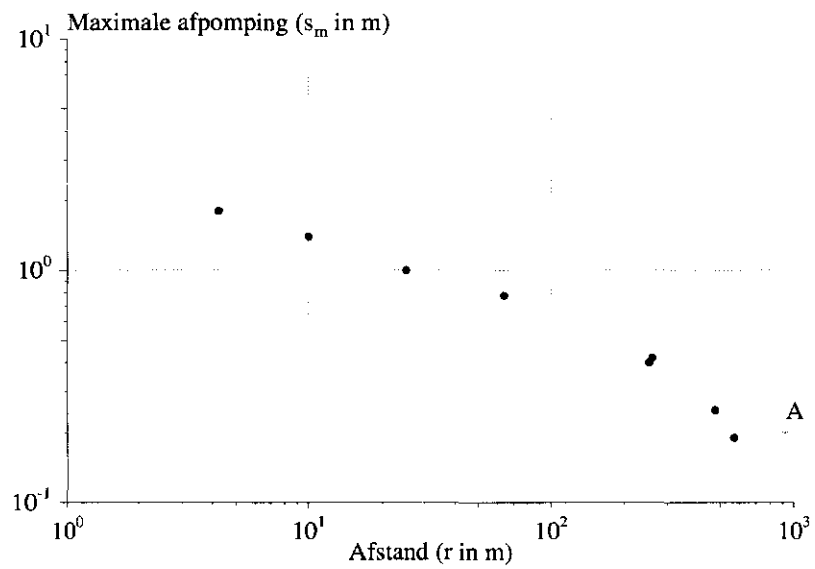
- $S_m$  = stationaire afpompingscurve (m)
- $Q$  = brondebiet ( $m^3/d$ )
- $kD$  = doorlaatvermogen van de aquifer ( $m^2/d$ )
- $r$  = afstand tot de pompput (m)
- $L$  = leakage factor (m)
- $K_0$  = Bessel-functie van de orde nul

De maximale eindverlaging is op dubbel-logaritmisch papier uitgezet tegen de afstand tot de pompput (fig. 8). De verkregen afpompingscurve is passend gelegd op de Bessel-functie (fig. 9). Het aangegeven punt A is overgenomen. Voor dit punt A geldt  $r/L = 1$ . Hierdoor kan formule (10) vereenvoudigd worden en geldt voor het desbetreffende punt:

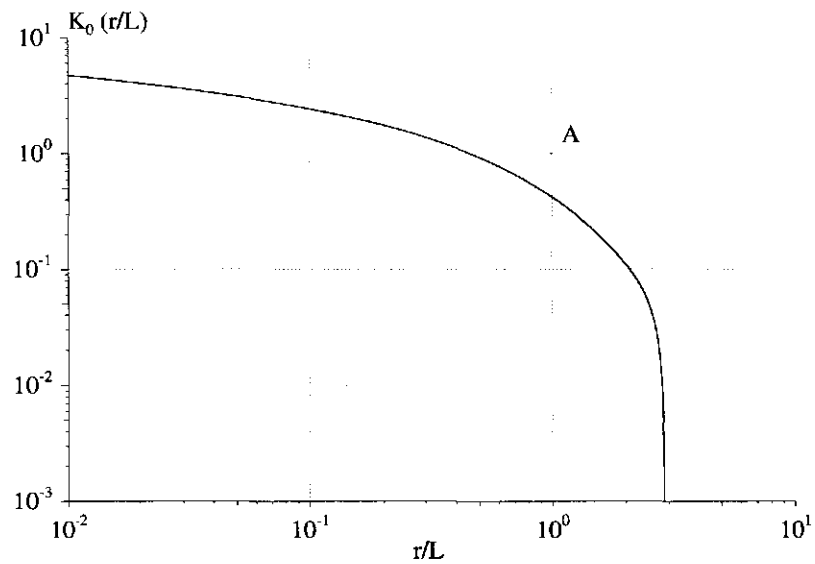
$$kD = \frac{Q}{2\pi S_m} \quad (11)$$

$$r = L = \sqrt{kDc} \quad (12)$$

Door substitutie van de waarden uit figuur 8 overeenkomend met het punt A in formule (11) en gebruikmakend van het gemiddelde pompdebiet van  $1005 m^3/d$ , kan het doorlaatvermogen berekend worden. Het berekende doorlaatvermogen bedraagt  $592 m^2/d$ .



**Fig. 8 Afstands-verlagingscurve**



**Fig. 9 Bessel-functie van de nulde orde**

De weerstand van het afdekkend pakket kan berekend worden met behulp van de volgende formule:

$$c = \frac{L^2}{kD} = \frac{1}{(r/L)^2} \frac{r^2}{kD} \quad (13)$$

Substitutie van de waarden geeft een weerstand van het afdekkend pakket van 1430 dagen.

#### 4.1.4 Methode Walton

Deze methode kan worden gebruikt voor semi-spanningswater in een niet-stationaire situatie (Kruseman en De Ridder, 1970). Bij deze methode wordt gebruik gemaakt van de verlaging van een waarnemingsfilter in de tijd. De verlaging in een waarnemingsfilter voor semispanningswater wordt beschreven door de volgende formules:

$$s = \frac{Q}{4\pi kD} W(u, r/L) \quad (14)$$

$$u = \frac{r^2 S}{4kDt} \quad (15)$$

Waarin:

- $S$  = afpompingsfunctie (m)
- $Q$  = pompdebiet ( $\text{m}^3/\text{d}$ )
- $kD$  = doorlaatvermogen van de aquifer ( $\text{m}^2/\text{d}$ )
- $r$  = afstand tot de pompput (m)
- $L$  = leakage factor (m)
- $W$  = afpompingsfunctie

In figuur 10 zijn de functies voor  $W(u, r/L)$  weergegeven. Op dubbel logaritmisch papier kan nu de verlaging van de stijghoogte voor een waarnemingsfilter worden uitgezet tegen de tijd. Deze afpompingscurve kan gepast worden op een van de functies in figuur 11, zodat punt A kan worden overgenomen in figuur 10. Voor punt A geldt dat  $W(u, r/L) = 1$  en  $1/u = 100$ . Door substitutie van de af te lezen waarden voor punt A in figuur 11 kan het doorlaatvermogen berekend worden indien formule (14) wordt omgeschreven naar:

$$kD = \frac{Q}{4\pi s} W(u, r/L) \quad (16)$$

De weerstand van het afdekkend pakket en de bergingscoëfficiënt kunnen berekend worden met behulp van de volgende formules:

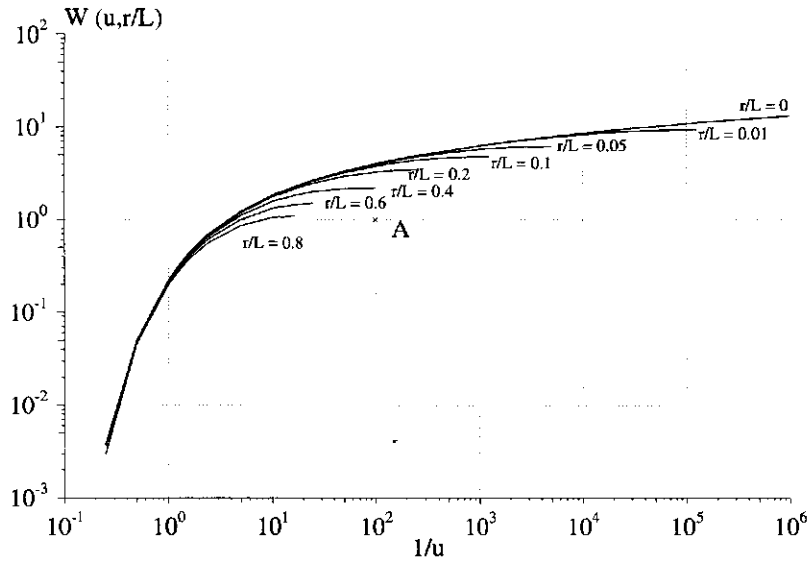
$$c = \frac{L^2}{kD} \quad (17)$$

$$S = \frac{4kDt}{r^2} u \quad (18)$$

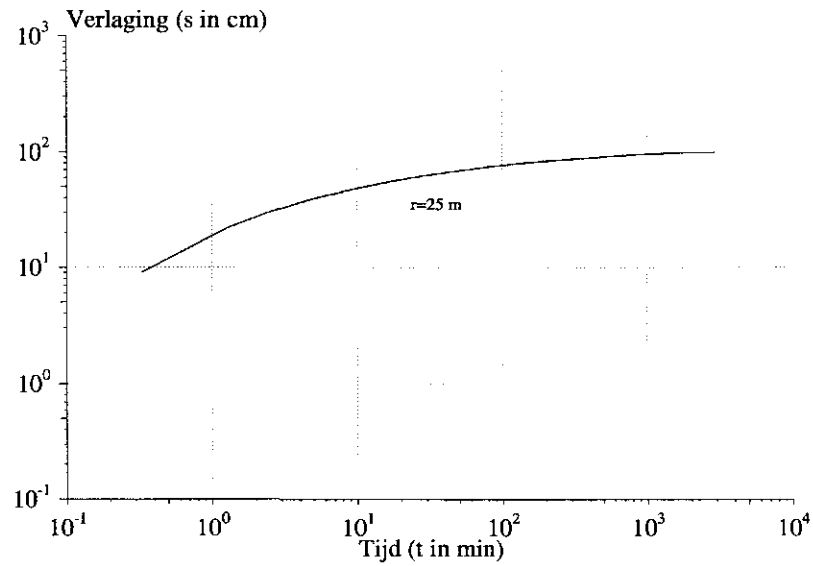
In tabel 4 zijn voor enkele waarnemingsfilters de uitkomsten weergegeven.

**Tabel 4** Uitkomsten van de Waltonmethode voor enkele waarnemingsfilters

r (m)	kD (m <sup>2</sup> /d)	c-waarde (dagen)	S
10	622	659	4,2 10 <sup>-4</sup>
25	530	582	5,4 10 <sup>-4</sup>
64	568	1227	4,4 10 <sup>-4</sup>
260	838	8067	4,7 10 <sup>-4</sup>



**Fig. 10** Waltoncurves voor verschillende waarden van r/L



**Fig. 11** Tijd-verlagingscurve voor een waarnemingsfilter

#### 4.1.5 Methode Hantush

Hantush heeft verschillende manieren ontwikkeld om pompproeven voor semispanningswater uit te werken. Alle analyses zijn gebaseerd op formule 16 (Kruseman en De Ridder, 1970). Een van deze analyseprocedures maakt gebruik van de afpomping voor één waarnemingsfilter. Bij deze methode wordt de verlaging uitgezet tegen de tijd op half-logaritmisch papier. In de curve wordt een inflection-point bepaald door middel van de volgende formule:

$$s_p = 0,5s_m = \frac{Q}{4\pi kD} K_0\left(\frac{r}{L}\right) \quad (19)$$

Het verhang van de curve kan bepaald worden op de plaats van het inflection-point met behulp van de volgende formule:

$$\Delta s_p = \frac{2,3Q}{2\pi kD} e^{-r/L} \quad (20)$$

$\Delta s_p$  komt overeen met het verhang van de afpomping op de plaats van het inflection-point per log-cyclus. In figuur 12 is de methode grafisch weergegeven.

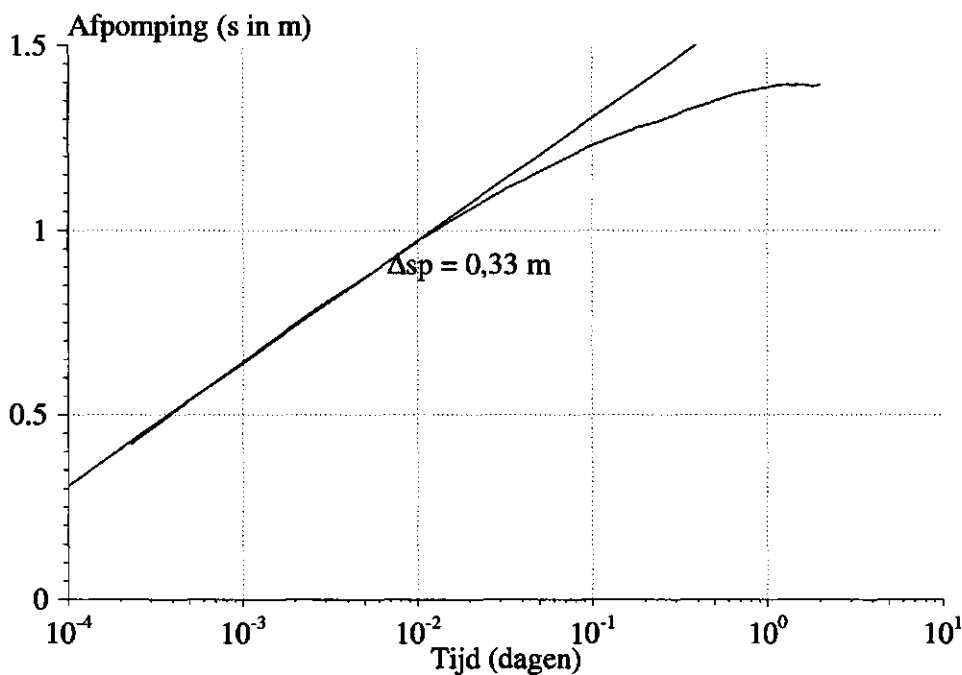


Fig. 12 Tijd-verlagingscurve (Hantush-I-methode)

Nadat  $s_p$  en  $\Delta s_p$  bepaald zijn kunnen de bodemconstanten met behulp van de volgende formules bepaald worden (Kruseman en De Ridder, 1970):

$$kD = \frac{2,3 Q}{4\pi \Delta s_p} e^{-r/L} \quad (21)$$

$$c = \frac{L^2}{kD} \quad (22)$$

$$S = \frac{r^4 kD t_p}{2Lr^2} \quad (23)$$

Het doorlaatvermogen van het eerste watervoerend pakket is hoger naarmate een waarnemingsfilter voor de berekening wordt gebruikt dat verder van de pompput verwijderd is, zoals besproken in paragraaf 4.1 (tabel 5). De weerstand van het afdekkend pakket vertoont veel spreiding. Bij de bergingscoëfficiënt is eveneens een toename te zien.

*Tabel 5 Uitkomsten van de Hantushmethode voor enkele waarnemingsfilters*

$r$ (m)	$kD$ (m <sup>2</sup> /d)	$c$ -waarde (dagen)	$S$
4,25	456	543	1,4 10 <sup>-4</sup>
10	552	1957	1,6 10 <sup>-4</sup>
25	670	3269	2,5 10 <sup>-4</sup>
64	650	2800	3,3 10 <sup>-4</sup>
252	843	3933	4,4 10 <sup>-4</sup>
260	823	3555	3,7 10 <sup>-4</sup>
476	989	3698	5,9 10 <sup>-4</sup>
570	960	2247	9,2 10 <sup>-4</sup>

Aan de hand van de volgende twee formules is de geëxtrapoleerde stationaire eindverlaging gecontroleerd:

$$u = \frac{r^2 S}{4kDt} \quad (24)$$

$$s_t = \frac{Q}{4\pi kD} W(u, r/L) \quad (25)$$

Voor verschillende tijdstippen is met behulp van formules (24) en (25) de verlaging berekend. Indien de stationaire eindverlaging correct geëxtrapoleerd is komt het berekende punt overeen met de tijd-verlagingscurve. Aan de hand van deze methode zijn de geschatte eindverlagingen eventueel bijgesteld. De bijgestelde eindverlagingen zijn bij alle uitwerkingsmethoden gebruikt.

Naast de inflection-point methode van Hantush is ook gebruikgemaakt van de Hantush-II-methode waarbij gebruik wordt gemaakt van meerdere waarnemingsfilters. Deze methode is gebaseerd op formule (14). Bij deze methode wordt de verlaging ( $\Delta s$ ) uitgezet tegen de afstand tot de pompput ( $r$ ) (fig. 13). Nadat een rechte door de punten is getrokken en verlengd wordt tot de x-as kan de waarde voor  $\Delta s_0$  bepaald worden. Het verhang van de afstand tot de pompput ( $\Delta r$ ) per logaritmische cyclus kan eveneens bepaald worden uit figuur 13.

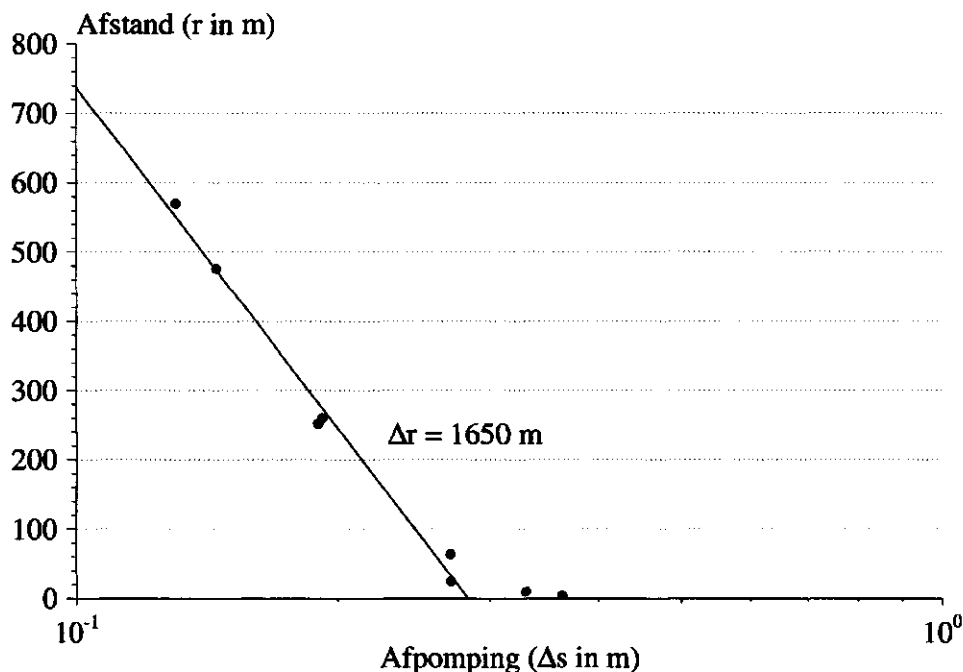


Fig. 13 Afpomping-afstandscurve

Indien de waarde voor  $\Delta s_0$  en  $\Delta r$  bekend zijn kunnen de verschillende bodemconstanten met behulp van de volgende formules berekend worden:

$$L = \frac{1}{2,3} \Delta r \quad (26)$$

$$kD = 2,3 \frac{Q}{4\pi (\Delta s)_0} \quad (27)$$

$$c = \frac{L^2}{kD} \quad (28)$$

Bij gebruikmaking van deze methode wordt een doorlaatvermogen van  $660 \text{ m}^2/\text{d}$  en een weerstand van 911 dagen berekend. De berekende bergingscoëfficiënt is  $4,5 \cdot 10^{-4}$ . De waarnemingsfilters dicht bij de pompput zijn afwijkend zijn van de verder weg gelegen waarnemingsfilters (fig. 13).

## 4.2 Het afdekkend pakket

Naast de hiervoor besproken pompproef in het eerste watervoerend pakket heeft een ondiepe pompproef plaatsgevonden. Deze pompproef is uitgevoerd om een indicatie te krijgen omtrent de doorlatendheid van het zandige pakket dat behoort tot het afdekkend pakket. Het pompfilter is geplaatst op een diepte van 5 tot 10 m. De pompproef is uitgevoerd in januari 1996. De pomp is gestart op 17 januari om 10.18 uur en heeft gedurende 5 uur gedraaid met een gemiddeld pompdebiet van  $1 \text{ m}^3/\text{uur}$ . In deze periode is geen neerslag gevallen. De gemeten verlagingen (fig. 14) zijn gezien de korte duur van de pompproef niet gecorrigeerd.

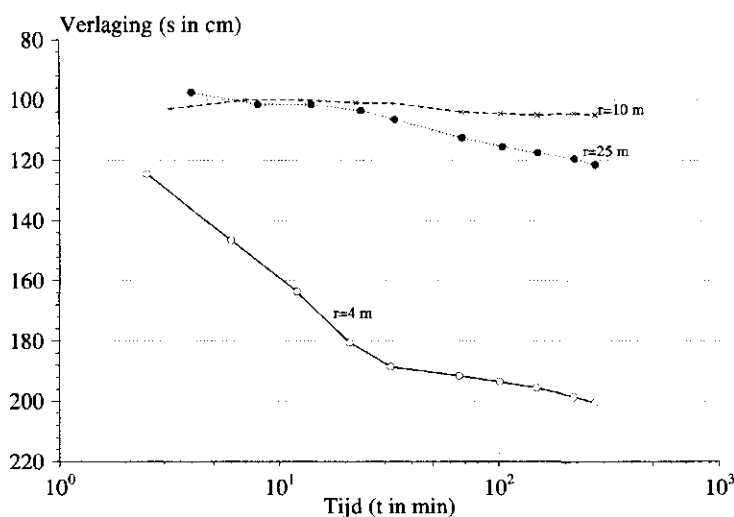


Fig. 14 Tijd-verlagingscurve voor de meetpunten in het holocene zandpakket

Het waarnemingsfilter op 10 m afstand geeft een onverwachte reactie op de pomptrekking. Mogelijk is dit waarnemingsfilter in een deel van het zandpakket geplaatst waar de doorlatendheid slechter is, waardoor de reactie op het pompen vertraagd kan verlopen. In zowel het eerste watervoerende pakket als in het freatische grondwater zijn gedurende de pompproef geen verlagingen waargenomen. De maximale eindverlaging is geschat met behulp van de Hantush-II-methode (Kruseman en De Ridder, 1970).

Voor de analyse van de ondiepe pompproef zijn de zelfde analytische methoden als voor de diepe pompproef gebruikt. Bij de berekeningen heeft het waarnemingsfilter op 10 m een minder belangrijke rol gespeeld, gezien het vreemde verloop van de afpomping bij dit filter. Het berekende doorlaatvermogen van het desbetreffende zandpakket bedraagt tussen de 4 en  $7 \text{ m}^2/\text{d}$ . Deze waarde komt overeen met een doorlatendheid van ongeveer  $1 \text{ m}/\text{d}$ .



Door de korte pompduur konden geen goede berekeningen van de samengestelde weerstand van de slecht doorlatende lagen boven en onder het zandpakket gedaan worden.

### 4.3 Controleberekeningen

Naast de in paragraaf 4.1.5 beschreven controleberekening voor de stationaire eindverlaging, is gebruikgemaakt van een hydrologisch model. In het model Microfem zijn de uitkomsten van de analytische berekeningen ingevoerd. De in het model berekende stationaire eindverlagingen zijn vergeleken met de gemeten verlagingen. De analytisch bepaalde waarde voor het doorlaatvermogen van het eerste watervoerend pakket van ongeveer  $625 \text{ m}^2/\text{d}$  bleek dicht bij de meest waarschijnlijke waarden voor de modeluitkomsten te liggen. De weerstand van het afdekkend pakket was echter enigszins afwijkend van de modeluitkomsten. Indien voor het afdekkend pakket een weerstand van 1000 dagen met daaronder het relatief watervoerend pakket, met een doorlaatvermogen van  $5 \text{ m}^2/\text{d}$ , gevolgd door een weerstand van 1750 dagen, wordt aangehouden in combinatie met een  $kD$ -waarde van  $625 \text{ m}^2/\text{d}$  voor het eerste watervoerend pakket, beschrijft de berekende verlaging de gemeten verlaging het nauwkeurigst (fig. 15).

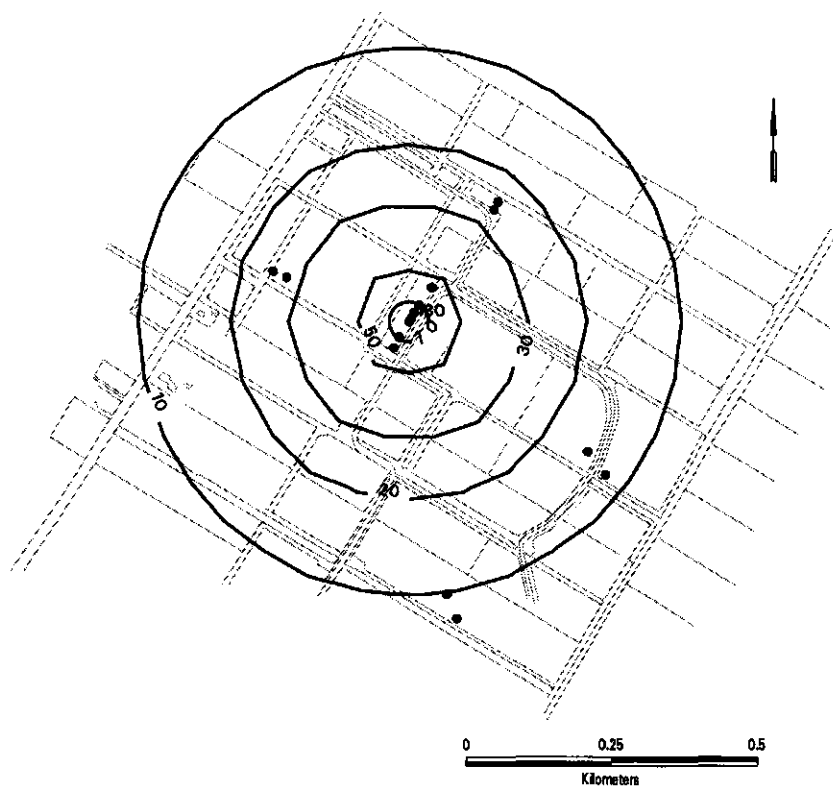


Fig. 15 Berekende verlagingen

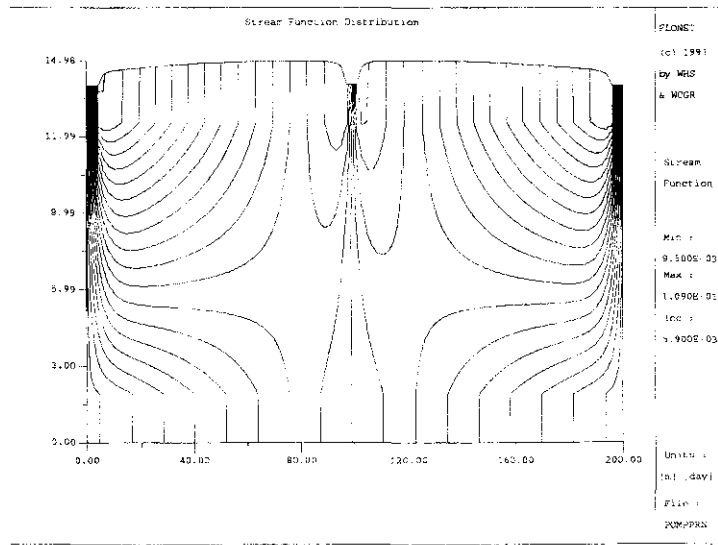
## 5 Kwelberekeningen

Door het relatief hoge doorlaatvermogen van het Holocene zandpakket ten opzichte van het eronder gelegen basisveen en klei, moet geconcludeerd worden dat bij de diepe pompproef de weerstand van het basisveen met de hierboven gelegen klei bepaald is. Deze weerstand van 1750 dagen geldt dus niet voor het gehele afdekkend pakket. Boven de zandlaag bevindt zich nog de bemonsterde kleilaag, waarvan de weerstand ongeveer 1000 dagen bedraagt (hoofdstuk 4). De weerstand van het totale afdekkend pakket wordt gevormd door deze twee weerstanden tezamen (2750 dagen). Samenvattend kunnen de volgende geohydrologische lagen onderscheiden worden:

Klei	$c = 1000$ dagen	(Westland Formatie)
Fijn zand	$kD = 5$ m <sup>2</sup> /d	(Westland Formatie)
Klei		
Veen	$c = 1750$ dagen	(Westland Formatie)
Zand	$kD = 625$ m <sup>2</sup> /d	(Formatie van Twente/Eem)

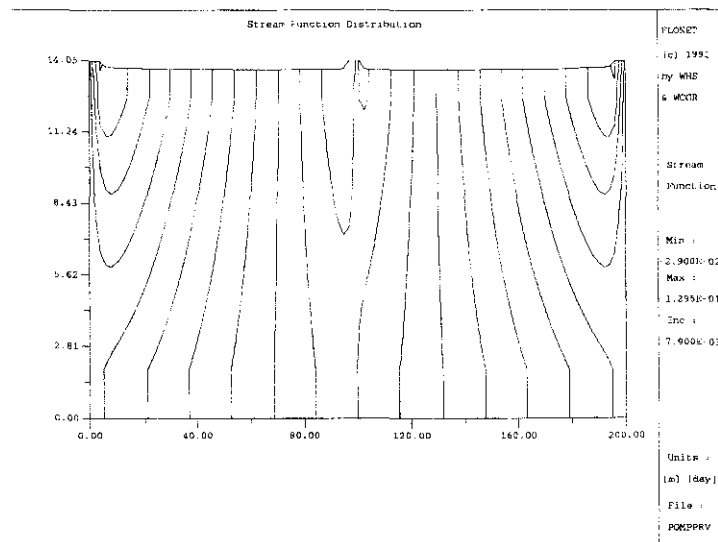
Toetsing van deze uitkomsten heeft plaatsgevonden met het model Microfem. Binnen het model is de diepe pompproef gesimuleerd, waarna met behulp van waterbalansen is gekeken naar de herkomst van het onttrokken water. Bij analyse van de waterbalansen bleek een deel van het onttrokken water dat door het weerstandsbiedende basisveen/klei pakket komt, lateraal toe te stromen via het Holocene zandpakket.

Door deze laagopbouw zal voor kwelberekeningen rekening gehouden moeten worden met de drainerende werking van het holocene zandpakket. In dit relatief dunne zandpakket zal het kwelwater zich tijdens perioden met neerslagoverschot voornamelijk horizontaal verplaatsen in de richting van diepe waterlopen. Hierna zal het kwelwater in het oppervlaktewater tot afvoer komen. Om meer inzicht te verkrijgen in de verplaatsing van het kwelwater is gebruikgemaakt van het twee dimensionale stationaire stromingsmodel Flonet. In figuur 16 zijn stroomlijnen weergegeven in het afdekkend pakket. Bij deze berekening is uitgegaan van een kwel van 0,5 mm/d en een neerslagoverschot van 1 mm/d. Bij kwel- en balansberekeningen zal in deze situatie de weerstand van het basisveen met de hierop gelegen klei bepalend zijn. Dit is de eerder genoemde weerstand van 1750 dagen. Het te hanteren stijghoogteverschil moet berekend worden uit de stijghoogte in de desbetreffende zandlaag en de stijghoogte in het eerste watervoerend pakket.



**Fig. 16** Stroomlijnen in het afdekkend pakket bij een kwel van 0,5 mm/d en een neerslagoverschot van 1 mm/d

In perioden met een neerslagtekort zal het kwelwater zich verticaal verplaatsen naar de wortelzone (fig. 17).



**Fig. 17** Stroomlijnen in het afdekkend pakket bij een kwel van 0,5 mm/d en een neerslagtekort van 1 mm/d

Bij kwelberekeningen in deze situatie moet rekening gehouden worden met de weerstand van het basisveen en de weerstand van het kleipakket dat zich aan het maaiveld bevindt. Afhankelijk van de grondwaterstand zal het kwelwater een grote of minder grote weg door deze ondiepe klei af moeten leggen. De weerstand tijdens perioden met neerslagtekorten zal enigszins afhankelijk van de grondwaterstand ongeveer 2400 dagen bedragen (uitgaande van een grondwaterstand van 1 m - mv.  $\implies$  weerstand basisveen/klei (1750) +  $\frac{2}{3}$  \* weerstand ondiepe klei (1000)). Bij waterbalansberekeningen kan echter volstaan worden met de weerstand van het basisveen/klei (1750 dagen), indien wederom gerekend wordt met het stijghoogteverschil tussen de Holocene zandlaag en het eerste watervoerend pakket.

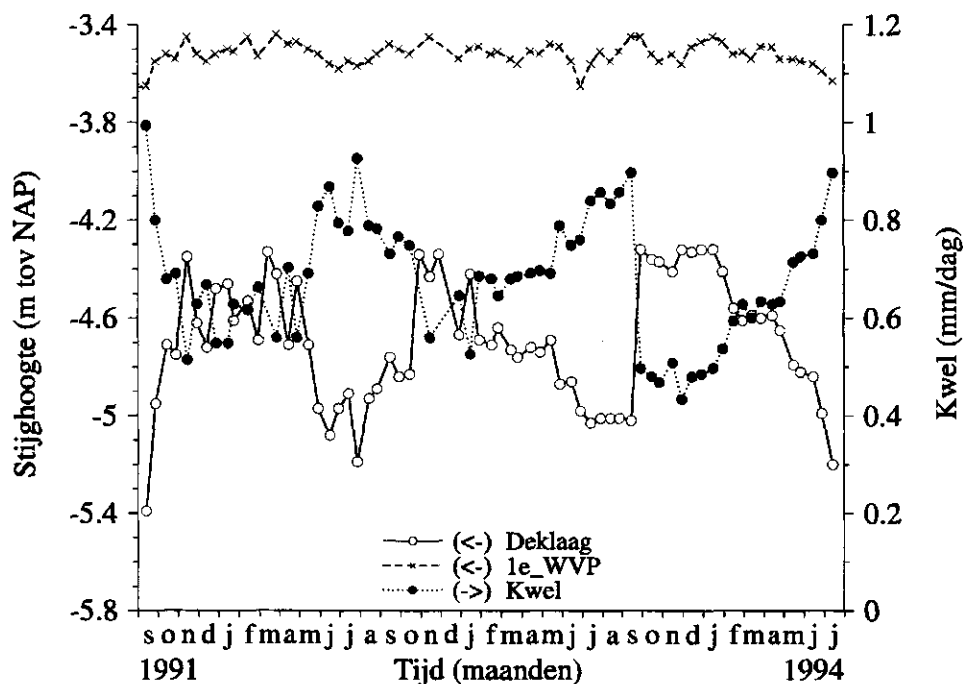
Voor kwelberekeningen kan uitgegaan worden van de volgende formule:

$$q = \frac{\Delta H}{c}$$

waarin:

- $q$  : kwel (m/d)
- $\Delta H$  : stijghoogteverschil (m)
- $c$  : weerstand (dagen)

In figuur 18 zijn de stijghoogten in de deklaag, het Holocene zandpakket, en het eerste watervoerend pakket voor een aantal jaren weergegeven. Hiernaast is ook de berekende kwel in de figuur afgebeeld. Voor de weerstand is 1750 dagen aangehouden. In de figuur is te zien dat de kwel gedurende de zomermaanden hoger is als gevolg van een afname in de stijghoogte in het afdekkend pakket.



**Fig. 18 Kwelberekening aan de hand van de stijghoogten in de deklaag en het eerste watervoerend pakket voor buis B36**

## 6 Conclusies

Bij de berekening van het doorlaatvermogen van het eerste watervoerend pakket, welke bestaat uit de Twente/Eem Formatie, is een geringe spreiding in de uitkomsten te zien voor de gebruikte methoden waarbij meerdere meetpunten kunnen worden meegenomen (tabel 6).

*Tabel 6 Berekende doorlaatvermogen van het eerste watervoerend pakket*

Methode	<i>kD</i> -waarde (m <sup>2</sup> /d)
Thiem	613
De Glee	592
Hantush Jacob	613
Walton	530-838
Hantush I	460-990
Hantush II	660

Bij de Walton en Hantush-I-methode kan maar één meetpunt worden gebruikt. Deze methoden geven een tendens te zien waarbij het berekende doorlaatvermogen toeneemt bij gebruikmaking van een meetpunt dat verder van de pompput verwijderd is. Hierdoor geven deze methoden ook een grote spreiding te zien van de berekende waarden. Naast deze analytische methoden is ter controle gebruikgemaakt van het grondwaterstromingsmodel Microfem. Gebruikmaking van een *kD*-waarde tussen de 600 en de 650 m<sup>2</sup>/d geeft een goede eindverlaging te zien in vergelijking met de gemeten verlagingen. De waarnemingsfilters dichtbij de pompput zijn, door de in paragraaf 4.1.1 beschreven afwijking, niet meegenomen in de bepaling van het doorlaatvermogen. Gebruikmakend van de analytische berekeningen, de modelberekeningen en de beschikbare boorbeschrijvingen, kan de *kD*-waarde van het eerste watervoerend pakket gesteld worden op  $625 \pm 25$  m<sup>2</sup>/d. Dit komt overeen met een horizontale doorlatendheid van  $34 \pm 2$  m<sup>2</sup>, uitgaande van een pakketdikte van ongeveer 18 m.

De spreiding tussen de uitkomsten van de bergingscoëfficiënt voor de verschillende methodes is gering (tabel 7). De bergingscoëfficiënt kan worden gesteld op  $4,5 \cdot 10^{-4}$ .

*Tabel 7 Berekende bergingscoëfficiënt van het eerste watervoerend pakket*

Methode	<i>S</i>
Walton	0,00042-0,00054
Hantush I	0,00014-0,00092
Hantush II	0,00045

Bij de berekening van de weerstand van het afdekkend pakket dat bestaat uit de Westland Formatie, is een grotere spreiding waar te nemen (tabel 8). Bij de Walton en Hantush-I-berekeningen is wederom een verloop te zien waarbij bij toename van de afstand tot de pompput de uitkomsten voor de  $c$ -waarde hoger uitvallen. Berekeningen met Microfem geven de beste resultaten met een  $c$ -waarde van ongeveer 1750 dagen.

**Tabel 8** *Berekende weerstand van het afdekkend pakket*

Methodes	$c$ -waarde (dagen)
De Glee	1430
Hantusch Jacob	1574
Walton	580-8000
Hantush I	540-3930
Hantush II	911

Bij de doorlatendheidsmetingen van de ongestoorde monsters wordt een weerstand van het bovenste kleipakket van ongeveer 1000 dagen gevonden. Aangezien binnen het afdekkend pakket een relatief goed doorlatende zandlaag voorkomt moet deze weerstand van de bovenste 3 m van het afdekkend pakket opgeteld worden bij de met de pompproef gemeten weerstand. Bij de ondiepe pompproef is voor deze zandlaag een doorlaatvermogen van ongeveer  $7 \pm 2 \text{ m}^2/\text{d}$  gevonden. Dit komt overeen met een doorlatendheid van ongeveer 1 m/d. Samenvattend kan mede op grond van de modelberekeningen en de verkregen informatie van de ongestoorde monsters, de  $c$ -waarde van het totale afdekkend pakket op  $2750 \pm 500$  dagen gesteld worden.

Bij kwelberekeningen moet echter alleen rekening gehouden worden met de weerstand van het onderste gedeelte van het afdekkend pakket. Voor deze berekeningen moet namelijk rekening gehouden worden met de drainerende werking van de relatief goed doorlatende zandlaag welke behoort tot het afdekkend pakket.

Samenvattend kan de volgende laagopbouw met de daarbij behorende bodemconstanten onderscheiden worden:

Klei	$c = 1000$ dagen	(Westland Formatie)
Fijn zand	$kD = 5 \text{ m}^2/\text{d}$	(Westland Formatie)
Klei Veen	$c = 1750$ dagen	(Westland Formatie)
Zand	$kD = 625 \text{ m}^2/\text{d}$	(Form. van Twente/Eem)

## Literatuur

Bierkens M.F.P., 1994. *Complex confining layers, a stochastic analysis of hydraulic properties at various scales*. Utrecht, Faculteit Ruimtelijke Wetenschappen Universiteit Utrecht.

Hemker, C.J. en H. van Elburg, 1990. *Micro-Fem user's manual, MicroComputer Multilayer Steady State Finite Element GroundWater Modeling*. Version 2.0. Amsterdam.

Indelman, P en G. Dagan, 1993a. 'Upscaling of permeability of anisotropic heterogeneous formations; 1. The general framework'. *Water Resources Research* 29, 4: 917-923.

Indelman, P en G. Dagan, 1993b. 'Upscaling of permeability of anisotropic heterogeneous formations; 2. General structure and small perturbation analysis'. *Water Resources Research* 29, 4: 925-933.

Kruseman G.P. en N.A. de Ridder, 1970. *Analysis and evaluation of pumping test data*. Wageningen, International Institute for Land Reclamation and Improvement.

Provincie Noord-Holland, 1986. *Provinciaal grondwaterplan van Noord-Holland*. Haarlem, Provinciaal bestuur van Noord-Holland.

RGD, 1979a. *Geologie van de provincie Noord-Holland*. Haarlem, Rijks Geologische Dienst, Rapport no. O.P. 7106.

RGD, 1979b. *Samenstelling en verbreiding holocene afdekkpakket in Noord-Holland (ten noorden van het Noordzeekanaal)*. Haarlem, Rijks Geologische Dienst, Rapport no. 5302.

Speelman, H. en H. Houtman, 1979. *Grondwaterkaart van Nederland. Zandvoortb 24, Amsterdam 25West, 25Oost*. Delft, Dienst grondwaterverkenning TNO.

Werkgroep Herziening Cultuurtechnisch Vademecum, 1988. *Cultuurtechnisch Vademecum*. Utrecht, Cultuurtechnische vereniging.

Werkgroep Noord-Holland, 1982. *Kwantiteit en kwaliteit van grond - en oppervlaktewater in Noord-Holland benoorden het IJ*. Wageningen, Instituut voor Cultuurtechniek en Waterhuishouding, Werkgroep Noord-Holland. Regionale Studies 16.

Westerhoff, W.E., E.F.J. de Mulder en W. de Gans, 1987. *Toelichting bij de geologische kaart van Nederland 1:50.000, Alkmaar West en Alkmaar Oost*. Haarlem, Rijks Geologische Dienst.

Wit, K.E., 1961. *Apparatus for measuring hydraulic conductivity of undisturbed soil samples*. Lathum-Holland, Eykelkamp NV., Soil and Machine Factory.

***Niet-gepubliceerde bronnen***

Pomper, A.B., 1979. *De geologische en geohydrologische opbouw van Noord-Holland benoorden het Noordzeekanaal*. Wageningen, Instituut voor Cultuurtechniek en Waterhuishouding, ICW-nota 1135.

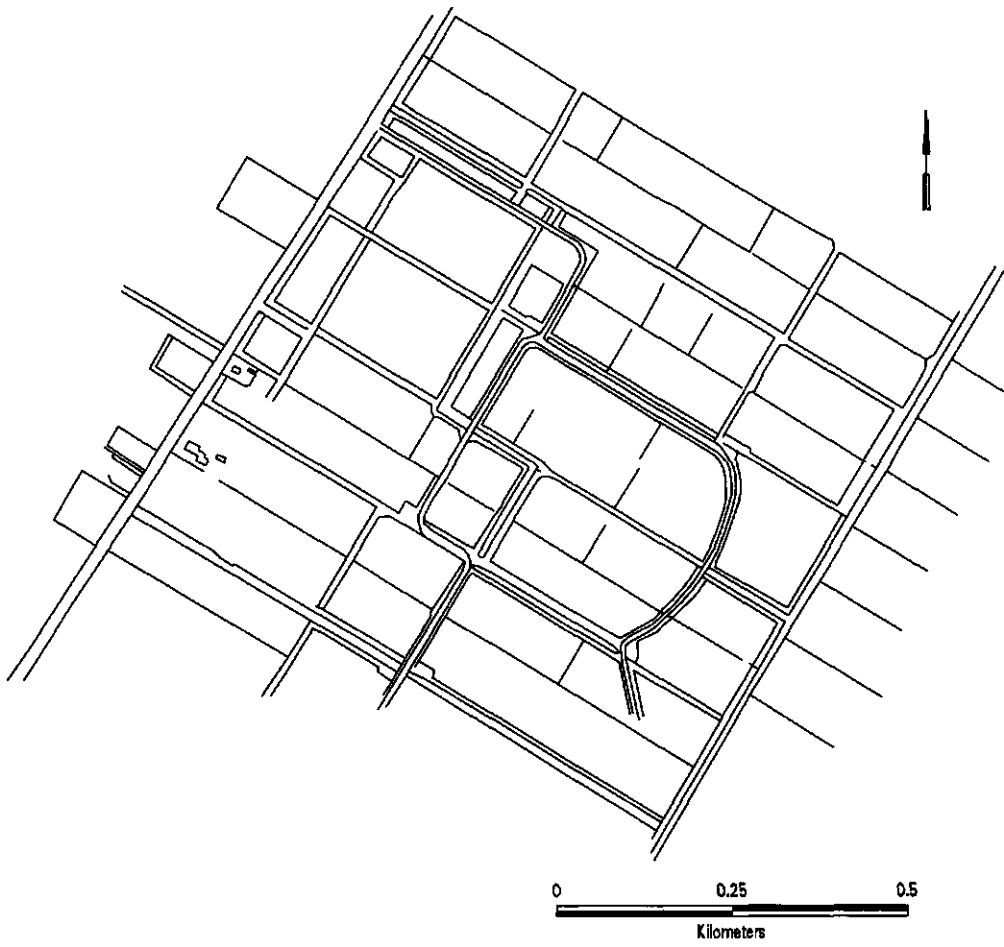
Rees Vellinga, E. van en H. Witt, 1981. *De chemische samenstelling van het grondwater in Holland Noorderkwartier*. Wageningen, Instituut voor Cultuurtechniek en Waterhuishouding, ICW-nota 1258.

Wit, K.E., 1960. *Een apparaat voor het steken van ongeroerde monsters in diepe boorgaten*. Wageningen, Instituut voor Cultuurtechniek en Waterhuishouding. ICW-Nota 10.

Witt, H., 1980. *Het chloridegehalte van het grondwater in Noord-Holland benoorden het IJ en het Noordzeekanaal*. Wageningen, Instituut voor Cultuurtechniek en Waterhuishouding. ICW-Nota 1173.



# Aanhangsel 1 Detailkaart van het Purmerbos



## Aanhangsel 2 Boorstaat van het boorpunt Purmerbos

Kaartblad 25E

coördinaten:

Filterdiepten: 50,0 - 51,0 m -mv

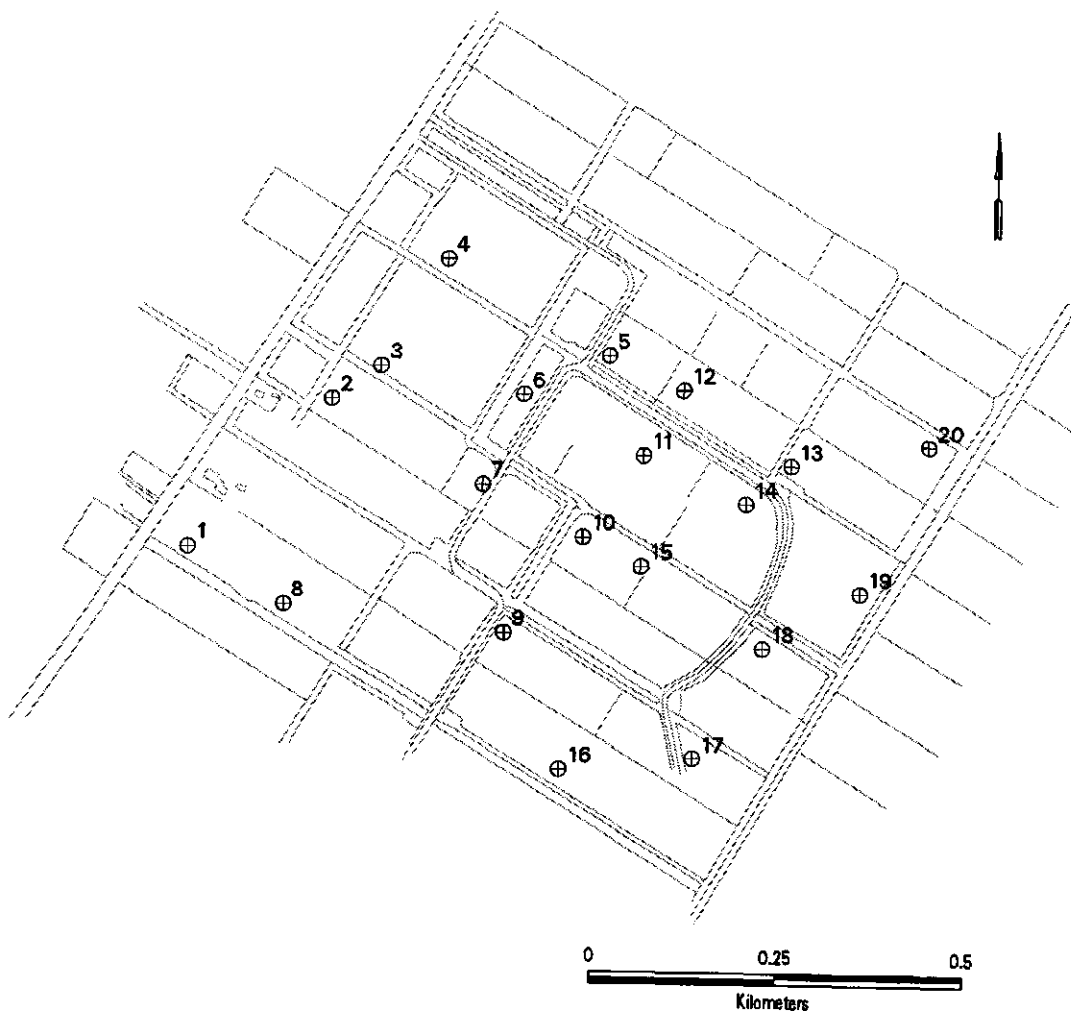
13,5 - 28,5 m -mv (pompput)

14,0 - 15,0 m -mv

6,0 - 7,0 m -mv

Diepte	Materiaal	Kleur	U cijfer	Schelp- resten	Grind	Opmerking
0 - 0,75	klei	bruin				
0,75 - 1,20	veen	bruin				
1,20 - 4,00	klei	grijs		X		slap
4,00 - 7,25	fijn zand	grijs				slibh./kleilaagjes
7,25 - 12,00	klei	br.grijs				iets zandig
12,00 - 12,50	veen	bruin				
12,50 - 14,00	zand	br.grijs	80-90			iets slibhoudend
14,00 - 16,00	zand	br.grijs	60-70			
16,00 - 19,00	zand	gr.bruin	60			
19,00 - 19,50	zand	gr.bruin	60	enkele		kleilaagje
19,50 - 22,00	zand	gr.bruin	50-60	enkele		
22,00 - 24,50	zand	gr.bruin	40-50	X		
24,50 - 27,75	zand	gr.bruin	40	X		
27,75 - 30,00	zand	grijs	60	enkele	enkele	
30,00 - 33,00	klei	grijs		X		taai
33,00 - 37,00	klei	gr.bruin		X		taai
37,00 - 39,00	klei	grijs		enkele		slap
39,00 - 43,00	klei	grijs				hard/stug
43,00 - 49,00	klei	d.grijs				hard/stug
49,00 - 51,00	zand	br.grijs	30-40		X	

### Aanhangsel 3 Locatie van de ongestoorde monsters

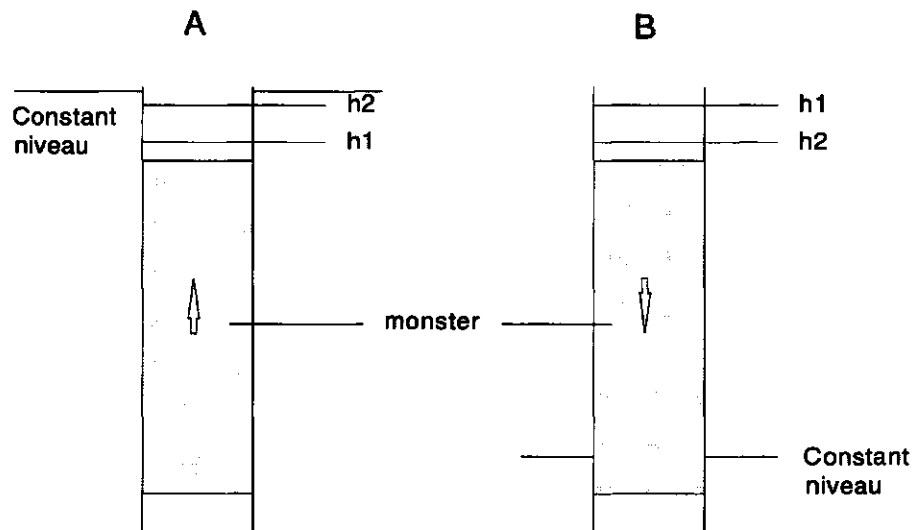


## Aanhangsel 4 Gegevens van de bemonstering

Locatie nr	Monsterdiepte			x (m)	y (m)	Klei- dikte (m)	k (m/d)	kgem (harm) (m/d)	
	van (m)	tot (m)	gem (m)						
1	a	0,40	0,80	0,60	128750	500401	3,0	0,0014	0,0028
1	b	1,00	1,40	1,20				0,0025	
1	c	2,00	2,40	2,20				0,0043	
1	d	2,60	3,00	2,80				0,0130	
2	a	1,00	1,30	1,15	128711	500888	4,0	0,0011	0,0030
2	b	2,00	2,30	2,15				0,0270	
2	c	3,00	3,30	3,15				0,0250	
3	a	0,50	1,00	0,75	128674	500827	2,5	0,0009	0,0015
3	b	1,50	2,00	1,75				0,0019	
3	c	2,20	2,70	2,45				0,0024	
4	a	0,70	1,10	0,90	128866	500728	2,9	0,0310	0,0086
4	b	1,40	1,90	1,65				0,0043	
4	c	2,40	2,90	2,65				0,0120	
5	a	0,70	1,20	0,95	128643	500787	2,5	0,0130	0,0046
5	b	1,30	1,80	1,55				0,0044	
5	c	2,00	2,50	2,25				0,0029	
6	a	1,00	1,50	1,25	128729	500550	3,5	0,0030	0,0051
6	b	2,00	2,50	2,25				0,0053	
6	c	3,00	3,50	3,25				0,0148	
7	a	0,80	1,30	1,05	128567	500541	2,5	0,0016	0,0019
7	b	1,50	2,00	1,75				0,0017	
7	c	2,00	2,50	2,25				0,0025	
8	a	0,60	1,10	0,85	128971	500732	3,1	0,0290	0,0039
8	b	1,60	2,10	1,85				0,0015	
8	c	2,20	2,60	2,40				0,0175	
8	d	2,70	3,10	2,90				0,0036	
9	a	0,80	1,30	1,05	128638	500768	2,7	0,0019	0,0019
9	b	1,50	2,00	1,75				0,0018	
9	c	2,30	2,70	2,50				0,0019	
10	a	0,50	0,90	0,70	128551	500772	2,6	0,0010	0,0023
10	b	1,00	1,50	1,25				0,0023	
10	c	1,60	2,10	1,85				0,0061	
10	d	2,20	2,60	2,40				0,0062	
11	a	0,60	1,10	0,85	128373	500706	2,6	0,0019	0,0018
11	b	1,30	1,80	1,55				0,0015	
11	c	2,10	2,60	2,35				0,0020	
12	a	0,80	1,30	1,05	128508	500720	2,7	0,0019	0,0021
12	b	1,50	2,00	1,75				0,0022	
12	c	2,20	2,70	2,45				0,0023	
13	a	1,00	1,50	1,25	128640	500666	2,5	0,0012	0,0014
13	b	1,50	2,00	1,75				0,0016	
14	a	0,50	0,90	0,70	128773	500702	2,7	0,0017	0,0022
14	b	1,10	1,60	1,35				0,0041	
14	c	2,20	2,70	2,45				0,0018	
15	a	0,70	1,10	0,90	128755	500701	2,6	0,0038	0,0031

15	b	1,20	1,70	1,45				0,0023	
15	c	2,10	2,60	2,35				0,0037	
16	a	0,70	1,10	0,90	128774	500689	2,8	0,0068	0,0036
16	b	1,60	2,10	1,85				0,0020	
16	c	2,30	2,80	2,55				0,0056	
17	a	0,70	1,20	0,95	129079	500613	2,7	0,0014	0,0013
17	b	1,50	2,00	1,75				0,0012	
17	c	2,20	2,70	2,45				0,0014	
18	a	0,50	0,90	0,70	128817	500643	2,7	0,0145	0,0030
18	b	1,20	1,60	1,40				0,0017	
18	c	2,30	2,70	2,50				0,0029	
19	a	0,50	0,90	0,70	128935	500523	2,6	0,0012	0,0019
19	b	1,10	1,60	1,35				0,0015	
19	c	2,10	2,60	2,35				0,0098	
20	a	0,80	1,20	1,00	128448	500612	2,9	0,0013	0,0024
20	b	1,30	1,70	1,50				0,0018	
20	c	2,00	2,40	2,20				0,0034	
20	d	2,50	2,90	2,70				0,0130	

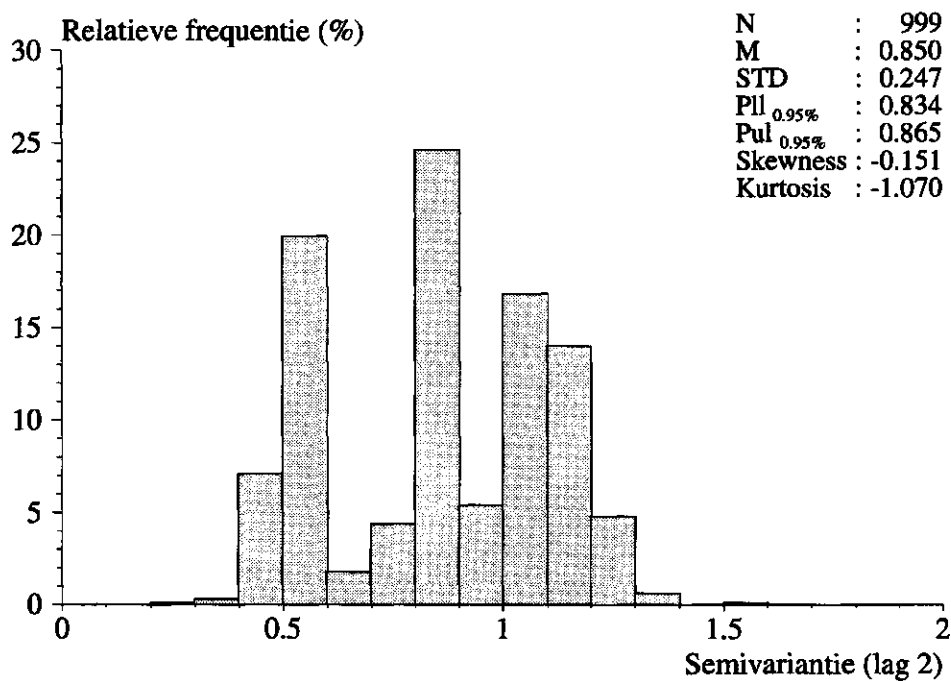
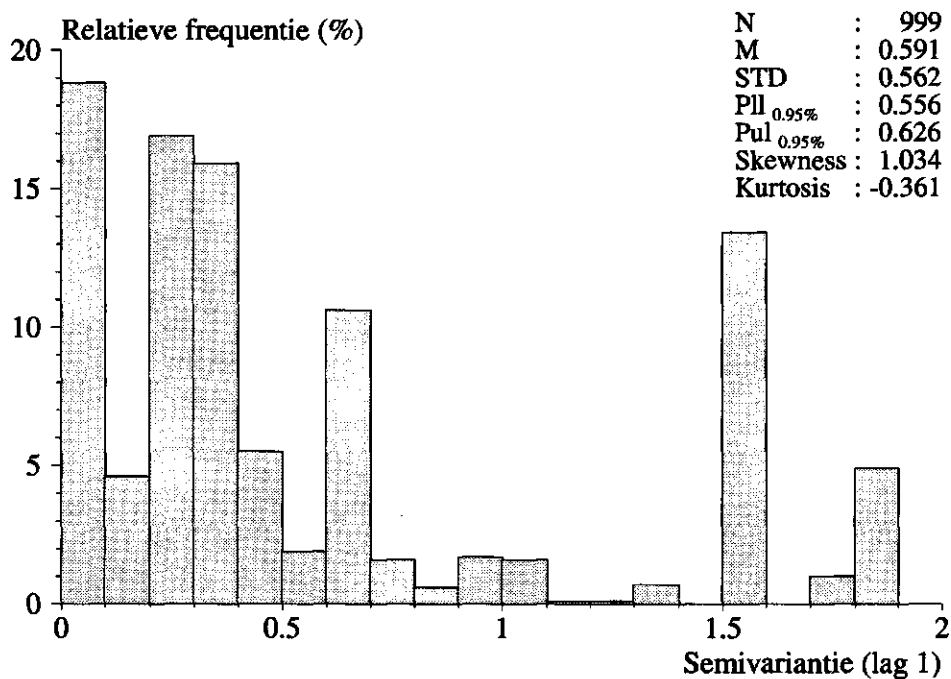
## Aanhangsel 5 Meetprincipe



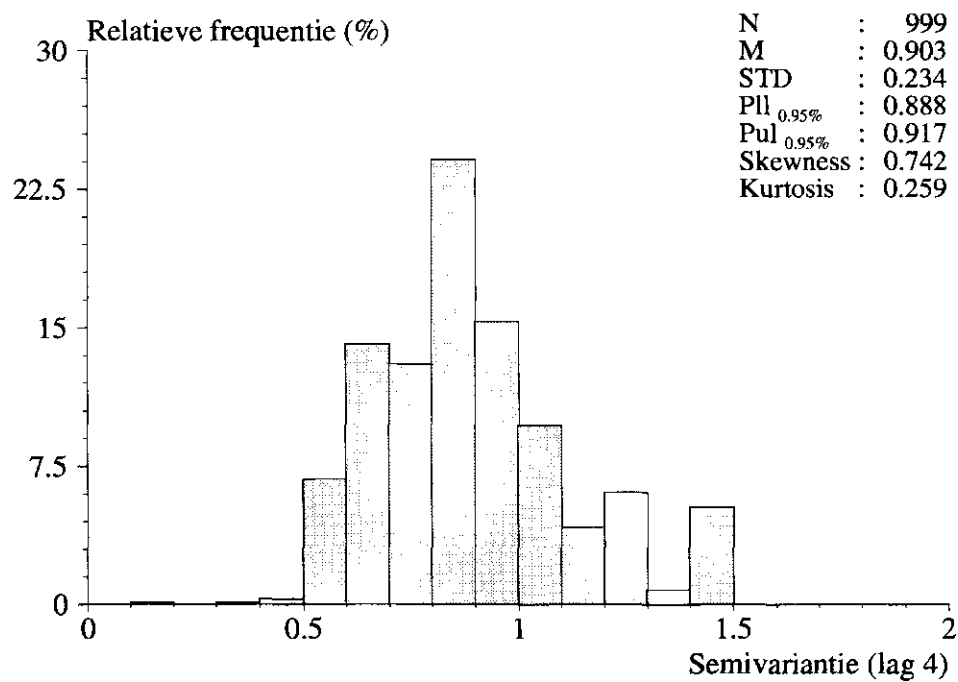
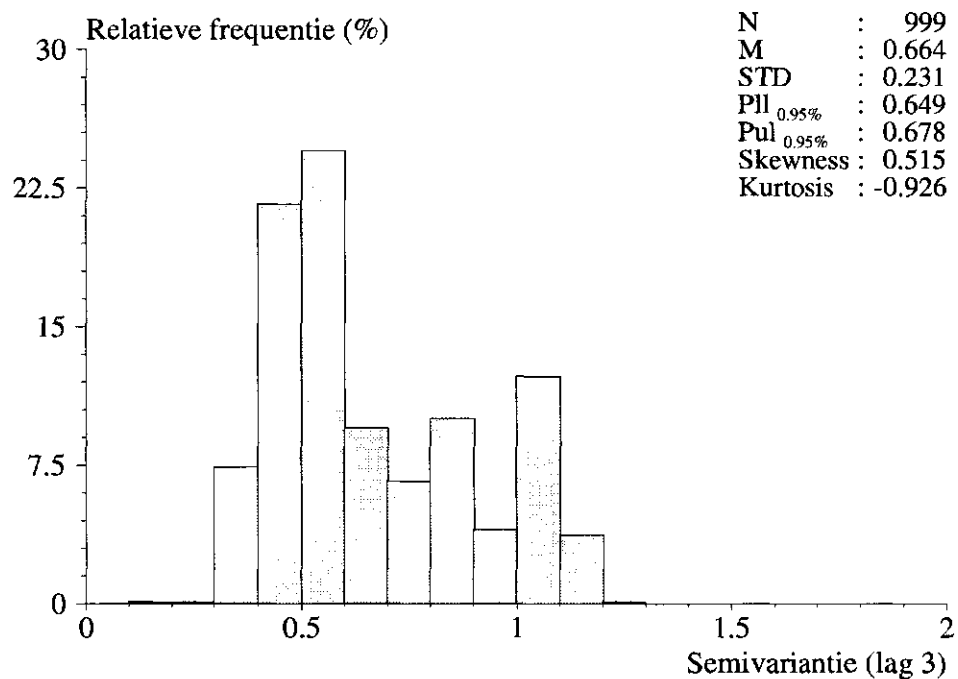
## Aanhangsel 6 Berekening van de *c*-waarde

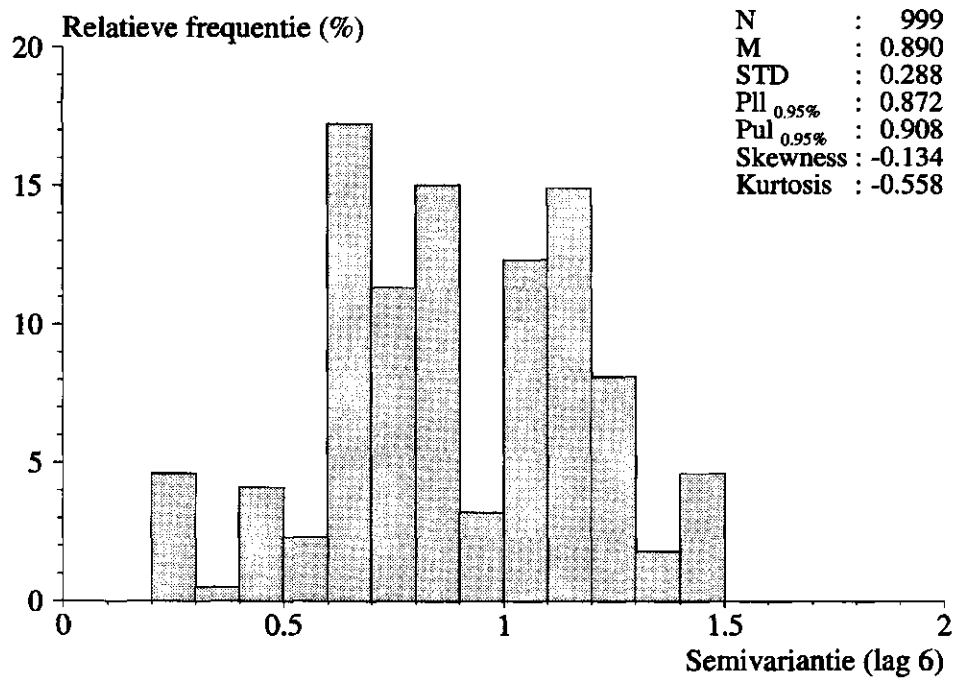
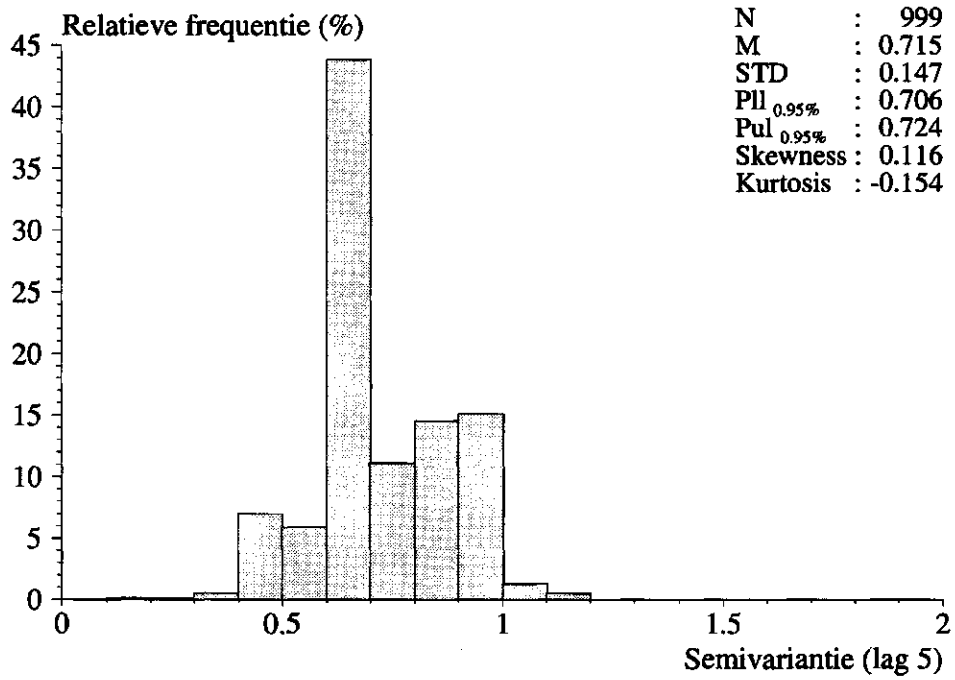
Locatie nr.	<i>x</i> (m)	<i>y</i> (m)	Klei (m)	<i>k</i> (m/d)	<i>c</i> (dagen)
1	128750	500401	3	0,002809	1067,825
2	128711	500888	4	0,003042	1314,837
3	128674	500827	2,5	0,00146	1711,745
4	128866	500728	2,9	0,008617	336,5446
5	128643	500787	2,5	0,004622	540,8528
6	128729	500550	3,5	0,005088	687,8435
7	128567	500541	2,5	0,00186	1344,363
8	128971	500732	3,1	0,003861	802,9543
9	128638	500768	2,7	0,001865	1447,368
10	128551	500772	2,6	0,002273	1144,005
11	128373	500706	2,6	0,001772	1467,251
12	128508	500720	2,7	0,002119	1274,079
13	128640	500666	2,5	0,001371	1822,917
14	128773	500702	2,7	0,002162	1248,924
15	128755	500701	2,6	0,003098	839,116
16	128774	500689	2,8	0,003634	770,5882
17	129079	500613	2,7	0,001326	2035,714
18	128817	500643	2,7	0,002994	901,8256
19	128935	500523	2,6	0,001873	1388,435
20	128448	500612	2,9	0,002359	1229,475
				<b>Ctot</b>	<b>973,3096</b>

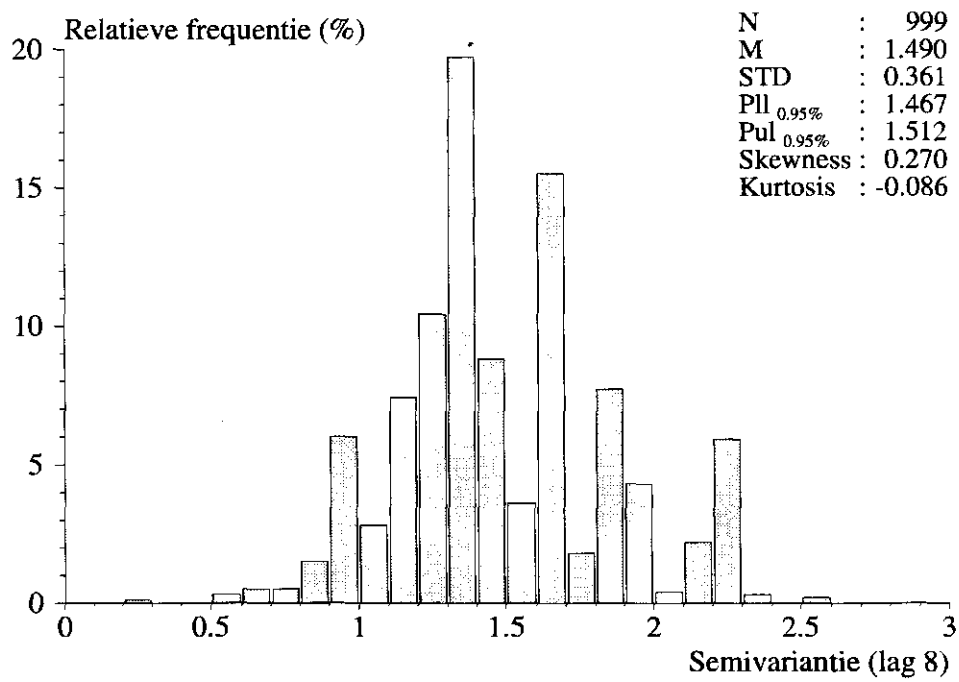
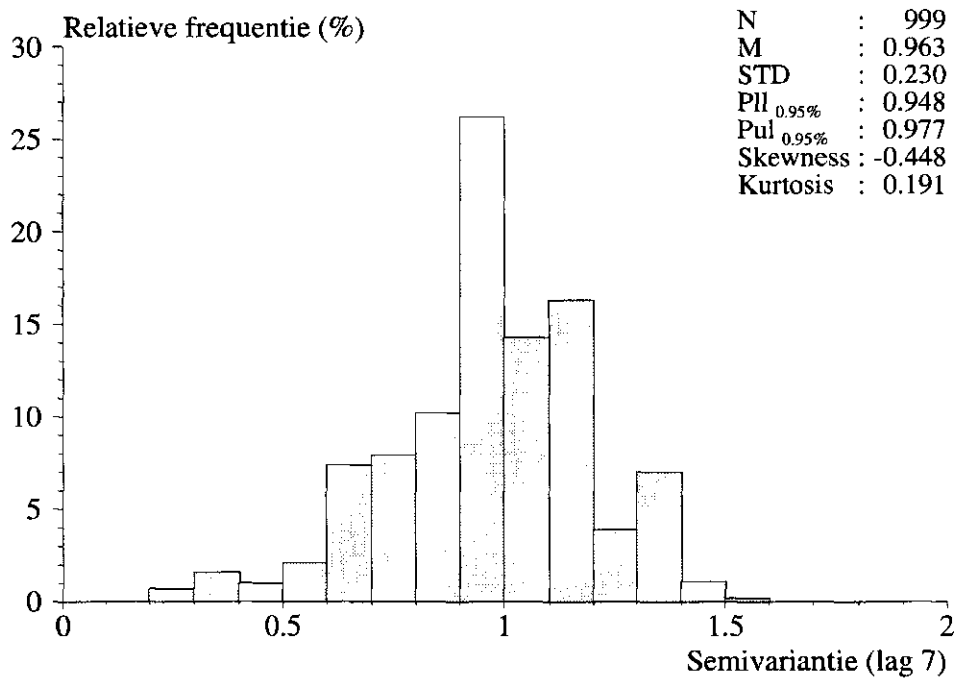
## Aanhangsel 7 Frequentieverdeling van de semivariantie voor verschillende lags











## Aanhangsel 8 Meetnet van de pompproef

