



ALTErrA

WAGENINGEN UR



# Naar een database van bodemhydraulische karakteristieken voor Nederland

Alterra-rapport 2238  
ISSN 1566-7197

Simone Verzandvoort, Henk Vroon, Jan Wesseling, Gerben Bakker, Klaas Oostindie, Gert Stoffelsen, Nanny Heidema en Gerard Heuvelink



---

Naar een database van bodemhydraulische  
karakteristieken voor Nederland

---

---

Dit onderzoek is uitgevoerd binnen het kader van het programma BIS 2014, als onderdeel van BO Cluster Vitaal Landelijk  
Gebied.

Projectcode [BO-01-00-2-208]

---



---

# Naar een database van bodemhydraulische karakteristieken voor Nederland

Simone Verzandvoort, Henk Vroon, Jan Wesseling, Gerben Bakker, Klaas Oostindie, Gert Stoffelsen, Nanny Heidema en Gerard Heuvelink

**Alterra-rapport 2238**

Alterra, onderdeel van Wageningen UR  
Wageningen, 2012

---

## Referaat

Simone Verzandvoort, Henk Vroon, Jan Wesseling, Gerben Bakker, Klaas Oostindie, Gert Stoffelsen, Nanny Heidema en Gerard Heuvelink, 2012. *Naar een database van bodemhydraulische karakteristieken voor Nederland*. Wageningen, Alterra, Alterra-rapport 2238. 148 blz.; 70 fig.; 10 tab.; 160 ref.

Bodemhydraulische karakteristieken zijn relaties van vochtgehalte ( $\theta$ ) en doorlatendheid ( $K$ ) met de capillaire drukhoogte ( $h$ ) in de onverzadigde zone van de bodem. Deze karakteristieken worden gebruikt voor modelsimulaties van het transport van water en opgeloste stoffen in de onverzadigde zone van de bodem. Doel van deze studie is de bij Alterra beschikbare basisgegevens voor bodemhydraulische karakteristieken te controleren, aan te vullen en beschikbaar te stellen voor het Bodemkundig Informatie Systeem (BIS) van Alterra. Hiervoor werden meetgegevens, afgeleide gegevens en beschrijvende gegevens van grondmonsters in de bestaande database Priapus gecorrigeerd en aangevuld. De variatie door metingen, functiebeschrijvingen en ruimtelijke variatie werd inzichtelijk gemaakt. Voor een betere bepaling van afgeleide gegevens uit de meetgegevens werd een nieuwe functiebeschrijving voor bodemhydraulische karakteristieken ontwikkeld in de vorm van cubical splines. Om de selectie van bodemhydraulische karakteristieken meer flexibel te maken voor gebruikers werd een nieuwe indeling van Nederlandse gronden ontwikkeld met als criteria: afzettingsmilieu, textuur en organische stofgehalte.

Trefwoorden: bodemhydraulische karakteristieken, waterretentiecurve, waterdoorlatendheidscurve, onverzadigde zone, grondmonsters, BIS, database, software, meetgegevens, afgeleide gegevens, bodemhorizont, indeling, variatie.

Foto-omslag: S.J.E. Verzandvoort

ISSN 1566-7197

Dit rapport is gratis te downloaden van [www.alterra.wur.nl](http://www.alterra.wur.nl) (ga naar 'Alterra-rapporten'). Alterra Wageningen UR verstrekt geen gedrukte exemplaren van rapporten. Gedrukte exemplaren zijn verkrijgbaar via een externe leverancier. Kijk hiervoor op [www.rapportbestellen.nl](http://www.rapportbestellen.nl).

© 2012 Alterra (instituut binnen de rechtspersoon Stichting Dienst Landbouwkundig Onderzoek)  
Postbus 47; 6700 AA Wageningen; [info.alterra@wur.nl](mailto:info.alterra@wur.nl)

- Overname, verveelvoudiging of openbaarmaking van deze uitgave is toegestaan mits met duidelijke bronvermelding.
- Overname, verveelvoudiging of openbaarmaking is niet toegestaan voor commerciële doeleinden en/of geldelijk gewin.
- Overname, verveelvoudiging of openbaarmaking is niet toegestaan voor die gedeelten van deze uitgave waarvan duidelijk is dat de auteursrechten liggen bij derden en/of zijn voorbehouden.

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

### **Alterra-rapport 2238**

Wageningen, januari 2012

# Inhoud

|                                                                                                                         |    |
|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| Samenvatting                                                                                                            | 7  |
| 1 Inleiding                                                                                                             | 11 |
| 1.1 Waarom de Staringreeks actualiseren voor het BIS?                                                                   | 11 |
| 1.2 Doelstellingen                                                                                                      | 15 |
| 2 Opbouw van gegevensbestand Priapus                                                                                    | 17 |
| 2.1 Bodemhydraulische karakteristieken                                                                                  | 18 |
| 2.2 Meetgegevens                                                                                                        | 19 |
| 2.3 Beschrijvende gegevens                                                                                              | 20 |
| 3 Correctie en toevoeging van bodemhydraulische karakteristieken en beschrijvende gegevens                              | 23 |
| 3.1 Werkwijze                                                                                                           | 23 |
| 3.2 Resultaten                                                                                                          | 24 |
| 3.2.1 Monsters in Priapus uit de periode 1979-2004                                                                      | 24 |
| 3.2.2 Monsters geanalyseerd in het bodemfysisch laboratorium tussen 2000 en 2008                                        | 26 |
| 3.3 Invloed van landgebruiksverandering op actualiteit van bodemhydraulische karakteristieken en beschrijvende gegevens | 38 |
| 3.3.1 Inleiding                                                                                                         | 38 |
| 3.3.2 Werkwijze                                                                                                         | 38 |
| 3.3.3 Resultaten                                                                                                        | 39 |
| 3.3.4 Conclusies                                                                                                        | 40 |
| 4 Een nieuwe functiebeschrijving voor bodemhydraulische karakteristieken                                                | 43 |
| 4.1 Inleiding                                                                                                           | 43 |
| 4.2 Werkwijze                                                                                                           | 45 |
| 4.2.1 Bepalen van de Virtuele Data Punten                                                                               | 46 |
| 4.2.2 Minimalisatieprocedure                                                                                            | 48 |
| 4.2.3 Doelfuncties                                                                                                      | 48 |
| 4.2.4 Kwaliteit van de fit                                                                                              | 50 |
| 4.2.5 Berekenen van de afstand tussen een punt en een lijn                                                              | 51 |
| 4.3 Toepassingen                                                                                                        | 51 |
| 4.4 Conclusies                                                                                                          | 53 |
| 5 Een nieuwe ruimtelijke indeling voor bodemhydraulische karakteristieken                                               | 55 |
| 5.1 Inleiding                                                                                                           | 55 |
| 5.2 Werkwijze                                                                                                           | 56 |
| 5.3 Resultaten                                                                                                          | 56 |
| 5.3.1 Indeling naar boven en ondergrond                                                                                 | 56 |
| 5.3.2 Indeling naar afzettingsmilieu's en/of naar de wijze waarop een bepaalde bodemhorizont is ontwikkeld              | 57 |
| 5.3.3 Indeling naar de verschillende componenten minerale delen en organische stof                                      | 59 |
| 5.4 Conclusies                                                                                                          | 68 |

|       |                                                                                                                        |     |
|-------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----|
| 6     | Hoe kan BIS inzicht geven in variatie in bodemhydraulische karakteristieken?                                           | 69  |
| 6.1   | Inleiding                                                                                                              | 69  |
| 6.2   | Variatie op locatie: variatie in meetgegevens                                                                          | 70  |
| 6.2.1 | Wat weten we over variatie in meetgegevens van bodemhydraulische karakteristieken?                                     | 70  |
| 6.2.2 | Hoe kan BIS inzicht geven in variatie in meetgegevens?                                                                 | 76  |
| 6.3   | Variatie op locatie: variatie in afgeleide gegevens                                                                    | 77  |
| 6.3.1 | Hoe kan BIS inzicht geven in variatie in afgeleide gegevens?                                                           | 77  |
| 6.4   | Variatie tussen locaties                                                                                               | 77  |
| 6.4.1 | Hoe kan BIS inzicht geven in variatie tussen locaties?                                                                 | 78  |
| 6.5   | Variatie van bodemhydraulische karakteristieken volgens de nieuwe indeling en effectiviteit van de indeling            | 81  |
| 6.5.1 | Inleiding                                                                                                              | 81  |
| 6.5.2 | Werkwijze                                                                                                              | 81  |
| 6.5.3 | Resultaten                                                                                                             | 83  |
| 6.6   | Resultaten variantie-analyse                                                                                           | 87  |
| 6.7   | Conclusies                                                                                                             | 89  |
| 7     | Conclusies en aanbevelingen                                                                                            | 93  |
|       | Referenties                                                                                                            | 99  |
|       | Appendix I Criteria voor betrouwbaarheid en volledigheid van meetgegevens voor bodemhydraulische karakteristieken      | 111 |
|       | Appendix II Verslag van de correctie en aanvulling van beschrijvende gegevens van grondmonsters in de Priapus database | 127 |
|       | Appendix III Software voor het bepalen van een aantal bodemhydraulische karakteristieken: Dragon                       | 143 |

# Samenvatting

## Motivatie

Bodemhydraulische karakteristieken (relaties van vochtgehalte ( $\theta$ ) en doorlatendheid ( $K$ ) met de capillaire drukhoogte ( $h$ ) in de onverzadigde zone van de bodem) worden gebruikt voor modelsimulaties van het transport van water en opgeloste stoffen in de onverzadigde zone van de bodem. Een groot deel van de gebruikers van bodemkundige basisgegevens uit het Bodemkundig Informatie Systeem (BIS) maakt gebruik van bodemhydraulische karakteristieken. Eén van de ambities van het BIS is aan gebruikers actuele gegevens te verschaffen van bodemhydraulische karakteristieken. Hiervoor zijn drie soorten gegevens nodig:

1. meetgegevens van vochtgehalte ( $\theta$ ) en doorlatendheid ( $K$ ) als functie van de capillaire drukhoogte ( $h$ ),
2. afgeleide relaties tussen  $\theta$ ,  $K$  en  $h$ ;
3. beschrijvende gegevens van de bodemhorizonten waarop de meetgegevens en afgeleide gegevens betrekking hebben.

Het huidige BIS bevat beschrijvende gegevens van bodemhorizonten in Nederland, maar geen meetgegevens en afgeleide gegevens van bodemhydraulische karakteristieken. De Staringreeks, het referentiebestand voor bodemfysische karakteristieken van Nederlandse gronden, bevat afgeleide gegevens, en in beperkte mate beschrijvende gegevens. Tussen 2006 en 2008 zijn in opdracht van het Project Kwaliteitsslag Databestanden & Modellen van het WOT-MNP en de Helpdesk Vitaal Landelijk Gebied meetgegevens, afgeleide gegevens en beschrijvende gegevens van onder meer grondmonsters waarop de Staringreeks gebaseerd is (ruim 800), opgezocht in de archieven van Stiboka, ICW, Staring Centrum en Alterra, en gedocumenteerd in het gegevensbestand Priapus. Voor de certificering tot Kwaliteitsstatus A in 2008 werd een groot deel van de monstergegevens afgeschermd voor gebruik, omdat op grond van de gehanteerde criteria metingen of afgeleiden onvoldoende volledig of betrouwbaar werden geacht, of omdat onvoldoende beschrijvende informatie van de grondmonsters aanwezig was (Checklist Status A Gegevensbestanden - Priapus, 2008). Hierdoor zijn op dit moment onvoldoende gecertificeerde gegevens van bodemhydraulische karakteristieken beschikbaar om te voldoen aan de ambitie van het BIS.

Gebruikers van de Staringreeks hebben behoefte aan meer bodemhydraulische karakteristieken en een hogere betrouwbaarheid van de gemiddelde karakteristieken per bouwsteen. Onderzoek toont aan dat het gebruik van de gemiddelde afgeleide bodemhydraulische karakteristieken voor de bouwstenen van de Staringreeks onvoldoende differentiatie biedt tussen waterbalanscomponenten van de onverzadigde zone. Gebruikers wensen daarnaast inzage in de variatie van karakteristieken en van karakteristieken binnen een bodemfysische eenheid. Dit inzicht is van belang om de betrouwbaarheid van uitkomsten van hydrologische modellen te kunnen kwantificeren. Ook vragen gebruikers om bodemhydraulische karakteristieken in tabulaire vorm.

## Doel

Het doel van het project Actualisatie Staringreeks is de bij Alterra beschikbare meetgegevens, afgeleide gegevens en beschrijvende gegevens van bodemhydraulische karakteristieken zo goed mogelijk te bewerken om beschikbaar te stellen aan gebruikers van het BIS. Daarvoor was het in de eerste plaats nodig bestaande meetgegevens, afgeleide gegevens en beschrijvende gegevens in Priapus te corrigeren en uit te breiden met gegevens van grondmonsters die sinds de laatste versie van de Staringreeks in het bodemfysisch laboratorium van Alterra gemeten zijn. In de tweede plaats wil het project gebruikers van het hydrologische model SWAP in staat stellen op eenvoudige wijze bodemhydraulische karakteristieken uit Priapus te importeren in SWAP. In de derde plaats wil het project bijdragen aan het reduceren van onzekerheid in bodemhydraulische karakteristieken door het ontwerpen van een nieuwe functiebeschrijving, en van een nieuwe indeling in

bodemfysische eenheden, waarbij zoveel mogelijk gebruik wordt gemaakt van gegevens van bodemhorizonten die al aanwezig zijn in het BIS. In de vierde plaats wil het project een vooruitblik geven op welke manier het BIS inzicht zou kunnen geven in de variatie in gemeten en afgeleide  $h(\theta)$ - en  $K(h)$ -relaties.

### **Werkwijze**

Voor het corrigeren en toevoegen van meetgegevens, afgeleide gegevens en beschrijvende gegevens werd de interne consistentie van beschrijvende gegevens gecontroleerd, beschrijvende gegevens opgezocht in het BIS, analoge archieven, Stiboka-rapporten en detailkarteringen. Gegevens over afzettingssmilieu en landgebruik werden toegevoegd. Hierbij werd nagegaan welke veranderingen in landgebruik hebben plaatsgevonden op monsterlocaties sinds de monsternamen. Functiebeschrijvingen met het Mualem-Van Genuchtenmodel werden geoptimaliseerd, en toegevoegd voor monsters zonder functiebeschrijving. Ook functiebeschrijvingen met cubical splines werden toegevoegd voor ieder monster. Meetgegevens, afgeleide gegevens en beschrijvende gegevens van monsters waaraan tussen 2000 en 2008 metingen zijn gedaan in het bodemfysisch laboratorium van Alterra werden getoetst aan de criteria opgesteld tijdens de certificering van Priapus voor Kwaliteitsstatus A (Checklist Status A Gegevensbestanden - Priapus, 2008). Voor monsters die voldeden aan de toetsing werden meetgegevens, afgeleide gegevens en beschrijvende gegevens toegevoegd aan het gegevensbestand.

Een nieuwe functiebeschrijving voor meetgegevens van bodemhydraulische karakteristieken werd ontwikkeld in de vorm van cubical splines. De functiebeschrijving werd geoptimaliseerd door het CRS algoritme en de MDPL (Mean Distance from Point to Line) als doelfunctie.

Voor de nieuwe indeling van Nederlandse gronden op grond van bodemhydraulische karakteristieken werden als criteria gebruikt: afzettingssmilieu (volgens de meest recente indeling voor geologisch afzettingssmilieu van TNO), textuur (lutumgehalte, leemgehalte, siltgehalte, M50) en organischestofgehalte. De indeling werd gebaseerd op het Systeem voor de Bodemclassificatie van Nederland van De Bakker en Schelling (1989).

Voor het geven van een vooruitblik op hoe het BIS inzicht zou kunnen geven in de variatie in gemeten en afgeleide  $h(\theta)$ - en  $K(h)$ -relaties werd gekeken naar variatie op locaties (horizonten) waar bodemhydraulische karakteristieken bepaald werden, en variatie tussen locaties (ruimtelijke variatie). De variatie in meetgegevens op locaties heeft betrekking op meetgegevens in delen van de  $h()$ - en  $K(h)$ -curves waarvoor geen meetpunten zijn, en op de meetfout van de gebruikte meetmethoden. De variatie in afgeleide gegevens op locaties betreft functiebeschrijvingen van de  $h(\theta)$ - en  $K(h)$ -relaties, of tabulaire waarden van  $\theta$  en  $K$  als functie van  $h$ , en agrohydrologische variabelen, die zijn afgeleid van die functiebeschrijvingen.

### **Resultaten**

Correctie van de Priapus database heeft geleid tot een volledige documentatie van de bodemhydraulische karakteristieken die voldoen aan de criteria voor gebruik in modeltoepassingen volgens de criteria voor de certificering tot Kwaliteitsstatus A. De correctie heeft echter ook geleid tot een grote vermindering van het aantal bruikbare bodemhydraulische karakteristieken volgens deze criteria. Het resterende aantal is bijna 100. De resultaten van het project tonen dus aan dat van de grondmonsters in de archieven van Alterra, waarvoor meetgegevens, afgeleide gegevens en/of beschrijvende gegevens beschikbaar zijn hooguit 20% geschikt is om te gebruiken voor het beschrijven van onverzadigde waterstroming en stoftransport met behulp van simulatiemodellen volgens de criteria voor de certificering tot Kwaliteitsstatus A (Checklist Status A Gegevensbestanden - Priapus, 2008). Dit komt omdat van de meeste grondmonsters de meetgegevens onbetrouwbaar zijn, of omdat de bodemkundige achtergrondinformatie onbetrouwbaar is of ontbreekt. Er zijn meer en betrouwbaarder gegevens nodig van bodemhydraulische karakteristieken van Nederlandse gronden om waterstroming en stoffentransport in de onverzadigde zone waarheidsgetrouw te kunnen beschrijven.

De bij Alterra gebruikte meetmethode voor  $h(\theta)$ - en  $K(h)$ -relaties geeft in veel gevallen onvoldoende betrouwbare karakteristieken voor gebruik in modeltoepassingen volgens de criteria gehanteerd voor de certificering tot Kwaliteitsstatus A.

Het landgebruik op monsterlocaties van Priapus is sinds 1986 voor ongeveer de helft van de monsters veranderd. Het grootste deel wordt verklaard door bouwplannen van granen, bieten en aardappelen. Algemeen verwachte effecten op akkerbouwgrond zijn een toegenomen dichtheid van de ondergrond door toegenomen wielbelasting en een afname van organische stofgehalten door een toegenomen ploegdiepte en effecten van ruilverkavelingen. Het vertalen van landgebruiksveranderingen in gevolgen voor de bodemhydraulische karakteristieken is moeilijk, omdat veranderingen in de bodemfysische en bodemchemische eigenschappen van de bodem een complex samengesteld effect kunnen hebben.

De beschrijving van bodemhydraulische karakteristieken met cubical splines in plaats van het traditionele Mualem-Van Genuchtenmodel geeft een betere (minder onzekere) benadering van de gemeten  $h(\theta)$ - en  $K(h)$ -waarden. Het programma Dragon biedt gebruikers de mogelijkheid afgeleide gegevens in tabulaire vorm (waarden van  $K$  en  $h$  bij standaardwaarden van  $\theta$ ) zodanig op te slaan dat zij direct kunnen worden ingelesen in het hydrologische model SWAP. Het programma genereert afgeleide gegevens van functiebeschrijvingen met het Mualem-Van Genuchtenmodel en met cubical splines.

Een nieuwe indeling van Nederlandse gronden op grond van bodemhydraulische karakteristieken, gebaseerd op boven- en ondergrond en geologisch afzettingsmilieu op de hoogste niveaus, biedt de mogelijkheid bodemhydraulische karakteristieken op meerdere niveaus in te delen en te selecteren voor het schematiseren van bodemprofielen. Door gebruik te maken van deze indeling wordt de variatie in bodemhydraulische karakteristieken zoveel mogelijk verklaard uit beschikbare beschrijvende gegevens over de grondmonsters, of uit beschikbare informatie over bodemprofielen uit het BIS.

Variatie in bodemhydraulische karakteristieken op locaties en tussen locaties als gevolg van metingen, functiebeschrijvingen en ruimtelijke variatie is nog onvoldoende bekend. Uit de beschikbare informatie blijkt dat de meetgegevens van de  $K(h)$ -relaties erg kunnen variëren, met oorzaken in de meetmethode en de verwerking van de meetresultaten. Variatie in de functiebeschrijving met het Mualem-Van Genuchtenmodel kan worden gekwantificeerd als de variatie in de parameters van het model door het loten van functiebeschrijvingen uit selecties van bodemhydraulische karakteristieken. Een voorwaarde hiervoor is echter dat modelparameters van  $h(\theta)$ - en  $K(h)$ -relaties volgens het Mualem-Van Genuchtenmodel beschikbaar zijn voor iedere bodemhorizont in het BIS. Dit project voorziet hierin, doordat de parameters zijn opgenomen in het gegevensbestand Priapus. Ook voor de functiebeschrijvingen met cubical splines kunnen dergelijke kansverdelingen berekend worden door de Virtual Nodes van de splines als parameters te beschouwen.

De analyse van de variabiliteit tussen locaties van veelgebruikte afgeleide gegevens van bodemhydraulische karakteristieken (de kritieke  $z$ -afstand en het verzadigingstekort) toont aan dat de bodemhydraulische karakteristieken die in dit project bijeengebracht zijn voor gebruikers van het BIS een goede afspiegeling vormen van de bekende waarden voor bodems in Nederland. Voorspellingen van bodemhydraulische karakteristieken op basis van gegevens in het bestand Priapus (al dan niet ingedeeld in ruimtelijke bodemfysische eenheden) zijn minder onzeker als ze zijn afgeleid met cubical splines.

### **Aanbevelingen**

Het belang van bodemhydraulische gegevens voor ruimtelijke vraagstukken die te maken hebben met water- en stoffentransport in de bodem wordt onderschat. Het gaat hierbij om voor EL&I belangrijke onderwerpen als uitspoeling van stikstof, fosfaat of bestrijdingsmiddelen, vochtlevering voor gewassen en beregeningsadviezen, of studies naar nat- en droogteschade of gewenste grondwaterstanden voor peilbeheer. Dit komt omdat in toegepaste, kwantitatieve studies niet altijd zichtbaar is dat deze gegevens in modellen gebruikt worden, en wat de consequenties zijn van variatie in deze gegevens voor modeluitkomsten. Het project geeft vijftien

aanbevelingen voor het beschikbaar stellen van actuele informatie over bodemhydraulische karakteristieken in het BIS. De belangrijkste zijn aandacht en investeringen te richten op de volgende aspecten van bodemhydraulische gegevens:

1. Significant uitbreiden van het gegevensbestand met beschikbare meetgegevens, afgeleide gegevens en beschrijvende gegevens voor Nederlandse bodems.
2. Documentatie en beschikbaarstelling van gegevens volgens de in dit project ontwikkelde standaarden (gegevensbestand, programmatuur voor functiebeschrijvingen en andere afgeleide gegevens, nieuwe indeling in bodemfysische eenheden).
3. Meetmethoden: verbeteren van bestaande meetmethoden, en onderzoek doen naar alternatieve meetmethoden (bij voorkeur in het veld) die knelpunten in de bestaande methoden verhelpen en minder duur zijn.
4. Ontwikkelen van instrumenten waarmee gebruikers op toegankelijke wijze variatie in meetgegevens en afgeleide gegevens kunnen kwantificeren, en effecten op resultaten van modelstudies kunnen berekenen. Hierbij wordt aabevolen aan te sluiten bij het programma Delta-BIS, waarin dit soort instrumenten nu ontwikkeld worden. [www.kennisonline.wur.nl/KB/KB-01/001/015/beschrijving.htm](http://www.kennisonline.wur.nl/KB/KB-01/001/015/beschrijving.htm))



# 1 Inleiding

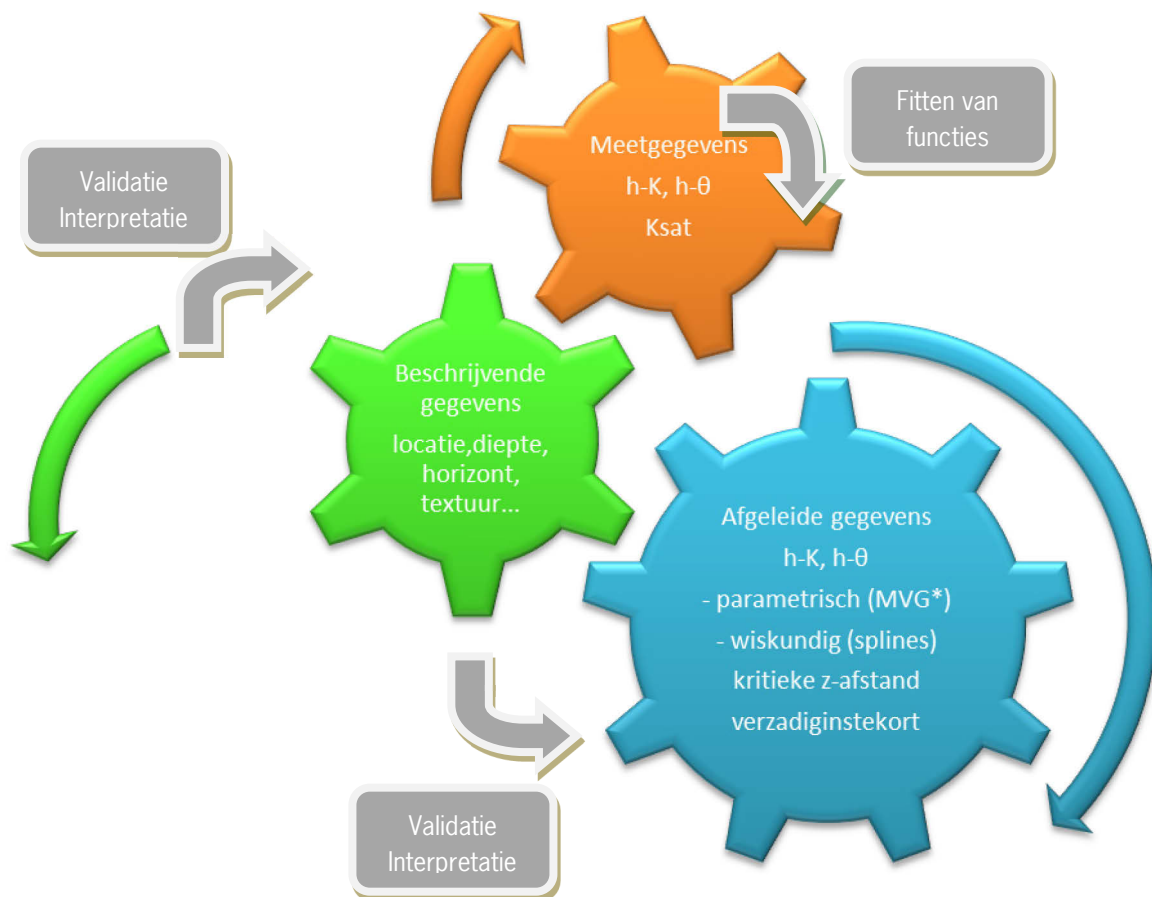
## 1.1 Waarom de Staringreeks actualiseren voor het BIS?

Een groot deel van de gebruikers van bodemkundige basisgegevens uit het Bodemkundig Informatie Systeem maakt gebruik van bodemhydraulische karakteristieken. Onder bodemhydraulische karakteristieken verstaan we relaties van vochtgehalte ( $\theta$ ) en doorlatendheid ( $K$ ) met de capillaire drukhoogte ( $h$ ) in de onverzadigde zone van de bodem (Koorevaar et al., 1983; Vrugt et al., 2002). Deze relaties kunnen de vorm hebben van continue functies, bijvoorbeeld op basis van poriënverdelingsmodellen van de bodem, of op basis van wiskundige beschrijvingen van de relaties van vochtgehalte ( $\theta$ ) en doorlatendheid ( $K$ ) met de capillaire drukhoogte ( $h$ ) (e.g. Twarakavi et al., 2008; Wesseling, 2009). De relaties kunnen ook bestaan uit functies die  $\theta$  en  $K$  beschrijven voor discrete waarden van  $h$  (e.g. Wösten et al., 2001). Ook agro-hydrologische variabelen die zijn afgeleid van  $h(\theta)$ - en  $K(h)$ -relaties, zoals de kritieke Z-afstand en het verzadigingstekort, worden tot bodemhydraulische karakteristieken gerekend (Van Soestbergen et al., 1986; Van der Gaast et al., 2009). De bodemhydraulische karakteristieken worden gebruikt in simulatiemodellen voor water- en stoftransport in de onverzadigde zone, in studies naar bijvoorbeeld uitspoeling van stikstof of bestrijdingsmiddelen, vochtlevering voor gewassen en beregeningsadviezen, of studies naar nat- en droogteschade of gewenste grondwaterstanden voor peilbeheer (e.g. Oostindie en Bronswijk, 1995; RIZA et al., 2006; Jansen et al., 2007; Van Diepen et al., 2007; NHI, 2008; Ritsema et al., 2009; Römkens et al., 2009).

Eén van de ambities van het BIS is aan gebruikers actuele gegevens te verschaffen over de bodemfysische toestand van de bodem, waaronder de bodemhydraulische karakteristieken (Mol, 2009). Drie componenten zijn noodzakelijk voor het beschikbaar stellen van bodemhydraulische karakteristieken in een ruimtelijke bodemdatabase: 1. meetgegevens van vochtgehalte ( $\theta$ ) en doorlatendheid ( $K$ ) als functie van de capillaire drukhoogte ( $h$ ), 2. de afgeleide relaties tussen  $\theta$ ,  $K$  en  $h$ , en 3. beschrijvende gegevens van de bodemhorizonten waarop de meetgegevens en afgeleide gegevens betrekking hebben (Figuur 1).

De meetgegevens zijn van belang omdat ze de oorspronkelijke bron van de bodemhydraulische karakteristieken zijn. Afgeleide gegevens hebben we nodig omdat we niet voor iedere horizont op iedere locatie metingen van vochtgehalte en doorlatendheid als functie van de capillaire drukhoogte hebben, omdat metingen duur en tijdrovend zijn (Børgesen, 2003; Schaap en Van Genuchten, 2005), en omdat meetmethoden doorgaans niet het gehele domein van de capillaire drukhoogte bestrijken (e.g. Bouma, 1993). Beschrijvende gegevens zijn nodig om meetgegevens en afgeleide bodemhydraulische karakteristieken te kunnen interpreteren of valideren.

Het huidige BIS bevat beschrijvende gegevens van bodemhorizonten in Nederland, maar nauwelijks meetgegevens en afgeleide gegevens van bodemhydraulische karakteristieken ([www.bodemdata.nl](http://www.bodemdata.nl)). De enige bodemfysische meetgegevens die in het BIS voorkomen zijn  $K_{sat}$ ,  $\theta_{sat}$  en de dichtheid die zijn bepaald aan een beperkt aantal bodemhorizonten in Nederland. De visie van het deelproject Actualisatie Staringreeks is dat alledrie de componenten aanwezig moeten zijn in het BIS om gebruikers volledige, betrouwbare en interpreteerbare bodemhydraulische gegevens te kunnen verschaffen.



**Figuur 1**

De drie componenten van bodemhydraulische karakteristieken voor het BIS. \* MVG: Mualem-Van Genuchtenmodel.

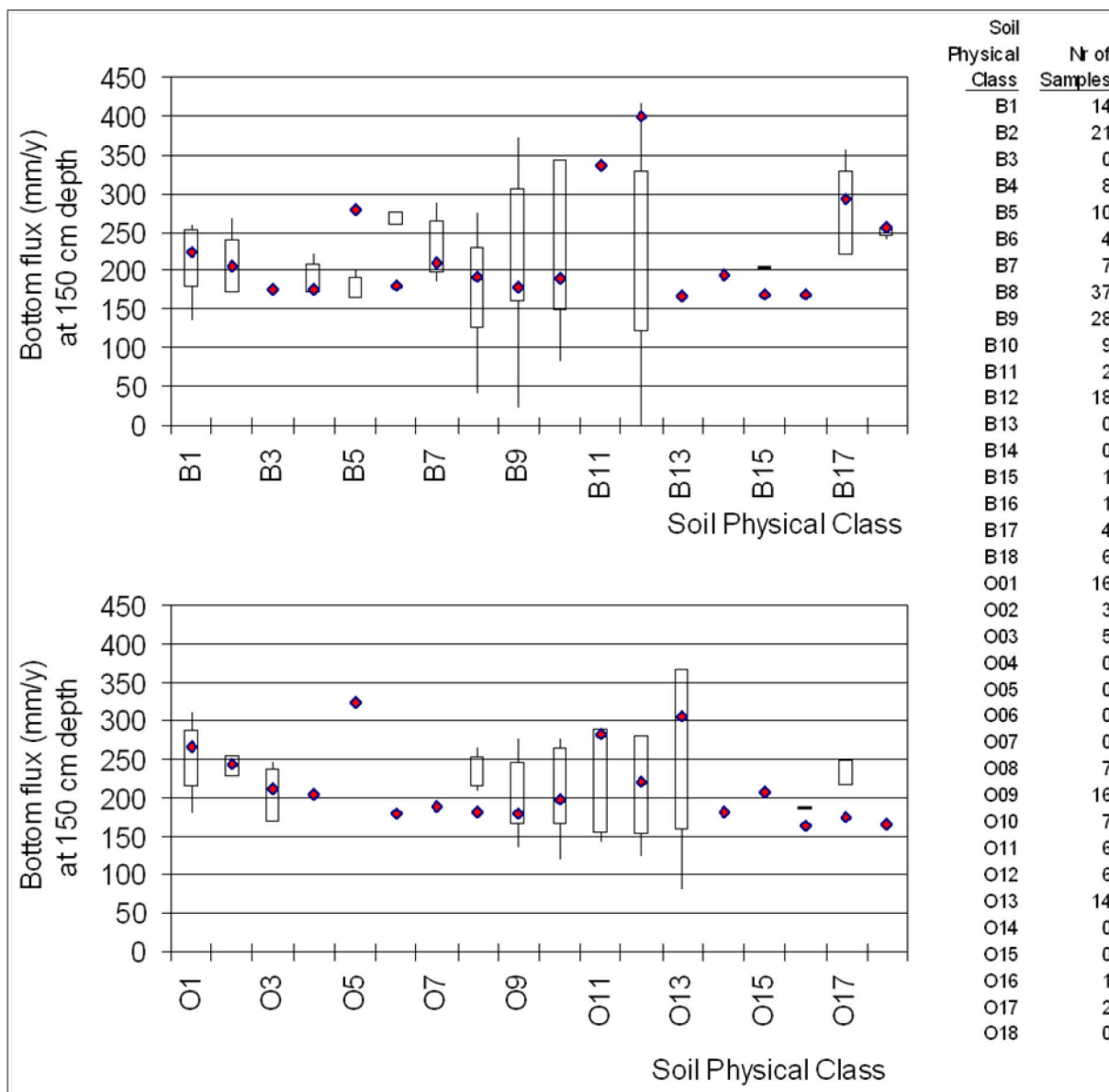
De Staringreeks (versies 1987, 1994 of 2001) is al twintig jaar het referentiebestand voor bodemfysische karakteristieken van Nederlandse gronden. De Staringreeks is voor het eerst uitgegeven in 1987 door de Stichting Bodemkartering (STIBOKA) en het Instituut voor Cultuurtechniek en Waterhuishouding (ICW) (Wösten et al., 1987), en vernieuwd uitgegeven in 1994 door het Staringcentrum DLO (Wösten et al., 1994) en in 2001 door Alterra (Wösten et al., 2001). De bouwstenen uit de reeks worden zowel binnen als buiten Alterra veel gebruikt als invoer voor simulatiemodellen waarmee de opslag en het transport van water en opgeloste stoffen in de onverzadigde zone van de bodem worden berekend (De Vries et al., 2008). De Staringreeks geeft gemiddelde bodemhydraulische karakteristieken voor achttien klassen ondergronden en achttien klassen bovengronden die onderscheiden zijn op basis van textuur en organischestofgehalte. De gemiddelde bodemhydraulische karakteristieken zijn afgeleid door de karakteristieken van individuele grondmonsters te middelen per type ondergrond en bovengrond. Deze gemiddelde karakteristieken worden dan beschreven met het Mualem-Van Genuchtenmodel (Mualem, 1976; Van Genuchten, 1980). De op de gemiddelden gefitte karakteristieken worden 'afgeleiden' genoemd. De Staringreeks geeft geen informatie over de bodem, hydrologische gesteldheid of andere contextuele eigenschappen van de locaties waar de grondmonsters verzameld werden (beschrijvende gegevens, Figuur 1). Ook de oorspronkelijke meetgegevens waarvan de bodemhydraulische karakteristieken zijn afgeleid, zijn niet beschikbaar in de Staringreeks (meetgegevens, Figuur 1).

Tussen 2006 en 2008 is in opdracht van het Project Kwaliteitsslag Databestanden & Modellen van het WOT-MNP en de Helpdesk Vitaal Landelijk Gebied een deel van de bodemhydraulische karakteristieken, meetgegevens en beschrijvende (contextuele) gegevens van grondmonsters waarop de Staringreeks gebaseerd is, opgezocht in de archieven van Alterra en gedocumenteerd in het gegevensbestand Priapus. Hierin zijn ook gegevens van grondmonsters uit de periode 2001-2004 opgenomen, in totaal ruim 800 (Stolte et al., 2007). Als vervolg hierop werd het gegevensbestand in april-mei 2008 getoetst aan criteria in de checklist van Alterra voor Status A en AA gegevensbestanden (versie 2.0) (Checklist Status A Gegevensbestanden - Priapus, 2008). Als onderdeel hiervan werd in overleg met de Kwaliteitsfunctionarissen een lijst van vijftien criteria opgesteld waaraan meetgegevens, afgeleide gegevens en beschrijvende gegevens van grondmonsters moesten voldoen om beschikbaar gesteld te worden aan gebruikers (zie Appendix I). De criteria zijn de volledigheid of betrouwbaarheid van meetgegevens, afgeleide gegevens en beschrijvende gegevens. In juli 2008 werd het gegevensbestand Priapus gecertificeerd voor Kwaliteitsstatus A (Checklist Status A Gegevensbestanden - Priapus, versie 5-5-2008), met ongeveer 100 monsters die voldeden aan alle criteria. De overige monsters zijn tijdelijk afgeschermd voor gebruik. Hierdoor bevatte het gegevensbestand onvoldoende gecertificeerde gegevens. Voor het verschaffen van actuele gegevens over de bodemfysische toestand van de bodem is het nodig de gegevens in Priapus te corrigeren en aan te vullen.

Priapus biedt de mogelijkheid monstergegevens toe te voegen en te verwijderen, en kan daarom flexibel worden ingezet voor het genereren van afgeleiden volgens nieuw te kiezen bodemfysische indelingen. Bovendien bevat Priapus informatie over de bodemkundige en hydrologische context van karakteristieken van individuele grondmonsters (bv locatie, kaartvlaknaam en -code op bodemkaart 1:50.000, analoge bepalingen van textuur, organische stof en dichtheid), en technische informatie die relevant is om de actualiteit van de bodemhydraulische karakteristieken te kunnen beoordelen (bijvoorbeeld datum monsternamen, wijze van bepaling van  $h(\theta)$ - en  $K(h)$ -relaties). Deze informatie is niet beschikbaar in de Staringreeks. Het is daarom zinvol om voor de actualisatie van het BIS correcties op bodemfysische gegevens en nieuwe bodemfysische gegevens door te voeren in Priapus, en niet langer in de Staringreeks.

Gebruikers van de Staringreeks hebben in een gebruikersinventarisatie aangegeven behoefte te hebben aan meer bodemhydraulische karakteristieken en een hogere betrouwbaarheid van de gemiddelde karakteristieken per bouwsteen. Daarnaast wil men inzage in de variatie van karakteristieken en van karakteristieken binnen een bodemfysische eenheid (gebruikersinventarisatie BIS, De Vries et al., 2008). Ook vragen gebruikers om bodemhydraulische karakteristieken in tabulaire vorm (dus waarden van  $\theta$  en  $K$  voor discrete waarden van  $h$ ).

De Staringreeks (versie 2001, Wösten et al., 2001) geeft wel richtlijnen voor het omgaan met variatie van de klasse- en continue vertaalfuncties, maar geeft niet de informatie die daarvoor nodig is. Dit zijn de karakteristieken en meetgegevens van individuele monsters voor de klasse-vertaalfuncties, en de variantie-covariantiematrix van de vormparameters van de Mualem-Van Genuchten fits op de meetgegevens van de individuele karakteristieken voor de continue functies. Inzage in de variatie van karakteristieken binnen een bouwsteen van de Staringreeks (de klasse-vertaalfuncties) is nu alleen grafisch mogelijk, op grond van de standaarddeviaties rondom de gemiddelde afgeleiden per bouwsteen (Wösten et al., 2001). Onderzoek toont aan dat het gebruik van de gemiddelde afgeleide bodemhydraulische karakteristieken voor de bouwstenen van de Staringreeks onvoldoende differentiatie biedt tussen waterbalanscomponenten van de onverzadigde zone (Wesseling, 2009) (Figuur 2). Het lijkt daarom zinvol onderzoek te doen naar een alternatieve indeling, die gebruik maakt van gegevens van bodemhorizonten die al aanwezig zijn in het BIS.



**Figuur 2**

Gemiddelde afgeleiden per bouwsteen in de Staringreeks (symbolen), en box-and-whisker plots van gegevens uit het databestand Priapus voor de jaarlijkse waterflux door het ondervlak van een bodemprofiel van 150 cm voor Nederlandse gronden, gegroepeerd in de achttien bouwstenen uit de Staringreeks. B\*: bovengronden, O\*: ondergronden. Het aantal monsters per bouwsteen gebruikt uit Priapus staat in de kolommen rechts van de grafieken. Bron: Wesseling (2009).

Inzage in de 'goodness of fit' van de functionele beschrijving van karakteristieken met het Mualem-Van Genuchtenmodel was voor het tot stand komen van het gegevensbestand Priapus niet mogelijk, omdat de oorspronkelijke meetgegevens niet beschikbaar zijn in de Staringreeks. Op grond van de meetgegevens die achteraf werden getraceerd voor het gegevensbestand Priapus, lijkt het waarschijnlijk dat de 'goodness of fit' van de functiebeschrijving gereduceerd kan worden door een andere functiebeschrijving te gebruiken.

Inzicht in de variatie van bodemhydraulische karakteristieken (meetgegevens en afgeleiden) is van belang om de betrouwbaarheid van uitkomsten van hydrologische modellen te kunnen kwantificeren (e.g. Finke et al., 1996; Van den Berg et al., 2008). Dit betreft variatie op locatie (meetfouten en fitfouten) en variatie tussen

locaties (tussen ruimtelijke eenheden in de gebruikte indeling). Hiervoor is het nodig dat het BIS informatie geeft over de variatie van bodemfysische gegevens.

## 1.2 Doelstellingen

Het project Actualisatie Staringreeks wil bijdragen leveren aan de drie componenten van bodemhydraulische karakteristieken voor het BIS (Figuur 1). Hierbij wordt uitgegaan van de gegevens die al bij Alterra beschikbaar zijn over bodemhydraulische karakteristieken. Dit is ingegeven door de visie dat het kostenefficiënter is eerst deze gegevens te bewerken voor beschikbaarstelling in het BIS, voordat nieuwe gegevens worden verzameld in het veld.

In de eerste plaats heeft het project tot doel bestaande meetgegevens, afgeleide gegevens en beschrijvende gegevens in Priapus te corrigeren en eventueel uit te breiden met aanvullende relevante informatie, en de gegevens toe te voegen van grondmonsters die sinds de laatste versie van de Staringreeks in het bodemfysisch laboratorium van Alterra gemeten zijn.

In de tweede plaats wil het project gebruikers van onder andere het hydrologische model SWAP in staat stellen op eenvoudige wijze bodemhydraulische karakteristieken uit Priapus te importeren in SWAP.

In de derde plaats wil het project bijdragen aan het reduceren van onzekerheid in bodemhydraulische karakteristieken door het ontwerpen van een nieuwe functiebeschrijving en een nieuwe indeling in bodemfysische eenheden, waarbij zoveel mogelijk gebruik wordt gemaakt van gegevens van bodemhorizonten die al aanwezig zijn in het BIS en in het overige digitale en analoge bodemarchief van Alterra.

In de vierde plaats wil het project een vooruitblik geven op welke manier het BIS inzicht zou kunnen geven in de variatie in gemeten en afgeleide  $h(\theta)$ - en  $K(h)$ -relaties.

De operationele doelstellingen zijn:

1. Correctie van bestaande gegevens in Priapus, en aanvullen van Priapus met meetgegevens, afgeleide gegevens en beschrijvende gegevens van bodemhydraulische karakteristieken bepaald in het bodemfysisch laboratorium van Alterra tussen 2000 en 2008.
2. Maken van een exportmodule voor bodemhydraulische karakteristieken naar SWAP.
3. Ontwikkelen van een nieuwe functiebeschrijving voor bodemhydraulische karakteristieken met cubical splines.
4. Ontwikkelen van een nieuwe indeling voor bodemhydraulische karakteristieken op basis van criteria in het systeem voor de bodemclassificatie voor Nederlandse gronden (De Bakker en Schelling, 1989) in combinatie met het afzettingsmilieu en/of de wijze waarop een bodemhorizont is ontwikkeld.
5. Een vooruitblik geven op hoe het BIS inzicht kan geven in de variatie in gemeten en afgeleide  $h(\theta)$ - en  $K(h)$ -relaties op locaties (als gevolg van meet- en fitfouten) en tussen locaties (bodemfysische eenheden).

De bijdragen van de doelstellingen aan de drie componenten van bodemhydraulische karakteristieken voor het BIS zijn weergegeven in Tabel 1

**Tabel 1**

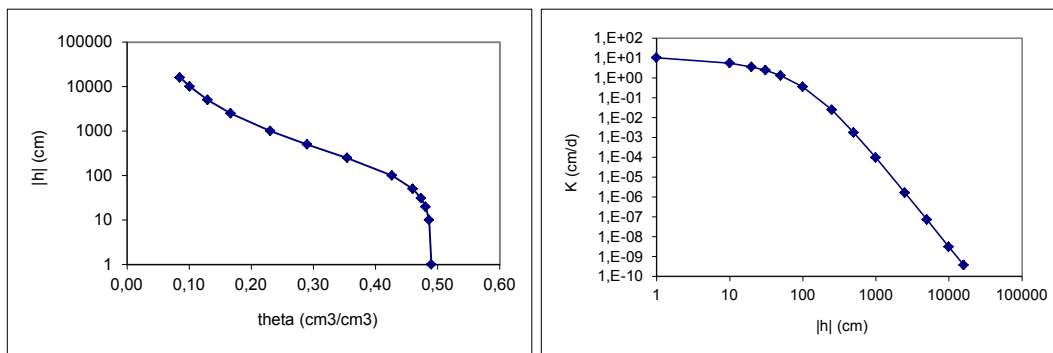
Bijdragen van doelstellingen aan hoofdcomponenten van bodemhydraulische karakteristieken voor het BIS. Bijdragen aan meetgegevens in rood, aan afgeleide gegevens in blauw, en aan beschrijvende gegevens in groen.

| Hoofddoelstellingen                                            | Operationele doelstellingen                                       | Meetgegevens | Afgeleide gegevens | Beschrijvende gegevens |
|----------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------|--------------|--------------------|------------------------|
| Correctie en aanvulling van gegevens                           | Correctie en aanvulling                                           |              |                    |                        |
| Gebruik in modellen faciliteren                                | Exportmodule naar SWAP                                            |              |                    |                        |
| Reduceren van onzekerheid                                      | Nieuwe functiebeschrijving met cubical splines                    |              |                    |                        |
| Benutten van beschrijvende gegevens van bodemhorizonten in BIS | Nieuwe indeling op basis van criteria in BIS                      |              |                    |                        |
| Vooruitblik op inzicht in variatie                             | Vooruitblik op inzicht in variatie op locaties en tussen locaties |              |                    |                        |



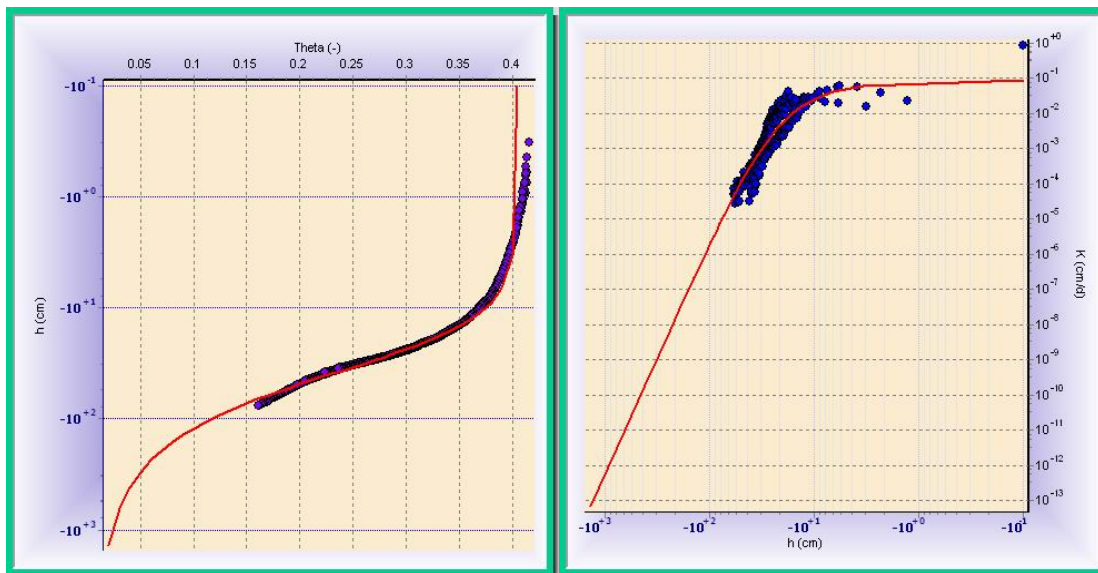
## 2.1 Bodemhydraulische karakteristieken

De bodemhydraulische karakteristieken van een grondmonster omvatten: 1. een parameterset van het Mualem-Van Genuchtenmodel die de waterretentie- en doorlatendheidskarakteristiek van het monster beschrijven (tabel VanGenuchtenParams, Figuur 4), en 2. waarden van vochtgehalte en doorlatendheid bij dertien gegeven waarden van de drukhoogte (tabel Standaardreeks, Figuur 5). Figuur 6 toont een voorbeeld van bodemhydraulische karakteristieken van een grondmonster; in dit geval functiebeschrijvingen met het Mualem-Van Genuchtenmodel. De bodemhydraulische karakteristieken worden direct gebruikt voor het beschrijven van het transport van water en opgeloste stoffen in de onverzadigde zone met behulp van numerieke hydrologische simulatiemodellen. In het deelproject Actualisatie Staringreeks is software ontwikkeld om de uitvoer van parameter sets van het Mualem-Van Genuchtenmodel en ankerpunten van de functiebeschrijvingen met cubical splines te exporteren in een formaat dat gemakkelijk kan worden geïmporteerd in het hydrologisch model SWAP (Dragon, Wesseling en Vroon, 2012). Deze software wordt beschreven in Appendix III.



**Figuur 4**

Waarden van vochtgehalte  $\theta$  (links) en doorlatendheid  $K$  (rechts) bij dertien gegeven waarden van de drukhoogte.



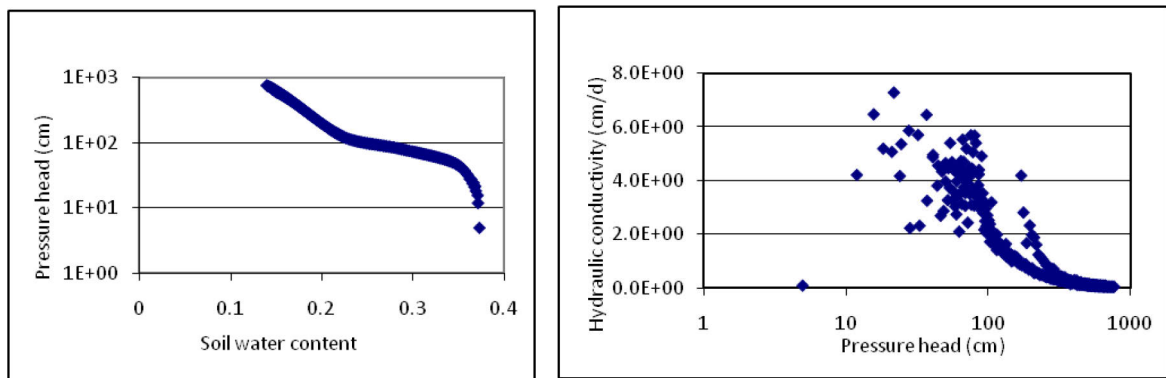
**Figuur 5**

Voorbeeld van meetpunten van de waterretentiecurve ( $h(\theta)$ -relatie) en doorlatendheidscurve ( $K(h)$ -relatie) van één grondmonster met functiebeschrijving met het Mualem-Van Genuchtenmodel.



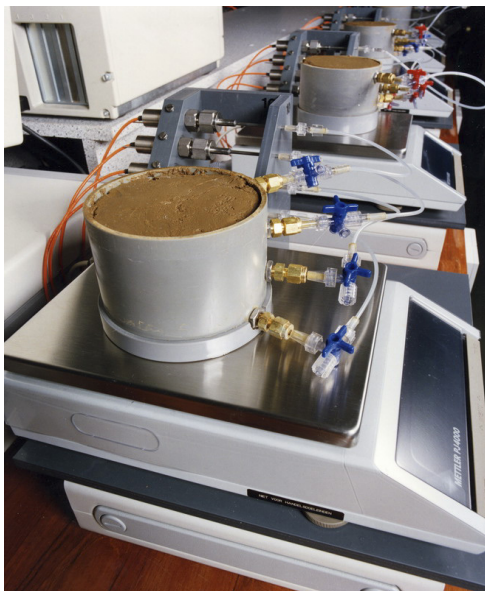
## 2.2 Meetgegevens

De meetgegevens waaruit de bodemhydraulische karakteristieken zijn afgeleid bestaan uit metingen van vochtgehalte en doorlatendheid van een grondmonster als functie van de drukhoogte. Figuur 7 toont een voorbeeld van meetgegevens van een grondmonster. De metingen van de  $h(\theta)$ - en  $K(h)$ -relaties worden in het bodemfysisch laboratorium gedaan met de verdampingsmethode van Wind, met de high-tech uitvoering (Figuur 8) volgens Van der Elsen (Standaardwerkschrift E4505, Bodemfysisch Laboratorium van Alterra). Bij deze methode wordt een verzadigd monster op een weegschaal geplaatst. Het gewicht van het monster en de vochtspanning op vier diepten in het monster worden automatisch gemeten als functie van de tijd, totdat het gewicht niet meer afneemt. Het vochtgehalte wordt gravimetrisch bepaald uit de metingen. De doorlatendheid wordt bepaald uit de gradiënten van de vochtspanning tussen de vier posities van de drukopnemers in de diepterichting van het monster met de wet van Darcy. Een gedetailleerde beschrijving van de meetmethode is gegeven in Standaardwerkschrift E4505 van het Bodemfysisch laboratorium van Alterra.



**Figuur 6**

Voorbeeld van meetpunten van de waterretentiecurve ( $h(\theta)$ -relatie) en doorlatendheidscurve ( $K(h)$ -relatie) van een grondmonster.



**Figuur 7**

Meetopstelling van de verdampingsmethode van Wind, met de high-tech uitvoering volgens Van der Elsen (Standaardwerkschrift E4505, Bodemfysisch Laboratorium Alterra). Foto: Erik van den Elsen ©.

## 2.3 Beschrijvende gegevens

De beschrijvende gegevens van een grondmonster bestaan uit informatie over de plaats waar het monster genomen is, de toestand van de bodem op de plek van monsternamen, gegevens over de metingen die aan het monster gedaan zijn, en over de afleiding van de bodemhydraulische karakteristieken voor het monster. De beschrijvende gegevens zijn bedoeld om de gemeten en afgeleide  $h(\theta)$ - en  $K(h)$ -relaties te kunnen beoordelen in relatie tot de eigenschappen van de bodem. Daarnaast kunnen de beschrijvende gegevens in BIS gebruikt worden om selecties te maken van bodemhydraulische karakteristieken en om nieuwe karakteristieken te kunnen toewijzen aan eenheden van een bodemfysische indeling. De beschrijvende gegevens in Priapus worden getoond in Tabel 2.

**Tabel 2**

*Beschrijvende gegevens van grondmonsters beschikbaar in Priapus (in diverse tabellen)*

| Veldnaam                                        | Type  | Eenheid | Beschrijving                                                                                                                  | Aantal monsters in Priapus voorafgaand aan certificering |
|-------------------------------------------------|-------|---------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------|
| MonsterId                                       | num   | -       | Intern ID-nummer van grondmonster                                                                                             | 852                                                      |
| MonsterCode                                     | tekst | -       | Unieke code van grondmonster                                                                                                  | 828                                                      |
| BronDocumentatie                                | tekst | -       | (Project)rapport waarin grondmonster beschreven is                                                                            | 630                                                      |
| Locatie                                         | tekst | -       | Naam van monsterlocatie (gemeente, proefveld)                                                                                 | 844                                                      |
| Provinciëld                                     | num   | -       | Nummer provincie met monsterlocatie                                                                                           | 662                                                      |
| LandId                                          | num   | -       | Nummer land met monsterlocatie                                                                                                | 852                                                      |
| WaterschapId                                    | num   | -       | Nummer waterschap met monsterlocatie                                                                                          | 720                                                      |
| CoördinaatStelselId                             | num   | -       | Nummer van coördinaatstelsel voor monsterlocatie                                                                              | 852                                                      |
| X                                               | num   | m       | x-coördinaat monsterlocatie                                                                                                   | 795                                                      |
| Y                                               | num   | m       | y-coördinaat monsterlocatie                                                                                                   | 795                                                      |
| Horizont                                        | tekst | -       | Horizont waaruit grondmonster genomen is volgens Systeem van Bodemclassificatie voor Nederland (De Bakker en Schelling, 1989) | 582                                                      |
| DiepteBovenkant                                 | num   | cm      | Diepte bovenkant grondmonster ten opzichte van maaiveld                                                                       | 817                                                      |
| DiepteOnderkant                                 | num   | cm      | Diepte onderkant grondmonster ten opzichte van maaiveld                                                                       | 801                                                      |
| MonsterDatum                                    | dat   | -       | Datum monsternamen                                                                                                            | 505                                                      |
| Monsternemer                                    | tekst | -       | Naam monsternemer                                                                                                             | 521                                                      |
| Diverse variabelen met informatie over metingen | -     | -       | Meetmethode, start en einddatum meting, laboratorium, laboratoriummedewerker                                                  | 406-586                                                  |
| KaartvlakNaam50                                 | tekst | -       | Naam bodemeenheid van kaartvlak op Bodemkaart van Nederland 1:50.000 (De Vries et al., 2003)                                  | 495                                                      |

|                               |       |                   |                                                                                                                              |            |
|-------------------------------|-------|-------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------|
|                               |       |                   | voor monsterlocatie                                                                                                          |            |
| KaartvlakCode50               | tekst | -                 | Code bodemeenheid van kaartvlak op Bodemkaart van Nederland 1:50.000 (De Vries et al., 2003) voor monsterlocatie             | <b>515</b> |
| PuntCode                      | tekst | -                 | Code bodemeenheid op Bodemkaart van Nederland 1:50.000 (De Vries et al., 2003) voor profielbeschrijving van monsterlocatie   | <b>273</b> |
| TextuurNaam                   | tekst | -                 | Omschrijving textuur van horizont waaruit monster genomen is                                                                 | <b>538</b> |
| BodemGebruikld                | num   | -                 | Nummer bodemgebruik, verwijzend naar Code en beschrijving bodemgebruikstype volgens Ten Cate et al. (1995)                   | <b>598</b> |
| GtKlassificatield             | num   | -                 | Nummer grondwatertrapklassificatie                                                                                           | <b>552</b> |
| Gtld                          | num   | -                 | Nummer grondwatertrap in grondwatertrapklassificatie                                                                         | <b>552</b> |
| Geologield                    | num   | -                 | Code geologische ondergrond volgens Ten Cate et al. (1995)                                                                   | <b>496</b> |
| Grondsoort50                  | tekst | -                 | Benaming en onderverdeling b50-legenda (technische document 19A)                                                             | <b>0</b>   |
| HoofdGroep50                  | Tekst | -                 | Benaming en onderverdeling b50-legenda (technische document 19A)                                                             | <b>0</b>   |
| SubGroep50                    | Tekst | -                 | Benaming en onderverdeling b50-legenda (technische document 19A)                                                             | <b>0</b>   |
| Staringld                     | Num   | -                 | Nummer bouwsteen in Staringreeks (1987, 1994 of 2001)                                                                        | <b>388</b> |
| TextuurKlasseld en Percentage | Num   | - En %            | Textuurklassificatie en Percentage massa minerale delen in textuurklasse                                                     | <b>339</b> |
| PercentageOrganischeStof      | num   | %                 | Percentage organische stof in grondmonster (gemeten) (volume fractie)                                                        | <b>318</b> |
| M50                           | num   | µm                | Mediane korrelgrootte zandfractie (>2000 µm)                                                                                 | <b>184</b> |
| Droge dichtheid               | num   | kg/m <sup>3</sup> | Droge dichtheid van grondmonster (gemeten)                                                                                   | <b>697</b> |
| Poriënvolume                  | num   | -                 | Poriënfraction van grondmonster (gemeten)                                                                                    | <b>126</b> |
| CaCO3 gehalte                 | num   | -                 | Percentage CaCO3 stof in grondmonster (gemeten) (gewichtsfractie)                                                            | <b>176</b> |
| Opmerkingen                   | tekst | -                 | Bijzonderheden van een grondmonster, bv. aanwezigheid van storende lagen, recente landgebruiksverandering, ongerijpt monster | <b>0</b>   |



# 3 Correctie en toevoeging van bodemhydraulische karakteristieken en beschrijvende gegevens

## 3.1 Werkwijze

Voor het corrigeren van de bestaande bodemhydraulische karakteristieken in het gegevensbestand Priapus werd uitgegaan van de set karakteristieken die gecertificeerd werd voor Kwaliteitsstatus A in juli 2008 (Checklist Status A Gegevensbestanden - Priapus, 2008). Uit deze set zijn die grondmonsters geselecteerd die aan de volgende voorwaarde voldeden:

1. Meetgegevens van waterretentiecurve ( $\theta(h)$ ) aanwezig en op eerste inspectie betrouwbaar.
2. Meetgegevens van doorlatendheidscurve ( $K(h)$ ) aanwezig en op eerste inspectie betrouwbaar.
3. Coördinaten van monsterlocatie aanwezig.

De betrouwbaarheid van de meetgegevens is beoordeeld op basis van criteria voor toepassing in modellen voor water- en stoftransport in de onverzadigde zone, die ook werden gehanteerd voor de certificering van Priapus tot Kwaliteitsstatus A (zie Appendix I) (Checklist Status A Gegevensbestanden - Priapus, 2008). De selectie resulteerde in een set van 87 monsters. De volgende correcties werden uitgevoerd op deze set:

- Controle van de interne consistentie van beschrijvende gegevens van ieder grondmonster (Tabel 2). Hierbij werd bijvoorbeeld nagegaan of voor een monster op grond van de horizontcodering, textuur en organische stofgehalte wel de juiste bodemkaartvlaknaam gedocumenteerd is. Ook werd nagegaan of de hydrologische eigenschappen van een grondmonster op grond van de gemeten  $h(\theta)$ - en  $K(h)$ -relaties overeenstemde met beschrijvende gegevens als de textuur, het organische stofgehalte en het afzettingssmilieu en/of de wijze waarop een bodemhorizont is ontwikkeld.
- Toevoegen van beschrijvende gegevens van monsters waar deze ontbraken en te achterhalen waren.
- Toevoegen van meer gedetailleerde informatie over de bodemkundige context van een grondmonster (afzettingssmilieu en landgebruik). Bij dit onderdeel werd nagegaan welke veranderingen in landgebruik hebben plaatsgevonden op monsterlocaties sinds de monsternamen. Deze veranderingen kunnen aanwijzingen geven over de actualiteit van de bodemhydraulische karakteristieken en van de beschrijvende gegevens.
- Controle van bestaande, en toevoegen van nieuwe functiebeschrijvingen van  $h(\theta)$ - en  $K(h)$ -relaties op meetgegevens met het Mualem-Van Genuchtenmodel en met cubical splines.

Voor het controleren en aanvullen van de beschrijvende gegevens van de grondmonsters werd gebruik gemaakt van gegevens uit het Bodemkundig Informatie Systeem, niet in BIS gedocumenteerde profielbeschrijvingen in het analoge of digitale bodemarchief van Alterra, Stiboka-rapporten en detailkarteringen.

Het toevoegen van nieuwe bodemhydraulische karakteristieken aan het gegevensbestand Priapus betrof karakteristieken van grondmonsters waaraan tussen 2000 en 2008 metingen zijn gedaan in het bodemfysisch laboratorium van Alterra voor wat betreft de waterretentie- en doorlatendheidskarakteristiek. Deze metingen

werden allemaal verricht met de verdampingsmethode van Wind, met de high-tech uitvoering volgens Van der Elsen (Standaardwerkschrift E4505, Bodemfysisch Laboratorium, Alterra). Voor sommige monsters waren ook metingen van de verzadigde doorlatendheid ( $K_{sat}$ ) beschikbaar<sup>1</sup>. Deze metingen werden opgenomen als onderdeel van de bodemhydraulische karakteristieken (waarden van  $\theta$  en  $K$  bij  $h=0$ ), en gebruikt voor het optimaliseren van de functiebeschrijvingen met het Mualem-Van Genuchtenmodel en met cubical splines. De volgende activiteiten werden uitgevoerd:

- Toetsing van meetgegevens, afgeleide gegevens en beschrijvende gegevens aan de vijftien criteria voor betrouwbaarheid en volledigheid van monstergegevens die ook gehanteerd werden voor de correctie van bestaande gegevens in Priapus (appendix I).
- Toevoegen van meetgegevens van  $\theta$  en  $K$  als functie van  $h$ .
- Toevoegen van beschrijvende gegevens van grondmonsters (Tabel 2), waaronder meer gedetailleerde informatie over de bodemkundige context (aard en samenstelling van het materiaal, afzettingsmilieu en landgebruik).
- Toevoegen van  $h(\theta)$ - en  $K(h)$ -relaties beschreven met het Mualem-Van Genuchtenmodel en met cubical splines.

Voor het toevoegen van beschrijvende gegevens van de grondmonsters werd gebruik gemaakt van gegevens uit het Bodemkundig Informatie Systeem, niet in BIS gedocumenteerde profielbeschrijvingen in het analoge en digitale bodemarchief van Alterra, Stiboka-rapporten en detailkarteringen.

De resultaten van alle uitgevoerde correcties en toevoegingen van meetgegevens, bodemhydraulische karakteristieken en beschrijvende gegevens zijn opgeslagen in het gegevensbestand Priapus (versie 2.0.1, oplevering november 2009).

Het fitten van de curve volgens het Mualem-Van Genuchtenmodel is gedaan met het programma RETC (Van Genuchten et al., 1991). Het fitten van de splines en de berekening van de hydrologische kenmerken zijn uitgevoerd met het computerprogramma Dragon (Wesseling en Vroon, 2012). Een korte beschrijving van de functionaliteit van Dragon wordt gegeven in appendix III.

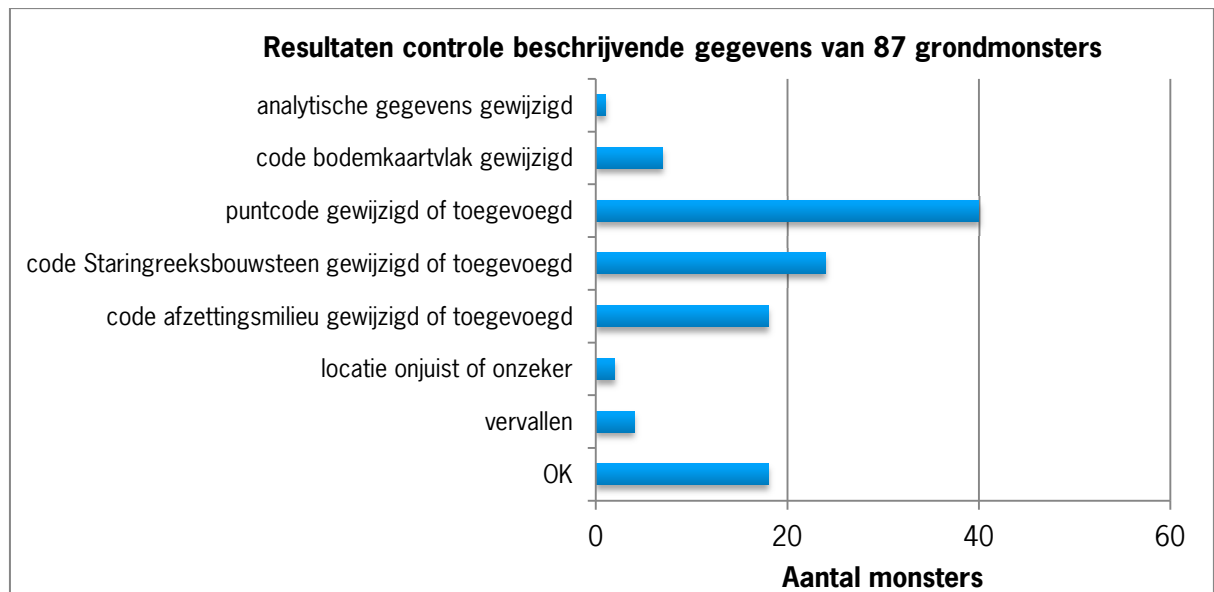
## **3.2 Resultaten**

### **3.2.1 Monsters in Priapus uit de periode 1979-2004**

De resultaten van de correctie van de selectie van 87 monsters uit de database zijn weergegeven in Figuur 8. Voor achttien monsters kwamen de beschrijvende gegevens in de database overeen met gegevens uit BIS, detailkarteringen en bijbehorende Stiboka-rapporten. De belangrijkste wijzigingen waren het corrigeren of toevoegen van de puntcode, de code van de Staringreeksbouwsteen, en de code van het afzettingsmilieu (ook wel geocode genoemd door bodemkundigen). De puntcode geeft een beschrijving van het profiel weer ter plekke waar het monster is genomen. De puntcode kan meer informatie bevatten dan de puntkaartvlakcode, bijvoorbeeld informatie over afwijkende lagen. De diepte van afwijkende lagen wordt in de puntcode in decimeters achter de code aangegeven, zoals 2r423x9. Deze puntcode betekent een sterk lemige, zeer fijnzandige humuspodzolgrond met keileem beginnend op een diepte van 90 cm-mv.

---

<sup>1</sup> Bepaald met de constant head method, vertical omlaag, monstergrootte 10\*8 cm (Stolte, 1997a)



**Figuur 8**

Resultaten van de controle van beschrijvende gegevens van de selectie van 87 monsters uit Priapus. Analytische gegevens zijn schattingen of metingen van textuur, M50, poriënvolume, droge dichtheid, organischestofgehalte of CaCO<sub>3</sub>-gehalte.

Wijzigingen in de codes van Staringreeksbouwsteen en afzettingmilieu waren nodig om de volgende redenen:

- Er waren onvoldoende gedetailleerde textuurgegevens beschikbaar om de codes toe te kennen (b.v. alleen lutumgehalte beschikbaar).
- Er waren alleen gegevens van het organischestofgehalte beschikbaar, maar geen textuurgegevens. In deze gevallen is de code van de Staringreeksbouwsteen toegekend op basis van de bodemkaartvlakcode.
- De gegevens van textuur, droge dichtheid, of organische stofgehalte kwamen niet overeen met gegevens in BIS of rapporten van detailkarteringen.
- Inconsistentie tussen bodemhydraulische karakteristieken en organischestofgehalte en bulkdichtheid in de gegevens van een monster in Priapus.
- De toekenning van code van Staringreeksbouwstenen op de wijze, zoals die in de Staringreeksrapporten wordt gepresenteerd (Wösten, 1987; Wösten et al., 1994; Wösten et al. 2001), conflicteert voor moerige gronden met de indeling van deze gronden op basis van het bodemkundig classificatiesysteem voor Nederland (De Bakker en Schelling, 1989). Om dit te voorkomen moet naast het organische stofgehalte ook het lutumgehalte betrokken worden bij de indeling van moerige gronden in bouwstenen van de Staringreeks.

Vier monsters zijn uit de database verwijderd om één of meer van de volgende redenen:

- Textuurgegevens klopten niet met textuurgegevens in BIS.
- De bodemhydraulische karakteristieken zijn niet consistent met het organischestofgehalte en/of de dichtheid in de database.
- De monsterlocatie kan niet meer bezocht worden, omdat deze gewijzigd is door ingrepen in het landgebruik.

Een gedetailleerde beschrijving van de wijzigingen en aanvullingen op de beschrijvende gegevens van de grondmonsters is gegeven in Appendix II.

### 3.2.2 Monsters geanalyseerd in het bodemfysisch laboratorium tussen 2000 en 2008

Via het meetarchief van het bodemfysisch laboratorium werden van 309 monsters meetgegevens en beschrijvende gegevens opgevraagd bij onderzoekers die deze monsters voor de bepaling van  $h(\theta)$ - en  $K(h)$ -relaties tussen 2000 en 2008 hadden aangeboden aan het laboratorium.

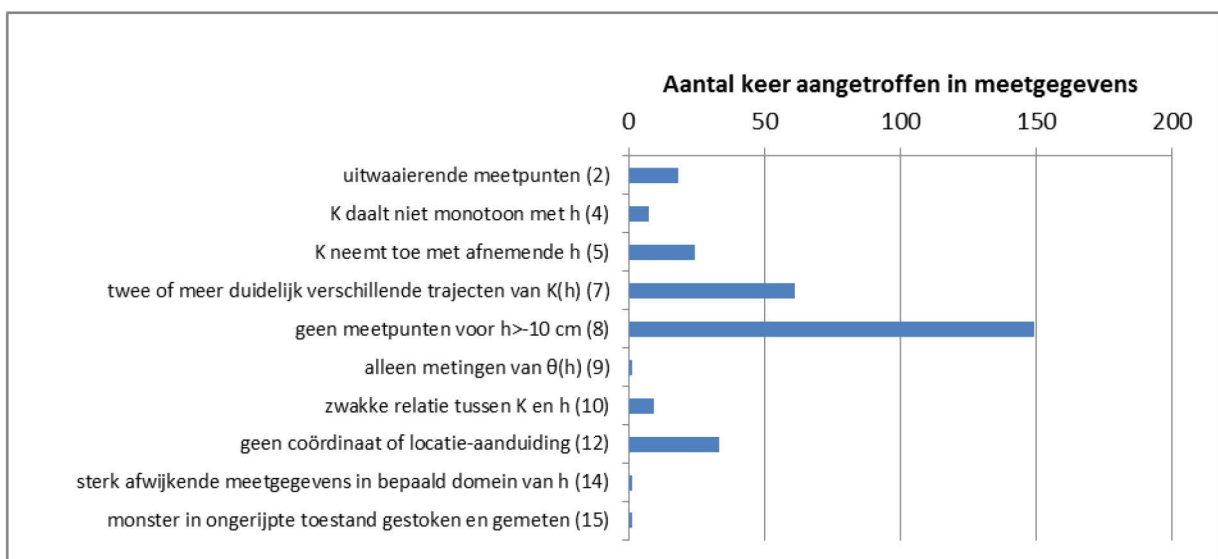
#### *Toetsing van meetgegevens aan criteria voor betrouwbaarheid en volledigheid*

Het resultaat van de toetsing van de meetgegevens van de monsters op relevante criteria voor het beoordelen van betrouwbaarheid en volledigheid uit Appendix I zijn afgebeeld in Figuur 9. Een grondmonster kan aan meerdere criteria tegelijk voldoen. Voor criteria waaraan meer dan één monsters voldeden, worden de observaties hieronder besproken.

Het 'uitwaaieren' van meetpunten van  $K$  bij groter wordende drukhoogte ( $h$  gaat naar 0) (Figuur 11) wordt veroorzaakt doordat de gradiënt van  $dH/dz$  kleiner wordt. Uit de vergelijking van Darcy (vergelijking 1) volgt dat  $K \rightarrow \infty$  als  $dH/dz = 0$ . Kleine afwijkingen in de meetwaarden in het gebied waar  $dH/dz$  erg klein is zorgen daarom voor grote onnauwkeurigheden.

$$K = \frac{-q}{dH/dz} \quad \text{vergelijking 1}$$

Een kleine gradiënt van  $dH/dz$  kan worden veroorzaakt door de meet-onnauwkeurigheid van het systeem. Deze manifesteert zich vooral in het natte deel van de meting, waarin nog weinig verschillen in de vochttoestand - gezien over de hoogte van het monster - aanwezig zijn. De kleine gradiënt kan ook veroorzaakt worden door het onvoldoende verzadigen van het monster of te korte meetintervallen. De laborant bepaalt de meetintervallen. Vooral in het begin kan het zijn dat deze te kort zijn. Dit komt omdat men in het natte traject graag metingen wil hebben, waardoor de neiging er is om metingen met een te kleine gradiënt te accepteren (Bakker, pers. comm.). Dit is ook de reden waarom het bodemfysisch laboratorium de verdampingsmethode pas valide acht voor drukhoogten  $< 50$  cm.



**Figuur 9**

*Toetsing van meetgegevens van grondmonsters uit bodemfysisch laboratorium (2000-2008) op relevante criteria voor betrouwbaarheid en volledigheid (Appendix I). Nummers tussen () verwijzen naar criteria in Appendix I*



Voorbeelden van monsters waarvoor  $K$  niet monotoon daalt met  $h$  (criterium 4) zijn gegeven in Figuur 12. Hier wordt gevonden dat  $K$  stapsgewijs afneemt met de drukhoogte  $h$ . Dit is bodemfysisch niet onmogelijk omdat een dergelijke  $K(h)$ -relatie gevonden kan worden in een monster waarin één of meerdere textuursprongen aanwezig zijn (het monster is dus niet homogeen). Het kan echter ook zijn dat het monster discontinuïteiten bevat omdat het verstoord is geraakt bij monsternamen of transport.

$K(h)$ -relaties waarbij  $K$  toeneemt met toenemende  $h$  (criterium 5) (voorbeelden in Figuur 13) zijn bodemfysisch onjuist. Bij afnemende drukhoogte neemt het contactoppervlak tussen bodemdeeltjes en bodemvocht af. Hierdoor neemt de doorlatendheid af (Kutilek en Nielsen, 1994; Han et al., 2008).

Het voorkomen van twee of meer duidelijk verschillende trajecten in de  $K(h)$ -relatie wordt vaak gevonden in de meetgegevens. Voorbeelden hiervan zijn gegeven in Figuur 14. De configuratie van de meetpunten in deze Figuur kan veroorzaakt zijn door een gelaagdheid in het monster. Er kan ook sprake zijn van een meetfout, doordat de drukopnemers op de vier diepten in het monster verschillend gecalibreerd zijn (Van den Elsen, pers. comm.).

Het ontbreken van meetpunten voor waarden van de drukhoogte  $>10$  cm H<sub>2</sub>O wordt het vaakst aangetroffen in de meetgegevens (veelal ook in combinatie met andere gebreken) (voorbeelden in Figuur 15). Het is belangrijk dat in dit traject van de drukhoogte tenminste één meting van  $K$  en  $\theta$  ligt om twee redenen:

1. Bij drukhoogten  $<10$  cm H<sub>2</sub>O maakt de  $K(h)$ -relatie veelal een bocht. De ligging en het verloop van deze bocht hebben grote invloed op de functiebeschrijving van de relatie, en daarmee op de bodemhydraulische karakteristieken die van die functiebeschrijving worden afgeleid (inclusief de kritieke  $z$ -afstand en het verzadigingstekort).
2. De extrapolatie van de verzadigde doorlatendheid  $K_{\text{sat}}$  uit metingen van  $K$  en  $h$  is betrouwbaarder als meetpunten tussen  $h=0$  en  $h=10$  cm H<sub>2</sub>O aanwezig zijn.

Een zwakke relatie tussen de doorlatendheid  $K$  en de drukhoogte  $h$  (voorbeelden in Figuur 16 vervolg) kan deels worden verklaard door de opbouw van het grondmonster, en deels door fouten in de metingen zelf of in de afleiding van de  $K(h)$ -relatie uit de metingen in de opstelling in het Bodemfysisch laboratorium volgens de verdampingsmethode van Wind. Onderstaande informatie over deze oorzaken is verkregen door consultatie van het hoofd van het Bodemfysisch laboratorium (Bakker, pers. comm.).

De opbouw van het grondmonster kan een rol spelen als een monster discontinuïteiten bevat, of een gelaagde opbouw heeft. Fouten in de metingen zelf kunnen zijn:

- Tensiometer-bodem contactproblemen. Deze zorgen ervoor dat evenwicht via de gasfase moet plaatsvinden. Dit zorgt vooral in het drogere traject voor afwijkingen van de drukhoogte.
- Zijdelingse verdamping door krimp of scheuren. In de opzet van de meetmethode mag alleen verdamping optreden uit de bovenkant van het monster. Zijdelingse verdamping is niet altijd te voorkomen. Bij veenmonsters kan zijdelingse verdamping voorkomen worden door de monsterring te vervangen door krimpfolie.
- Lucht in de tensiometer(slang). Dit zorgt voor onverwachte metingen die meestal wel als uitbijters worden herkend.

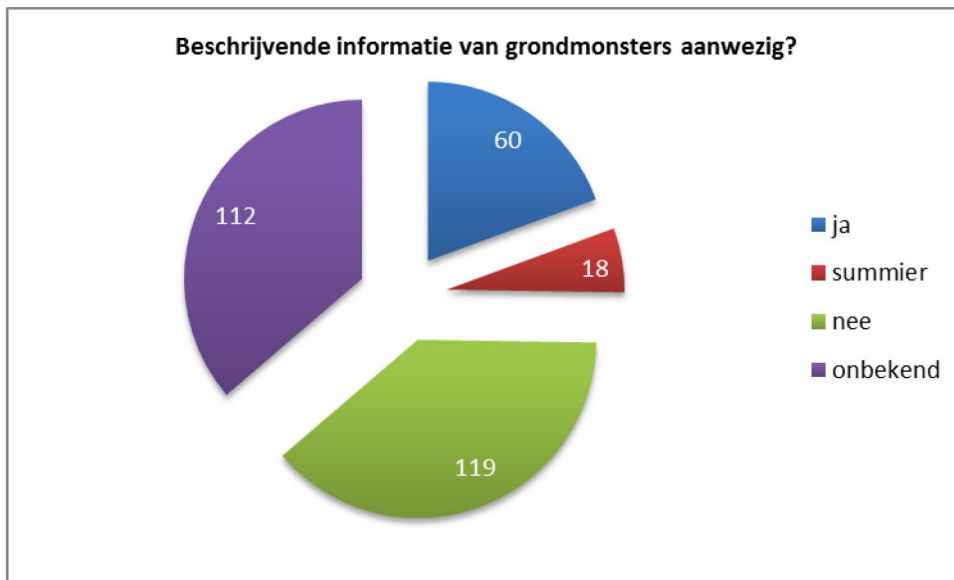
Fouten in de afleiding van de  $K(h)$ -relatie uit de metingen hebben te maken met de meting van de drukhoogte op vier verticale posities in het grondmonster (Figuur 8). In de verdampingsmethode van Wind wordt de waterretentiecurve bepaald op basis van het gemiddelde vochtgehalte en de gemiddelde drukhoogte in het monster. Daarna wordt per compartiment tussen de vier drukopnemers het vochtgehalte berekend op basis van de waterretentiecurve en de op ieder van de vier posities gemeten drukhoogtes. Met deze vochtgehaltegradiënten over de hoogte van het monster in de tijd wordt de  $K(h)$ -relatie vastgesteld per compartiment. Deze werkwijze zorgt voor een afwijking in de resultaten, omdat uitgegaan wordt van een

‘gemiddelde’ waterretentiecurve. Discontinuïteiten in het monster zelf, bijvoorbeeld doordat het geen goed gestoken uniform monster is, of omdat een monster gelaagd is, zullen dan voor nog grotere afwijkingen zorgen.

Voor 33 monsters werd geen locatie-aanduiding of coördinaat gevonden in de documentatie in het bodemfysisch laboratorium of bij projectleiders. Het BIS is een ruimtelijke database. Voor opname van bodemhydraulische karakteristieken in BIS is het dan ook noodzakelijk dat de coördinaten van de monsterlocatie bekend zijn.

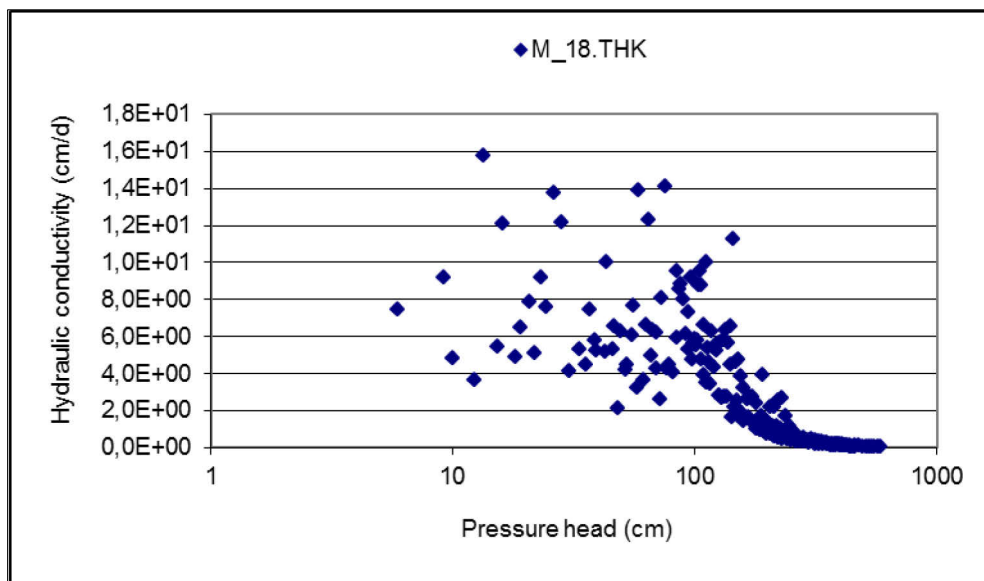
Voor bijna de helft van de monsters (137) kon geen of onvoldoende beschrijvende informatie gevonden worden in de documentatie van het Bodemfysisch laboratorium of bij projectleiders om de in Priapus gevraagde beschrijvende gegevens te kunnen documenteren (zie Tabel 2). Voor 112 monsters kon niet achterhaald worden of beschrijvende informatie aanwezig is (Figuur 10).

Op grond van de criteria voor de betrouwbaarheid en volledigheid van de meetgegevens voor gebruik in hydrologische modellen (Appendix I), en op grond van de aanwezigheid van voldoende beschrijvende informatie, werden 22 monsters goedgekeurd voor opname in het gegevensbestand Priapus.



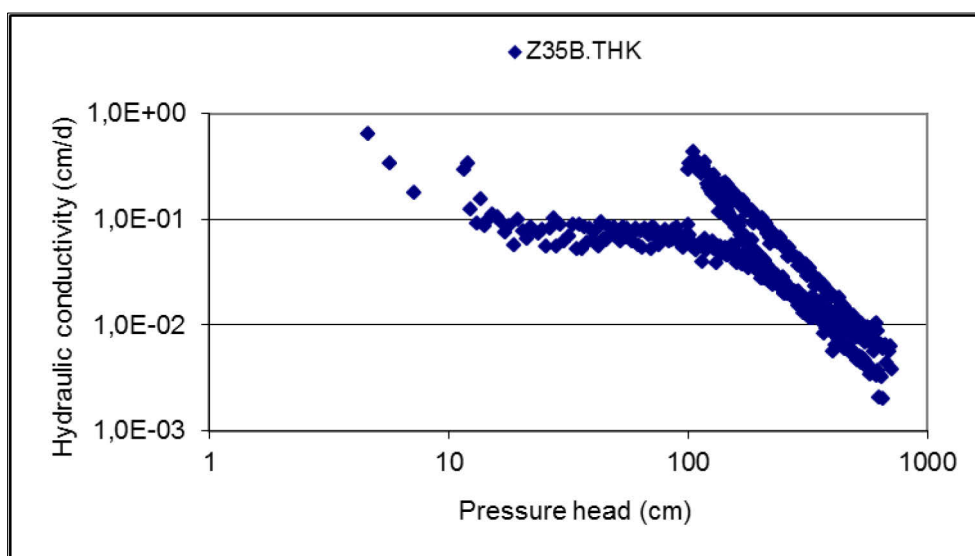
**Figuur 10**

*Beschikbaarheid van beschrijvende informatie van grondmonsters uit de periode 2000-2008*



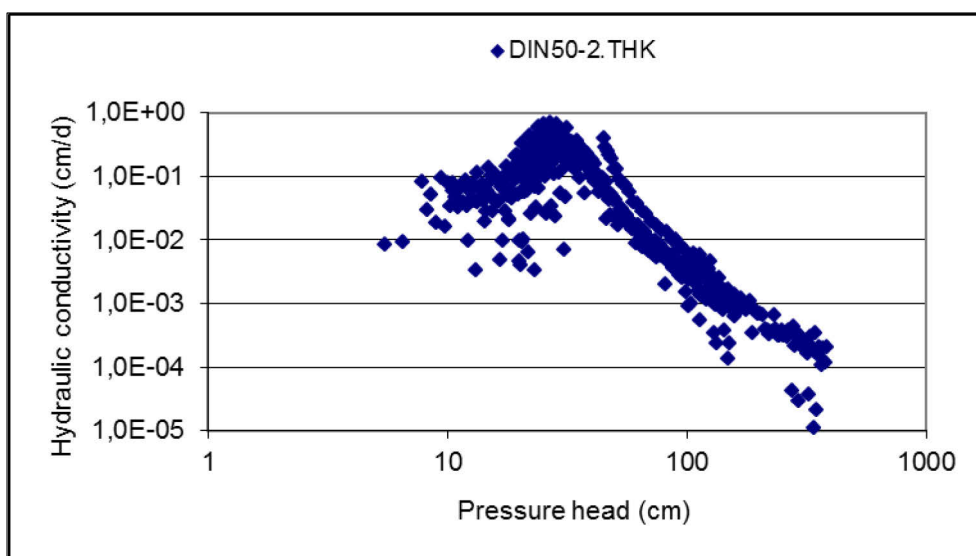
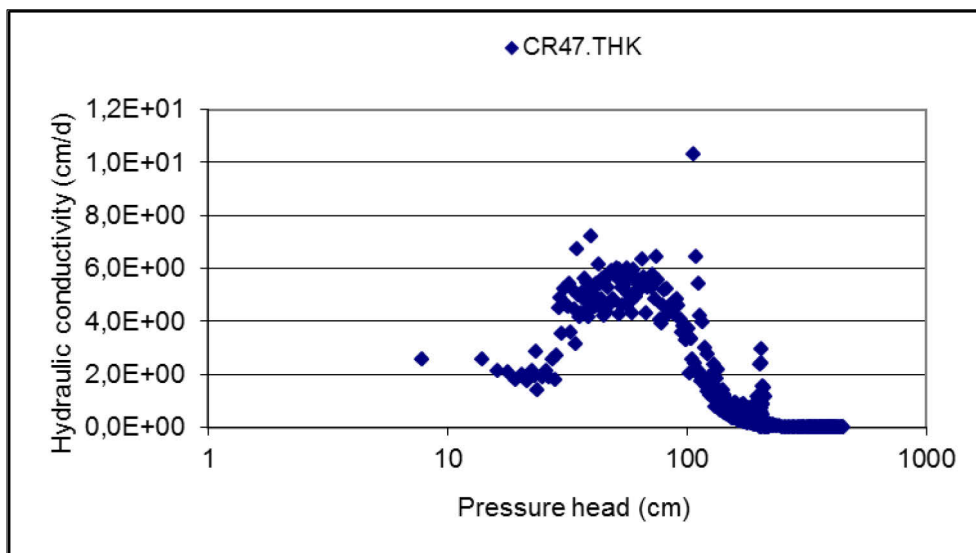
**Figuur 11**

Voorbeelden van meetgegevens van een monster dat voldoet aan het criterium 'Meetpunten 'uitwaaierend' bij overgang van droge naar natte domein van  $h$  (nr. 2).



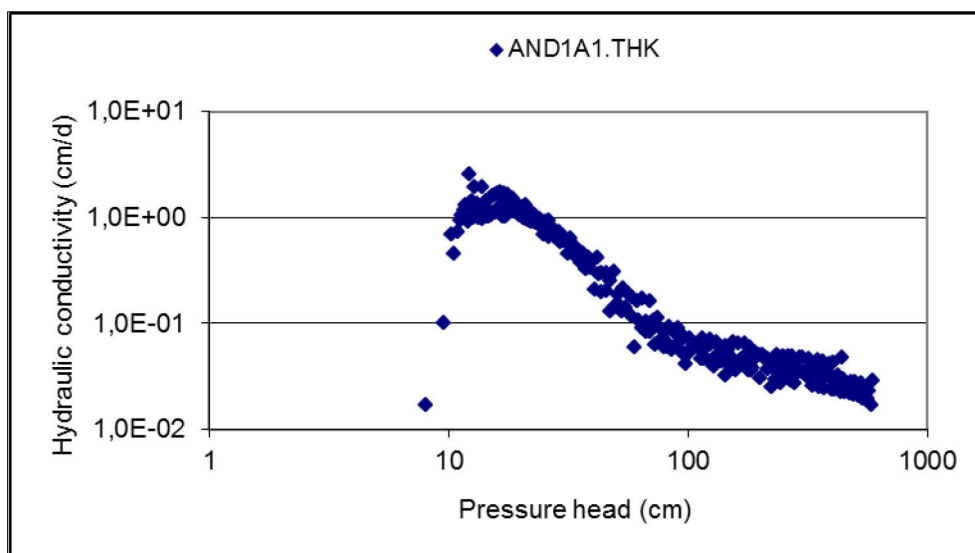
**Figuur 12**

Voorbeelden van meetgegevens van een monster dat voldoet aan het criterium  $K$  daalt niet monotoon met  $h$  (nr. 4).



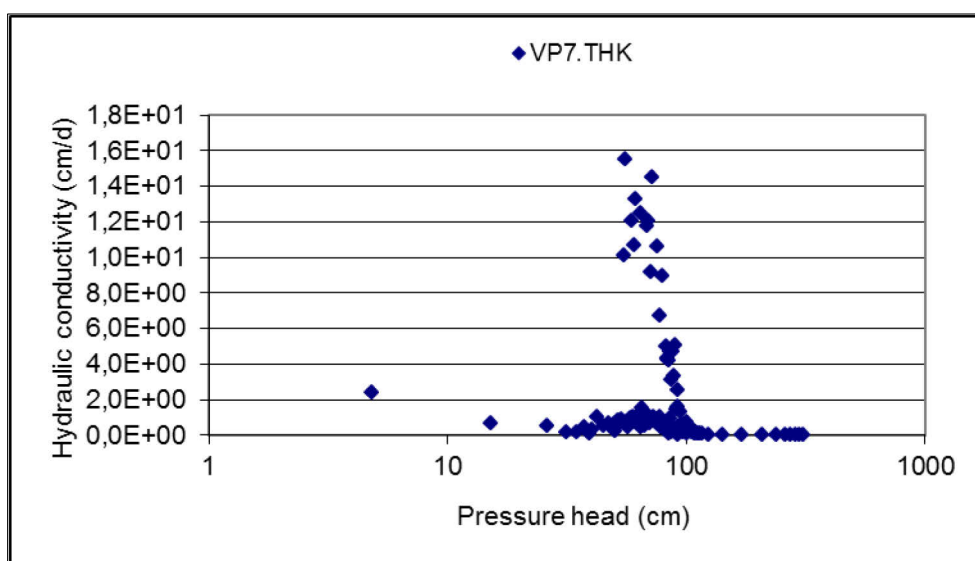
**Figuur 13**

Voorbeelden van meetgegevens van een monster dat voldoet aan het criterium 'K neemt toe met toenemende  $h$  in trajecten van  $h$  op de overgang van het natte naar het droge domein' ( $10 < |h| < 100$  cm) (nr. 5).



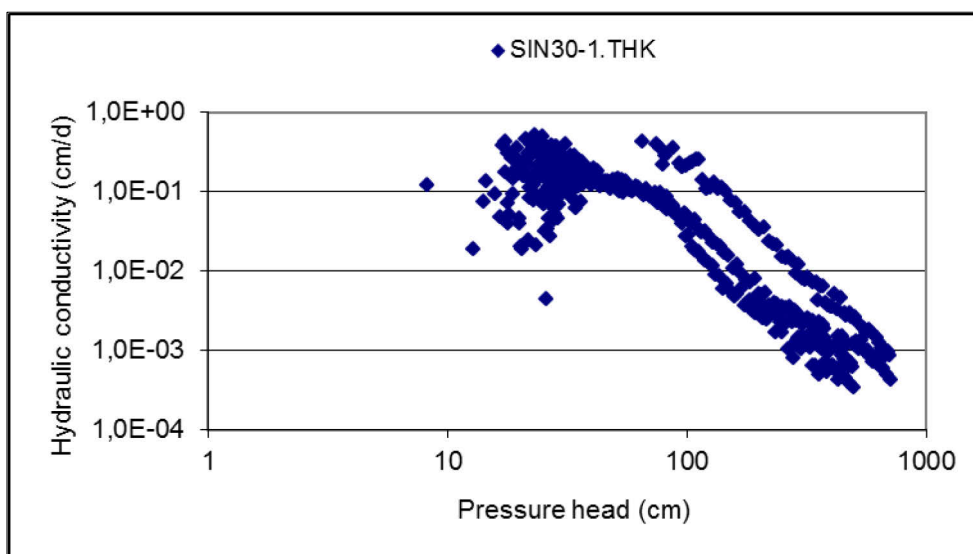
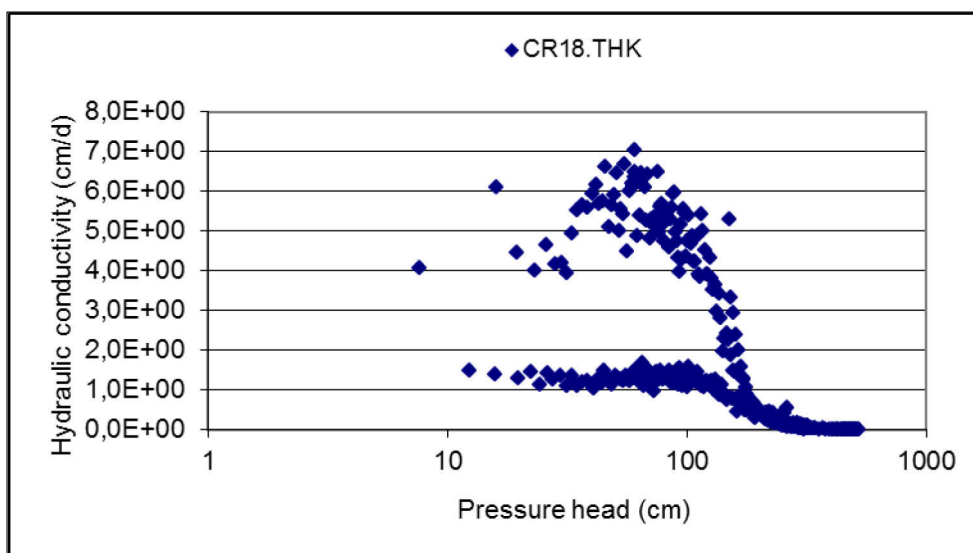
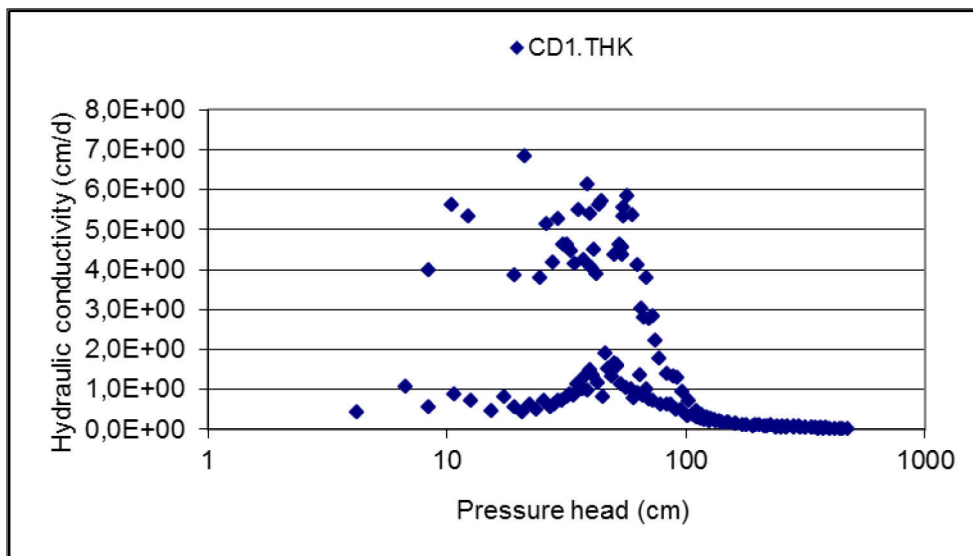
**Figuur 13 (vervolg)**

Voorbeelden van meetgegevens van monsters die voldoen aan het criterium 'K neemt toe met toenemende  $h$  in trajecten van  $h$  op de overgang van het natte naar het droge domein' (nr. 5).



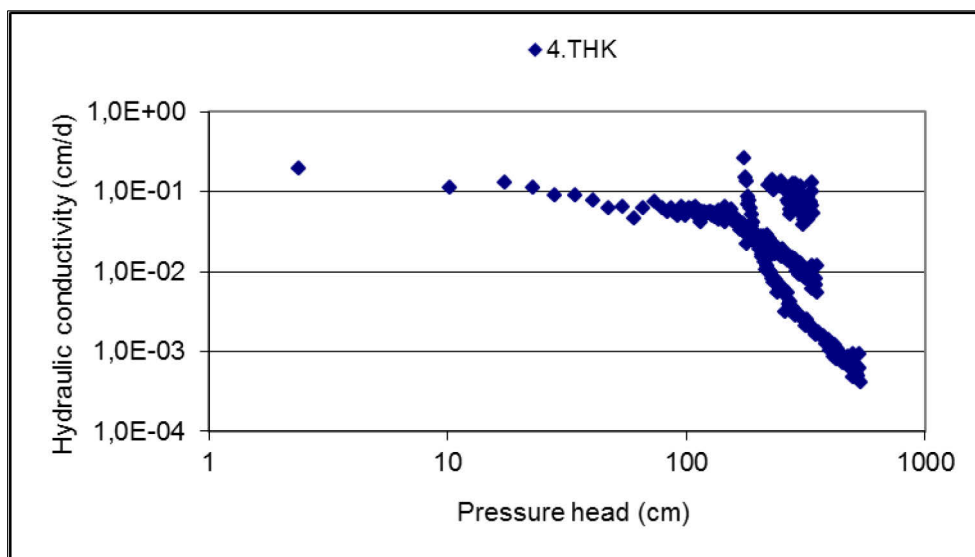
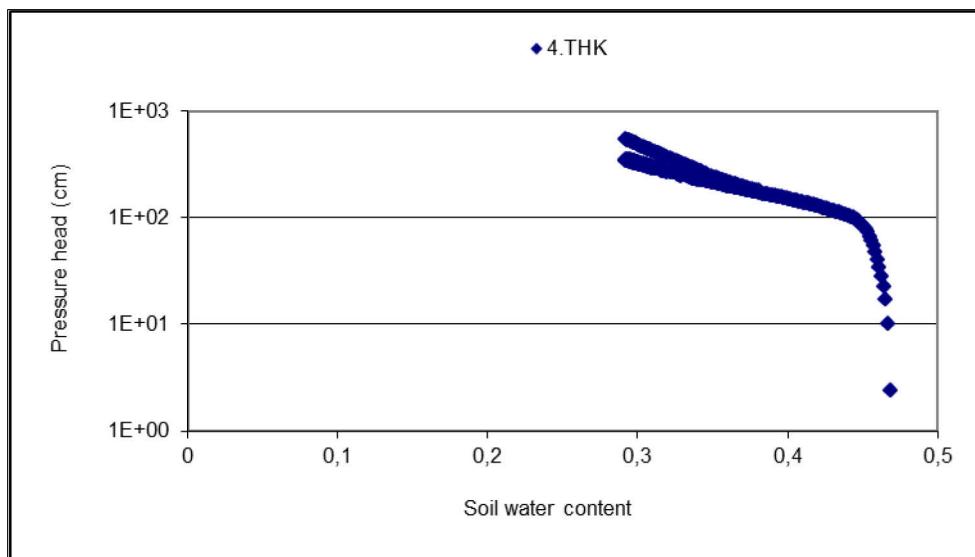
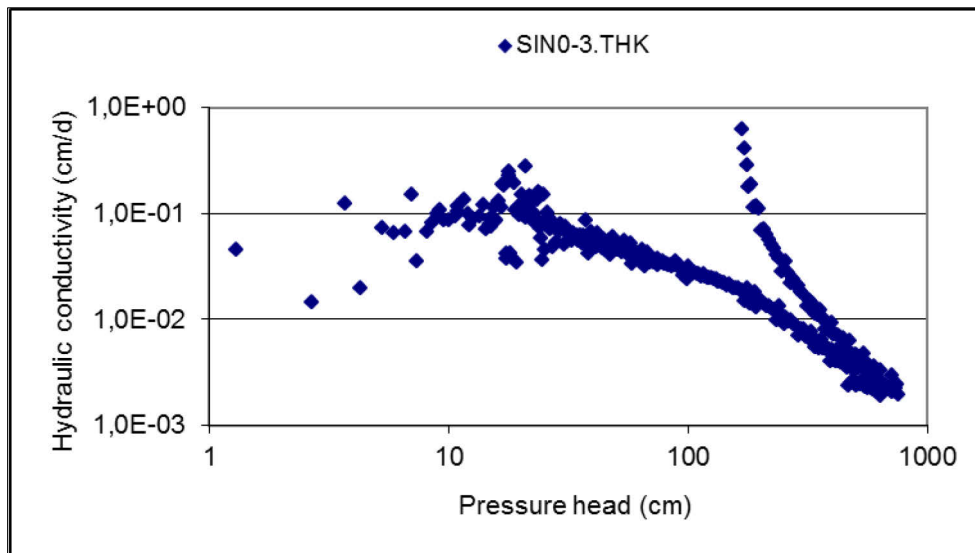
**Figuur 14**

Voorbeelden van meetgegevens van monsters die voldoen aan het criterium 'Twee of meer duidelijk verschillende trajecten van  $K(h)$ '.



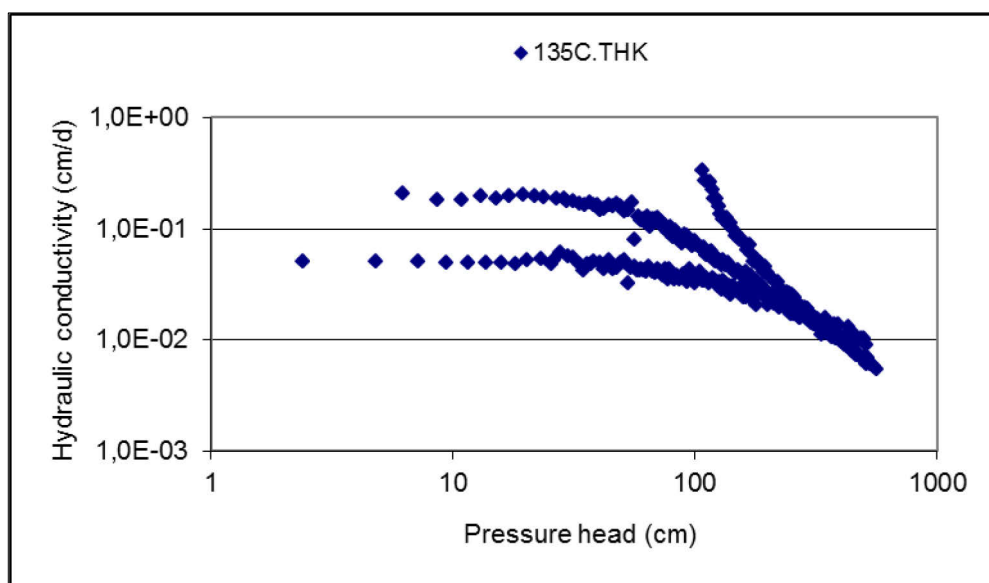
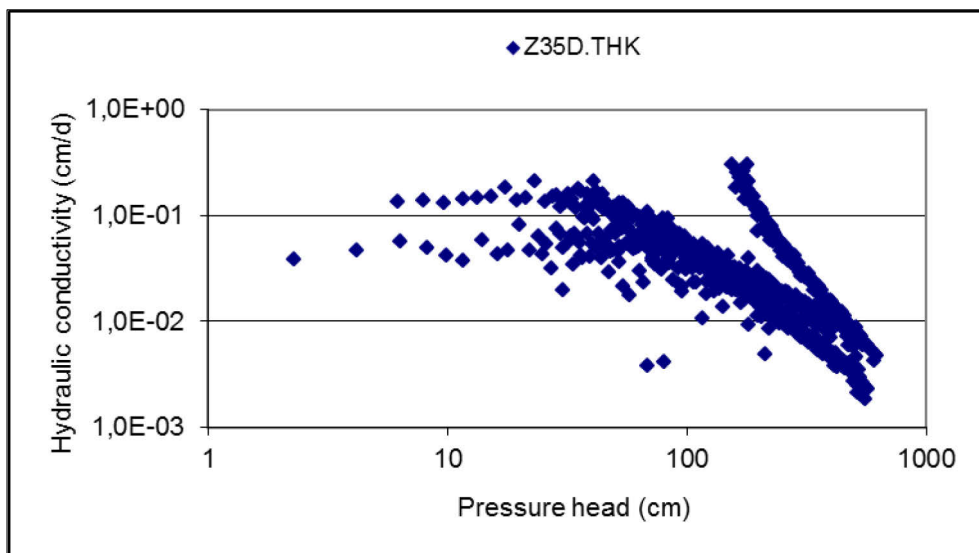
**Figuur 15**

Voorbeelden van meetgegevens van monsters die voldoen aan het criterium 'Twee of meer duidelijk verschillende trajecten van  $K(h)$ '.



**Figuur 15 (vervolg)**

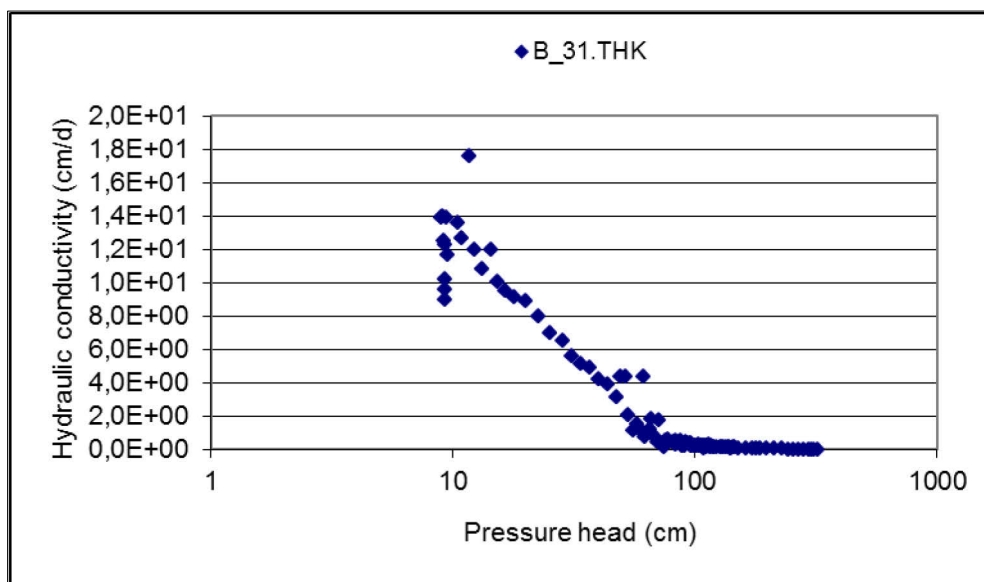
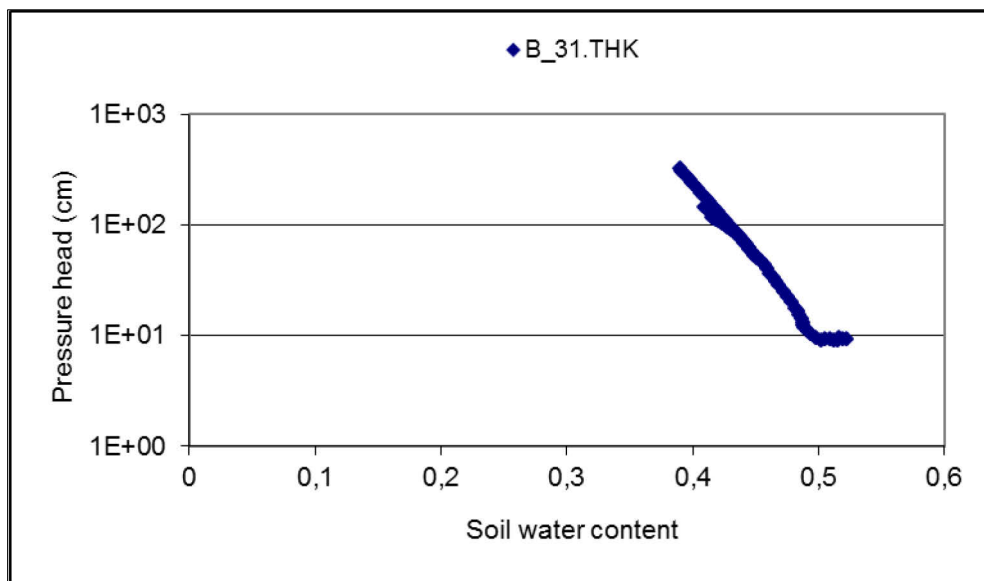
Voorbeelden van meetgegevens van monsters die voldoen aan het criterium 'Twee of meer duidelijk verschillende trajecten van  $K(h)$ '.



**Figuur 15 (vervolg)**

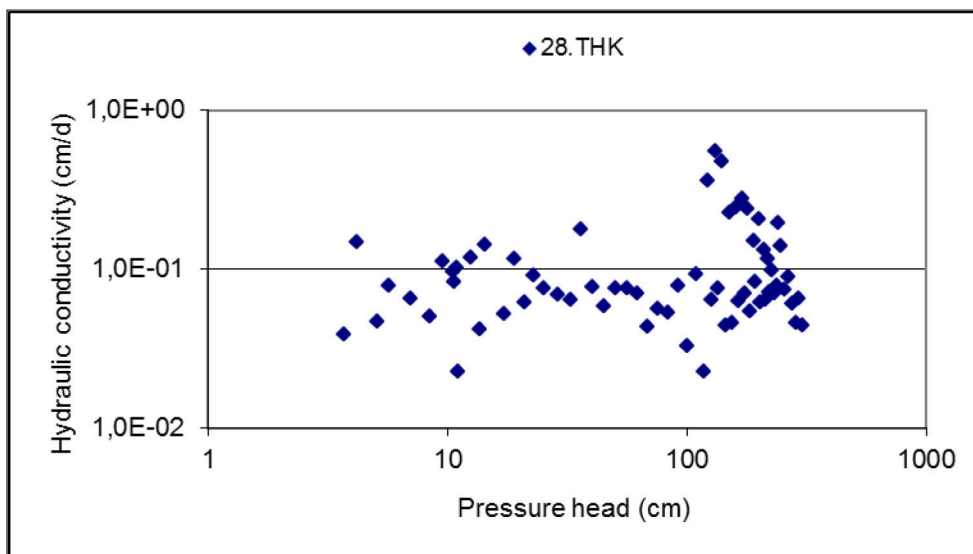
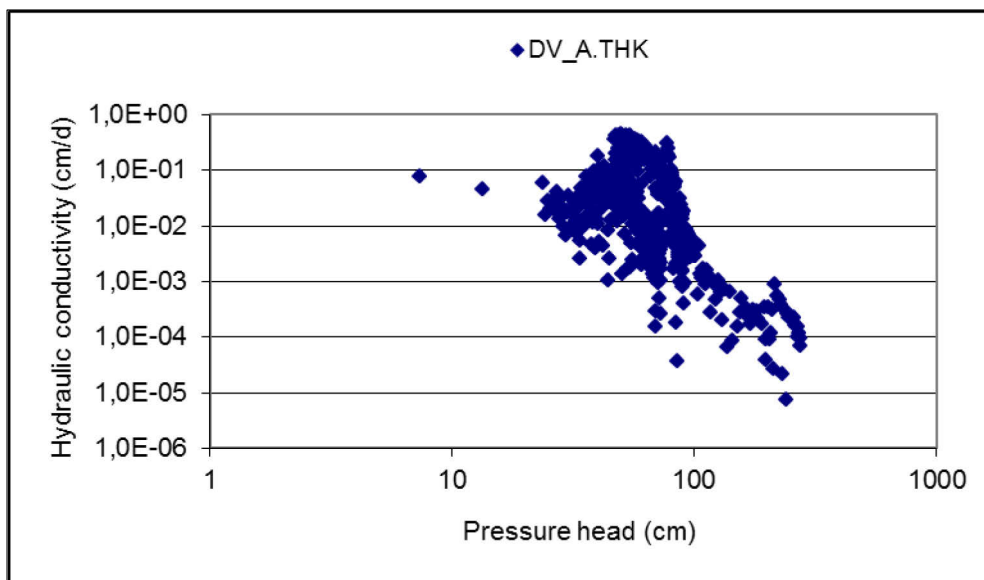
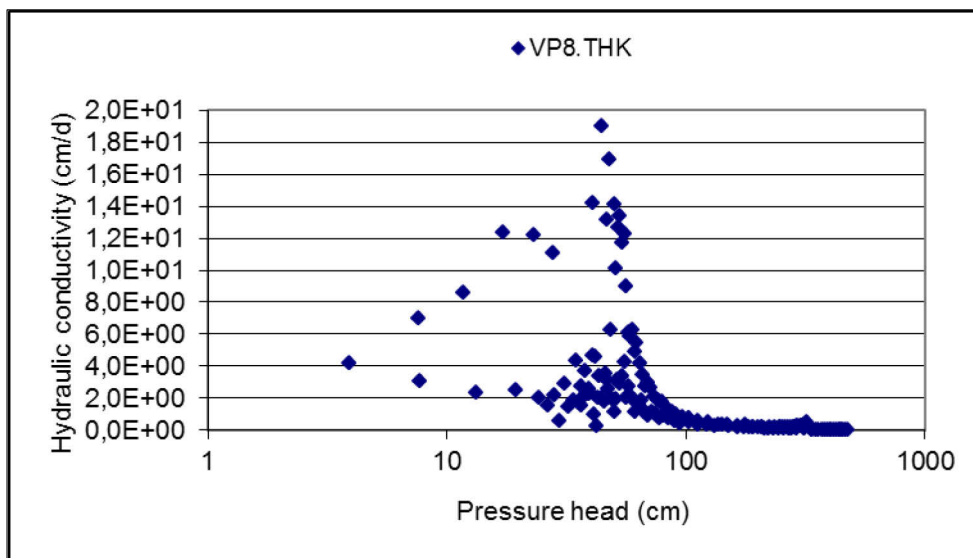
*Voorbeelden van meetgegevens van monsters die voldoen aan het criterium 'Twee of meer duidelijk verschillende trajecten van  $K(h)$ '.*





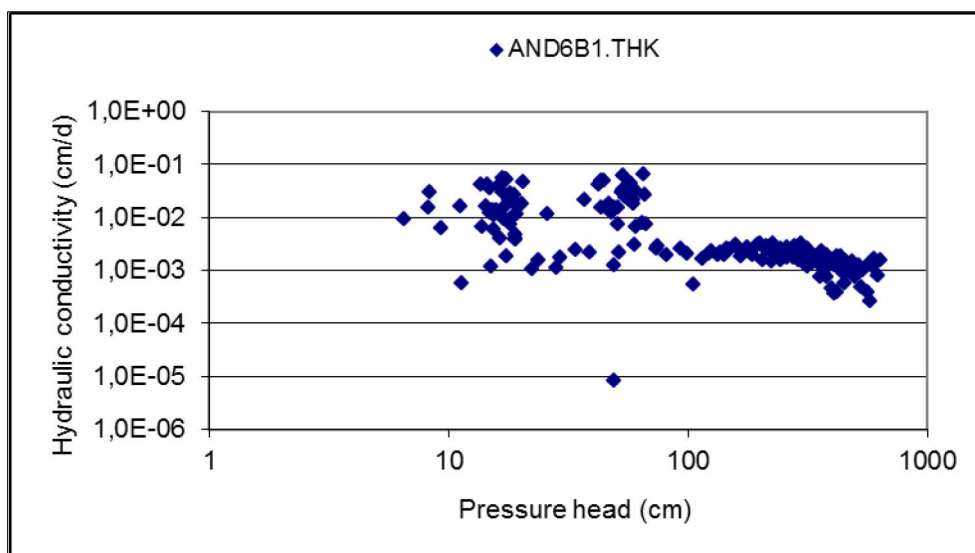
**Figuur 15 (vervolg)**

Voorbeelden van meetgegevens van monsters die voldoen aan het criterium 'Metingen in beperkt domein van  $h$ , of met onvoldoende punten voor het fitten van een functiebeschrijving' (nr. 8).



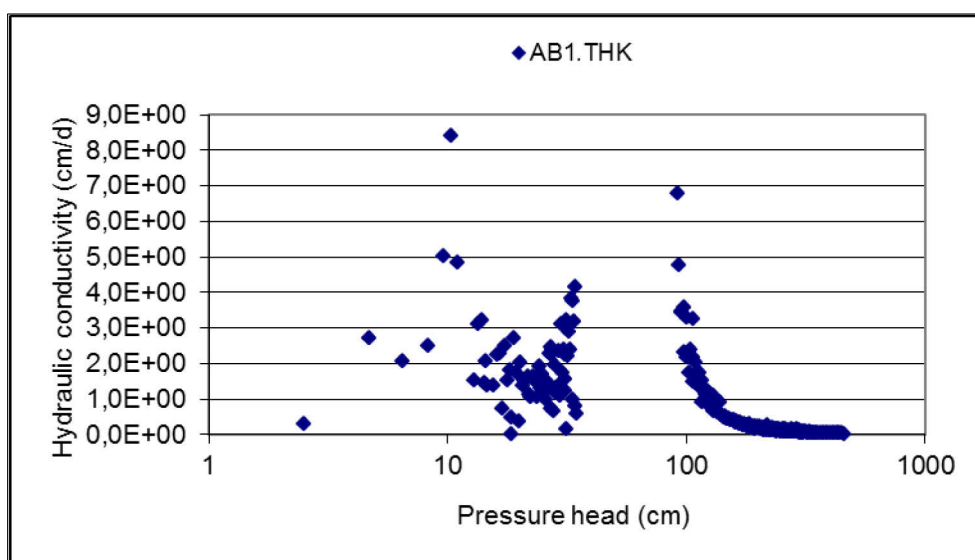
**Figuur 16**

Voorbeelden van meetgegevens van monsters die voldoen aan het criterium 'Zwakke relatie tussen  $K$  en  $h$ ' (nr. 10).



**Figuur 16 (vervolg)**

Voorbeelden van meetgegevens van monsters die voldoen aan het criterium 'Zwakke relatie tussen K en h' (nr. 10).



**Figuur 17**

Voorbeelden van meetgegevens van monsters die voldoen aan het criterium 'Sterk afwijkende meetgegevens in bepaald domein van h' (nr. 14).

### 3.3 Invloed van landgebruiksverandering op actualiteit van bodemhydraulische karakteristieken en beschrijvende gegevens

#### 3.3.1 Inleiding

Voor sommige toepassingen van bodemhydraulische karakteristieken uit het BIS wil men de bodemhydraulische karakteristieken gebruiken als functie van de locatie van het monster, bijvoorbeeld in toepassingen van digitale bodemkartering. Dit is alleen mogelijk als de bodemhydraulische karakteristieken het hydrologische gedrag van de bodemhorizont kenmerken op de locatie van interesse. Sommige monsters zijn echter tot tientallen jaren geleden genomen. Op die plaatsen kan het hydrologische gedrag van de bodem(horizont) veranderd zijn door landgebruiksverandering (e.g. Bormann et al., 2007). De belangrijkste effecten van landgebruiksverandering op het hydrologisch gedrag van de grond zijn het omzetten van de grond tot op een bepaalde diepte, de verandering van bewortelingsdiepte en afdekking van de bodem door asfalt (Van Soestbergen et al., 1986; Ten Cate et al., 1995).

Doel van dit deelonderzoek is een inschatting te maken voor welk deel van de monsters in de database met bodemhydraulische karakteristieken het landgebruik op de locatie van monsternamen is veranderd sinds het moment waarop het monster is genomen. Welke effecten dit heeft gehad op de bodemhydraulische karakteristieken is moeilijk in te schatten omdat diverse (zowel bodemfysische als bodemchemische) eigenschappen van de grond veranderen door een landgebruiksverandering (e.g. Ten Cate et al., 1995; Kros et al., 2005; De Vries en Brouwer, 2006). Een voorbeeld is de omzetting van grasland naar bouwland, waarbij gehalten aan stikstof en organische stof in de bodem snel kunnen veranderen (e.g. Velthof et al., 2009), maar ook de bodemstructuur kan veranderen door een ander type en/of een diepere (e.g. Schothorst en Hettinga, 1981).

#### 3.3.2 Werkwijze

Voor de analyse van landgebruiksveranderingen op de monsterlocaties sinds de datum van monsternamen werden 104 monsters uit Priapus geselecteerd uit het oudere deel van het gegevensbestand. Deze monsters zijn genomen in de periode 1979-2004. Voor het traceren van landgebruiksveranderingen werd gebruik gemaakt van de kaartlagen van het Landelijk Grondgebruiksbestand Nederland (LGN), versies 1 t/m 5. Deze kaartlagen zijn gebaseerd op satellietbeelden, topografische kaarten, luchtfoto's, de landbouwstatistiek van het Centraal Bureau voor de Statistiek (CBS) en referentiegegevens uit het veld. De tijdvakken waarvoor de kaartlagen het landgebruik weergeven zijn weergegeven in Tabel 3. Deze tijdvakken zijn gelijk verondersteld aan de jaren van opname van de satellietbeelden.

**Tabel 3**

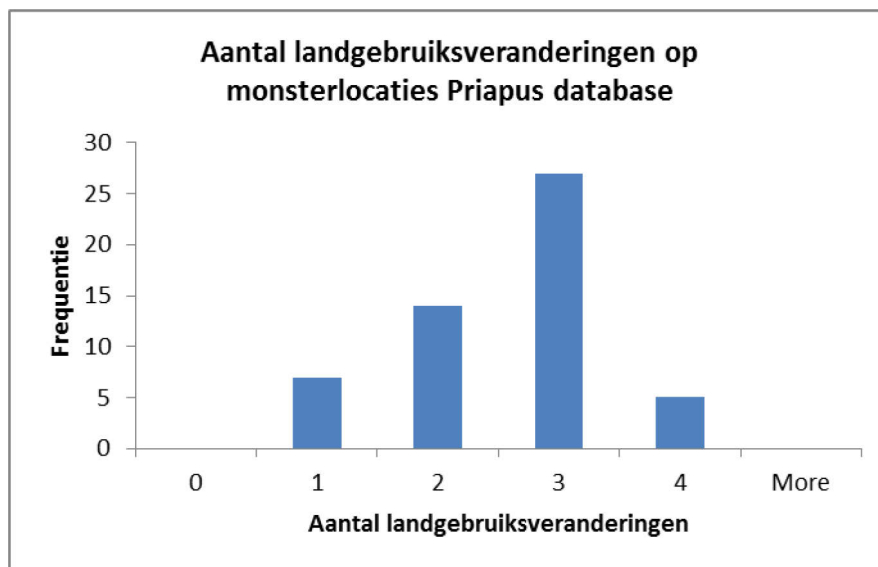
*Tijdvakken van weergave van landgebruik in Nederland door de verschillende kaartlagen van het Landelijk Grondgebruiksbestand Nederland (LGN).*

| LGN kaartlaag | Tijdvak/jaar van weergave landgebruik | Tijdvak van peiling landgebruiksverandering (aantal jaar) |
|---------------|---------------------------------------|-----------------------------------------------------------|
| LGN1          | 1986                                  |                                                           |
| LGN2          | 1992                                  | LGN1>2: 6                                                 |
| LGN3          | 1995 en 1997                          | LGN2>3: 3-5                                               |
| LGN4          | 1999-2000                             | LGN3>4: 2-5                                               |
| LGN5          | 2003-2004                             | LGN4>5: 3-5                                               |

De betrouwbaarheid en nauwkeurigheid van de kaartlagen varieert. De LGN1- en LGN2-bestanden zijn experimentele bestanden, met een lage betrouwbaarheid en nauwkeurigheid (Thunissen en Noordman, 1996). De LGN3-, LGN4- en LGN5-bestanden kennen dezelfde classificatie, maar hebben een hogere betrouwbaarheid.

### 3.3.3 Resultaten

Van de 104 monsters in de database hebben 53 monsters sinds 1986 één of meer landgebruiksveranderingen ondergaan die te onderscheiden waren binnen de klasse-indeling van de LGN-bestanden; het merendeel van de monsters drie keer (Figuur 18).



**Figuur 18**

*Aantal landgebruiksveranderingen op locaties van monstername in de herziene Priapus database.*

Het totaal aantal veranderingen is het grootst in de vergelijking van LGN1 en 2 (41). Dit kan worden verklaard doordat deze vergelijking het grootste tijdvak betreft (zes jaar, Tabel 3), en het waarschijnlijker is dat het landgebruik op de monsterlocaties veranderd is in een langere periode. Het aantal veranderingen is het kleinst in de vergelijking van LGN3 en 4 (18).

De meeste landgebruiksveranderingen waren veranderingen tussen akkerbouwgewassen onderling en van akkerbouwgewassen naar grasland en omgekeerd. Binnen de landgebruiksveranderingen tussen akkerbouwgewassen kwamen het meest voor: van granen naar bieten (16), van overige landbouwgewassen naar granen (13), van granen naar aardappelen (12), en van bieten naar aardappelen (11) (Tabel 3). Er werden geen veranderingen gevonden van en naar natuurgebied, en maar één locatie onderging een verandering naar stedelijk bebouwd gebied. Dit is opvallend, omdat de oppervlakte bebouwd gebied sinds de jaren '90 in Nederland sterk is toegenomen ([www.compendiumvoordeleefomgeving.nl](http://www.compendiumvoordeleefomgeving.nl)).

De waargenomen landgebruiksveranderingen van granen naar bieten en naar aardappelen zijn gebruikelijk in de akkerbouw als onderdeel van het bouwplan. Dit bouwplan keert veelal jaarlijks terug. Voor de in Priapus gedocumenteerde bodemhydraulische karakteristieken van monsters die uit bouwland genomen zijn, is het

landgebruik vrijwel alleen gedocumenteerd als 'bouwland ongedifferentieerd'. Het is dus niet mogelijk te achterhalen bij welk gewas de bodemhydraulische karakteristieken bepaald zijn. Op grond hiervan kan alleen worden aangenomen dat de betreffende bodemhydraulische karakteristieken in Priapus horen bij landgebruik als granen, bieten of aardappelen.

Voor akkerbouwgronden in het algemeen is de invloed van een landgebruiksverandering op bodemhydraulische karakteristieken te verwachten tot 40-45 cm diepte. Het gaat daarbij om toegenomen wielbelasting en ploegdiepte. De ploegdiepte is bijvoorbeeld toegenomen bij profielverbeteringen van veenkoloniale gronden of gronden met storende lagen in het bodemprofiel (Werkgroep Herziening Cultuurtechnisch Vademecum, 1988), door het gebruik van zwaardere ploegen door een toename van de landbouwmechanisatie sinds de jaren '50. Ook grootschalige kavelverbeteringswerkzaamheden in ruilverkavelingsgebieden sinds de jaren 60 hebben tot gevolg gehad dat de diepte van bouwvoor is toegenomen. Dit ging gepaard met een afname van het organischestofgehalte in de bovengrond en een toename van de bouwvoordikte (Te Riele, 1966; Vroon et al., 1988). Bodemkarteringsgegevens lieten in de jaren '60 vaak dikten van Ap horizonten van 15-20 cm zien; nu is dat vaak 25-35 cm voor Ap en A/Bp horizonten. Het organische stofgehalte in akkerbouwgronden is ook veranderd door gebruik van andere typen mest (of groenbemester) (e.g. Van Schooten et al., 2006).

Veranderingen van permanent grasland in akkerbouwgewassen zijn mogelijk voor vijftien monsterlocaties het geval geweest (Tabel 4). Landgebruik als grasland is echter voor de meeste monsters in Priapus gedocumenteerd als 'grasland ongedifferentieerd'. Daardoor is niet bekend op hoeveel van de locaties met verandering naar akkerbouwgewas permanent grasland aanwezig was. De omzetting van permanent grasland naar akkerbouwgewas leidt tot het vrijkomen van stikstof (Velthof, 2005; Velthof et al., 2009), en mogelijk tot grondbewerking op grotere diepte, waardoor het organische stofgehalte kan zijn afgenomen (Smit en Kuikman, 2005). Volgens Velthof (2004) heeft het strengere mest- en mineralenbeleid dat werd ingevoerd tussen 1995 en 2002 niet geleid tot een duidelijke vermindering van de aanvoer van organische stof naar landbouwgronden, ondanks dat de stikstof- en fosfaataanvoer wel sterk is gedaald (Smit en Kuikman, 2005). Omzettingen van bouwland naar grasland werden op acht monsterlocaties waargenomen (Tabel 4). Deze kunnen geleid hebben tot het toenemen van het organische stofgehalte (Freibauer et al., 2004; Smit en Kuikman, 2005).

De analyse van landgebruiksveranderingen op monsterlocaties heeft enkele beperkingen. In de eerste plaats is van vijftien monsters is de monsterlocatie slechts met een nauwkeurigheid van 1000 of 100 m bekend. Voor deze locaties is het landgebruik in de LGN-bestanden (resolutie 25 m) onzeker. De onzekerheid in locaties is vooral van invloed op gronden met diepe tot zeer diepe grondbewerkingen, zoals de veenkoloniale gronden, omdat de variabiliteit in bodemhydraulische karakteristieken daar het grootst is. In de tweede plaats geeft de analyse geen informatie over eventuele landgebruiksveranderingen die binnen de beschouwde tijdvakken van twee tot vijf jaar hebben plaatsgevonden. In de derde plaats zijn de effecten van ruilverkavelingen vanaf de jaren '50 tot nu, anders dan landgebruiksverandering, niet zichtbaar in de analyse. Deze effecten zijn het egaliseren en ontwateren van percelen, en het dempen van sloten. Deze veranderingen hebben invloed gehad op de pakkingsgraad van de grond. In het algemeen geldt dat de dichtheid van de grond zal zijn toegenomen, en de hoeveelheid organische stof zal zijn afgenomen (e.g. Kiestra, 2008).

### **3.3.4 Conclusies**

Samenvattend kan gesteld worden dat sinds 1986 op ongeveer de helft van de monsterlocaties uit Priapus het landgebruik één of meer malen is veranderd. De veranderingen waren hoofdzakelijk veranderingen tussen akkerbouwgewassen onderling en van akkerbouwgewassen naar grasland. De veranderingen tussen akkerbouwgewassen waren waarschijnlijk onderdeel van bouwplannen van granen, bieten en aardappelen.

Algemene veranderingen op akkerbouwgronden betroffen de toegenomen wielbelasting en ploegdiepten sinds de jaren '60. Veranderingen van permanent grasland naar bouwland kunnen geleid hebben tot het afnemen van gehalten aan stikstof en organische stof in de bodem, en tot een grotere bewerkingdiepte.

Het vertalen van de gevonden veranderingen in gevolgen voor de bodemhydraulische karakteristieken is moeilijk, omdat veranderingen in de bodemfysische en bodemchemische eigenschappen van de bodem een complex samengesteld effect kunnen hebben. Daarbij zijn veranderingen in het effect van landgebruiksverandering op bodemleven niet beschouwd, terwijl deze van groot belang kunnen zijn voor het hydrologisch gedrag van gronden (bijvoorbeeld de invloed van wormgangen op de waterdoorlatendheid).

Over het algemeen kan gesteld worden dat de toegenomen wielbelasting geleid kan hebben geleid tot toegenomen dichtheid, en daarmee op een lagere waterretentie en doorlatendheid van vooral de horizonten in de ondergrond vlak onder de meest voorkomende ploegdiepte. De effecten zijn het grootst in zeer lichte en matig lichte zavelgronden en zandgronden (Van den Akker en De Groot, 2007). De afname van organische stofgehalten op locaties die op akkerbouwgrond gesitueerd waren, en op locaties die naar akkerbouwgrond zijn omgezet, kan gevolgen hebben gehad op de waterretentiecurve. In het algemeen is de invloed van het organische stofgehalte op het volume percentage vocht het grootst in het traject van  $h = 0$  tot  $-1000$  cm. Globaal bedraagt de toename ca. 1,5 volumeprocent vocht per procent organische stof. Beneden een drukhoogte van  $h = -1000$  cm neemt de invloed iets af (Krabbenborg, 1983). Niet alleen het organische stofgehalte is van invloed op het vochtgehalte, maar ook het soort organische stof, het leemgehalte, de mediaan van de zandfractie, de dichtheid van de grond en de ligging ten opzichte van het grondwater.

Over de effecten van afgenomen stikstofgehalten op de bodemhydraulische karakteristieken werd geen literatuur gevonden. Over het algemeen kan verwacht worden dat minerale stikstof geen invloed heeft op de bodemhydraulische karakteristieken, maar organische stikstof mogelijk wel (Van Beek, pers. comm.).

**Tabel 4**

Totaal aantal landgebruiksveranderingen op de monsterlocaties in de periode 1986-2004. De gekleurde cellen geven de meest voorkomende veranderingen aan.

|                 |                              | Naar landgebruik |                              |          |        |        |             |      |                                  |                                   |                       |                                |                                    |
|-----------------|------------------------------|------------------|------------------------------|----------|--------|--------|-------------|------|----------------------------------|-----------------------------------|-----------------------|--------------------------------|------------------------------------|
|                 |                              | gras             | gras in<br>bebouwd<br>gebied | naaldbos | granen | bieten | aardappelen | mais | overige<br>landbouw-<br>gewassen | aardappelen/<br>bieten/<br>overig | bebouwing<br>en wegen | stedelijk<br>bebouwd<br>gebied | Totaal<br>veranderingen<br>van ... |
| Van landgebruik | gras                         | 0                | 0                            | 0        | 5      | 5      | 0           | 4    | 1                                | 0                                 | 0                     | 1                              | 16                                 |
|                 | gras in bebouwd gebied       | 0                | 0                            | 0        | 0      | 0      | 0           | 0    | 0                                | 0                                 | 0                     | 0                              | 0                                  |
|                 | naaldbos                     | 3                | 0                            | 0        | 0      | 0      | 0           | 0    | 0                                | 0                                 | 0                     | 0                              | 3                                  |
|                 | granen                       | 5                | 0                            | 0        | 0      | 16     | 12          | 0    | 0                                | 6                                 | 0                     | 0                              | 39                                 |
|                 | bieten                       | 0                | 3                            | 0        | 8      | 0      | 11          | 0    | 5                                | 0                                 | 0                     | 0                              | 27                                 |
|                 | aardappelen                  | 2                | 0                            | 0        | 6      | 6      | 0           | 0    | 4                                | 0                                 | 0                     | 0                              | 18                                 |
|                 | mais                         | 1                | 1                            | 0        | 0      | 0      | 0           | 0    | 0                                | 0                                 | 0                     | 0                              | 2                                  |
|                 | overige landbouwgewassen     | 0                | 0                            | 0        | 13     | 2      | 0           | 0    | 0                                | 0                                 | 0                     | 0                              | 15                                 |
|                 | aardappelen/bieten/overig    | 0                | 0                            | 0        | 6      | 0      | 0           | 0    | 0                                | 0                                 | 0                     | 0                              | 6                                  |
|                 | bebouwing en wegen           | 5                | 1                            | 0        | 0      | 0      | 0           | 0    | 0                                | 0                                 | 0                     | 0                              | 6                                  |
|                 | stedelijk bebouwd gebied     | 0                | 0                            | 0        | 0      | 0      | 0           | 0    | 0                                | 0                                 | 0                     | 0                              | 0                                  |
|                 | Totaal veranderingen naar... | 16               | 5                            | 0        | 38     | 29     | 23          | 4    | 10                               | 6                                 | 0                     | 1                              | 132                                |



## 4 Een nieuwe functiebeschrijving voor bodemhydraulische karakteristieken

### 4.1 Inleiding

De relaties tussen vochtgehalte, drukhoogte en hydraulisch geleidingsvermogen zijn essentieel voor het bepalen van de onverzadigde grondwaterstroming. Er zijn verschillende methoden bekend om deze relaties in het veld of het laboratorium te bepalen (zie bijv. Wind, 1966; Bouma, Hillel et al., 1971; Bouma en Denning 1972; Boels et al. 1978; Bresler et al. 1978; Ahuja et al., 1980; Kool en Parker, 1987a, b; Kool en Parker, 1988; Stolte en Veerman, 1990; Van Dam et al., 1990). Sommige auteurs proberen deze verbanden af te leiden van andere bodemfysische gegevens zoals de korrelgrootteverdeling en het organische stofgehalte (Bruce, 1972; Bloemen, 1980; Schuh en Bauder, 1986; Alexander en Skaggs, 1987; Ahuja et al., 1988). Er zijn meer soorten analytische functies toegepast om de bodemfysische eigenschappen te beschrijven. Leij et al. (1997) en Leong en Rahardjo (1997) geven uitstekende overzichten van toegepaste analytische beschrijvingswijzen.

De meest-gebruikte analytische methode voor het beschrijven van de bodemfysische relaties is geïntroduceerd door Van Genuchten (1980) voor de waterretentiekarakteristiek, en door Mualem (1976) voor de doorlatendheidskarakteristiek. Samen staan ze bekend als de Mualem-Van Genuchten-vergelijkingen. Hierbij worden de  $K(h)$ - en  $h(\theta)$ -relaties beschreven als S-vormige krommen met slechts zes parameters. Er is echter aangetoond dat deze benadering nog kan worden verbeterd (Fuentes et al., 1991; Fuentes et al., 1992). De vergelijkingen zijn:

$$\theta = \theta_r + \frac{\theta_s - \theta_r}{\left(1 + |\alpha h|^n\right)^m} \quad \text{vergelijking 2}$$

$$h = -\frac{\left(\left(\frac{\theta_s - \theta_r}{\theta - \theta_r}\right)^{\frac{1}{m}} - 1\right)^{\frac{1}{n}}}{\alpha} \quad \text{vergelijking 3}$$

$$K = K_0 \frac{\left(\left(1 + |\alpha h|^n\right)^m - |\alpha h|^{n-1}\right)^2}{\left(1 + |\alpha h|^n\right)^{m(l+2)}} \quad \text{vergelijking 4}$$

waarbij

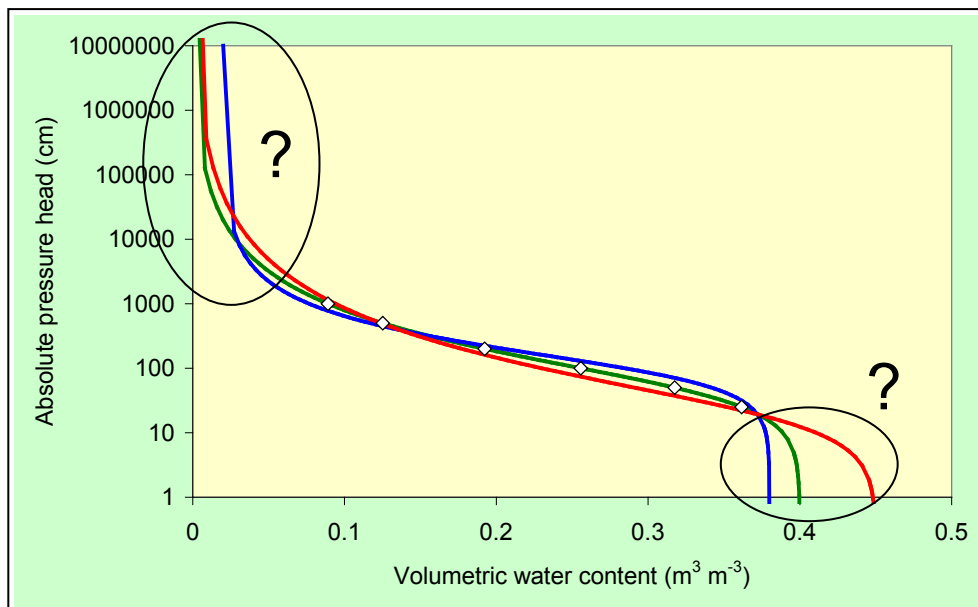
$$m = 1 - \frac{1}{n} \quad \text{vergelijking 5}$$

Differentiatie levert een vergelijking voor de differentiele vochtcapaciteit:

$$C_{\theta} = \frac{\partial \theta}{\partial h} = n \cdot m \cdot \alpha \cdot |\alpha h|^{n-1} \cdot \frac{\theta_s - \theta_r}{(1 + |\alpha h|^n)^{m+1}} \quad \text{vergelijking 6}$$

In deze vergelijkingen is  $h$  = drukhoogte (cm),  $\theta$  = vochtgehalte ( $\text{cm}^3 \cdot \text{cm}^{-3}$ ),  $K$  = hydraulisch geleidingsvermogen ( $\text{cm} \cdot \text{d}^{-1}$ ),  $C$  = differentiele vochtcapaciteit ( $\text{cm}^{-1}$ ).  $\alpha (>0, \text{in cm}^{-1})$  is gerelateerd aan de inverse van de luchtintreewarde;  $n (>1)$  is een maat voor de proïëngrootteverdeling;  $K_0$  is de gefitte waarde van  $K$  bij verzadiging ( $\text{cm} \cdot \text{d}^{-1}$ ), en  $l$  is een parameter die gewoonlijk de waarde 0.5 wordt gegeven. De parameters voor de bovenstaande vergelijkingen kunnen soms met inverse modellering bepaald worden (Yeh, 1986; Jhorar et al., 2001), maar het merendeel wordt afgeleid van meetgegevens. Relaties tussen bodemhydraulische karakteristieken en andere bodemeigenschappen (pedotransfer-functies) (e.g. organische stofgehalte, korrelgrootteverdeling, textuur) worden in toenemende mate gebruikt (Stolte et al., 1996; Schaap en Leij, 1998; Minasny et al. 1999; Elsenbeer, 2001; Schaap et al., 2001; Van Alphen et al., 2001; Wösten et al., 2001; Nemes, 2003).

De waarden van  $K$  en  $\theta$  volgens het Mualem-Van Genuchtenmodel zijn het meest variabel in het 'droge traject' (bij grote waarden van de absolute drukhoogte) en in het 'natte traject' (bij kleine waarden van de absolute drukhoogte) (Figuur 19). De simulatie van onverzadigde stroming en stoffentransport in deze trajecten is gevoelig voor veranderingen in  $K$  en  $\theta$ . In deze trajecten vaak weinig meetpunten beschikbaar van  $K$  en  $\theta$ , zodat extrapolatie op basis van de meetpunten in het tussenliggende traject nodig is.



**Figuur 19**

Variatie van de waterretentiecurve volgens het Mualem-Van Genuchtenmodel in het 'droge' en 'natte' traject. Bron: Marius Heinen, Alterra, Wageningen UR.

Doel van dit deelproject is een nieuwe functiebeschrijving te ontwikkelen voor meetpunten van  $K$  en  $\theta$  als functie van de drukhoogte  $h$ , die de afwijkingen tussen de meetpunten en de functiebeschrijvingen minimaliseert, en die betere voorspellingen van de waarden van  $K$  en  $\theta$  geeft in het droge en natte traject dan

het Mualem-Van Genuchtenmodel. Hiervoor werd gekozen voor een functiebeschrijving met cubical splines. Zie voor meer details ook Wesseling et al. (2008) en Wesseling (2009). Bij de ontwikkeling van de functiebeschrijving met cubical splines werd ervan uitgegaan dat gemeten waarden van  $K$  en  $\theta$  als functie van  $h$  beschikbaar zijn in de vorm van een serie punten.

## 4.2 Werkwijze

Eén van de meest krachtige wiskundige methoden om functies te beschrijven is het toepassen van 'splines'. Dit zijn stapsgewijs continue polynomen. Verschillende typen splines zijn toegepast in de bodemkunde, zoals cubical splines (Hampton, 1990; Kastanek en Nielsen, 2001; Prunty en Casey, 2002), en kwadratische B-splines (Bitterlich, Durner et al. 2004). De interpolatie met splines is beschikbaar in wiskundige en statistische software zoals MatLab ([www.mathworks.com/products/curvefitting/description5.html](http://www.mathworks.com/products/curvefitting/description5.html)) en Statistica (<http://www.statsoft.com>), maar deze zijn niet altijd toegankelijk voor onderzoekers. Bovendien zijn de meeste onderzoekers niet bekend met de theorie achter splines. In deze paragraaf wordt de theorie van splines in het algemeen beschreven. Splines worden beschreven door een aantal datapunten te definiëren. Deze punten worden soms 'Virtual Data Points' genoemd (zie Kastanek en Nielsen, 2001). De functiewaarden voor punten tussen de Virtual Data Points worden berekend door de waarde van de spline functie te berekenen. Veronderstel dat we een serie (virtuele) datapunten  $(x_i, y_i)$  hebben, met  $i=1..N$ . We nemen aan dat de serie gerangschikt is voor  $x$ , ofwel  $x_i < x_{i+1}$ , en richten ons op het interval  $[x_i, x_{i+1}]$ . Lineaire interpolatie in dit interval geeft de interpolatieformule:

$$y = \alpha y_i + \beta y_{i+1} \quad \text{vergelijking 7}$$

met

$$\alpha = \frac{x_{i+1} - x}{x_{i+1} - x_i} \quad \text{vergelijking 8}$$

en

$$\beta = 1 - \alpha = \frac{x - x_i}{x_{i+1} - x_i} \quad \text{vergelijking 9}$$

Omdat de functie stapsgewijs lineair is, heeft de vergelijking een tweede afgeleide van 0 in het midden van elk interval, en een niet-gedefinieerde tweede afgeleide op de as  $x_i$ . Het doel van interpolatie met cubical splines is een interpolatieformule te krijgen die homogeen is in de eerste afgeleide en continu in de tweede afgeleide, zowel binnen het interval als op de grenzen van het interval. Hiervoor moet de tweede afgeleide lineair variëren van een waarde  $y_i''$  aan de linkerkant tot een waarde van  $y_{i+1}''$  aan de rechterkant van het interval. Om aan deze voorwaarde te voldoen moeten we een derdegraadspolynoom gebruiken in plaats van een lineaire relatie. Dit zal de gewenste continue afgeleide functie opleveren. De polynoom moet zodanig opgebouwd worden dat hij waarden van 0 heeft op  $x_i$  en  $x_{i+1}$ , waardoor het optellen van lijnstukken de overeenkomst tussen de waarden  $y_i$  en  $y_{i+1}$  bij  $x_i$  en  $x_{i+1}$  niet ongedaan maakt. Dit levert de volgende interpolatieformule op:

$$y = \alpha y_i + \beta y_{i+1} + \gamma y_i'' + \eta y_{i+1}'' \quad \text{vergelijking 10}$$

waarin

$$\gamma = \frac{1}{6}(\alpha^3 - \alpha)(x_{i+1} - x_i)^2 \quad \text{vergelijking 11}$$

En

$$\eta = \frac{1}{6}(\beta^3 - \beta)(x_{i+1} - x_i)^2 \quad \text{vergelijking 12}$$

Het is eenvoudig na te gaan dat  $y$  de tweede afgeleide is van de polynomiale interpolatiefunctie. Wetend dat  $\alpha$ ,  $\beta$ ,  $\gamma$  en  $\eta$  functies zijn van  $x$ , is het mogelijk de afgeleide van  $y$  ten opzichte van  $x$  te vinden:

$$\frac{dy}{dx} = \frac{y_{i+1} - y_i}{x_{i+1} - x_i} = \frac{3\alpha^2 - 1}{6}(x_{i+1} - x_i)y_i'' + \frac{3\beta^2 - 1}{6}(x_{i+1} - x_i)y_{i+1}'' \quad \text{vergelijking 13}$$

en de tweede afgeleide:

$$\frac{d^2y}{dx^2} = \alpha y_i'' + \beta y_{i+1}'' \quad \text{vergelijking 14}$$

De kerngedachte van cubical splines is dat de eerste afgeleide continu moet zijn over de grens tussen twee intervallen. Op basis hiervan worden vergelijkingen afgeleid voor de tweede afgeleiden. Deze worden verkregen door de eerste afgeleide voor  $x=x_i$  in  $[x_{i-1}, x_i]$  gelijk te stellen aan dezelfde vergelijking voor  $x=x_i$  in  $[x_i, x_{i+1}]$ . Na herschikken geeft dit voor iedere  $i \in [2..N-1]$ :

$$\frac{x_i - x_{i-1}}{6} y_{i-1}'' + \frac{x_{i+1} - x_{i-1}}{3} y_i'' + \frac{x_{i+1} - x_i}{6} y_{i+1}'' = \frac{y_{i+1} - y_i}{x_{i+1} - x_i} - \frac{y_i - y_{i-1}}{x_i - x_{i-1}} \quad \text{vergelijking 15}$$

Deze vergelijkingen zijn  $N-2$  lineaire vergelijkingen in de  $N$  onbekenden  $y''_i$ ,  $i=1..N$ . Voor een unieke oplossing moeten we twee andere randvoorwaarden stellen bij  $x_1$  en  $x_N$ . Dit kan door één van beide grenzen op nul te stellen, of door de eerste afgeleide te berekenen op een vastgestelde waarde op één van de grenzen. Na het berekenen van de tweede afgeleiden voor de eerste keer, moeten de waarden worden opgeslagen, en kan de interpolatie tussen de punten worden uitgevoerd volgens vergelijking 7. Zie Press et al. (1986) en Erh (1972) voor meer informatie over de constructie van splines.

#### 4.2.1 Bepalen van de Virtuele Data Punten

In de voorgaande paragraaf werd beschreven hoe cubical splines benaderd kunnen worden. De vraag is nu op welke manier de Virtuele Data Punten  $(x_i, y_i)$ , die de gemeten data het best benaderen, gevonden kunnen worden. Voor dit doel zijn technieken nodig om parameters te kunnen schatten.

De meeste bodemfysische relaties kunnen beschreven worden door een wiskundige functie  $f$  met parameters  $p$ . Afhankelijk van de waarde van de parameterset  $p$ , geven een serie input-data (statusvariabelen)  $\underline{x}$  (een vector), toegepast op het systeem dat  $f$  beschrijft, en onder aannamen van initiële condities en randvoorwaarden, een serie outputdata  $\underline{\hat{y}}$  (ook een vector). In wiskundige vorm geschreven:

$$\underline{\hat{y}} = f(\underline{p}, \underline{x}) \quad \text{vergelijking 16}$$

waar

|                       |                                                                                                                                                                  |
|-----------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| $\underline{x}$       | vector met onafhankelijke (toestands)variabelen                                                                                                                  |
| $\underline{p}$       | parametervector                                                                                                                                                  |
| $\underline{\hat{y}}$ | vector met outputdata                                                                                                                                            |
| $N_x$                 | aantal statusvariabelen (dimensie van vector $\underline{x}$ )                                                                                                   |
| $N_y$                 | aantal outputdata (dimensie van vector $\underline{y}$ )                                                                                                         |
| $N_p$                 | aantal parameters (dimensie van vector $\underline{p}$ )                                                                                                         |
| $f$                   | wiskundige functie die de conversie van input data $\underline{x}$ naar output data $\underline{y}$ beschrijft, afhankelijk van de parameter set $\underline{p}$ |

In deze context kan de functie  $f$  variëren van een simpele relatie tot een complexe set van vergelijkingen. Zie bijvoorbeeld Vrugt et al. (2002) en Mertens (2003) voor meer informatie over methoden voor parameteridentificatie en -schatting in de bodemhydrologie.

In sommige gevallen is de vector  $\underline{p}$  vooraf bekend. Dan kan de outputvector  $\underline{\hat{y}}$  van de functie  $f$  beschouwd worden als een accurate respons op de data in de input vector  $\underline{x}$ , aangenomen dat het systeem correct beschreven wordt door  $f$ . Dit is echter niet altijd het geval. Als we aannemen dat  $f$  een correcte beschrijving van het systeem geeft, moeten we de waarden in de parametervector  $\underline{p}$  variëren om een output vector  $\underline{\hat{y}}$  te verkrijgen die de vector  $\underline{y}$  met gemeten waarden zo goed mogelijk benadert (calibratie). Vaak weerspiegelt de parametervector  $\underline{p}$  fysische kenmerken die in het laboratorium of in het veld gemeten kunnen worden, zoals de verzadigde doorlatendheid, of de helling van de waterretentiecurve. Meestal echter zijn de metingen van bodemfysische karakteristieken tijdrovend en duur. Als  $f$  het systeem correct beschrijft dan kan de parametervector  $\underline{p}$  soms worden afgeleid van simpele metingen van input- en outputgegevens, zoals bij de One-step outflow-methode (Kool et al., 1985) of de Multi-step-methode (Van Dam et al., 1990b).

In deze gevallen wordt de input in het systeem volledig gecontroleerd en wordt de output gemeten. Omdat de input- en outputvectoren van het systeem bekend zijn, kan de vector  $\underline{p}$  gevonden worden. De waarden van de parametervector  $\underline{p}$  moeten zodanig berekend worden dat de berekende waarden in de outputvector  $\underline{\hat{y}}$  de gemeten waarden in vector  $\underline{y}$  zo goed mogelijk benaderen. Dit wordt een indirect invers probleem genoemd. De oplossing van het probleem is afhankelijk van verschillende factoren, zoals het type functie  $f$  en het aantal parameters  $N_p$ . Verschillende auteurs geven oplossingen voor inverse problemen (Spriet en Vansteenkiste, 1982; Press et al., 1986; Tarantola, 1987; Baker, 2006; Vrugt et al., 2008). Het inverse probleem kan worden opgelost met alle bekende optimalisatietechnieken (e.g. Rust en Burrus, 1972; Luenberger, 1973; Gill et al., 1981; Cesari, 1983; Van Beek en Hendriks, 1983; Press et al. 1986; Baker, 2006).

Het inverse problem kan als volgt worden geformuleerd:

$$\underset{\underline{p}}{\text{Minimize}} \quad g(\underline{p}, \underline{y}, \underline{\hat{y}}) \quad \text{vergelijking 17}$$

waar  $g$  de doelfunctie is. De waarde van  $g$  is niet alleen afhankelijk van de gemeten ( $\underline{y}$ ) en de berekende ( $\underline{\hat{y}}$ ) outputwaarden, maar kan ook rekening houden met randvoorwaarden. Als alleen positieve waarden voor een parameter zijn toegestaan, geven negatieve waarden een hoge waarde van de functie in het geval van een minimalisatieprocedure. Als het probleem op deze manier geformuleerd wordt, moet de functie  $g$  zodanig gekozen dat de waarde kleiner wordt als de berekende waarden de gemeten outputwaarden benaderen.

Als we bovenstaande theorie gebruiken om Virtuele Data Punten voor de splines te vinden, kunnen we vector  $\underline{p}$  beschouwen als bestaand uit de  $x$ - en  $y$ -coördinaten van de Virtuele Data Punten, en de functie  $g$  als een functie die de kwaliteit van de fit van de splines op de gemeten waarde meet, ofwel een doelfunctie. Deze functie wordt verderop beschreven.

Soms moeten gewichtsfuncties worden toegepast om redelijke resultaten te verkrijgen. Dan wordt aan ieder punt een waarde  $\omega$  toegekend, en wordt de functie berekend als :

$$\gamma(\underline{y}, \underline{\hat{y}}) = \sum_{i=1}^{N_y} \omega_i g(y_i, \hat{y}_i) \quad \text{vergelijking 18}$$

waar  $y$  de doelfunctie is. Gewoonlijk wordt  $\omega_i$  bepaald op basis van expertise of door de waarde te variëren. Om de optimale waarden van de gewichtsfunctie te vinden moet een afzonderlijke optimalisatieprocedure ontwikkeld worden. In deze studie worden de waarden van de gewichtsfuncties op 1 gesteld (alle punten zijn even belangrijk).

#### 4.2.2 Minimalisatieprocedure

Uit de literatuur zijn veel minimalisatieprocedures bekend. Ze kunnen in twee groepen worden ingedeeld: de directe zoekmethodes ('direct search methods') en lijnzoekmethodes ('line search methods'). In de eerste groep hoeft alleen de functie  $g(y, y)$  geëvalueerd te worden. In de tweede groep wordt het minimum gezocht waar het minimum van  $g$  verwacht wordt. In de meeste gevallen wordt de zoekrichting gevonden door de afgeleide  $g'(y, y)$  te berekenen, waar

$$\underline{g}'(\underline{y}, \underline{\hat{y}}) = \left( \frac{\partial g}{\partial p_1}, \frac{\partial g}{\partial p}, \dots, \frac{\partial g}{\partial p_{N_p}} \right)^T \quad \text{vergelijking 19}$$

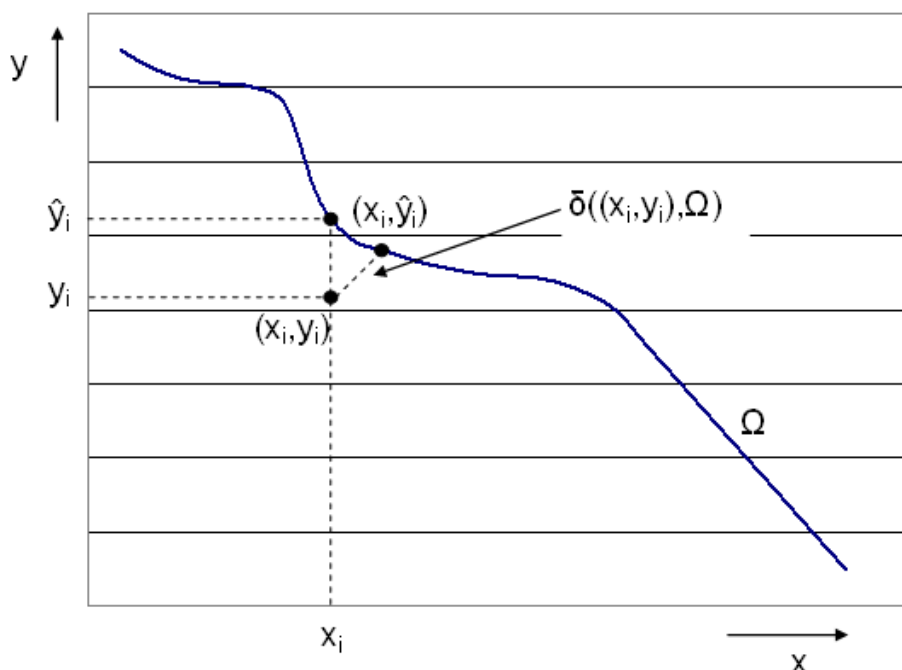
Sommige lijnzoekmethodes gebruiken ook de matrix met tweede afgeleiden (de Hessiaan)  $H$ . In de meeste gevallen kan de functie  $g$  niet analytisch beschreven worden, waardoor  $g'$  en  $H$  numeriek moeten worden bepaald. Dit vereist een groot aantal functie-evaluaties.

Voor deze studie werd gebruik gemaakt van de optimalisatietechniek die bekend staat als het 'Controlled Random Search algorithm' of CRS (Price, 1979). De CRS-methode is bekend vanwege zijn eenvoud, en is met goed resultaat toegepast (Metselaar, 1999).

#### 4.2.3 Doelfuncties

In de voorgaande secties werd het optimalisatieprobleem gedefinieerd en een aantal procedures voor optimalisatie genoemd. Maar welke functie moet geoptimaliseerd worden, en hoe berekenen we deze functie? Enkele mogelijke doelfuncties worden hieronder beschreven.

Aangenomen wordt dat een aantal gemeten gegevens  $y(x, p)$  benaderd moet worden door  $\hat{y} = f(x, p)$ . De functie  $y_i = f(x_i, p)$  wordt grafisch weergegeven door een geometrische Figuur  $\Omega$  in de ruimte  $R^2$ . Dit kan een rechte lijn of een complexe curve zijn (zie Figuur 20).



**Figuur 20**

Schematische weergave van een gemeten punt  $(x_i, y_i)$ , een berekend punt  $(x_i, \hat{y}_i)$  en de afstand  $\delta$  tussen het gemeten punt en de berekende lijn  $\Omega$ .

- De meest eenvoudige doelfunctie is de som van de absolute afwijking tussen de gemeten waarde  $y_i$  en de berekende waarde  $\hat{y}_i$  voor een specifieke  $x_i$ . Dit wordt geschreven als:

$$g(\underline{y}, \underline{\hat{y}}) = \sum_{i=1}^{N_y} |y_i - \hat{y}_i| \quad \text{vergelijking 20}$$

Het voordeel van deze vergelijking is zijn eenvoud, maar één van de nadelen is dat grote afwijkingen een grote invloed op de resultaten hebben.

- De meest gebruikt doelfunctie is de som van de gekwadrateerde verschillen tussen gemeten en berekende waarden ('sum of the squares of deviations'):

•

$$g(\underline{y}, \underline{\hat{y}}) = \sum_{i=1}^{N_y} (y_i - \hat{y}_i)^2 \quad \text{vergelijking 21}$$

Verschillende optimalisatietheorieën zijn gebaseerd op deze doelfunctie (e.g. Marquardt, 1963). Het hierboven beschreven nadeel is in dit geval nog sterker. Desondanks is deze methode vaak toegepast om de beschrijving van bodemfysische karakteristieken te bepalen (Stephens en Rehfeldt, 1985; Bruckler et al. 1987; Kool en Parker, 1988).

- Als de waarden van  $y$  enkele grootte-orde kunnen verschillen, dan is het aan te raden de relatieve fout te overwegen in plaats van de absolute fout die in de beide vorige functies werd gebruikt. Dan kan  $g$  worden beschreven als

$$g(\underline{y}, \underline{\hat{y}}) = \sum_{i=1}^{N_y} \frac{|y_i - \hat{y}_i|}{|y_i|} \quad \text{vergelijking 22}$$

Een nadeel van deze methode is dat er problemen ontstaan als de waarde van  $y_i$  naar 0 nadert. In dat geval moet een uitzondering worden gemaakt en een andere functie worden gebruikt. Een volgende mogelijkheid is om het verschil te berekenen tussen de quotiënten van berekende en gemeten waarden:

$$g(\underline{y}, \underline{\hat{y}}) = \sum_{i=1}^{N_y} \left| \frac{\hat{y}_i}{y_i} + \frac{y_i}{\hat{y}_i} \right| - 2 \quad \text{vergelijking 23}$$

Het grote voordeel van deze methode is dat het er niet toe doet of de berekende waarde hoger of lager dan de gemeten waarde is. In beide gevallen is de bijdrage van het punt aan de waarde van de doelfunctie gelijk. Er kleven twee nadelen aan deze methode. De eerste treedt op als ofwel  $y_i$  of  $\hat{y}_i$  naar 0 naderen, het tweede is dat de mogelijkheid van positieve en negatieve waarden niet wordt meegenomen. Als deze tekenongelijkheid optreedt moet een extra grote waarde bij de functiewaarde worden opgeteld.

- De doelfunctie die intuïtief als de beste wordt beschouwd is de som van de afstanden tussen de punten  $(x_i, y_i)$  en de lijn  $\Omega$ :

$$g(\underline{y}, \underline{\hat{y}}) = \sum_{i=1}^{N_y} \delta[\Omega, (x_i, y_i)] \quad \text{vergelijking 24}$$

Het toepassen van deze doelfunctie zal leiden tot de beste benadering van een serie punten door een lijn. In de praktijk wordt het echter niet vaak toegepast omdat de afstand van een punt lastig te bepalen is als de lijn door een ingewikkelde formule wordt beschreven. Als dit het geval is, dan kan het berekenen van de afstand worden beschouwd als een apart optimalisatieprobleem: zoek dat punt op  $\Omega$  waarvan de afstand tot het beschouwde punt minimaal is.

#### 4.2.4 Kwaliteit van de fit

De meestgebruikte maat voor de kwaliteit van de fit is de wortel van de som van de kwadraten van de afwijkingen tussen de gemeten en berekende waarden ('root mean square error'), zie bijvoorbeeld Prunty en Casey, (2002). In wiskundige vorm:

$$SSQ(\underline{p}) = \sum_{i=1}^{N_y} (y_i - f(\underline{p}, x_i))^2 \quad \text{vergelijking 25}$$

en

$$RMSE = \sqrt{\frac{SSQ(\underline{p})}{N_y}} \quad \text{vergelijking 26}$$



Zoals al gezegd is de som van de afstanden tussen de gemeten punten en de gefitte lijn een beter criterium voor de kwaliteit van de fit dan de wortel van de som van de kwadraten van de afwijkingen. Daarom willen we hier een nieuw criterium introduceren: de gemiddelde afstand tussen punten en lijn ('Mean Distance from Point to Line' (MDPL)). Dit kan eenvoudig worden berekend :

$$MDPL = \frac{1}{N_y} \sum_{i=1}^{N_y} \delta(\Omega, (x_i, y_i)) \quad \text{vergelijking 27}$$

#### 4.2.5 Berekenen van de afstand tussen een punt en een lijn

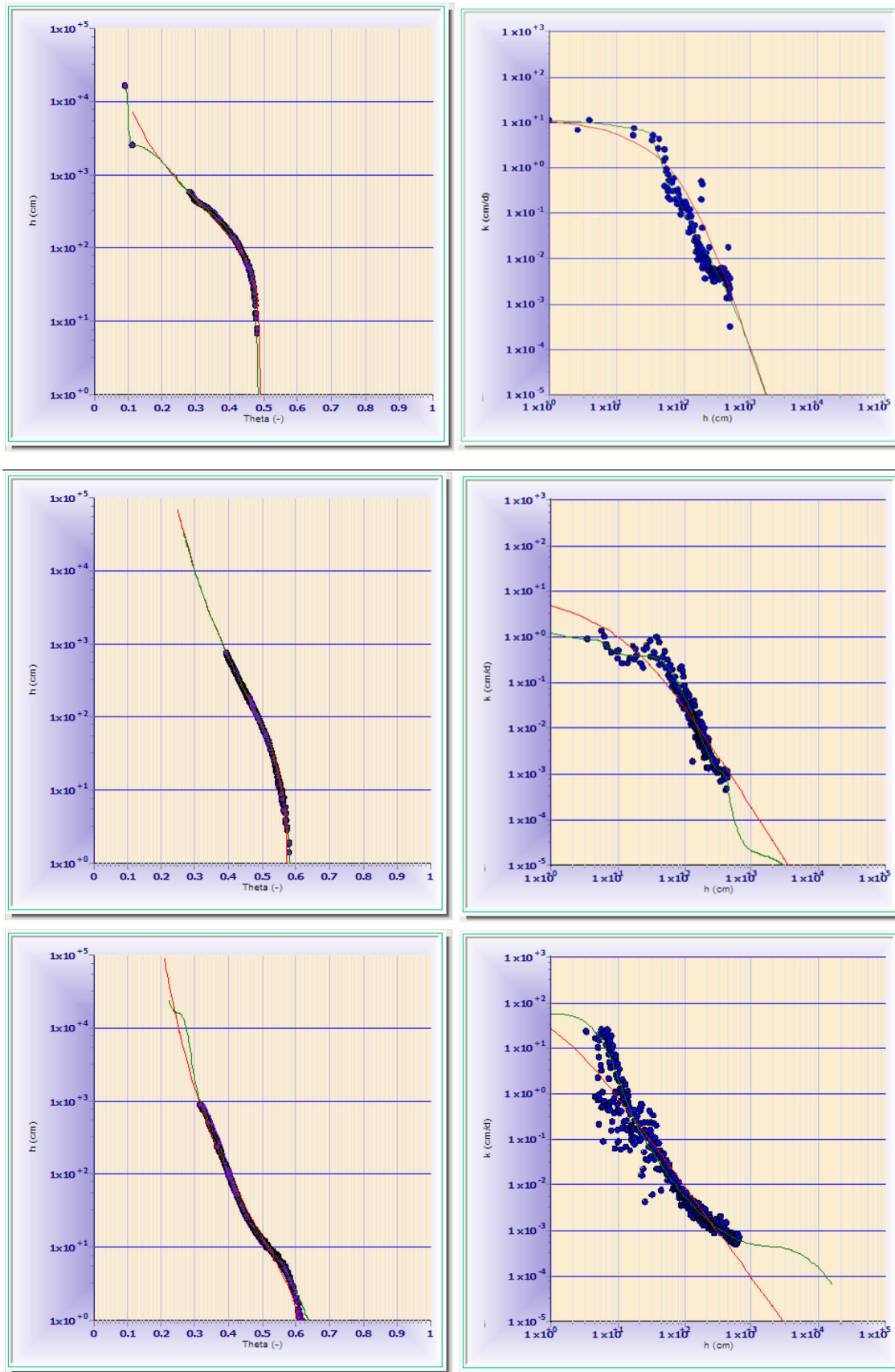
In de wiskunde zijn veel vergelijkingen bekend voor het berekenen van de afstand tussen een punt en een rechte lijn. Ook voor een aantal eenvoudige krommen is de berekeningswijze bekend. Maar wat kunnen we doen met een set splinefuncties die bepaald zijn door een aantal Virtual Data Points? Aangezien dat niet zo eenvoudig is, hebben we gekozen voor een numerieke benadering van het probleem. Stel dat we een aantal punten hebben in het gebied tussen  $x_1$  en  $x_{N_k}$ . Elke x-waarde heeft een corresponderende y-waarde. Verdeel het gebied in een groot aantal ( $N$ , bv. 1000) intervallen. Op deze wijze krijgen we  $N+1$  waarden op de x-as, laten we die  $\rho_j$  noemen. Voor elk van deze waarden kunnen we met spline-interpolatie een corresponderende waarde  $\sigma_j$  berekenen. Voor ieder gemeten punt  $(x_i, y_i)$  kan nu de afstand tot de lijn worden gevonden als de minimum waarde van de afstanden tussen het punt en de punten op de lijn. Of in wiskundige vorm:

$$\delta[\Omega, (x_i, y_i)] = \min_j (\delta((x_i, y_i), (\rho_j, \sigma_j))) = \min_j \left( \sqrt{(x_i - \rho_j)^2 + (y_i - \sigma_j)^2} \right) \quad \text{vergelijking 28}$$

### 4.3 Toepassingen

Hoewel de hier ontwikkelde software (Dragon.exe, zie appendix III) veel meer mogelijkheden heeft, is voor deze studie alleen gebruik gemaakt van het optimaliseren van de ligging van splines door het CRS-algorithme en de MDPL als doelfunctie. Voor meer voorbeelden kan worden verwezen naar Wesseling et al. (2008) en Wesseling (2009).

Enkele voorbeelden van de functiebeschrijving van bodemhydraulische karakteristieken van monsters uit het gegevensbestand Priapus met cubical splines zijn gegeven in Figuur 21. Ter vergelijking zijn ook de functiebeschrijvingen met het Mualem-Van Genuchtenmodel getoond. Op grond van een visuele beoordeling kan geconcludeerd worden dat met splines een betere beschrijving van de meetgegevens mogelijk is dan met het Mualem-Van Genuchtenmodel. Dit uit zich vooral wanneer men met het Mualem-Van Genuchtenmodel een functie wil gaan fitten op ruwe data, waarvan het verloop uit meerdere bochten bestaat (zie bijvoorbeeld de Figuur rechtsonder). Het Mualem-Van Genuchtenmodel is dan niet in staat om door al deze bochten een functie te fitten die de ruwe data op een correcte manier beschrijft. Het model presenteert uiteindelijk dan de ruwe data met een functie die aanzienlijk is afgevlakt.



**Figuur 21**

Voorbeelden van functiebeschrijvingen van bodemhydraulische karakteristieken van monsters uit het gegevensbestand Priapus met cubical splines (groene lijn) en met het Mualem-Van Genuchtenmodel (rode lijn).

## 4.4 Conclusies

Een nieuwe functiebeschrijving voor meetgegevens van bodemhydraulische karakteristieken werd ontwikkeld in de vorm van cubical splines. De functiebeschrijving werd geoptimaliseerd door het CRS-algorithme en de MDPL (Mean Distance from Point to Line) als doelfunctie. In eerder werk (Wesseling et al., 2008; Wesseling, 2009) werd de functiebeschrijving succesvol getest in een numeriek model voor 1-dimensionale stroming in de onverzadigde zone. De functiebeschrijving met cubical splines, in combinatie met het CRS-algorithme en de MDPL als doelfunctie, geeft betere benaderingen van de meetgegevens van  $h(\theta)$ - en  $K(h)$ -relaties dan het Mualem-Van Genuchtenmodel, in combinatie met het RETC algorithme en de RMSE als doelfunctie, die tot nu toe gebruikt werden om afgeleide gegevens van bodemhydraulische karakteristieken te bepalen.

Het programma Dragon werd in het kader van het project Verdiepende Bodemkaart (Van der Gaast et al., 2009) ontwikkeld om de beschrijving van gemeten  $h(\theta)$ - en  $K(h)$ -relaties met cubical splines te automatiseren. Deze software kan beschikbaar gesteld worden aan gebruikers van het BIS.

Op grond van deze resultaten wordt aanbevolen voor bestaande gemeten  $h(\theta)$ - en  $K(h)$ -relaties in Priapus (als onderdeel van het BIS) functiebeschrijvingen op te nemen die verkregen zijn met cubical splines, in aanvulling op de beschrijvingen met het Mualem-Van Genuchtenmodel. Ook wordt aanbevolen voor toekomstige nieuwe gemeten  $h(\theta)$ - en  $K(h)$ -relaties in het BIS functiebeschrijvingen te genereren met behulp van het programma Dragon.



## 5 Een nieuwe ruimtelijke indeling voor bodemhydraulische karakteristieken

### 5.1 Inleiding

Sinds de jaren '90 wordt voor het ruimtelijk schematiseren en parameteriseren van Nederlandse bodems op grond van bodemfysische eigenschappen vaak de PAWN-indeling gebruikt (Wösten et al., 1988). In deze indeling is de Bodemkaart van Nederland (1:250.000) (Steur et al., 1985) tot een diepte van 1.20 m -mv<sup>2</sup> gegeneraliseerd en geschematiseerd tot 21 standaardprofielen op grond van verwantschap in bodemkundige en bodemfysische kenmerken. De bodemfysische karakteristieken van iedere horizont in de standaardprofielen worden beschreven door een bouwsteen uit de Staringreeks (Wösten et al., 2001).

De reductie van de variatie in bodemopbouw in Nederland tot 21 standaardprofielen wordt door een groot aantal gebruikers als beperkend ervaren voor het kwantificeren van effecten van de bodem in (agro)hydrologische vraagstukken. Gebruikers hebben behoefte aan een groter aantal bodemfysische eenheden, en aan een grotere betrouwbaarheid van de karakteristieken binnen een eenheid (De Vries et al., 2008).

Het vertalen van een bodemprofiel naar een bodemfysisch profiel op basis van de Staringreeks leidt tot verlies van informatie. De indeling van de Staringreeks is namelijk alleen gemaakt op basis van textuur, aard van het moedermateriaal (grove indeling) en het organische stofgehalte (grove indeling). Er wordt nauwelijks of geen onderscheid gemaakt in dichtheid, bodemtype en afzettingsmilieu. Hierdoor zijn bijvoorbeeld de bodemfysische karakteristieken van lichte zeekleigronden en lichte beekkleigronden in dezelfde bouwsteen (O11) ondergebracht. De  $K(h)$ - en  $h(\theta)$ -relaties worden binnen een bouwsteen gemiddeld, waardoor het hydraulische gedrag van beide gronden uiteindelijk hetzelfde is. Dit geldt bijvoorbeeld ook voor de leemarme stuifzandgronden en de leemarme oude dekzandgronden. De pakking, sortering en het organische stofgehalte van oude dekzanden is beduidend anders dan bij de stuifzandgronden. Als gevolg hiervan zijn ook de bodemfysische karakteristieken verschillend. Hiermee is echter in de huidige Staringreeks geen rekening gehouden. De bodemfysische karakteristieken zijn uitgemiddeld binnen dezelfde bouwsteen, waardoor het hydraulische gedrag van alle bodemhorizonten binnen een bouwsteen hetzelfde is. Deze beide bodemhorizonten worden dan ook bodemfysisch geparameteriseerd door hieraan dezelfde bouwsteencode O1 toe te kennen.

Een andere beperking van de huidige indeling in bouwstenen van de Staringreeks is dat het onderscheid in moerige gronden voor een deel niet in overeenstemming is met het Systeem voor de Bodemclassificatie van Nederland (De Bakker en Schelling, 1989). Dit komt omdat men bij de indeling van moerige gronden volgens de methode die bij de Staringreeks is gebruikt, geen rekening heeft gehouden met het lutumgehalte. Volgens het systeem voor de bodemclassificatie van Nederland ligt de grens tussen mineraal en moerig bij een organische stofgehalte van 15% indien er geen lutum in het monster aanwezig is. Naarmate het lutumgehalte toeneemt zal ook het organische stofgehalte hoger moeten zijn om een bouwsteen op basis van zijn organische stofgehalte moerig te noemen (Ten Cate, 1995).

---

<sup>2</sup> -mv: onder maaiveld

Achtergronddocumentatie over de betekenis van het afzettingsmilieu voor de indeling van bodemhydraulische karakteristieken voor Nederlandse gronden is gegeven in Krabbenborg (1983), Vroon et al., (1988), Dekker et al. (1990), Wesseling (2009) en Van der Gaast et al. (2009).

Het doel van dit deelproject is een nieuwe indeling in bodemfysische eenheden te maken, die aan de volgende eisen voldoet:

1. De indeling maakt het mogelijk bodemhydraulische karakteristieken op meerdere niveaus, zowel bodemkundig als ook geologisch in te delen en te selecteren.
2. De variatie in bodemhydraulische karakteristieken wordt zoveel mogelijk verklaard uit beschikbare beschrijvende gegevens over de grondmonsters.
3. De indelingscriteria kunnen worden toegepast op de bodemkundige informatie die beschikbaar is in het BIS.
4. Het bestaande knelpunt in de indeling in bouwstenen van de Staringreeks door een deels onjuiste indeling van moerige horizonten wordt opgelost.

## **5.2 Werkwijze**

Voor de indeling van Nederlandse gronden op grond van bodemhydraulische karakteristieken wordt voorgesteld de volgende criteria te gebruiken in plaats van de criteria voor de huidige indeling in bouwstenen in de Staringreeks: verschil in boven en ondergrond, afzettingsmilieu (weergegeven door een 'geocode'), textuur (lutumgehalte, leemgehalte, siltgehalte, M50) en organische stofgehalte. Het gebruik van de geocode verklaart een aanzienlijk deel van de variatie in bodemhydraulische karakteristieken, doordat er rekening wordt gehouden met de wijze waarop het materiaal is afgezet (bijvoorbeeld bij oud dekzand gelaagd en jong dekzand nauwelijks of niet gelaagd) en/of de wijze waarop een bepaalde horizont is ontwikkeld (bijvoorbeeld veenmosveen (veelal slecht doorlatend en veelal platerig opgebouwd) en mesotroof zeggeveen (veelal matig tot goed doorlatend en vrij los opgebouwd)).

Voor de implementatie van de nieuwe indelingscriteria werd een beslisboom ontwikkeld. Met deze indeling kan men dan, als er voldoende bodemfysische bouwstenen beschikbaar zijn, vrij eenvoudig de in het BIS aanwezige bodemhorizonten parameteriseren in bodemfysische horizonten. De beslisboom is gebaseerd op het Systeem voor de Bodemklassificatie van Nederland van De Bakker en Schelling (1989), en maakt ook gebruik van de meest recente indeling voor geologisch afzettingsmilieus van Deltares en Alterra. De effectiviteit van de indeling wordt op het hoogste niveau (afzettingsmilieu) getoetst met een variantie-analyse in hoofdstuk 6.6.

## **5.3 Resultaten**

Het indelen van de bodemfysische monsters naar grondsoorten op basis van het nieuwe classificatiesysteem is een classificatie van de grond naar boven- en ondergrond, afzettingsmilieu en/of naar de wijze waarop een bepaalde bodemhorizont is ontwikkeld, en naar de componenten minerale delen en organische stof.

### **5.3.1 Indeling naar boven en ondergrond**

De indeling van bodemfysische monsters naar boven- en ondergrond (Figuur 22) gebeurt op dezelfde wijze zoals die is toegepast voor de boven- en ondergrondbouwstenen die in de Staringreeks zijn opgenomen (Wösten et al., 2001).

### 5.3.2 Indeling naar afzettingsmilieu's en/of naar de wijze waarop een bepaalde bodemhorizont is ontwikkeld

We kennen in Nederland diverse soorten milieus waarin materiaal is afgezet (bijvoorbeeld klei dat door mariene invloeden is afgezet) of milieus waarin horizonten zijn ontwikkeld (bv. veenmosveen in een nat, niet dynamisch milieu onder voedselarme omstandigheden). Voor de nieuwe indeling hebben we zes hoofdklassen onderscheiden naar afzettingsmilieus of ontstaanswijze: moerig materiaal (klasse 100), mariene afzettingen (klasse 200), fluviatiele afzettingen (klasse 300), eolische en fluvio-periglaciale afzettingen (klasse 400), glaciale en fluvio-glaciale afzettingen (klasse 500) en overige afzettingen (klasse 600) (tabel 4 en Figuur 22). Het indelen van de grondsoorten binnen een hoofdklasse gebeurt op basis van een verdere verfijning in het milieu waarin het materiaal is afgezet of ontwikkeld. In de bodemkarteringen wordt het milieu waarin het materiaal is afgezet of de wijze waarop een bodemhorizont is ontwikkeld aangeduid met een geocode (soort geologische code, niet geheel synoniem) (Tabel 5). Deze code wordt vanaf 1984 verplicht aan de onderscheiden bodemhorizonten in bodemkarteringen toegekend. Daarmee is de code ook beschikbaar voor horizonten in profielbeschrijvingen in het BIS. Van alle goedgekeurde bodemfysische monsters zijn de geocodes bekend. Dit betekent dat het afzettingsmilieu en de wijze waarop sommige horizonten zijn ontwikkeld in de Priapusdatabase zijn vastgelegd. Aan de hand van de geocode kunnen vervolgens de bodemhorizonten verder worden ingedeeld naar de verschillende componenten minerale delen en organische stof.

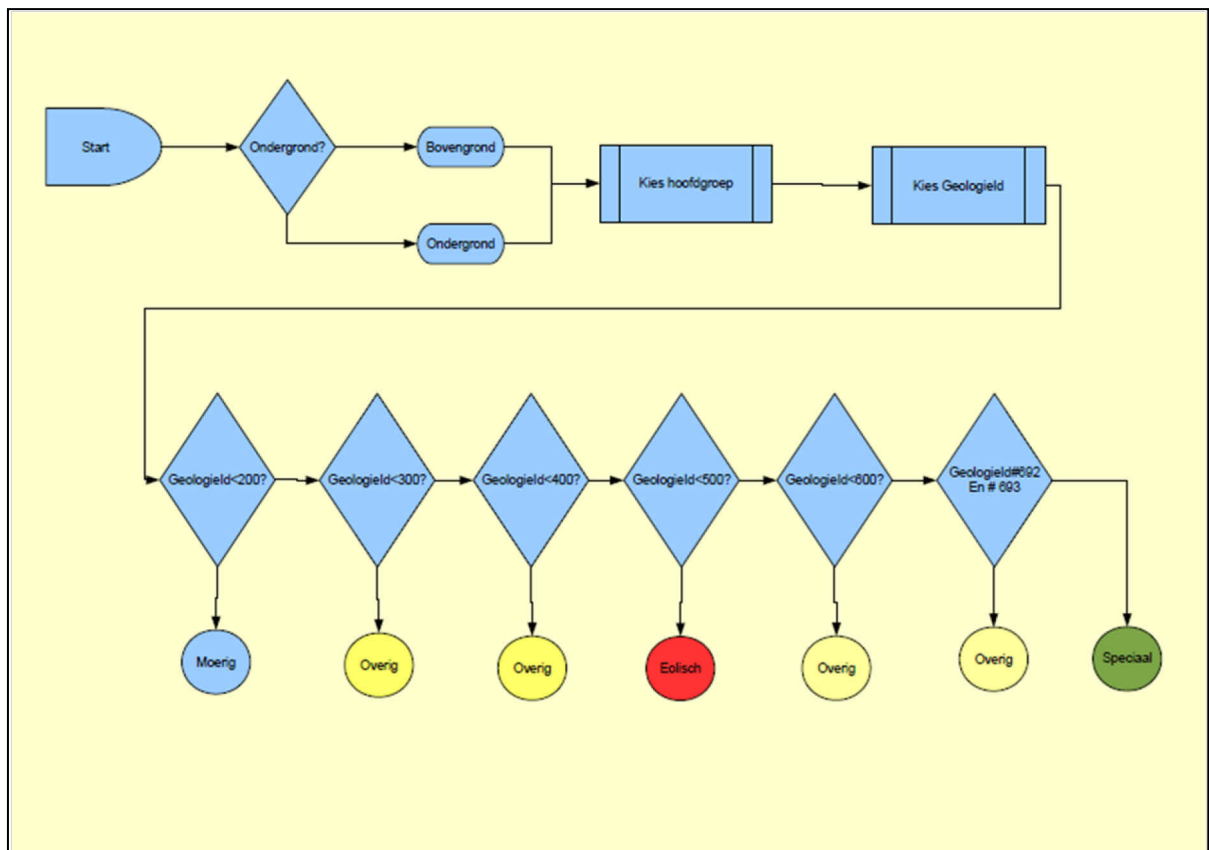
**Tabel 5**

*Geocodes gebruikt voor de nieuwe indeling voor bodemhydraulische karakteristieken Bron (Ten Cate, 1995). De hoofdklassen zijn vetgedrukt.*

| <i>Geocode</i> | <i>Beschrijving</i>                                             |
|----------------|-----------------------------------------------------------------|
| 0              | Onbekend                                                        |
| <b>100</b>     | <b>MOERIG MATERIAAL</b>                                         |
| 110            | Zonder herkenbare plantenresten (bv. veraard of sterk verweerd) |
| 120            | Bosveen                                                         |
| 130            | Zeggeveen                                                       |
| 140            | Rietveen                                                        |
| 150            | Veenmosveen                                                     |
| 151            | Veenmosveen;bolster                                             |
| 152            | Veenmosveen;overig                                              |
| 160            | Sedimentair veen (bv. Gytja                                     |
| 170            | Strooisellaag                                                   |
| 171            | Strooisellaag van loofhout                                      |
| 172            | Strooisellaag van naaldhout                                     |
| 190            | Overige veensoorten (bv. Scheuchzeriaveen)                      |
| <b>200</b>     | <b>MARIENE AFZETTINGEN (holoceen)</b>                           |
| 210            | Getijde afzettingen;zout                                        |
| 211            | Jong (afzettingen van Duinkerke; incl. zand)                    |
| 212            | Oud (afzettingen van Calais; incl. zand)                        |
| 220            | Getijde afzettingen; zoet                                       |
| 230            | Mariene onderwaterafzettingen (lagunair)                        |
| <b>300</b>     | <b>FLUVIATIELE AFZETTINGEN</b>                                  |
| 310            | Zeer recente afzetting in uiterwaarden                          |

|            |                                                          |
|------------|----------------------------------------------------------|
| 320        | Holocene afzettingen van Rijn of Maas                    |
| 321        | Holocene afzettingen van Rijn                            |
| 322        | Holocene afzettingen van Maas                            |
| 330        | Pleistocene afzettingen van Rijn of Maas                 |
| 331        | Laat-Pleistoceen (formatie v. Kreftenheye)               |
| 332        | Midden- en Vroeg-Pleistoceen (niet gestuwd)              |
| 340        | Afzetting overige rivieren (Vecht                        |
| 390        | Overige fluviatiele afzettingen (bv. Form. v. Enschede)  |
| <b>400</b> | <b>EOLISCHE EN FLUVIO-PERIGLACIALE AFZETTINGEN</b>       |
| 410        | Dekzand                                                  |
| 411        | Jong dekzand                                             |
| 412        | Oud dekzand                                              |
| 413        | Fluvio- periglaciaal                                     |
| 420        | Loss                                                     |
| 421        | Loss; dekafzettingen                                     |
| 422        | Loss in locale depressies (bv. Brabantse leem)           |
| 430        | Kustduinzand                                             |
| 431        | Jong kustduinzand                                        |
| 432        | Oud kustduinzand                                         |
| 440        | Rivierduinzand                                           |
| 450        | Landduinzand (bv. Stuifzand)                             |
| 490        | Overige afzettingen (bv. eolisch premorenaal zand)       |
| <b>500</b> | <b>GLACIALE EN FLUVIO-GLACIALE AFZETTINGEN</b>           |
| 510        | Keileem                                                  |
| 520        | Keizand                                                  |
| 530        | Smeltwaterafzettingen                                    |
| 531        | Smeltwaterafzetting; zand                                |
| 532        | Smeltwaterafzetting; (warven)klei                        |
| 533        | Smeltwaterafzetting; potklei                             |
| <b>600</b> | <b>OVERIGE AFZETTINGEN</b>                               |
| 610        | Helling afzetting incl. puinwaaierafz.(voor droge dalen) |
| 620        | Secundaire loss (bv. colluvium)                          |
| 630        | Gestuwde afzettingen                                     |
| 631        | Gestuwde afzettingen van Rijn of Maas                    |
| 632        | Gestuwde afzettingen van oostelijke rivieren             |
| 690        | Overige                                                  |
| 691        | Overige geogene afzettingen (bv. kalksteen               |
| 692        | Antropogeen homogeen (bv. mestdek                        |
| 693        | Antropogeen heterogeen (bv. zand + veen)                 |
| 699        | Onbekend                                                 |





**Figuur 22**

*Indeling van bodemhydraulische karakteristieken in het Classificatie Systeem Bodem op de eerste twee niveaus (boven- of ondergrond en afzettingsmilieu).*

### 5.3.3 Indeling naar de verschillende componenten minerale delen en organische stof

#### **Minerale delen**

De classificatie van grondsoorten naar hun korrelgroottesamenstelling (textuurindeling) gebeurt naar massaprocenten van de minerale delen. De fractiegrenzen die we gebruiken voor het indelen zijn:

- < 2 µm: lutumfractie
- 2-50 µm: siltfractie
- < 50 µm: leemfractie
- 50-2000 µm: zandfractie

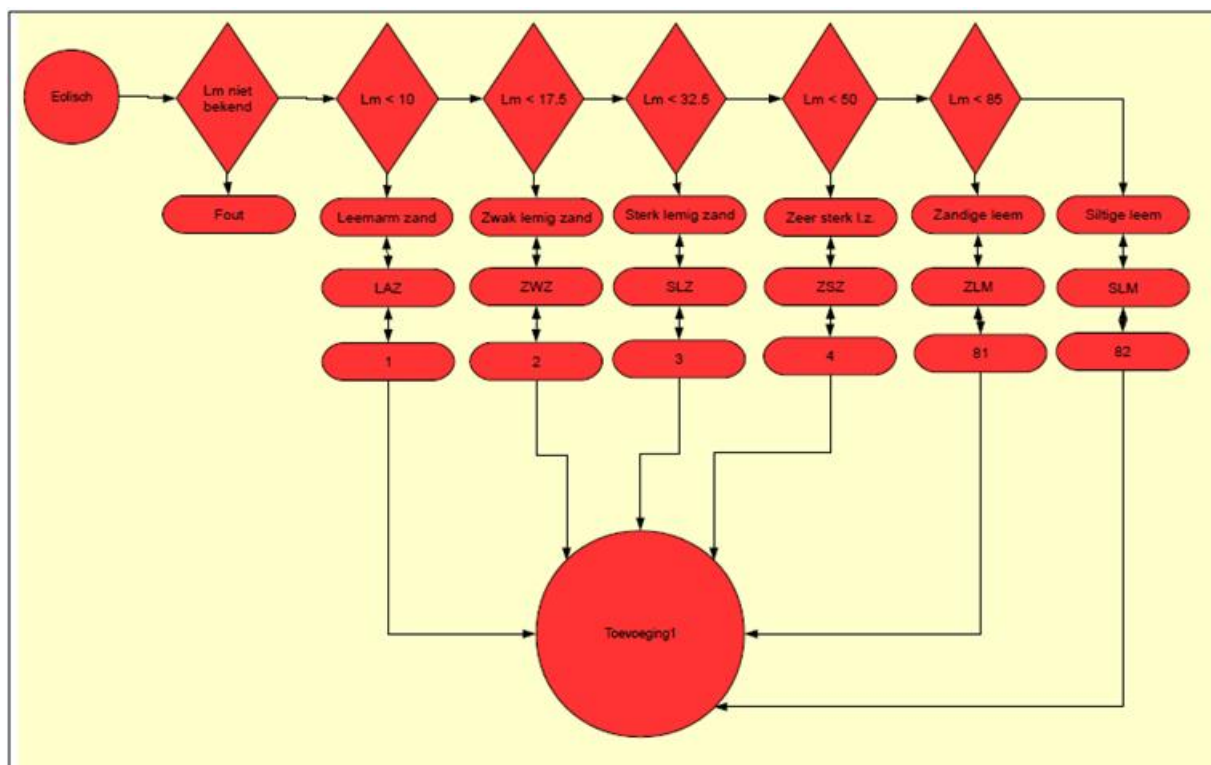
Voor het indelen en benoemen van eolische en niet-eolische afzettingen naar lutum-, silt- en zandgehalte worden de driehoeksgrafieken uit het systeem voor de bodemclassificatie voor Nederland gebruikt (De Bakker en Schelling, 1989; Ten Cate, 1995).

*Eolische afzettingen en sommige niet-eolische afzettingen* Als we te maken hebben met eolische afzettingen of sommige niet-eolische afzettingen zoals stuwwalzand of collivium, dan worden de bodemhorizonten ingedeeld op basis van het leemgehalte en de zandfractie (Figuur 23). De indeling en benaming van de bodemhorizonten op basis van het leemgehalte is gegeven in Tabel 6 (Ten Cate, 1995).

**Tabel 6**

Indeling van bodemhorizonten op basis van het leemgehalte. Code is de code gebruikt in de nieuwe indeling voor bodemhydraulische karakteristieken.

| % leem           | Naam                  | Code |
|------------------|-----------------------|------|
| 0 - < 10         | leemarm zand          | LAZ  |
| >= 10 - < 17,5   | zwak lemig zand       | ZWZ  |
| >= 17,5 - < 32,5 | sterk lemig zand      | SLZ  |
| >= 32,5 - < 50   | zeer sterk lemig zand | ZSZ  |
| >= 50 - < 85     | zandige leem          | ZLM  |
| >= 85 - 100      | siltige leem          | SLM  |

**Figuur 23**

Indeling van bodemhydraulische karakteristieken in het classificatie Systeem Bodem: indeling van eolische afzettingen en sommige niet-eolische afzettingen naar leemgehalte.

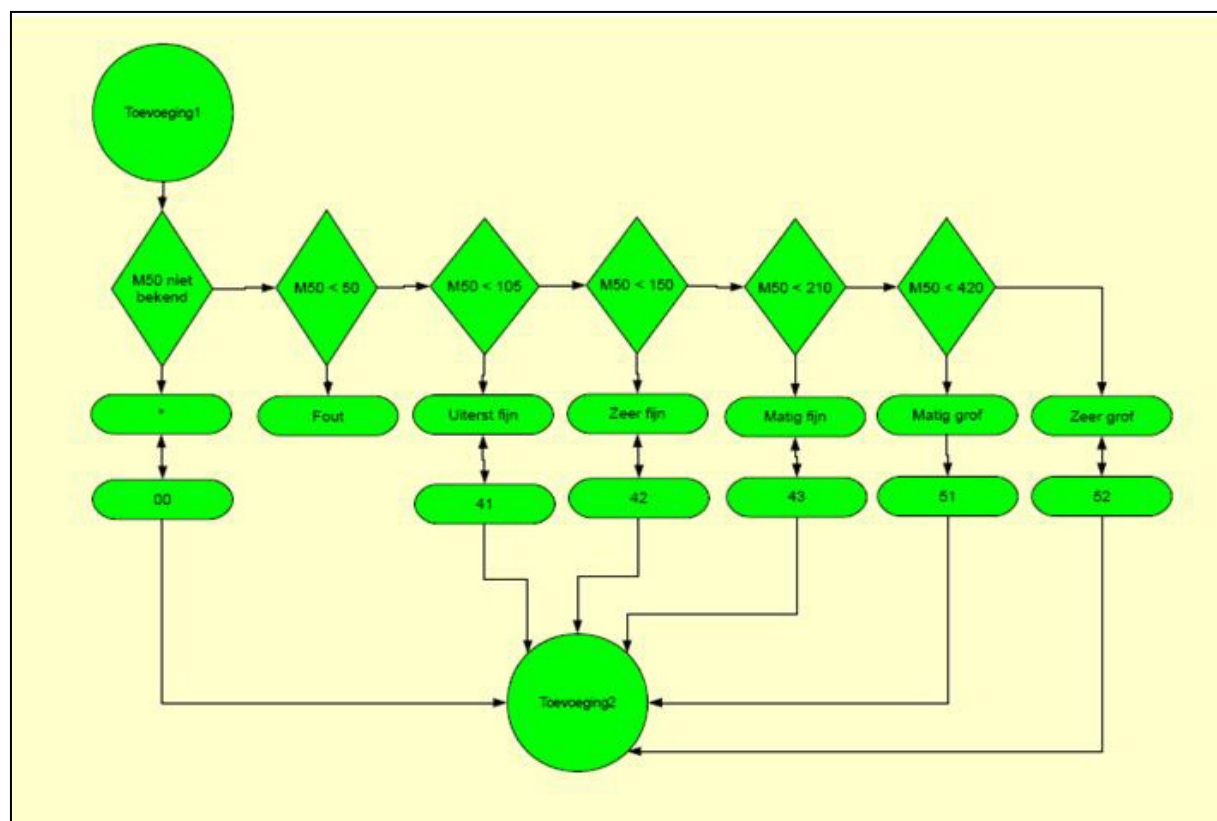
De indeling en benaming van de bodemhorizonten naar de mediaan van de zandfractie die bij de huidige toekenning van de Staringreekscodes wordt gebruikt zijn de mediaanklassen fijn (mediaan 105 - 210) en grof (mediaan 210 - 2000). Daarnaast gebruikt men voor keileem en beekleem respectievelijk de textuurklassen 50 - 2000 µm en 50 - 150 µm. In de profielbeschrijvingen van bodemkarteringen wordt gebruikt gemaakt van een fijnere textuurindeling van de zandfractie. Uit o.a. het onderzoek van Krabbenborg (1983) blijkt dat de grofheid van het zand invloed heeft op het vochtgehalte in een bodemhorizont. Aangezien de fijnere textuurindeling voor het bepalen van de grofheid van het zand standaard wordt toegepast tijdens het beschrijven van de bodemprofielen, en daardoor ook een karteerbaar kenmerk is, is het raadzaam om deze fijnere indeling ook te

gebruiken bij de nieuw op te zetten indeling voor bodemhydraulische karakteristieken. De indeling en benaming van de bodemhorizonten naar de mediaan van de zandfractie is gegeven in Tabel 7 en in Figuur 24.

**Tabel 7**

*Indeling van bodemhorizonten naar de mediaan van de zandfractie.*

| <i>M50 tussen</i> | <i>Naam</i>       | <i>Samenvattende naam</i> |
|-------------------|-------------------|---------------------------|
| 50 en 105 µm      | uiterst fijn zand | fijn zand                 |
| 105 en 150 µm     | zeer fijn zand    | fijn zand                 |
| 150 en 210 µm     | matig fijn zand   | fijn zand                 |
| 210 en 420 µm     | matig grof zand   | grof zand                 |
| 420 en 2000 µm    | zeer grof zand    | grof zand                 |



**Figuur 24**

*Indeling van bodemhydraulische karakteristieken in het Classificatie Systeem Bodem: indeling van afzettingen naar de mediaan van de zandfractie.*

#### *Niet-eolische afzettingen*

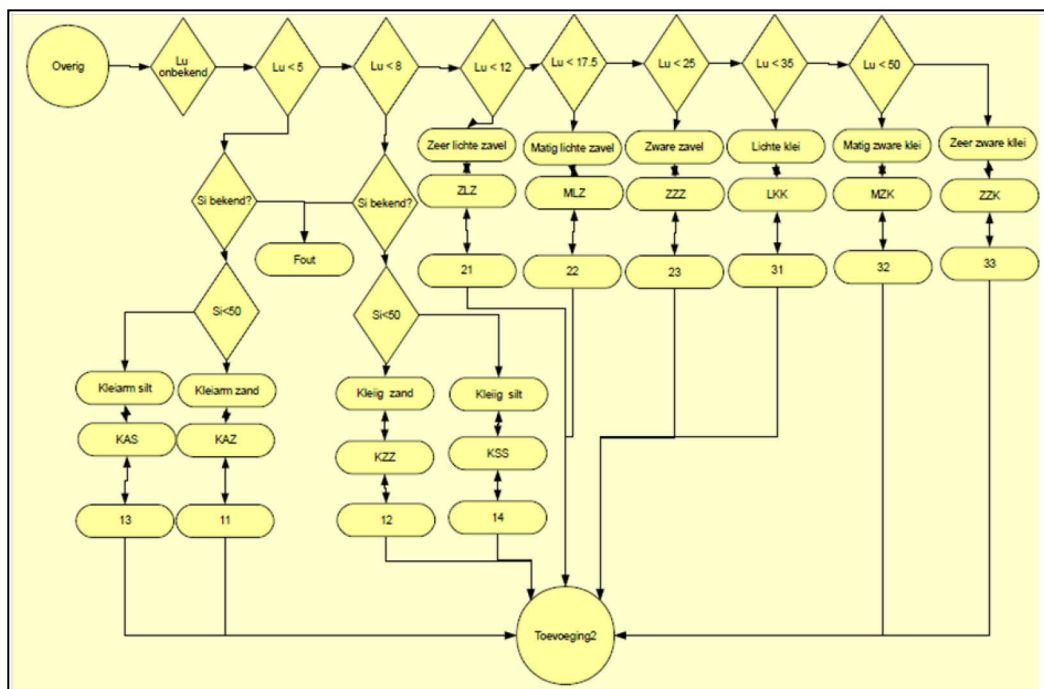
De meeste gronden die niet eolisch zijn afgezet, zoals rivier- en zeeklei (Tabel 5), worden ingedeeld op basis van hun lutumgehalte (Figuur 25). Bij gronden met minder dan 8% lutum wordt de term zand achter de naam van de lutumklasse vermeld. De indeling van de grofheid van het zand in textuurklassen gebeurt tijdens het

beschrijven van bodemprofielen op dezelfde manier zoals beschreven bij de eolische afzettingen (Tabel 7). Is het siltgehalte hoog dan wordt de term 'siltig' gebruikt. Deze laatste twee toevoegingen worden alleen gebruikt als een grond kalk bevat, anders worden ze op basis van hun leemgehalte beoordeeld. Aangezien het lutumgehalte ook bij een percentage van minder dan 8% een bepalende factor is voor de bodemfysische eigenschappen van een grond, is na overleg met andere bodemkundigen (Fokke Brouwer en Gert Stoffelsen) besloten om de gronden niet alleen op basis van hun lutumgehalte te beoordelen als ze kalk bevatten, maar ook als ze kalkloos zijn. De indeling en benaming van de bodemhorizonten op basis van het lutumgehalte is gegeven in Tabel 8.

**Tabel 8**

*Indeling van bodemhorizonten op basis van het lutumgehalte. Code is de code gebruikt in de nieuwe indeling voor bodemhydraulische karakteristieken.*

| % lutum        | % silt     | Naam               | Code |
|----------------|------------|--------------------|------|
| 0 - < 5        | 0 - < 50   | kleiarm zand       | KAZ  |
| 0 - < 5        | >=50 - 100 | kleiarm silt       | KAS  |
| >=5 - < 8      | 0 - < 50   | kleig zand         | KZZ  |
| >=5 - < 8      | >=50 - 100 | kleig silt         | KSS  |
| >= 8 - < 12    |            | zeer lichte zavel  | ZLZ  |
| >= 12 - < 17,5 |            | matig lichte zavel | MLZ  |
| >= 17,5 - < 25 |            | zware zavel        | ZZZ  |
| >= 25 - < 35   |            | lichte klei        | LKK  |
| >= 35 - < 50   |            | matig zware klei   | MZK  |
| >= 50 - 100    |            | zeer zware klei    | ZZK  |



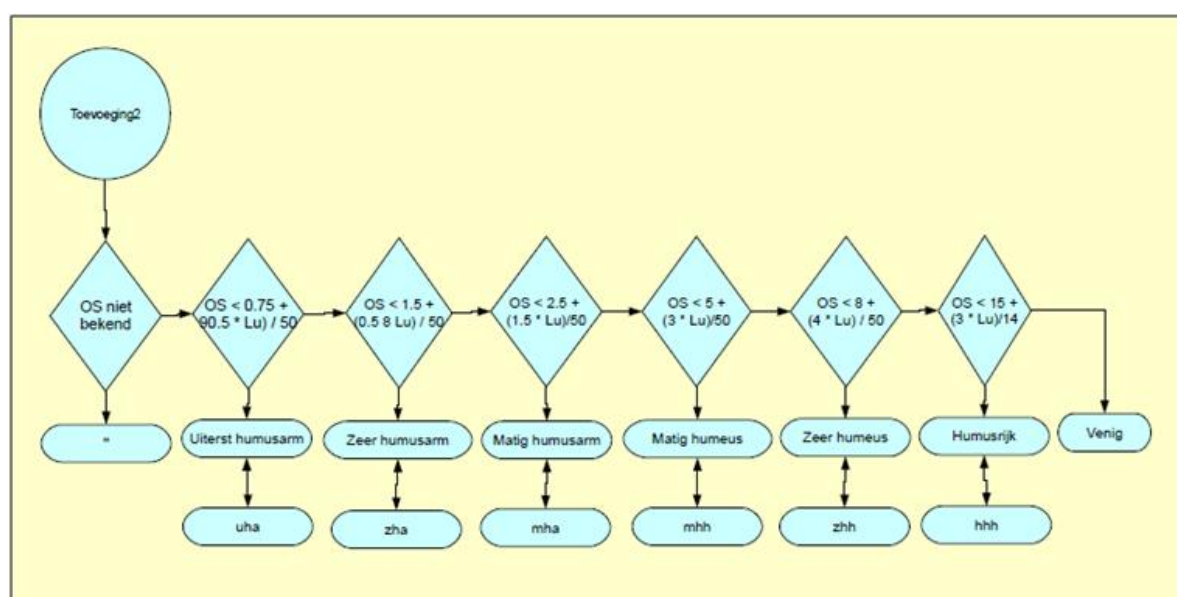
**Figuur 25**

*Indeling van bodemhydraulische karakteristieken in het Classificatie Systeem Bodem: indeling van overige afzettingen naar lutumgehalte.*

Als van een zandige of siltige bodemhorizont (bv. kleiarm zand) geen lutumgegevens bekend zijn, kan men er voor kiezen om deze horizonten op basis van het leemgehalte in te delen (Figuur 23). Dit verdient echter niet de voorkeur, omdat de invloed van lutum op de bodemhydraulische eigenschappen aanzienlijk groter is dan de invloed van leem.

### Organische stof

De indeling naar het gehalte aan organische stof (Figuur 26) berust op de massaprocenten (gr) aan organische stof berekend op de grond, en op het lutumgehalte berekend op de minerale delen. Voor de term humusgehalte wordt ook wel het gehalte aan organische stof gebruikt. Het indelen van het organische stofgehalte brengt tot uiting dat zwaardere grondsoorten (met een hoger percentage lutum) een hoger humusgehalte moeten hebben dan de lichtere grondsoorten om nog 'humeus' en nog niet 'moerig' genoemd te worden.



**Figuur 26**

*Indeling van bodemhydraulische karakteristieken in het Klassificatie Systeem Bodem: indeling van overige afzettingen naar organische stofgehalte.*

De indeling en benaming van de bodemhorizonten op basis van het organische stofgehalte die bij de indeling in bouwstenen van de Staringreeks wordt gebruikt is grof. Het organische stofgehalte is hier alleen differentiërend bij de bouwstenen 'moerige bovengronden' (B15-venig zand, B16-zandig veen en veen, B17-venige klei en B18-kleig veen) en bij de bouwstenen 'venige ondergrond' (O16-oligotroof veen, O17-mesotroof en eutroof veen en O18-moerige tussenlaag). Daarentegen is het organische stofgehalte bij de overige bouwstenen (boven- en ondergronden, bv. zand- en kleigronden) niet meer differentiërend. Uit het onderzoek van Krabbenborg (1983) en Van Soestbergen (1986) blijkt dat het organische stofgehalte een aanzienlijke invloed heeft op de bodemfysische eigenschappen van een bodem. Het organische stofgehalte speelt een belangrijke rol bij het vochtleverend vermogen van een grond. In de bodemkartering zijn de indeling en de benaming van gronden op basis van het organische stofgehalte, naast de indeling die bij de Staringreeks is gebruikt voor de bovengronden, ook differentiërend voor de grens tussen een zeer humusarme en matig humusarme bovengrond. Gronden met minder dan ca. 1,5 % organische stof in de bovengrond hebben geen minerale eerdlaag, en worden op grond van hun lage organische stofgehalte ingedeeld bij de vaaggronden. De

exacte grens is naast het organische stofgehalte ook hier weer afhankelijk van het lutumgehalte op de minerale delen en kan middels een functie worden vastgelegd.

Er kan bij het beschrijven van bodemprofielen gebruik worden gemaakt van een fijnere indeling en benaming van bodemhorizonten naar het gehalte in massaprocenten aan organische stof voor minerale gronden. Deze indeling wordt o.a. door van Soestbergen in het WIB-C systeem (Van Soestbergen et al., 1986) gebruikt voor het berekenen van het vochtleverend vermogen van een grond. Aangezien de fijnere indeling naar het gehalte organische stof kan worden toegepast tijdens of na het beschrijven van de bodemprofielen. Omdat het organische stofgehalte een karteerbaar kenmerk is, is het raadzaam om deze fijnere indeling ook te gebruiken bij de nieuw op te zetten indeling van bodemhydraulische karakteristieken. De indeling en de benaming naar het gehalte in massaprocenten aan organische stof bij zandgronden met een laag lutumgehalte is gegeven in Tabel 9 en Figuur 26

**Tabel 9**

*Indeling en benaming naar het gehalte in massaprocenten aan organische stof bij zandgronden met een laag lutumgehalte.*

| <i>% organische stof</i> | <i>Naam</i>      | <i>Code</i> | <i>Samenvattende naam</i> |
|--------------------------|------------------|-------------|---------------------------|
| 0 - 0,75                 | uiterst humusarm | uha         | humusarm zand             |
| 0,75 - 1,5               | zeer humusharm   | zha         | humusarm zand             |
| 1,5 - 2,5                | matig humusarm   | mha         | humusarm zand             |
| 2,5 - 5                  | matig humeus     | mhh         | humeus zand               |
| 5 - 8                    | zeer humeus      | zhh         | humeus zand               |
| 8 - 15                   | Humusrijk        | hhh         | humeus zand               |

### **Moerige gronden**

In het algemeen geldt dat de grens tussen humeus en moerig materiaal ligt bij een organische stofgehalte van 15 % als het lutumgehalte 0 % is. De indeling die dan geldt voor moerige gronden is gegeven in Tabel 10 en Figuur 27

**Tabel 10**

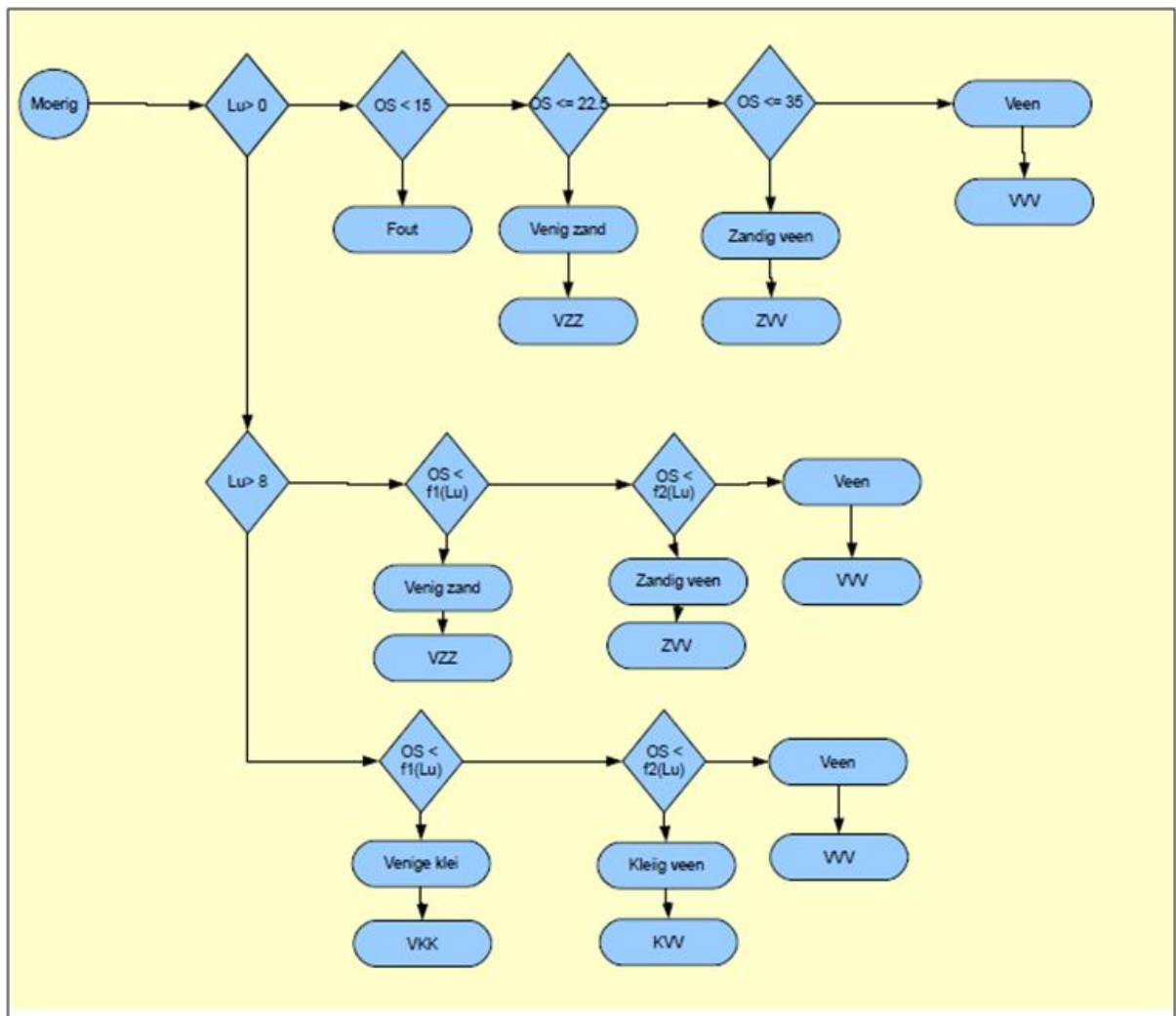
*Indeling en de benaming naar het gehalte in massaprocenten aan organische stof bij moerige gronden.*

| <i>Organischestofgehalte (%)</i> | <i>Naam</i> | <i>Code</i> |
|----------------------------------|-------------|-------------|
| 15 - 22,5                        | venig zand  | VZZ         |
| 22,5 - 35                        | zandig veen | ZV          |
| 35 - 100                         | Veen        | VV          |

Bij hogere percentages lutum is de grens tussen moerig en mineraal materiaal te bepalen door de volgende vergelijking:

$$G = 15 + \frac{3Lu}{15} \quad \text{vergelijking 29}$$

waarbij Lu het percentage lutum is. Als het percentage organische stof groter is dan G spreken we van een moerig materiaal, anders is het mineraal.



**Figuur 27**

*Indeling van bodemhydraulische karakteristieken in het Klassificatie Systeem Bodem: indeling van moerige gronden naar lutumgehalte en organische stofgehalte*

Deze functie geldt alleen voor het vaststellen van de grens tussen minerale en moerige bodemhorizonten. Het organische stofgehalte kent ook binnen de minerale gronden een fijnere indeling die afhankelijk is van het lutumgehalte. Ook hier geldt dat naarmate het percentage lutum hoger is er meer organische stof nodig is om binnen een bepaalde klasse te blijven. De indeling en benaming naar het gehalte in massaprocenten aan organische stof bij minerale horizonten ziet er als volgt uit (Ten Cate, 1995):

1. de grens tussen humusrijk en weinig zand en venige klei: als % organische stof  $\geq 15 + (3 \cdot \text{lutumpercentage})/14$  (dit is ook de grens tussen mineraal en moerig).
2. de grens tussen humusrijk en zeer humeus: als % organische stof  $\geq 8 + (4 \cdot \text{lutumpercentage})/50$ .
3. de grens tussen zeer humeus en matig humeus: als % organische stof  $\geq 5 + (3 \cdot \text{lutumpercentage})/50$ .
4. de grens tussen matig humeus en matig humusarm: als % organische stof  $\geq 2,5 + (1,5 \cdot \text{lutumpercentage})/50$ .

5. de grens tussen matig humusarm en zeer humusarm: als % organische stof  $\geq 1,5 + (0,5 * \text{lutumpercentage})/50$ .
6. de grens tussen zeer humusarm en uiterst humusarm: als % organische stof  $\geq 0,75 + (0,5 * \text{lutumpercentage})/50$ .

Voor de grenzen binnen de moerige horizonten, zoals tussen venige klei, kleiig veen en veen dienen andere functies te worden gebruikt die ook weer afhankelijk zijn van het lutumgehalte. Er dient nog te worden opgemerkt, dat men spreekt van venige klei of kleiig veen als er in een moerige bodemhorizont tenminste 8% lutum zit. Verder bepaalt de hoogte van het organische stofgehalte of we te maken hebben met een venige klei of met een kleiige veenhorizont. De namen met de bijbehorende codes van moerige gronden met een lutumpercentage van tenminste 8% zijn gegeven in Tabel 11.

**Tabel 11**

*Indeling en benaming van moerige gronden met een lutumpercentage van tenminste 8%*

| <i>Naam</i> | <i>code</i> |
|-------------|-------------|
| Venige klei | VKK         |
| Kleiig veen | KVV         |
| Veen        | VV          |

De functie voor de grens tussen venig zand en zandig veen (Tabel 10; geldt tot een lutumpercentage van 8%) en de grens tussen venige klei en kleiig veen (Tabel 11; geldt vanaf een lutumpercentage van 8%) staan in Figuur 28 en Figuur 29 in de vorm van een fit met behulp van het Richards model (Hyams, 1993) en een 5<sup>e</sup> graads polynomiale fit weergegeven. In de figuren staat het lutumpercentage (X-as) uitgezet tegen het organische stofgehalte (Y-as). De functies dienen als volgt gelezen te worden: bij een gegeven lutumgehalte van 0% ligt de grens tussen venig zand en zandig veen en de grens tussen zandig veen en veen bij een organische stofgehalte van respectievelijk 22,5% (Figuur 28) en 35 % (Figuur 29). Bij een lutumgehalte van 8% ligt de grens tussen venige klei en kleiig veen en de grens tussen kleiig veen en veen bij een organische stofgehalte van respectievelijk 24,9% (Figuur 28) en 41% (Figuur 29). De vergelijkingen van de functies zijn hieronder weergegeven.

$$Y = \frac{a}{(1 + e^{(b-cX)})^{\frac{1}{d}}}$$

vergelijking 30

waarin

Y organische stofgehalte

X lutumgehalte

a, b, c, d coëfficiënten: a = 39.17, b = 3.20, c = 0.08 en d = 5.83

$$Y = a + bX + cX^2 + dX^3 + eX^4 + fX^5$$

vergelijking 31

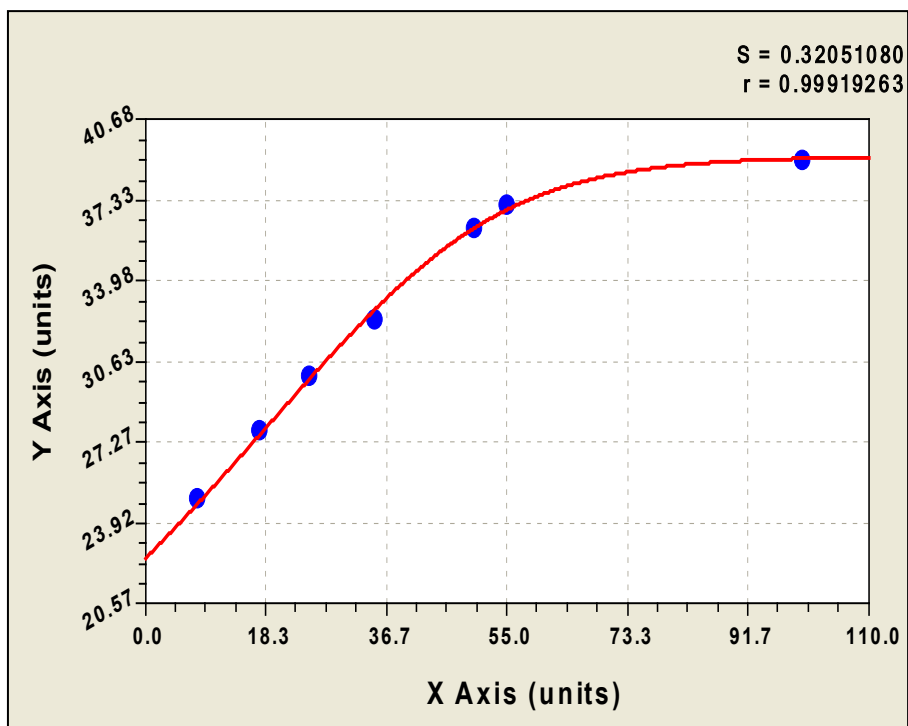
waarin

Y organische stofgehalte

X lutumgehalte

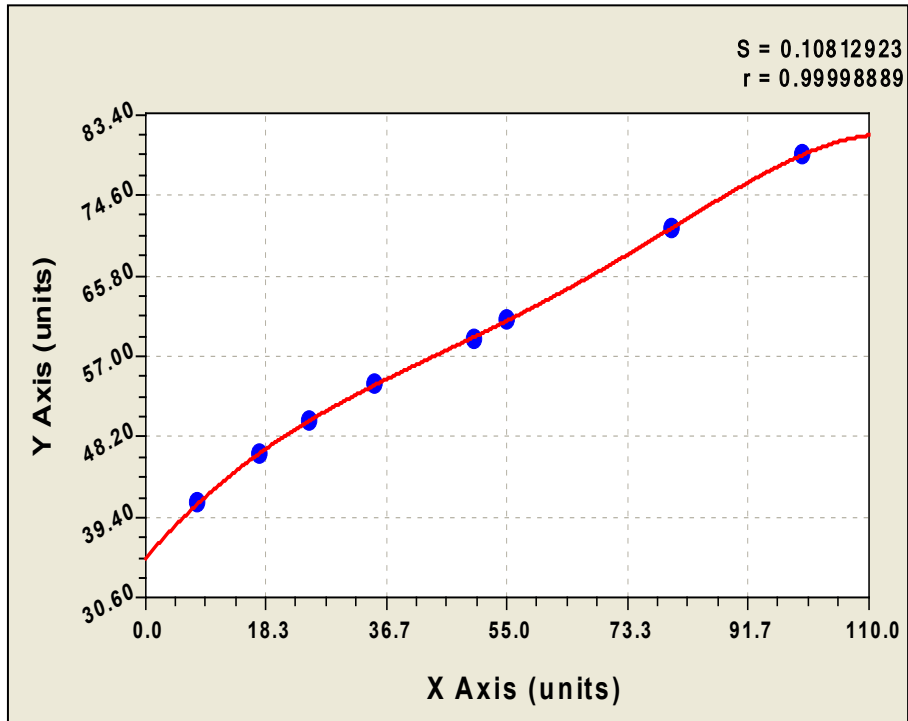
a, b, c, d, e, f coëfficiënten: a = 35.01, b = 0.83, c = -0.01, d = 8.5E-05, e = 3.2E-07, f = -4.1E-09





**Figuur 28**

Functie voor het vaststellen van de grens tussen weinig zand en zandig veen (geldt voor een lutumpercentage tot 8%) en de grens tussen weinige klei (geldt voor een lutumpercentage vanaf 8%) en kleilig veen. X: % lutum, Y: % organische stof.



**Figuur 29**

Functie voor het vaststellen van de grens tussen zandig veen (geldt voor een lutumpercentage tot 8%) en veen en de grens tussen kleilig veen (geldt voor een lutumpercentage 8%) en veen. X: % lutum, Y: % organische stof.

### ***Overige afzettingen***

Een laatste groep die lastig is in te delen zijn de bodemhorizonten waaraan een geocode 692 of 693 is toegekend. Dit is materiaal dat van elders is aangevoerd om bijvoorbeeld de bodem te verbeteren of te verstevigen. Zo kunnen bijvoorbeeld zandgronden bemest zijn met terpaarde, waardoor de bovengrond van deze gronden bestaat uit zavel of klei. Indien aan een bodemhorizont een geocode 692 is toegekend, dan dient deze horizont in eerste instantie te worden beoordeeld naar het lutumgehalte => 8% (zie de indeling bij niet-eolische afzettingen). Is het lutumpercentage < 8% dan worden de gronden ingedeeld op basis van de indeling voor de eolische afzettingen of moerige gronden als het organischestofgehalte > 15%. In het algemeen geldt dat de fysische eigenschappen van lutum (denk hierbij o.a. aan zwel en krimp) belangrijker zijn dan de eigenschappen van leem. Daarom is besloten dat de bodemhorizonten met deze geocodes in eerste instantie worden beoordeeld aan de hand van het percentage lutum.

## **5.4 Conclusies**

Een nieuwe ruimtelijke indeling voor bodemfysische karakteristieken van Nederlandse gronden werd ontworpen op basis van boden- en ondergrond, geologisch afzettingsmilieu, lutumgehalte, leemgehalte, textuur en organische stofgehalte. In repsons op wensen van gebruikers bevat de indeling aanzienlijk meer onderscheid in bodemfysische bouwstenen dan de wijze waarop de indeling van de bouwstenen van de Staringreeks is gebaseerd. Daarnaast lost de nieuwe indeling enkele bestaande problemen op in de indeling in bouwstenen van de Staringreeks, zoals de grens tussen de minerale gronden (bijvoorbeeld zand- of kleigronden) en moerige gronden. Deze is in de onderhavige indeling niet alleen afhankelijk van het organische stofgehalte, maar ook van het lutumgehalte. Daarnaast is ook de aard en samenstelling van het moerige materiaal niet alleen afhankelijk gesteld van het organische stofgehalte maar ook van het lutumgehalte (bijvoorbeeld de grens tussen venige klei en kleiig veen).

De indeling maakt het mogelijk bodemhydraulische karakteristieken op meerdere niveaus flexibel in te delen en te selecteren. Het ontwerp is erop gericht om bodemhydrologische eigenschappen van grondmonsters zo goed mogelijk te verklaren uit beschikbare beschrijvende gegevens. Er blijft echter altijd variatie binnen een eenheid als gevolg van verschillen in landgebruik, verdichting, drainage. De indeling maakt het mogelijk een aanzienlijk deel van de variatie in bodemhydraulische karakteristieken te verklaren met indelingscriteria uit het systeem voor de bodemclassificatie voor Nederland (De Bakker en Schelling, 1989) in combinatie met een geologische indeling, zoals die grotendeels ook door Deltares wordt gebruikt. Informatie over de genoemde criteria is direct beschikbaar in de ca. 400.000 profielbeschrijvingen in het BIS en in de metadata van grondmonsters die zijn opgenomen in Priapusdatabase. Daardoor kan de indeling gemakkelijk gebruikt worden om aan de hand van de bodemfysische informatie uit de Priapusdatabase de bodemhorizonten die aanwezig zijn in het BIS bodemfysisch te schematiseren en te parameteriseren. Daarnaast sluit de nieuwe ruimtelijke indeling nauw aan op de geologische indeling die Deltares gebruikt. Dit is gunstig voor de voorziene samenvoeging van het Dinoloket en het BIS in de Basis Registratie Ondergrond.

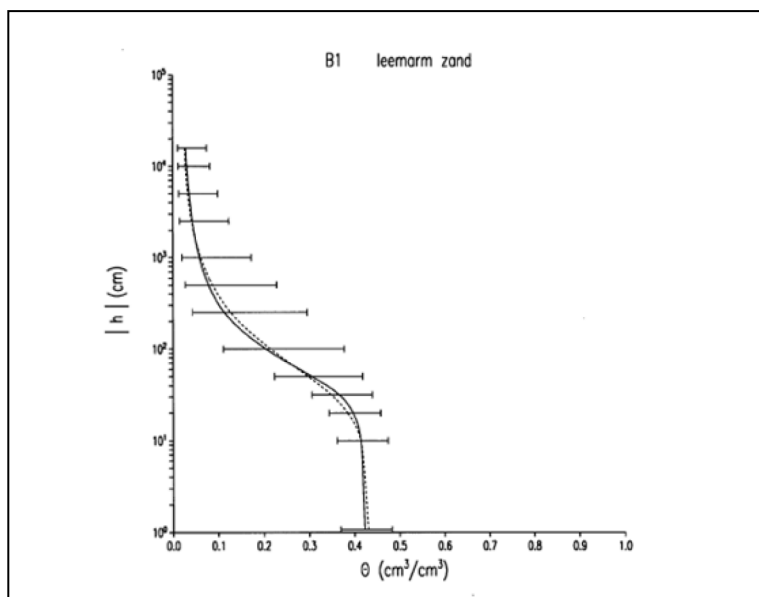
## 6 Hoe kan BIS inzicht geven in variatie in bodemhydraulische karakteristieken?

### 6.1 Inleiding

Bodemfysische karakteristieken worden gebruikt in modelstudies naar water- en stoffentransport in de onverzadigde zone, en interpretatiestudies zoals voor droogteschade, bodemgeschiktheid en vochtleverend vermogen (e.g. RIZA et al., 2006; NHI, 2008; Römkens et al., 2009). Variatie in bodemhydraulische karakteristieken heeft gevolgen voor de resultaten van dergelijke modelstudies (e.g. Schaap, 2005; Van den Berg et al., 2008). Dit soort studies vindt typisch op kaartschalen van <1:10.000 tot 1:250.000 plaats (Wösten et al., 2001). Sinds de jaren '90 wordt voor het ruimtelijk schematiseren en parameteriseren van Nederlandse bodems op grond van bodemfysische eigenschappen vaak de PAWN-indeling gebruikt, ofwel de bodemfysische eenhedenkaart op schaal 1:1.000.000 (Wösten et al., 1988). In deze indeling is de Bodemkaart van Nederland (1:250.000) (Steur en De Vries, 1985) tot een diepte van 1.20 m -mv gegeneraliseerd en geschematiseerd en geparameteriseerd tot 21 standaardprofielen op grond van verwantschap in bodemkundige en bodemfysische kenmerken. Voor gebruik in hydrologische modelstudies worden de gemiddelde bodemhydraulische karakteristieken van bouwstenen uit de Staringreeks gekoppeld aan de horizonten in de standaardprofielen.

De reductie van de ruimtelijke variatie in bodemopbouw in Nederland tot 21 standaardprofielen wordt door gebruikers als beperkend ervaren voor het kwantificeren van effecten van de bodem in (agro)hydrologische vraagstukken (Van der Gaast et al., 2009; De Vries et al., 2008). De richtlijnen voor gebruik van de Staringreeks geven ook aan dat voor toepassingen op grotere schaal de informatie onvoldoende gedetailleerd is, en dat in dat geval nieuwe informatie moet worden ingewonnen. Geadviseerd wordt om sub-sets van karakteristieken uit de oorspronkelijke monsters uit de Staringreeks te selecteren om regio-specifieke vertaalfuncties te genereren (bijvoorbeeld Hack-Ten Broeke en Hegmans, 1996, in: Wösten et al., 2001). Een voorwaarde is dat voor de regio voldoende metingen beschikbaar zijn (Wösten et al., 2001). De gegevens van de individuele karakteristieken uit de Staringreeks zijn echter pas beschikbaar voor gebruikers sinds de opzet van het gegevensbestand Priapus (Stolte et al., 2007; Checklist Status A Gegevensbestanden - Priapus, 2008; en dit project).

De koppeling van gemiddelde karakteristieken van bouwstenen uit de Staringreeks aan bodemhorizonten lijkt niet voldoende onderscheidend te zijn om variatie in hydrologisch gedrag te beschrijven (Wesseling, 2009, (Figuur 2). Inzage in de variatie van karakteristieken binnen een bouwsteen van de Staringreeks was tot nu toe alleen grafisch mogelijk, op grond van de standaarddeviaties rondom de gemiddelde afgeleiden per bouwsteen (Wösten et al., 2001) (Figuur 30). De Staringreeks geeft geen kwantitatieve maten van de variatie van de gemiddelde karakteristiek per bouwsteen ten opzichte van de gemeten en afgeleide karakteristieken van de grondmonsters die tot een bouwsteen werden gerekend. Dit komt omdat gebruikers geen toegang hadden tot de meetgegevens en de afgeleide gegevens van de individuele grondmonsters.



**Figuur 30**

Grafische weergave van de variatie in afgeleide  $\theta(h)$ -relatie in de toelichting op de Staringreeks 2001, voorbeeld voor bouwsteen B1. Bron: Wösten et al. (2001).

Gebruikers van de Staringreeks hebben in een gebruikersinventarisatie aangegeven behoefte te hebben aan een hogere betrouwbaarheid (ofwel minder onzekerheid) van de gemiddelde karakteristieken binnen een bodemfysische eenheid. Daarnaast wil men inzage in de variatie van karakteristieken binnen een bodemfysische eenheid (gebruikersinventarisatie BIS, De Vries et al., 2008). Het doel van dit deelproject is een vooruitblik te geven op hoe het BIS inzicht zou kunnen geven in de variatie in gemeten en afgeleide  $h(\theta)$  en  $K(h)$ -relaties. Hierbij maken we onderscheid tussen variatie op locaties (horizonten) waar bodemhydraulische karakteristieken bepaald werden, en variatie tussen locaties.

Variatie op locatie is gedefinieerd als de variatie in de meetgegevens en variatie in afgeleide gegevens:

- Variatie in de meetgegevens betreft variatie van waarden in delen van de curve waarvoor geen meetpunten zijn, en de meetfout van de gebruikte meetmethoden.
- Variatie in de afgeleide gegevens. De afgeleide gegevens zijn de functiebeschrijvingen van de  $h(\theta)$  en  $K(h)$ -relaties of tabulaire waarden van  $\theta$  en  $K$  als functie van  $h$ , die zijn afgeleid van die functiebeschrijvingen. Ook agrohydrologische variabelen, zoals het verzadigingstekort of bergingscoëfficiënt, afgeleid van de functiebeschrijvingen behoren tot de afgeleide gegevens.

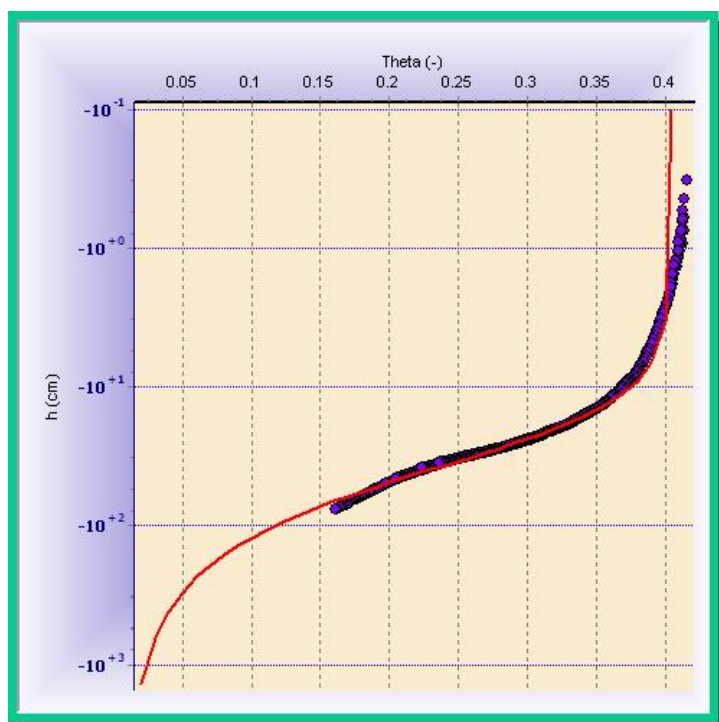
De variatie tussen locaties is de ruimtelijke variatie tussen  $h(\theta)$ - en  $K(h)$ -relaties op verschillende locaties en in verschillende bodemhorizonten.

## 6.2 Variatie op locatie: variatie in meetgegevens

### 6.2.1 Wat weten we over variatie in meetgegevens van bodemhydraulische karakteristieken?

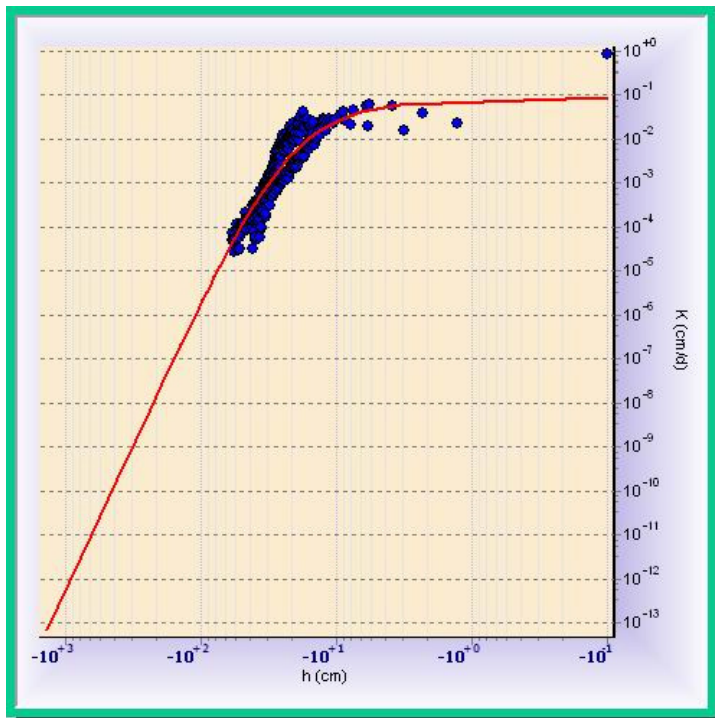
De meetgegevens van bodemhydraulische karakteristieken bestaan uit series meetpunten van vochtgehalte ( $\theta$ ) en doorlatendheid ( $K$ ) als functie van de vochtspanning ( $h$ ) (Figuur 31 en Figuur 32). Voor gebruik in modellen is

een continue functie nodig van  $h(\theta)$  en  $K(h)$  voor waarden van  $h$  tussen 0 en ca -16000 cm  $H_2O$ . Dit betekent dat waarden geïnterpoleerd moeten worden tussen meetpunten, en geëxtrapoleerd moeten worden naar de domeinwaarden in het natte ( $h > -50$  cm  $H_2O$ ) en droge traject ( $h < -800$  cm  $H_2O$ ), waarvoor doorgaans geen of weinig meetgegevens beschikbaar zijn in de database. Dit komt omdat het niet mogelijk is met de gebruikte meetmethode (verdampingsmethode van Wind) waarden van  $K$  en  $\theta$  te bepalen in het droge en natte traject. Voor het natte traject werd in de jaren '90 de druppelinfiltrometer methode gebruikt (Stolte, 1997b; Stolte et al., 1994), of in het veld de korstenmethode (Bouma, 1977). Het is niet bekend waarom deze methoden niet meer worden toegepast in het bodemfysisch laboratorium van Alterra (o.a. Bakker, pers. comm.).



**Figuur 31**

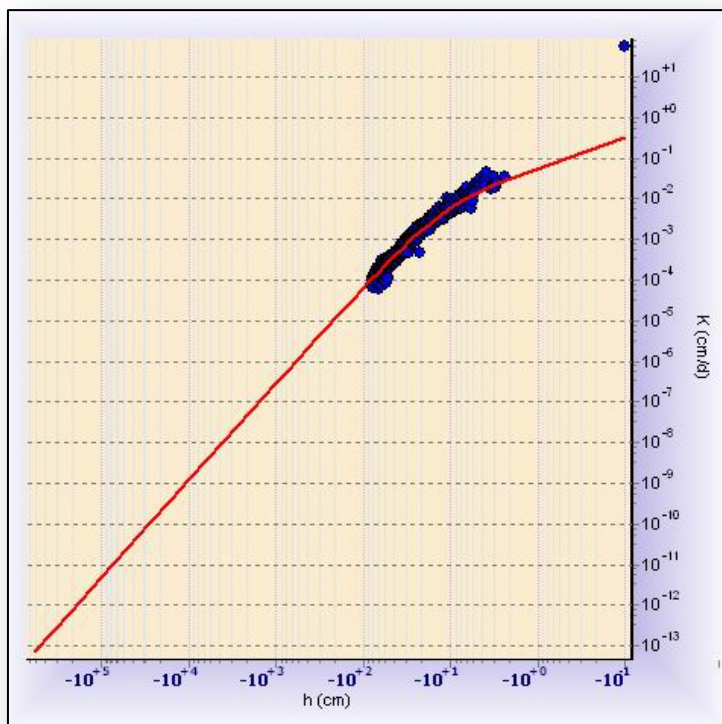
Voorbeeld van meetpunten van een waterretentiecurve ( $h(\theta)$ -relatie) met functiebeschrijving met het Mualem-Van Genuchtenmodel (rode lijn).



**Figuur 32**

Voorbeeld van meetpunten van een doorlatendheidscurve ( $K(h)$ -relatie) met functiebeschrijving met het Mualem-Van Genuchtenmodel (rode lijn).

Afgezien van het ontbreken van meetpunten in deeldomeinen van  $h$ , zijn de meetpunten van de  $\theta$ - $h$  en  $K(h)$ -relaties van de grondmonsters met verschillende meetmethoden bepaald sinds de jaren 1960 (Stolte et al., 2007). Iedere methode kent zijn eigen meetfouten. Voor het droge traject werd gebruik gemaakt van de membraanpers-methode (Stolte en Veerman, 1997; Standaardwerkvoorschrift E4502, Bodemfysisch laboratorium Alterra). De punten in dit traject liggen vaak niet in het verlengde van de punten die bepaald zijn met de verdampingsmethode volgens Wind (high-tech uitvoering volgens Van den Elsen, Standaardwerkvoorschrift E4505, Bodemfysisch laboratorium Alterra). De verzadigde doorlatendheid ( $K_{sat}$ ) wordt vaak gebruikt om de  $K(h)$ -relatie in het natte traject te extrapoleren met het Mualem-Van Genuchtenmodel (Van Genuchten, 1980). De verzadigde doorlatendheid is echter voor een groot deel van de monsters bepaald met een andere methode: de 'constant head' methode (Stolte, 1997a). Hierbij wordt een waterlaag aangebracht op het verzadigde monster. Daardoor ligt de (gemeten)  $K_{sat}$  vaak hoger dan de verwachte waarde op  $h=0$  (ook wel weergegeven als  $K_0$ ) in het verlengde van het verloop van de  $K(h)$ -relatie (Figuur 33).



**Figuur 33**

Voorbeeld van een gemeten  $K(h)$ -relatie, waarbij de meetwaarde van  $K_{sat}$  afwijkt van het verloop van de overige meetpunten. De rode lijn is een beschrijving met het Mualem-Van Genuchtenmodel

De meeste meetgegevens van bodemhydraulische karakteristieken in het gegevensbestand Priapus zijn bepaald met de verdampingsmethode van Wind (high-tech uitvoering volgens Van den Elsen, Standaardwerkvoorschrift E4505, Bodemfysisch laboratorium van Alterra). Dit is ook de methode die nu gebruikt wordt bij Alterra voor het bepalen van bodemfysische karakteristieken. Het werkvoorschrift geeft informatie over de nauwkeurigheid van de metingen (Textbox 1). De meetnauwkeurigheid van  $K$  is laag ten opzichte van  $h$  en  $\theta$  (Figuur 34).

#### Waterdoorlatendheidskarakteristiek

bereik:  $h = -50$  cm tot  $h = -700$  cm

$k = 0$  tot  $\infty$

nauwkeurigheid:  $h \pm 4\%$  van de werkelijke waarde (volgt uit simulatiestudies)

$k \pm 540\%$  van de werkelijke waarde ( $k \pm 300\%$  na eliminatie kleine hydraulische gradiënten)

Om deze nauwkeurigheid te waarborgen moet  $\left| \frac{dH}{dz} \right| > 3,5$  of  $\left| \frac{dh}{dz} \right| > 2,5$  zijn

#### Retentiekarakteristiek

bereik:  $h = 0$  cm tot  $h = -800$  cm

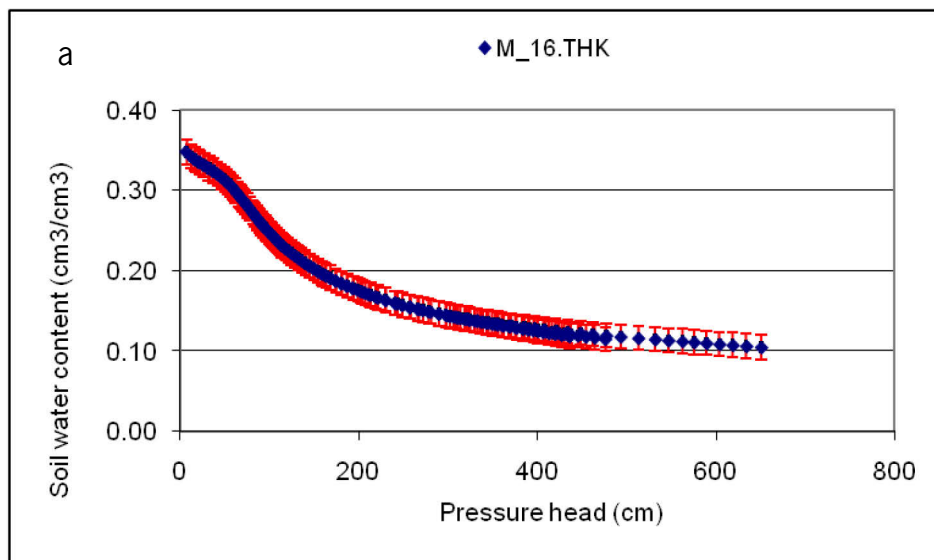
$\theta = 0$  tot 1

nauwkeurigheid:  $h \pm 4\%$  van de werkelijke waarde (volgt uit simulatiestudies)

$\theta \pm 0.015$  maximaal (typisch echter 0.005)

#### **Textbox 1**

Nauwkeurigheid van de metingen van bodemhydraulische karakteristieken in het bodemfysisch laboratorium van Alterra. Bron: Standaardwerkvoorschrift verdampingsmethode van Wind.

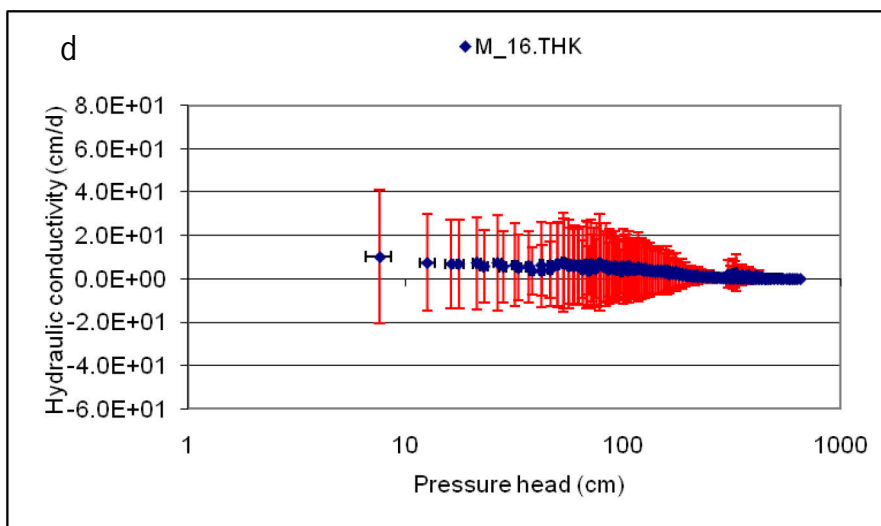
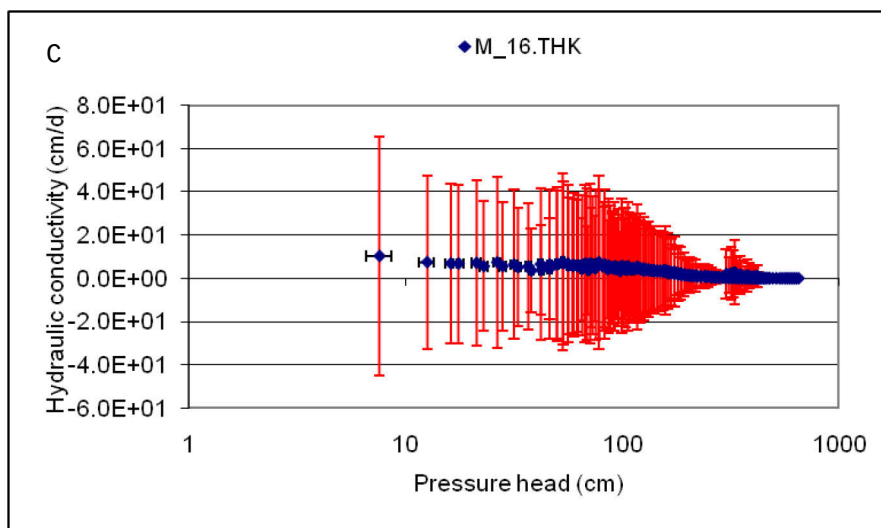
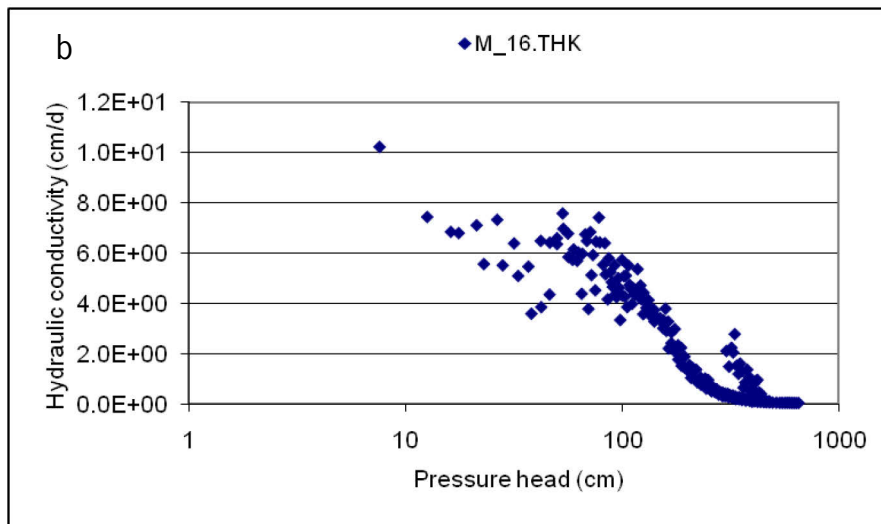


#### **Figuur 34**

Voorbeeld van gemeten  $h(\theta)$ - (a) en  $K(h)$ -relaties (b, c, d) met weergave van de meetnauwkeurigheid volgens

Standaardwerkvoorschrift E4505, Bodemfysisch laboratorium van Alterra (a, c en d). Meetnauwkeurigheid voor  $K$  met (c) en zonder inbegrip van kleine hydraulische gradiënten (d).





**Figuur 34 (vervolg)**

Voorbeeld van gemeten  $h(\theta)$ - (a) en  $K(h)$ -relaties (b, c, d) met weergave van de meetnauwkeurigheid volgens Standaardwerkvoorschrift E4505, Bodemfysisch laboratorium van Alterra (a, c en d). Meetnauwkeurigheid voor  $K$  met (c) en zonder (d) inbegrip van kleine hydraulische gradiënten.

De metingen van  $\theta$  en  $K$  berusten op dezelfde metingen van de capillaire drukhoogte  $h$  en het gemiddelde vochtgehalte  $\theta$  van het monster als functie van de tijd (Standaardwerkschrift E4505, Bodemfysisch Laboratorium van Alterra). Voor het afleiden van  $K$  uit metingen van  $h$  en  $\theta$  wordt de wet van Darcy gebruikt met drie diepte-intervallen tussen de tensiometers in het grondmonster (zie Figuur 7):

$$q = -K \frac{d(H_g + h)}{ds} \quad \text{vergelijking 32}$$

waarin  $q$  is de filtersnelheid (cm/d),  $d(H_g + h)/ds$  is de gradiënt van de hoogtepotaal  $H_g$  en de potentiaal van de capillaire drukhoogte  $h$  (cm) over de lengte van het interval (s). Als de gradiënt  $d(H_g + h)/ds$  klein wordt moet  $K$  groot worden om de filtersnelheid te verklaren. Kleine afwijkingen in de meetwaarden in het gebied waar de gradiënt erg klein is zorgen daarom voor grote onnauwkeurigheden. Kleine gradiënten van  $d(H_g + h)/ds$  komen het meest voor in het 'natte' traject van  $h$ , bij waarden grofweg  $>100$  cm. Om deze reden is het voor de bepaling van  $K$  van belang dat kleine gradiënten in  $dH/dz$  buiten beschouwing worden gelaten. De meetnauwkeurigheid verbetert dan naar 300% van de werkelijke waarde (Textbox 1). De bepaling van de retentiekarakteristiek is niet gevoelig voor kleine hydraulische gradiënten.

Na eliminatie van de kleine hydraulische gradiënten blijft echter nog steeds een grote meetfout in de doorlatendheidskarakteristiek bestaan ten opzichte van die in de waterretentiekarakteristiek. De knelpunten in de meting van de capillaire drukhoogte met tensiometers genoemd in hoofdstuk 3.2.2 hebben een groter effect op  $K$  omdat de afgeleide  $dh$  gebruikt wordt, en voor de waterretentiekarakteristiek de primaire waarden van  $h$ . Een andere verklaring voor de grotere meetfout in de doorlatendheidskarakteristiek is mogelijk de berekening van een gemiddelde waarde van  $K$  als functie van  $h$  uit de waarden van  $\theta$  en  $h$  voor de drie diepte-intervallen van de grondmonsters.

Zoals beschreven in hoofdstukken 2.2, 3 en 6.2 zijn meetgegevens van bodemhydraulische karakteristieken uit laboratoriumexperimenten bepaald aan grondmonsters van beperkte afmetingen ( $50\text{--}400\text{ cm}^3$ , Stolte et al., 2007). Voor het beschrijven van stroming in de onverzadigde zone zijn echter bodemhydraulische karakteristieken nodig voor grotere 'supports' (Bierkens et al., 2000; Vrugt et al., 2008). De informatie over de variatie van bodemhydraulische karakteristieken die op basis van de gegevens in het Priapus-bestand verstrekt kan worden in BIS heeft alleen betrekking op de support van de oorspronkelijke meetgegevens. Informatie over de support is gedocumenteerd in het Priapus-bestand (tabellen Metingen en MeetMethoden).

## 6.2.2 Hoe kan BIS inzicht geven in variatie in meetgegevens?

Het BIS kan via het gegevensbestand Priapus de meetgegevens van bodemhydraulische karakteristieken beschikbaar stellen aan gebruikers, met inbegrip van de meetfout in  $h$ ,  $\theta$  en  $K$ . De meetgegevens zijn beschikbaar in het gegevensbestand Priapus. Informatie over de meetfout is niet direct beschikbaar in BIS. Voor een deel van de karakteristieken is deze indirect beschikbaar, doordat de meetmethode en de bijbehorende brondocumentatie zijn gedocumenteerd in Priapus (Stolte et al., 2007). Aanbevolen wordt de meetfout, voor zover bekend, voor ieder monster te documenteren in het gegevensbestand Priapus. Daarnaast wordt aanbevolen de berekening van de doorlatendheidskarakteristiek in de bestaande software (APPIA) te controleren, en een analyse te doen van de voortplanting van de meetfouten in  $\theta$ ,  $h$  en  $K$  in deze berekening.

## 6.3 Variatie op locatie: variatie in afgeleide gegevens

De variatie in de afgeleide gegevens heeft betrekking op afleidingen van  $\theta$  en  $K$  als functie van de drukhoogte  $h$  op basis van gemeten  $\theta(h)$  en  $K(h)$ . Afgeleide gegevens kunnen worden verkregen door de gemeten  $\theta(h)$  en  $K(h)$  te beschrijven met een mathematische, statistische of bodemfysische functie. Hiervan zijn er vele bekend in de literatuur (e.g. Gardner, 1958; Brooks en Corey, 1964; Russo, 1988; Groenevelt en Grant, 2004, Mualem, 1976; Van Genuchten, 1980). Over het algemeen wordt aangenomen dat een goede functiebeschrijving zowel de  $h(\theta)$ - als de  $K(h)$ -relaties goed beschrijft (Twarakavi et al., 2008). Het Mualem-Van Genuchtenmodel is in de Staringreeks gebruikt voor het beschrijven van de gemeten  $\theta(h)$ - en  $K(h)$ - waarden. Recent blijken beschrijvingen met cubical splines (matematische functies) goede resultaten te geven (Wesseling, 2009 en dit project, zie hoofdstuk 4). De kwaliteit van een beschrijving wordt meestal uitgedrukt in de mate waarin één of meer objectieve functies geoptimaliseerd worden (Vrugt et al., 2003; Schaap, 2005; Twaravaki et al., 2008, Wesseling et al., 2008). De beoordeling van de kwaliteit van functiebeschrijvingen met objectieve functies wordt toegelicht in hoofdstuk 4.

### 6.3.1 Hoe kan BIS inzicht geven in variatie in afgeleide gegevens?

De variatie in functiebeschrijvingen met het Mualem-Van Genuchtenmodel (Van Genuchten, 1980) kan gekwantificeerd worden als wordt aangenomen dat de vorm van de functie bekend is, en alleen de parameters van de functie nog onzeker zijn. De parameters kunnen worden geschat door de functie door de meetpunten te fitten door het optimaliseren van één of meer doelfuncties (zie hoofdstuk 4). De 'goodness of fit' van de functiebeschrijving kan hierbij worden uitgedrukt als een spreiding (variantie) van meting versus modelvoorspelling, volgens:

$$\text{Meting} = f(\text{parameters}) + \text{residu}$$

waarbij  $f$  de functiebeschrijving is. De parameters en het residu worden dan beschouwd als stochastisch met een kansverdeling. De variatie behorend bij de schattingen van de parameters kan gekwantificeerd worden in de vorm van de variantie- en covariantiematrices van de parameters (Press et al., 1988, in: Schaap, 2005).

Bij de functiebeschrijvingen met cubical splines kunnen de coördinaten van de Virtual Nodes als parameters worden beschouwd. De optimale waarden van deze Virtual Nodes worden behulp van het programma Dragon bepaald. Daarmee kunnen kansverdelingen berekend worden van de bodemhydraulische karakteristieken per monster.

## 6.4 Variatie tussen locaties

De variatie in  $K(h)$ - en  $h(\theta)$ -relaties tussen locaties betreft de ruimtelijke variatie tussen  $h(\theta)$  en  $K(h)$ -relaties op verschillende locaties en in verschillende bodemhorizonten. Een deel van deze variatie kan verklaard worden door de ruimtelijke variatie van bodemeigenschappen als textuur en structuur. Uit de literatuur is bekend dat bodemhydraulische karakteristieken een grote ruimtelijke variatie hebben als gevolg van de variatie van textuur en structuur (e.g. Webster en Oliver, 2007; Nemes en Rawls, 2004; Xu et al., 2009). De Staringreeks gebruikte een indeling op basis van boven- en ondergrond, textuur (lutum- of leemgehalte in combinatie met de mediaan van de zandfractie) en organischestofgehalte (Wösten et al., 2001). De in dit project voorgestelde indeling (hoofdstuk 5) is gebaseerd op boven- en ondergrond, het geologisch afzettingsmilieu van het grondmonster en de componenten minerale delen en organische stof. Binnen de eenheden van de indeling is er nog steeds ruimtelijke variabiliteit. Die kan onder meer het gevolg zijn van de aanwezigheid van storende

lagen in het bodemprofiel (Figuur 35), gelaagdheid (Vroon et al., 1988), of verschillen in landgebruik, die niet verklaard worden door de indeling (zie paragraaf 3.3).



**Figuur 35**

*Storende laag in een bodemprofiel.*

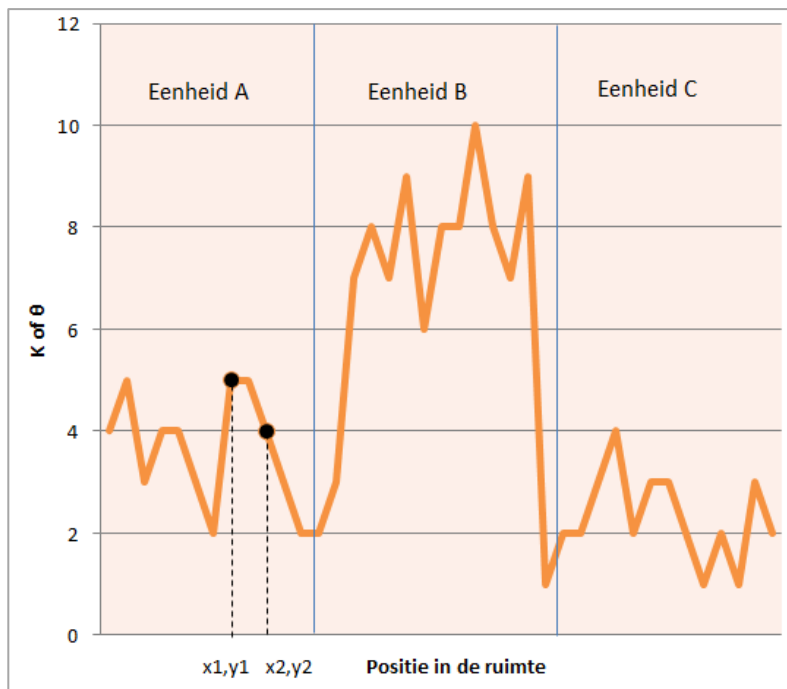
#### **6.4.1 Hoe kan BIS inzicht geven in variatie tussen locaties?**

Voorbeelden van hoe de ruimtelijke variatie binnen eenheden van de indeling kan worden meegenomen zijn de studie van Finke et al. (1996) en de onzekerheidsanalyse van het model GeoPearl door Van den Berg et al. (2008). Finke et al. (1996) gebruikten de variantie-covariantie matrix van de vormparameters en loting van karakteristieken om naast de gemiddelde bodemhydraulische karakteristieken inzicht te geven in de variatie van de vormparameters, en van modelresultaten voor praktische bodemaspecten zoals draagkracht, aeratie en doorbraak van opgeloste stoffen (Wösten et al., 2001). Deze procedure zou deels gefaciliteerd kunnen worden in het BIS, bijvoorbeeld doordat de interface de variantie-covariantie matrix berekent van de Mualem-Van Genuchten-parameters voor de karakteristieken die de gebruiker selecteert, en door het mogelijk maken van loten van karakteristieken uit een selectie (bijvoorbeeld binnen een ruimtelijke bodemfysische eenheid), of het genereren van synthetische karakteristieken. Het loten of genereren van karakteristieken uit individuele karakteristieken om inzicht te krijgen in variatie werd ook aanbevolen in de richtlijnen voor het gebruik van de Staringreeks in Wösten et al. (2001). Hiervoor kan Monte Carlo analyse gebruikt worden (Press et al., 1988; in: Schaap, 2005) of de Bootstrap Methode (Efron en Tibshirani, 1993; in: Schaap, 2004). In de aan gebruikers beschikbaar gestelde documentatie en software van de Staringreeks was echter geen informatie over individuele karakteristieken voorhanden (meetgegevens en vormparameters). Deze is wel gedocumenteerd in het gegevensbestand Priapus. Daarmee is het mogelijk deze aanbeveling voor omgang met variatie nu ook voor het BIS te geven.

In de analyse van GeoPERAL door Van den Berg et al. (2008) werden bodemhydraulische karakteristieken willekeurig getrokken uit de sets van individuele bodemhydraulische karakteristieken per bouwsteen van de Staringreeks, en werd de invloed op uitvoervariabelen van het model berekend. Hiervoor werden bodemhydraulische karakteristieken uit het Priapus-gegevensbestand gebruikt, omdat in de Staringreeks geen meetgegevens en afgeleide gegevens van individuele horizonten beschikbaar zijn voor gebruikers.

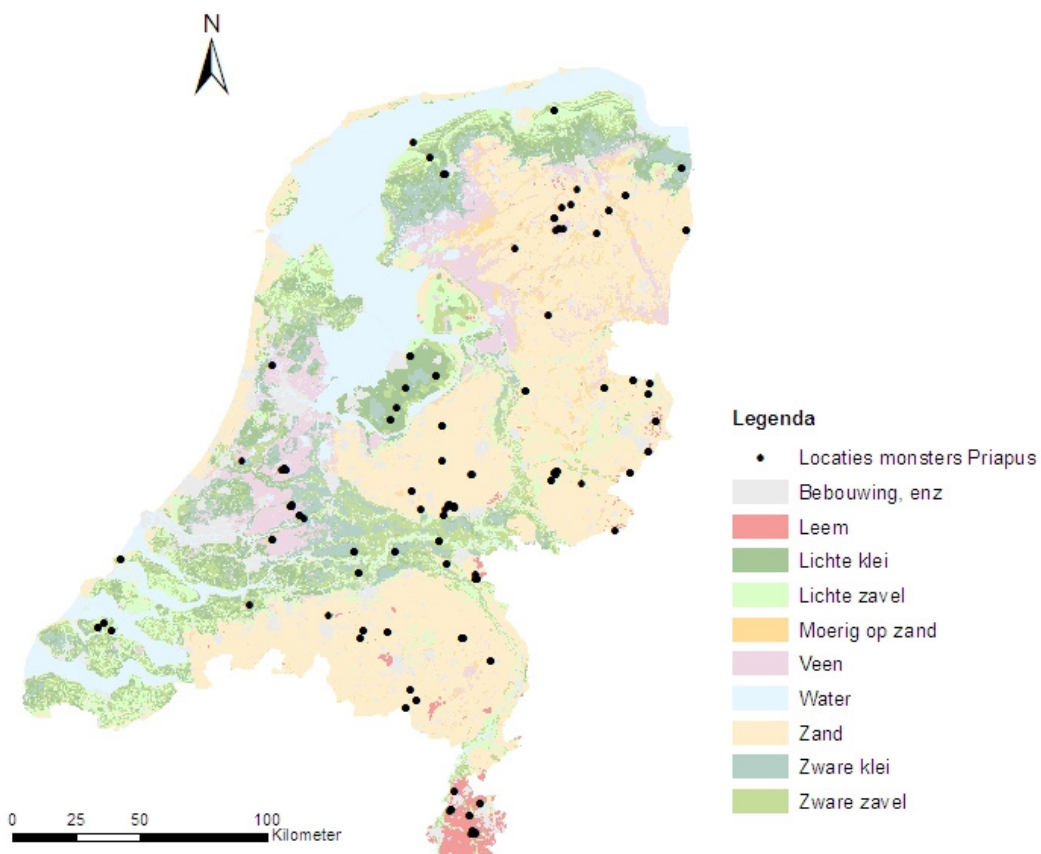
Het faciliteren van het trekken van bodemhydraulische karakteristieken in bodemfysische eenheden is een mogelijkheid om gebruikers van BIS inzicht te geven in de variatie tussen locaties. Hiervoor kunnen de bodemfysische eenheden van de Staringreeks gebruikt worden (bouwstenen), of van de nieuwe indeling gebaseerd op afzettingssmilieu, die is voorgesteld in dit project (zie hoofdstuk 5 en hoofdstuk 6.5). Het voordeel van de nieuwe indeling is dat het niveau van de indeling door de gebruiker zelf gekozen kan worden. Welk klassifikatiesysteem ook wordt gebruikt, 'random' trekken heeft alleen zin als er voldoende monsters binnen de beschouwde klasse aanwezig zijn, en de verschillen binnen een klasse niet verder op basis van de beschrijvende gegevens kunnen worden verklaard. Op de hoogste niveaus van de indeling (bovengrond of ondergrond, hoofdgroepen geologisch afzettingssmilieu) zijn meer karakteristieken beschikbaar per eenheid, maar is geen onderscheid naar textuur en organischestofgehalte. Trekt de gebruiker uit eenheden op een lager niveau, dan zijn minder karakteristieken per eenheid beschikbaar, maar is informatie over het gehalte lutum, leem, organische stof en de mediaan van de zandfractie inbegrepen in de definitie van de eenheid (afhankelijk van de hoofdgroep afzettingssmilieu). De variabiliteit van bodemhydraulische karakteristieken binnen en tussen eenheden van de nieuwe indeling (hoofdstuk 5) en de effectiviteit van de indeling wordt beschreven in hoofdstuk 6.5.

Een deel van de ruimtelijke variabiliteit binnen eenheden kan ruimtelijk gecorreleerd zijn, zoals tussen de locaties  $x_1, y_1$  en  $x_2, y_2$  in Figuur 36 (e.g. Webster en Oliver, 2007). Als die ruimtelijke correlatiestructuur bepaald kan worden, kan deze gebruikt worden om de variatie van bodemhydraulische karakteristieken binnen eenheden kleiner te maken, zoals voor andere bodemeigenschappen wordt gedaan in het Delta-BIS project ([www.kennisonline.wur.nl/KB/KB-01/001/015/beschrijving.htm](http://www.kennisonline.wur.nl/KB/KB-01/001/015/beschrijving.htm)). Deze informatie kan ook gebruikt worden in toepassingen van digitale bodemkartering (Kempen, 2008). Hiervoor is het nodig dat bodemhydraulische karakteristieken in het BIS gedocumenteerd worden met hun locatie (X- en Y-coördinaat), en diepteligging in het profiel. Het gegevensbestand Priapus voorziet in deze gegevens (Figuur 37). Ook is een voldoende groot aantal karakteristieken nodig om modellen van de ruimtelijke correlatiestructuur binnen eenheden te kunnen opstellen (De Gruijter et al., 2006). Op dit moment bevat het Priapus gegevensbestand te weinig karakteristieken om dergelijke modellen voor ruimtelijke bodemfysische eenheden af te leiden (zie Figuur 37 en hoofdstuk 6.5).



**Figuur 36**

Grafische weergave van ruimtelijke variatie van bodemhydraulische karakteristieken.



**Figuur 37**

Locaties van monsters in Priapus tegen de achtergrond van de grondsoortenkaart (2006), inclusief monsters die afgeschermd zijn voor gebruik (zie hoofdstuk 1). Bron grondsoortenkaart: Grondsoortenkaart voor het mestbeleid van 2006. Alterra-rapport 1381, ISSN 1566-7197; De bodem van Drenthe in beeld, Wageningen, 2006.

## **6.5 Variatie van bodemhydraulische karakteristieken volgens de nieuwe indeling en effectiviteit van de indeling**

### **6.5.1 Inleiding**

Voor ruimtelijke vraagstukken met een bodemkundige component, maar onvoldoende meetlocaties om een kaart te maken van bodemkundige kenmerken, worden vaak bodemclassificatiesystemen en bodemkaarten gebruikt om kenmerken te kunnen schatten op locaties waarop geen metingen of waarnemingen gedaan kunnen worden (Webster en Oliver, 2007). Zoals werd beschreven in hoofdstukken 2 en 3, zijn bodemhydraulische karakteristieken maar voor een beperkt aantal meetlocaties in Nederland bekend beschikbaar (zie ook Figuur 37). In dit project werd een nieuwe indeling gepresenteerd om bodemhydraulische karakteristieken te kunnen voorspellen op locaties waarvoor we geen metingen hebben (hoofdstuk 5). In dit hoofdstuk wordt nagegaan hoe groot de variatie van bodemhydraulische karakteristieken is voor de gehele dataset op alle meetlocaties, en binnen en tussen de eenheden op het hoofdniveau van de nieuwe indeling. Dit geeft inzicht in hoeverre gebruik van de nieuwe indeling de variatie in bodemhydraulische karakteristieken tussen locaties kan reduceren.

### **6.5.2 Werkwijze**

Voor het in beeld brengen van de variatie van de bodemhydraulische karakteristieken tussen locaties worden de bodemhydraulische karakteristieken van de monsters uit de Priapus database beschouwd, waarvoor een code voor de indeling in geologische eenheden beschikbaar is, en waarvoor afgeleide gegevens beschikbaar waren ten tijde van de analyse (81 monsters). Omdat de bodemhydraulische karakteristieken bestaan uit functiebeschrijvingen, worden twee variabelen gebruikt om het hydrologisch gedrag van een grond over een traject van bevochtiging of uitdroging te beschrijven: de kritieke z-afstand en het verzadigingstekort bij stationaire fluxdichtheden van 1 en 2 mm/dag. Deze variabelen worden vaak gebruikt voor het karakteriseren van het hydrologisch gedrag van Nederlandse gronden in (agro)hydrologische vraagstukken (Van der Gaast et al., 2009; Bouma, 1993).

De kritieke z-afstand is de maximale afstand tussen het grondwater en de onderkant van de effectieve wortelzone, waarover een bepaalde flux nog mogelijk is. Uit de literatuur blijkt dat een flux van 2 mm/dag als aanvulling op de vochtvoorraad in de wortelzone meestal toereikend is om een gewas optimaal te laten groeien (van Soestbergen et al., 1986). Voorts houdt dit ook in, dat wanneer de stand van het grondwater ondieper is dan de dikte van de effectieve wortelzone en de kritieke z-afstand samen er nauwelijks vochttekorten aan de gewassen zullen optreden (Bouwman, 1990). De kritieke z-afstand kan alleen worden gebruikt binnen de zand-, veen en zware kleigronden, omdat de z-afstanden bij fluxen van 2 tot 0.5 mm/dag dicht bij elkaar liggen. Hierdoor zal dus korte tijd nadat de kritieke z-afstand bij een flux van 2 mm/dag is overschreden ook de kritieke z-afstand bij kleinere fluxen worden overschreden. Voor gronden die bestaan uit lichte klei, zavel, sterk lemig tot zeer sterk lemig zand, leem en loss gaat de capillaire opstijging met fluxen kleiner dan 2 mm/dag nog lang door, nadat de kritieke z-afstand bij een flux van 2 mm/dag is overschreden. Hierdoor wordt de vochtleverantie voor deze gronden als dit gebeurt op basis van de kritieke z-afstand bij flux van 2 mm/dag onderschat. Om hieraan tegemoet te komen is een vergelijking tussen ondergronden alleen mogelijk wanneer gebruikt wordt gemaakt van de kritieke z-afstand bij een flux van 2 en 1 mm/dag (Stolp en Vroon, 1990). Waarden van de kritieke z-afstand voor Nederlandse gronden zijn beschikbaar in de literatuur (Haans, 1979; Bouma, 1993).

Voor het bodemfysisch schematiseren van gronden is naast het gebruik van de kritieke z-afstand ook het verzadigingstekort van belang. Verzadigingstekort is synoniem aan bergingsvermogen, en is het volume water dat bij een bepaalde flux nodig is om een deel van de grond, met gegeven afmetingen en met gegeven initiële

berging, in de verzadigde toestand te brengen. Beide gegevens vullen elkaar aan vooreen juiste bodemfysische schematisering. Wanneer gronden bestaan uit verschillend moedermateriaal blijkt schematisering alleen goed mogelijk op basis van twee kritieke z-afstanden en twee verzadigingstekorten bij een flux van 2 en 1 mm/dag (Stolp en Vroon, 1990). Onder het verzadigingstekort wordt verstaan de hoeveelheid vocht die nodig is om een profiel, met een gegeven (kritieke) z-afstand bij een bepaalde flux, volledig te verzadigen over het traject van de z-afstand. Het verzadigingstekort zegt o.a. iets over de vochtafgifte in een bodemprofiel(horizont), poriënverdeling in een bodemprofiel(horizont), dichtheid in een bodemprofiel(horizont) en het verloop van de grondwaterstand in het bodemprofiel (horizont). In een bodemprofiel met lage verzadigingstekorten en kleine z-afstanden (b.v. zeer zware klei) zal een grondwaterstand snel uitzakken (z.g.n. 'zenuwachtig gronden'), terwijl het uitzakken van grondwater in bodemprofiel met grote verzadigingstekorten (veenmosveen) en enigszins vergelijkbare kritieke z-afstanden aanzienlijk trager gaat. Daarnaast hebben bovengronden als gevolg van een hoger organische stofgehalte, lagere dichtheid en een gunstiger poriënverdeling in het algemeen een groter verzadigingstekort dan ondergronden. Dit houdt dan o.a. in dat de bovengronden in verhouding meer vocht kunnen leveren (vooral van belang bij hangwaterprofielen) dan ondergronden in vergelijkend moedermateriaal. Het verzadigingstekort is gedefinieerd als de hoeveelheid water die nodig is (uitgedrukt in mm waterschijf) om de grond tussen de onderkant van de effectieve wortelzone en de grondwaterstand met een gegeven waterinhoud in verzadigde toestand te brengen, over een afstand, gelijk aan de kritieke stijghoogte. Hierbij wordt de waterinhoud bepaald uit het drukhoogteprofiel dat hoort bij een capillaire opstijging van 1 of 2 mm/dag, en uit de  $h(\theta)$ -relaties van de doorstroomde bodemlagen (Van Diepen et al., 2002; Van der Gaast et al., 2009).

De kritieke z-afstand en het verzadigingstekort worden voor fluxen van 1 en 2 mm/dag afgeleid uit beschrijvingen van de bodemhydraulische karakteristieken met het Mualem-Van Genuchtenmodel en met cubical splines. De variabelen worden in het vervolg aangeduid met Z en V met de toevoeging 1 of 2 voor de stijgsnelheid, de toevoeging G als de waarde is afgeleid met het Mualem-Van Genuchtenmodel, en S als de waarde is afgeleid met cubical splines (Z1S, Z1G, Z2S, Z2G, V1S, V1G, V2S, V2G).

Voor het beoordelen van de effectiviteit van de nieuwe indeling wordt een variantie-analyse gebruikt. Hiermee kan beoordeeld worden hoe 'goed' de indeling is om de doelvariabelen (in ons geval Z en V) te schatten op plaatsen waar we ze niet kunnen meten. Een indeling of classificatie is beter naarmate de klassen meer verschillen ten aanzien van de doelvariabelen, en naarmate de klassen homogeen zijn, ofwel minder variantie binnen de klassen bevatten (Webster en Oliver, 2007). De variantie-analyse wordt toegepast op de indeling in Hoofdgroepen Geologie (Figuur 38), omdat op lagere niveaus niet voldoende karakteristieken per klasse aanwezig zijn. Hierbij worden de resultaten voor de groep 'glaciale en fluvio-glaciale afzettingen' buiten beschouwing gelaten, omdat deze groep bodemhydraulische karakteristieken van maar twee grondmonsters bevat.

De verschillen tussen klassen worden getoetst door het berekenen van de F-ratio  $F=B/W$ , waarin B de variantie is tussen de klassen van de indeling, en W de variantie binnen de klassen. De nul-hypothese in de variantie-analyse is dat de gemiddelden van Z en V niet verschillen tussen de klassen van de indeling (geologische hoofdgroepen), en dat als de waargenomen variantie tussen klassen groter is dan 0, dit veroorzaakt wordt door de steekproeffout. F volgt de steekproefverdeling van Fisher. In het algemeen wordt de waarde van F als significant beoordeeld als de kans op het toevallig voorkomen van de waarde kleiner is dan 0.05.

De effectiviteit van de indeling wordt uitgedrukt als het complement van de relatieve variantie (=de variantie binnen de klassen gedeeld door de totale variantie in de dataset) (Beckett en Burrough, 1971). Deze kan beschouwd worden als het deel van de variantie dat verklaard wordt door de indeling (Webster en Oliver, 2007):

$$S_{expl}^2 = 1 - \left( \frac{s_w^2}{s_T^2} \right) \quad \text{vergelijking 33}$$



Waar:

$S_{\text{expl}}^2$  door de indeling verklaarde variantie

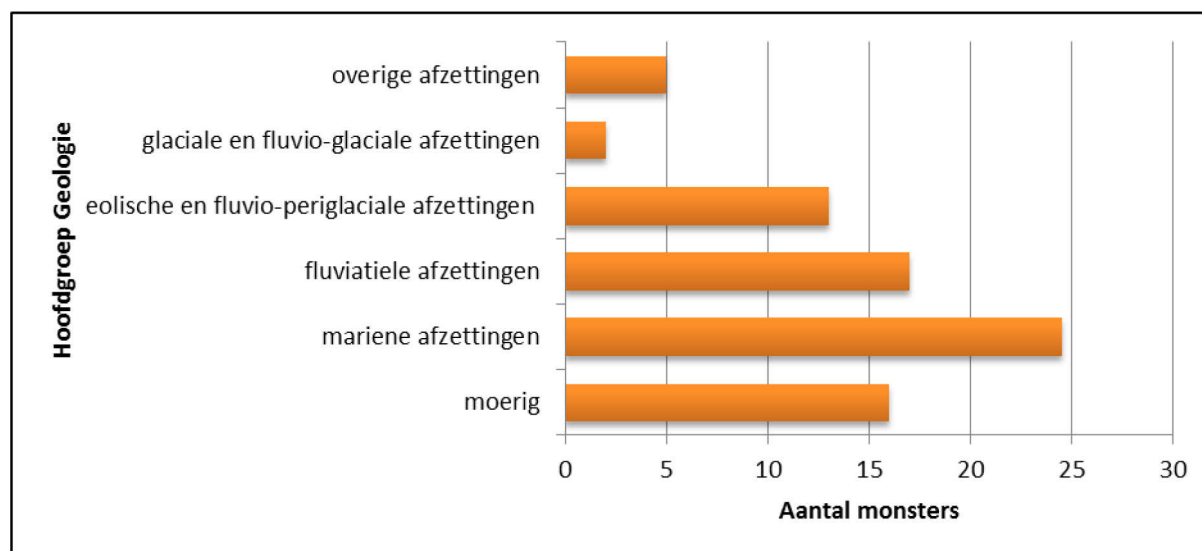
$s_w^2$  gegroepeerde variantie tussen klassen van de indeling

$s_T^2$  totale variantie in de waarnemingen in een klasse ten opzichte van het klassegemiddelde, gemiddeld over alle klassen

$S_{\text{expl}}^2$  heeft een theoretisch maximum van 1. Hoe groter de waarde van  $S_{\text{expl}}^2$ , hoe meer de variantie tussen bodemhydraulische karakteristieken verklaard wordt door de indeling in geologische hoofdgroepen, en hoe meer homogeen de klassen zijn.

### 6.5.3 Resultaten

De verdeling van het aantal monsters in de klassen van de nieuwe indeling op het hoogste niveau (geologische hoofdgroep) is weergegeven in Figuur 38.



**Figuur 38**

*Aantallen monsters per geologische hoofdgroep in gebruikte selectie uit het gegevensbestand Priapus.*

De waarden van de kritieke z-afstand (Z) en het verzadigingskort (V) voor de beschikbare dataset van bodemhydraulische karakteristieken zijn weergegeven in Tabel 12 en Figuur 39. Voor de kritieke z-afstand (Z) bij een flux van 1 mm/dag komt 75% van de waarden voor tussen 60 en 135 cm voor de afleiding met cubical splines, en tussen 60 en 170 cm voor de afleiding met het Mualem-Van Genuchtenmodel. Voor een flux van 2 mm/dag zijn de intervallen respectievelijk 40-95 cm en 40-130 cm. De intervallen voor de waarden afgeleid met het Mualem-Van Genuchtenmodel zijn ongeveer 35 cm groter. Dit kan verklaard worden doordat het cubical splines-algoritme de variantie in de gemeten waarden van de bodemhydraulische karakteristieken beter verklaart dan het Mualem-Van Genuchtenmodel (zie hoofdstuk 4.1). Daarmee reduceert de afleiding met cubical splines de variatie op locaties ten opzichte van de afleiding met het Mualem-Van Genuchtenmodel (zie hoofdstuk 6.3).

De 75% intervallen afgeleid met het Mualem-Van Genuchtenmodel liggen in een hoger bereik van Z dan voor de afleiding met cubical splines. Dat wil zeggen dat er voor dezelfde bodemhydraulische karakteristieken grotere

waarden gevonden worden van de kritieke z-afstand afgeleid met het Mualem-Van Genuchtenmodel dan afgeleid met cubical splines. Grotere waarden van Z worden gevonden in lemige gronden en zavelgronden, waarin de fluxdichtheden van 1 en 2 mm/dag bij het gegeven drukhoogteverschil over een grotere afstand in stand kan worden gehouden (Bouma, 1993 en Tabel 11).

Voor deze gronden maakt het dus het meeste uit of de kritieke z-afstand met het Mualem-Van Genuchtenmodel of met cubical splines berekend wordt.

De intervallen en de mediane waarden van de kritieke z-afstand bij 2 mm/dag liggen lager in het bereik van Z dan voor een flux van 1 mm/dag. Dit komt omdat bij een vochtspanning van pF 4.2 in de wortelzone een capillaire fluxdichtheid van 2 mm/dag over een minder grote afstand bereikt wordt ten opzichte van het grondwater dan een capillaire fluxdichtheid van 1 mm/dag.

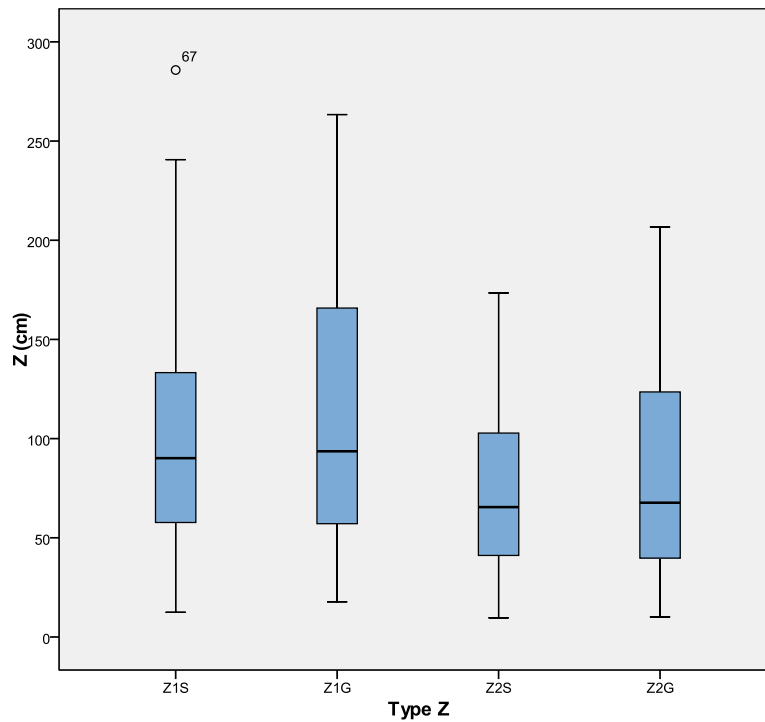
Voor het verzadigingstekort V werd hetzelfde patroon gevonden: grotere intervallen voor het voorkomen van 75% van de waarden werden gevonden met het Mualem-Van Genuchtenmodel dan met cubical splines, en de intervallen kwamen voor in een hoger bereik voor van V (Figuur 39).

De 75%-intervallen van Z komen overeen met het bereik van gemiddelde waarden voor de kritieke z-afstand voor grondsoorten in Nederland in de literatuur (Unie van Waterschappen en Dienst Landelijk Gebied, 1998; in: Van Dorp et al., 1999; Bouma, 1993). De waarden gehanteerd door de Unie van Waterschappen en Dienst Landelijk Gebied voor alle grondsoorten in Nederland samen liggen tussen 50 en 140 cm (Tabel 12) Bouma (1993) noemt waarden van 35 cm voor klei, 50 cm voor zand en 110 cm voor zavel voor een fluxdichtheid van 2 mm/dag en een drukhoogte van -1000 cm aan de onderkant van de wortelzone. De stijgcurven van de grondsoorten geven aan dat de kritieke z-afstand niet meer stijgt met afnemende drukhoogte. Daarom mogen de waarden voor de monsters in deze studie worden vergeleken met de waarden genoemd door Bouma (1993).

**Tabel 12**

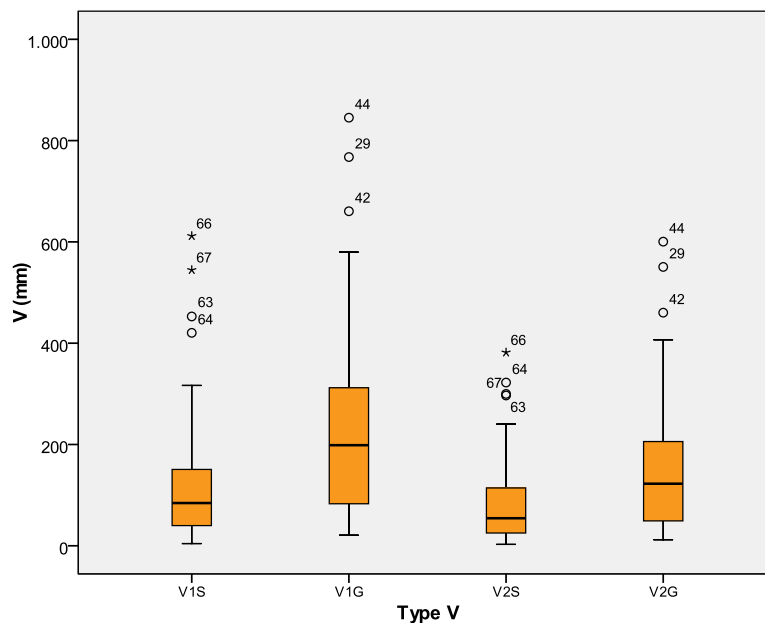
*Indicatie voor de gemiddelde kritieke z-afstand van een aantal grondsoorten. De waarden gelden voor homogene profielen. Bron: Unie van Waterschappen en Dienst Landelijk Gebied (1998). In: Van Dorp et al. (1999).*

| Grondsoort | Textuur, leem- of lutumfractie | Kritieke Z-afstand (cm) |
|------------|--------------------------------|-------------------------|
| Zand       | Grof                           | 50                      |
|            | Matig grof, leemarm            | 50                      |
|            | Matig fijn, zwak lemig         | 70                      |
|            | Sterk lemig                    | 110                     |
|            | Zeer sterk lemig               | 130                     |
| Veen       | Veen                           | 50                      |
| Klei       | Zwaar                          | 25                      |
|            | Matig zwaar                    | 35                      |
|            | Licht                          | 65                      |
| Zavel      | Zwaar                          | 80                      |
|            | Matig licht                    | 100                     |
|            | Zeer licht                     | 120                     |
| Leem       | Keileem                        | 60                      |
|            | Siltige leem (löss)            | 110                     |
|            | Zandige leem (löss)            | 140                     |



**Figuur 39**

Boxplot van kritieke Z-afstand (Z) voor monsters in de Priapus database (n=77). De kolommen geven het interval aan waarin 75% van de waarden voorkomt. De horizontale lijn in iedere kolom geeft de mediane waarde. De verticale lijnen geven het totale bereik van de waarden. 1 en 2 staan voor een flux van resp. 1 en 2 mm/dag; S: afgeleid van fit met cubical splines; G: afgeleid van fit met Mualem-Van Genuchtenmodel.

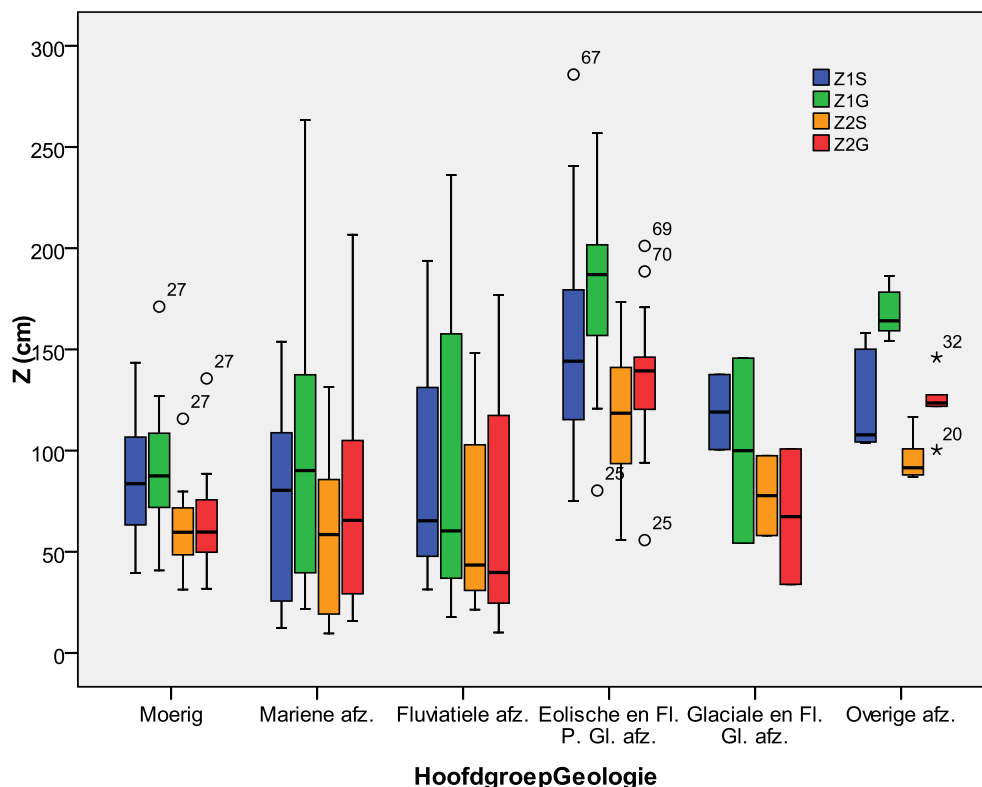


**Figuur 40**

Boxplot van verzadigingstekort (V) voor monsters in de Priapus database (n=77). De kolommen geven het interval aan waarin 75% van de waarden voorkomt. De horizontale lijn in iedere kolom geeft de mediane waarde. De verticale lijnen geven het totale bereik van de waarden. 1 en 2 staan voor een flux van resp. 1 en 2 mm/dag; S: afgeleid van fit met cubical splines; G: afgeleid van fit met Mualem-Van Genuchtenmodel.

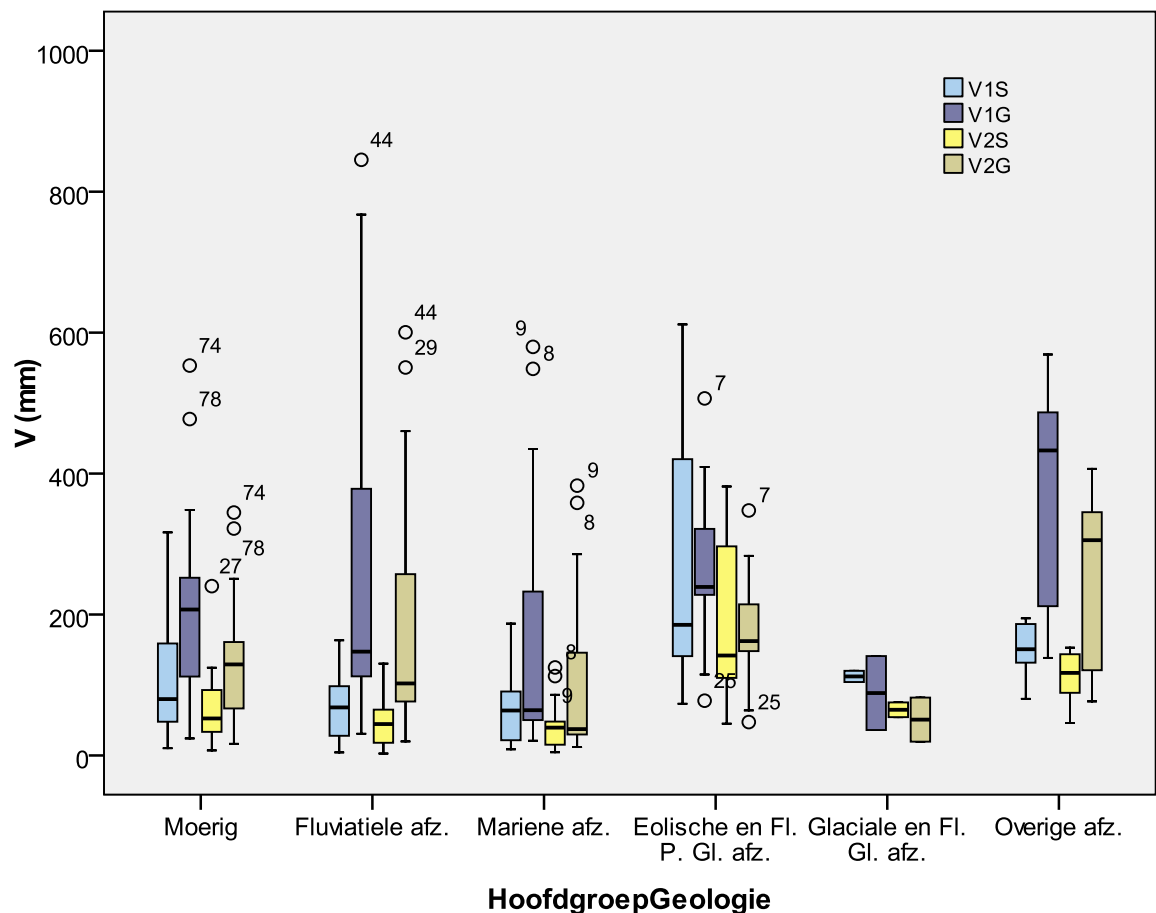
De intervallen waarin 75% van de waarden van Z en V voorkomen zijn per geologische hoofdgroep weergegeven in Figuur 41 en Figuur 42, samen met de minimum- en maximumwaarden en de mediane waarden. Op een eerste visuele beoordeling lijkt de indeling voor Z en V differentiërend te zijn. De intervallen per variabele overlappen elkaar wel tussen de geologische hoofdgroepen, maar de mediane waarden liggen op andere posities. De intervallen van Z voor de groepen eolische en fluvio-periglaciale afzettingen, glaciale en fluvio-glaciale afzettingen en overige afzettingen liggen het hoogst in het bereik van Z voor alle variabelen; de intervallen voor de groepen mariene en fluviatiele afzettingen het laagst (Figuur 41). Dit kan verklaard worden doordat grondmonsters met een groter gehalte aan zand en grind of een grovere structuur tot de beide eerste groepen behoren, en grondmonsters van kleigronden tot de laatste twee groepen.

Voor de meeste geologische hoofdgroepen zijn de 75%-intervallen van alle variabelen structureel groter voor de afleiding met het Mualem-Van Genuchtenmodel dan voor de afleiding met cubical splines, en liggen ze hoger in het bereik van de variabelen. Dit betekent dat de afleiding van Z en V met cubical splines de variatie in de waarden binnen de hoofdgroepen kleiner maakt vergeleken met de afleiding met het Mualem-Van Genuchtenmodel. Dit geldt niet voor de groep 'eolische en fluvio-periglaciale afzettingen' en 'glaciale en fluvio-glaciale afzettingen'. In de laatste groep zitten maar twee bodemhydraulische karakteristieken, waardoor de resultaten niet goed beoordeeld kunnen worden. Voor de eolische en fluvio-periglaciale afzettingen geldt dat relatief veel monsters van lemige gronden voorkomen, die van nature hogere waarden van Z en V hebben. Voor deze gronden zijn de mediane waarden van Z en V afgeleid met het Mualem-Van Genuchtenmodel hoger dan voor de afleiding met cubical splines. De oorzaak hiervan is niet duidelijk.



**Figuur 41**

Boxplot van de kritieke z-afstand (Z) voor monsters in de Priapus database (n=77), ingedeeld naar geologische hoofdgroep. De kolommen geven het interval aan waarin 75% van de waarden voorkomt. De horizontale lijn in iedere kolom geeft de mediane waarde. De verticale lijnen geven het totale bereik van de waarden. 1 en 2 staan voor een flux van resp. 1 en 2 mm/dag; S: afgeleid van fit met cubical splines; G: afgeleid van fit met Mualem-Van Genuchtenmodel.



**Figuur 42**

Boxplot van het verzadigingsstokort ( $V$ ) voor monsters in de Priapus database ( $n=77$ ), ingedeeld naar geologische hoofdgroep. De kolommen geven het interval aan waarin 75% van de waarden voorkomt. De horizontale lijn in iedere kolom geeft de mediane waarde. De verticale lijnen geven het totale bereik van de waarden. 1 en 2 staan voor een flux van resp. 1 en 2 mm/dag; S: afgeleid van fit met cubical splines; G: afgeleid van fit met Mualem-Van Genuchtenmodel.

Ivonne

## 6.6 Resultaten variantie-analyse

De resultaten van de variantie-analyse voor de indeling in geologische hoofdgroepen staan afgebeeld in Tabel 13. Voor alle onderzochte variabelen is de mean square (MSQ) van de variantie<sup>3</sup> tussen de hoofdgroepen groter dan de mean square van de variantie binnen de groepen. De kans op het voorkomen van de F-waarde (=MSQ between groups/MSQ within groups) is in alle gevallen kleiner dan 0.05. Op grond hiervan moet de nul-hypothese dat de klasse-gemiddelden niet significant verschillen worden verworpen. Dit betekent dat de indeling zinvoller is dan de dataset als geheel te beschouwen om waarden van  $Z$  en  $V$  op plaatsen te

<sup>3</sup> Is som van de gekwadeerde afwijkingen van het steekproefgemiddelde van de klasse (within groups) of van de totale populatie (between groups)

voorspellen waar niet gemeten kan worden. De resultaten voor de groep 'glaciale en fluvio-glaciale afzettingen' zijn niet betrouwbaar, omdat deze groep maar twee waarnemingen bevat voor ieder van de variabelen.

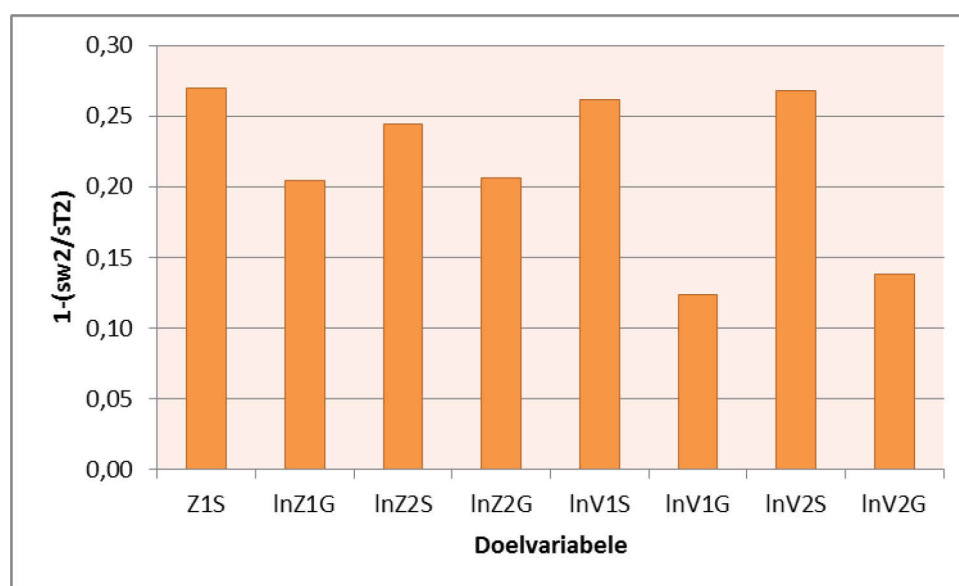
**Tabel 13**

*Resultaten van de variantie-analyse op de indeling in geologische hoofdgroepen.*

| ANOVA |                |                |    |             |       |      |
|-------|----------------|----------------|----|-------------|-------|------|
|       |                | Sum of Squares | df | Mean Square | F     | Sig. |
| InZ1G | Between Groups | 9,728          | 5  | 1,946       | 4,849 | ,001 |
|       | Within Groups  | 28,084         | 70 | ,401        |       |      |
|       | Total          | 37,811         | 75 |             |       |      |
| InZ2S | Between Groups | 11,686         | 5  | 2,337       | 6,051 | ,000 |
|       | Within Groups  | 28,195         | 73 | ,386        |       |      |
|       | Total          | 39,881         | 78 |             |       |      |
| InZ2G | Between Groups | 10,783         | 5  | 2,157       | 4,894 | ,001 |
|       | Within Groups  | 30,844         | 70 | ,441        |       |      |
|       | Total          | 41,626         | 75 |             |       |      |
| InV1S | Between Groups | 30,164         | 5  | 6,033       | 6,519 | ,000 |
|       | Within Groups  | 67,554         | 73 | ,925        |       |      |
|       | Total          | 97,718         | 78 |             |       |      |
| InV1G | Between Groups | 11,760         | 5  | 2,352       | 3,119 | ,013 |
|       | Within Groups  | 52,776         | 70 | ,754        |       |      |
|       | Total          | 64,536         | 75 |             |       |      |
| InV2S | Between Groups | 32,734         | 5  | 6,547       | 6,713 | ,000 |
|       | Within Groups  | 71,196         | 73 | ,975        |       |      |
|       | Total          | 103,931        | 78 |             |       |      |
| InV2G | Between Groups | 13,918         | 5  | 2,784       | 3,406 | ,008 |
|       | Within Groups  | 57,215         | 70 | ,817        |       |      |
|       | Total          | 71,133         | 75 |             |       |      |
| Z1S   | Between Groups | 73800,855      | 5  | 14760,171   | 6,766 | ,000 |
|       | Within Groups  | 159261,213     | 73 | 2181,660    |       |      |
|       | Total          | 233062,068     | 78 |             |       |      |

De door de indeling verklaarde variantie is weergegeven in Figuur 43. De indeling in geologische hoofdgroepen verklaart tussen de 20% en 30% van de variantie in bodemhydraulische karakteristieken voor de kritieke z-

afstand en het verzadigingstekort afgeleid met cubical splines. Dit is geen slecht resultaat, gezien het feit dat de analyse alleen betrekking heeft op het hoogste niveau van de indeling van bodemhydraulische karakteristieken, naar geologisch afzettingsmilieu, en niet op de lagere niveaus op basis van de kenmerken die meestal worden gebruikt om ze in te delen (textuur, organischestofgehalte) (e.g. Wösten et al., 2001; Nemes en Rawls, 2004; Rawls et al., 2004; Børgesen et al., 2008). Voor de waarden van Z en V afgeleid met het Mualem-Van Genuchtenmodel verklaart de indeling een minder groot deel van de variantie. Dit komt doordat deze waarden een groter bereik hebben dan de waarden afgeleid met cubical splines (Figuur 41 en Figuur 42). Waarschijnlijk is dit het gevolg van de minder goede beschrijving op locaties van de gemeten  $h(\theta)$ - en  $K(h)$ -relaties met het Mualem-Van Genuchtenmodel dan de beschrijving met cubical splines (zie hoofdstuk 4). Bij een minder goede beschrijving op locaties is het waarschijnlijk dat beschrijvingen tussen locaties een grotere variatie hebben.



**Figuur 43**

*Verklaarde variatie in bodemhydraulische karakteristieken door de indeling in geologische hoofdgroepen.*

## 6.7 Conclusies

Inzicht in de variatie in bodemhydraulische karakteristieken is van belang om consequenties in te schatten voor de kansverdelingen van uitkomsten van modelstudies naar water- en stoffentransport. Variatie in bodemhydraulische karakteristieken kan onderverdeeld worden in variatie op locaties waarvoor gegevens van bodemhydraulische karakteristieken verzameld werden (bodemhorizonten) en variatie tussen locaties. De variatie op locaties is gedefinieerd als de variatie in de meetgegevens en variatie in afgeleide gegevens, ofwel 'fitfouten' van de functiebeschrijvingen van de  $h(\theta)$ - en  $K(h)$ -relaties.

De meetgegevens van de  $K(h)$ -relaties blijken erg onzeker te zijn. Dit wordt deels veroorzaakt door het effect van kleine hydraulische gradiënten op de berekening van de  $K(h)$ -relatie uit de metingen van de capillaire drukhoogte ( $h$ ) en vochtgehalte ( $\theta$ ), deels door knelpunten in de meting van de capillaire drukhoogte met tensiometers. Mogelijk veroorzaakt ook de berekening van de  $K(h)$ -relatie uit metingen van  $h$  en  $\theta$  een deel van de fout in  $K$ . Aanbevolen wordt de meetfout, voor zover bekend, voor ieder monster te documenteren in het gegevensbestand Priapus. Daarnaast wordt aanbevolen de berekening van de doorlatendheidskarakteristiek in

de bestaande software (APPIA) te controleren, en een analyse te doen van de voortplanting van de meetfouten in  $\theta$ ,  $h$  en  $K$  in deze berekening.

De meetgegevens van de  $h(\theta)$ -relatie hebben een kleinere meetfout, en kennen een minder grote variatie. Dit komt omdat de metingen direct zijn, en niet worden berekend uit metingen van andere grootheden. Ook hebben knelpunten in de meting van de capillaire drukhoogte ( $h$ ) een minder groot effect op deze metingen.

De informatie over de variatie van bodemhydraulische karakteristieken die op basis van de gegevens in het Priapus-bestand verstrekt kan worden in BIS heeft alleen betrekking op de support van de oorspronkelijke meetgegevens (50-400 cm<sup>3</sup>).

Variatie in de afgeleide gegevens in het gegevensbestand Priapus betreft de functiebeschrijvingen met het Mualem-Van Genuchtenmodel en met de methode die in dit project ontwikkeld is: cubical splines. De variatie in de functiebeschrijving met het Mualem-Van Genuchtenmodel kan worden gekwantificeerd als de variatie in de parameters van het model door het loten van functiebeschrijvingen uit selecties van bodemhydraulische karakteristieken. Deze procedure werd ook al geadviseerd in de richtlijnen voor omgang met variatie in de Staringreeks (Wösten et al, 2001). Een voorwaarde hiervoor is echter dat modelparameters van  $h(\theta)$ - en  $K(h)$ -relaties volgens het Mualem-Van Genuchtenmodel beschikbaar zijn voor iedere bodemhorizont in het BIS. Dit project voorziet hierin, doordat de parameters zijn opgenomen in het gegevensbestand Priapus. Ook voor de functiebeschrijvingen met cubical splines kunnen dergelijke kansverdelingen berekend worden door de Virtual Nodes van de splines als parameters te beschouwen.

Om gebruikers inzicht te geven in de variatie binnen eenheden van ruimtelijke indelingen (bouwstenen van de Staringreeks of eenheden op verschillende niveaus in de nieuwe indeling voorgesteld in dit project) is het loten van bodemhydraulische karakteristieken binnen de bodemfysische eenheden een mogelijkheid.

Een deel van de ruimtelijke variabiliteit binnen eenheden kan ruimtelijk gecorreleerd zijn. Als in de toekomst voor een groter aantal locaties bodemhydraulische karakteristieken beschikbaar zijn, is het zinvol te onderzoeken of modellen van de ruimtelijke correlatiestructuur binnen bodemfysische eenheden kunnen worden opgesteld.

Variatie in bodemhydraulische karakteristieken tussen locaties wordt voor een deel gereduceerd door het gebruiken van een ruimtelijke indeling in bodemfysische eenheden, zoals de bouwstenen van de Staringreeks of de eenheden van de in dit project voorgestelde indeling (zie hoofdstuk 5 en hoofdstuk 6.5). De effectiviteit van de nieuwe indeling werd op het hoogste niveau (indeling naar geologisch afzettingsmilieu) getoetst voor veelgebruikte afgeleide gegevens van bodemhydraulische karakteristieken: de kritieke  $z$ -afstand en het verzadigingstekort. De indeling blijkt effectief te zijn voor deze variabelen, en verklaart 20 tot 30% van de variantie tussen eenheden.

De variabiliteit tussen locaties van de in Priapus beschikbare en voor gebruik in modelstudies goedgekeurde bodemhydraulische karakteristieken werd in beeld gebracht voor veelgebruikte afgeleide gegevens van bodemhydraulische karakteristieken: de kritieke  $z$ -afstand en het verzadigingstekort. De waarden van de  $z$ -afstand komen overeen met de waarden die in de literatuur genoemd worden voor Nederlandse bodems. Dit geeft aan dat de bodemhydraulische karakteristieken die in dit project geselecteerd zijn voor gebruikers van het BIS een goede afspiegeling vormen van het hydraulisch gedrag van bodems in Nederland. Wel maakt het uit op welke manier de agrohydrologische variabelen worden afgeleid. Gebruik van cubical splines leidt tot kleinere intervallen voor het voorkomen van 75% van de waarden van de kritieke  $z$ -afstand en het verzadigingstekort dan het Mualem-Van Genuchtenmodel. Dit duidt erop dat een voorspelling van bodemhydraulische karakteristieken op basis van gegevens in het bestand Priapus (al dan niet ingedeeld in ruimtelijke bodemfysische eenheden) betrouwbaarder zijn als ze zijn afgeleid met cubical splines.



Dit hoofdstuk bespreekt drie bronnen van variatie in bodemhydraulische karakteristieken: meetfouten, fitfouten en variatie tussen locaties. De grootte van de drie bronnen is niet goed bekend, en dus ook niet hun verhouding. Aanbevolen wordt onderzoek te doen naar de grootte van de variatie als gevolg van de drie bronnen, en de effecten ervan op doeltoepassingen in simulatiemodellen voor de onverzadigde zone. Hierbij kunnen instrumenten als de Data Uncertainty Engine (Brown en Heuvelink, 2007) en de tools die momenteel ontwikkeld worden in het project Delta-BIS ([www.kennisonline.wur.nl/KB/KB-01/001/015/beschrijving.htm](http://www.kennisonline.wur.nl/KB/KB-01/001/015/beschrijving.htm)) behulpzaam zijn.



## 7 Conclusies en aanbevelingen

Het project heeft bijgedragen aan het versterken van de drie hoofdcomponenten van bodemhydraulische gegevens over Nederlandse bodems voor het BIS: meetgegevens, afgeleide gegevens en beschrijvende gegevens, op basis van de bij Alterra beschikbare gegevens. Hieronder worden de bijdragen samengevat, en worden aanbevelingen gegeven voor acties of aanpassingen van het BIS.

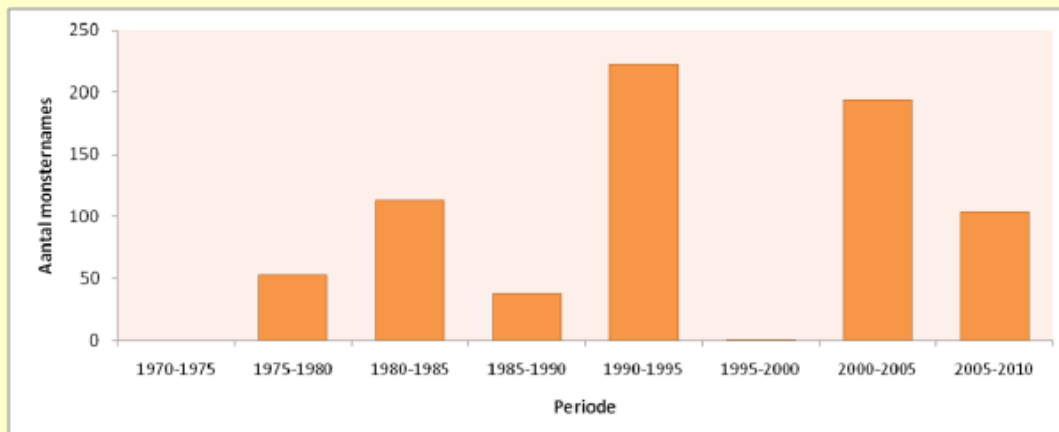
1. Correctie en aanvulling van het gegevensbestand Priapus heeft geleid tot een volledige documentatie van bruikbare bodemhydraulische karakteristieken voor gebruik in modelstudies naar water- en stoffentransport in de bodem volgens de criteria die ook werden gehanteerd voor de certificering van Priapus voor Kwaliteitsstatus A.

*Aanbevolen wordt een directe koppeling te leggen tussen het BIS en Priapus, en nieuw toe te voegen meetgegevens, afgeleide gegevens en beschrijvende gegevens te documenteren volgens de tabellen in het Priapus-gegevensbestand.*

2. Correctie van het gegevensbestand Priapus heeft geleid tot een grote vermindering van het aantal bodemhydraulische karakteristieken dat bruikbaar is in modelstudies naar water- en stoffentransport in de bodem volgens de criteria die ook werden gehanteerd voor de certificering van Priapus voor Kwaliteitsstatus A. Het resterend aantal is bijna 100. De resultaten van het project tonen dus aan dat van de grondmonsters in de archieven van Alterra, waarvoor meetgegevens, afgeleide gegevens en/of beschrijvende gegevens beschikbaar zijn (de oorspronkelijk 800 monsters afkomstig uit de Staringreeks, en de 309 monsters uit de periode 2004-2009), maar een klein deel (hooguit 20%) geschikt is om te gebruiken voor het beschrijven van onverzadigde waterstroming en stoftransport met simulatiemodellen volgens de genoemde criteria. Dit komt omdat van de meeste grondmonsters de meetgegevens onbetrouwbaar zijn of omdat de bodemkundige achtergrondinformatie onbetrouwbaar is of ontbreekt. Er zijn meer en betrouwbaarder gegevens nodig van bodemhydraulische karakteristieken van Nederlandse gronden om waterstroming en dus stoffentransport in de onverzadigde zone waarheidsgetrouw te kunnen beschrijven.

*Aanbevolen wordt het aantal metingen van karakteristieken uit te breiden. Dit kan door een procedure te ontwikkelen om ervoor te zorgen dat meetgegevens, afgeleide gegevens en beschrijvende gegevens van bodemhydraulische karakteristieken die in het kader van onderzoeksprojecten of PhD onderzoek verricht worden, op te nemen in het gegevensbestand Priapus, als onderdeel van het BIS. Zie ook het kader 'Hoeveel monsters verzamelen we voor het bepalen van bodemhydraulische karakteristieken?'*

### Hoeveel monsters verzamelen we voor het bepalen van bodemhydraulische karakteristieken?



Deze figuur toont het aantal monsternames voor de bepaling van bodemhydraulische karakteristieken bij achtereenvolgens Stiboka en ICW, Staring Centrum en Alterra in perioden van 5 jaar van 1975 tot nu. De figuur toont alle monsternames die getraceerd konden worden in de archieven, dus ook van monsters waarvan de gegevens niet voldeden aan de criteria voor certificering tot Kwaliteitsstatus A.

De figuur laat zien dat de meeste monsters voor de bepaling van bodemhydraulische karakteristieken genomen werden in de periode 1990-1995. Daarna zijn minder monsters verzameld. Het is niet bekend waarom de archieven zo weinig gegevens bevatten uit de periode 1995-2000.

Het aantal monsternames sinds 2000 was gemiddeld ruim 30 per jaar, maar slechts een deel daarvan voldeed aan de criteria voor certificering tot Kwaliteitsstatus A. In de periode 2005-2009 was dit aantal 9. Dit geeft aan dat er winst te behalen is in het verbeteren van de meetgegevens (optimaliseren meetmethoden, alternatieve meetmethoden), afgeleide gegevens (optimaliseren functiebeschrijvingen) en beschrijvende gegevens (beter en vollediger documenteren).

- De bij Alterra gebruikte meetmethode voor  $h(\theta)$ - en  $K(h)$ -relaties geeft in veel gevallen onvoldoende betrouwbare karakteristieken voor gebruik in modeltoepassingen volgens de criteria gehanteerd voor de certificering van de Staringreeks tot Kwaliteitsstatus A. Dit blijkt uit het feit dat van de 309 karakteristieken die recent (2000-2008) bepaald zijn in het bodemfysisch laboratorium er slechts zeventien aan alle criteria voldeden. De criteria waaraan de meeste monsters niet voldeden zijn het ontbreken van meetpunten voor drukhoogten  $>10$  cm, het voorkomen van twee of meer verschillende trajecten in de  $K(h)$ -relatie, en het ontbreken van beschrijvende informatie van de grondmonsters.

*De kans op het verkrijgen van betrouwbare karakteristieken 'op locatie' wordt vergroot door de relaties te meten aan duplo-monsters. Dit wordt al door veel projectleiders gedaan.*

*Een tijdelijke oplossing voor het eerste knelpunt in de meetmethode is het opnieuw in gebruik nemen van de druppelinfiltrometer methode van Van den Elsen (Stolte et al., 1994) voor het 'natte traject'. De verdampingsmethode van Wind is niet geschikt voor dit traject, omdat de gradiënt  $dH/dz$  daar te klein is. Kleine afwijkingen in de meetwaarden in dit gebied zorgen voor grote onnauwkeurigheden. De waterretentiekarakteristiek is hiervoor overigens niet gevoelig. Het voorkomen van twee of meer trajecten*

*in de K(h)-relatie kan mogelijk worden teruggebracht door het opnieuw calibreren van de drukopnemers. Het ontbreken van beschrijvende informatie kan mogelijk deels worden opgelost door onderzoekers te belonen voor het aanbieden van volledig gedocumenteerde monsters aan het laboratorium tegen een gereduceerd tarief. Zie ook het kader 'Hoeveel monsters verzamelen we voor het bepalen van bodemhydraulische karakteristieken?'.*

4. Projectleiders lijken metingen van  $h(\theta)$ - en  $K(h)$ -relaties te accepteren die mogelijk een grote meetfout dragen, of koppelen zelden terug naar medewerkers of het hoofd van het Bodemfysisch laboratorium als zij metingen niet voldoende betrouwbaar achten en daarom niet gebruiken.

*Het lijkt verstandig procedures in te voeren voor het controleren van de betrouwbaarheid van metingen door projectleiders en medewerkers van het bodemfysisch laboratorium.*

*Voor een meer structurele oplossing voor uitbreiden van het aantal karakteristieken en de problemen met de meetmethode is het raadzaam daarnaast onderzoek te doen naar alternatieve meetmethoden, die mogelijk ook goedkoper zijn en in het veld kunnen worden toegepast. Zie ook het kader 'Hoeveel monsters verzamelen we voor het bepalen van bodemhydraulische karakteristieken?'.*

5. Het landgebruik op monsterlocaties van Priapus is sinds 1986 voor ongeveer de helft van de monsters veranderd. Het grootste deel wordt verklaard door bouwplannen van granen, bieten en aardappelen. Algemeen verwachte effecten op akkerbouwgrond zijn een toegenomen dichtheid van de ondergrond door toegenomen wielbelasting en een afname van organische stofgehalten door een toegenomen ploegdiepte en effecten van ruilverkavelingen. Het vertalen van landgebruiksveranderingen in gevolgen voor de bodemhydraulische karakteristieken is moeilijk, omdat veranderingen in de bodemfysische en bodemchemische eigenschappen van de bodem een complex samengesteld effect kunnen hebben.

*Voor toepassingen van bodemhydraulische karakteristieken in digitale bodemkartering is de actualiteit van de bodemhydraulische karakteristieken op locatie van belang. Daarom wordt aanbevolen de locatie en het landgebruik op de locatie (en de jaarlijkse variatie) op het moment van monsternamen zo nauwkeurig mogelijk te documenteren, en om veranderingen in landgebruik op monsterlocaties in het gegevensbestand Priapus eens in de drie tot vijf jaar na te gaan.*

6. Het programma Dragon biedt gebruikers de mogelijkheid afgeleide gegevens in tabulaire vorm (waarden van  $K$  en  $h$  bij standaardwaarden van  $\theta$  zodanig op te slaan dat zij direct kunnen worden ingelezen in het hydrologische model SWAP. Het programma genereert afgeleide gegevens van functiebeschrijvingen met het Mualem-Van Genuchtenmodel (Van Genuchten, 1980) en met cubical splines (Wesseling, 2009).

*Aanbevolen wordt het programma Dragon te koppelen met het BIS, zodat gebruikers geen aparte programma's hoeven te installeren als zij bodemhydraulische gegevens opvragen uit het BIS en Priapus.*

7. Een nieuwe indeling van Nederlandse gronden op grond van bodemhydraulische karakteristieken, gebaseerd op geologisch afzettingssmilieu, biedt de mogelijkheid bodemhydraulische karakteristieken flexibel op meerdere niveaus in te delen en te selecteren voor het schematiseren van bodemprofielen. Door gebruik van de indeling wordt de variatie in bodemhydraulische karakteristieken zoveel mogelijk verklaard uit beschikbare beschrijvende gegevens over de grondmonsters, of uit beschikbare informatie over bodemprofielen uit het BIS. De nieuwe indeling is op het hoogste niveau (indeling naar geologisch afzettingssmilieu) effectief voor veelgebruikte afgeleide gegevens van bodemhydraulische karakteristieken: de kritieke  $z$ -afstand en het verzadigingstekort. De indeling blijkt verklaart 20 tot 30% van de variantie tussen de eenheden. De indeling beantwoordt aan de behoefte van gebruikers aan meer bodemfysische

eenheden dan de indeling in bouwstenen van de Staringreeks, en lost enkele bestaande problemen op in de indeling in bouwstenen van de Staringreeks.

*Aanbevolen wordt de nieuwe indeling te implementeren in het BIS, zowel voor het selecteren van karakteristieken door gebruikers, als voor het toevoegen van nieuwe karakteristieken.*

8. De beschrijving van bodemhydraulische karakteristieken met cubical splines in plaats van het traditionele Mualem-Van Genuchtenmodel geeft een betere (minder onzekere) benadering van de gemeten  $h(\theta)$ - en  $K(h)$ -waarden.

*Aanbevolen wordt om afgeleide gegevens verkregen met cubical splines beschikbaar te stellen aan gebruikers van het BIS. Daarnaast wordt aanbevolen de ontwikkelde software (Dragon) te koppelen aan het BIS.*

9. Variatie in bodemhydraulische karakteristieken op locaties en tussen locaties als gevolg van metingen, functiebeschrijvingen en ruimtelijke variatie is nog onvoldoende bekend, en dus ook niet de verhouding tussen de drie bronnen.

*Aanbevolen wordt onderzoek te doen naar de grootte van de variatie als gevolg van de drie bronnen, en de effecten ervan op doeltoepassingen in simulatiemodellen voor de onverzadigde zone. Voor het kwantificeren van variatie in meetgegevens en functiebeschrijvingen van bodemhydraulische karakteristieken wordt aanbevolen een instrument te ontwikkelen om kansmodellen van de variatie op te stellen. Hiervoor kunnen het Data Uncertainty Engine (Brown en Heuvelink, 2006) gebruikt worden, of statistische software zoals R. Aanbevolen wordt te onderzoeken welk van de twee instrumenten het meest geschikt is om een dergelijk instrument te ontwikkelen. Hierbij wordt aabevolen gebruikt te maken van de resultaten van het programma Delta-BIS, waarin dit soort instrumenten momenteel ontwikkeld werden [www.kennisonline.wur.nl/KB/KB-01/001/015/beschrijving.htm](http://www.kennisonline.wur.nl/KB/KB-01/001/015/beschrijving.htm).*

10. Uit de beschikbare informatie blijkt dat de meetgegevens van de  $K(h)$ -relaties erg variabel zijn, met oorzaken in de meetmethode en de verwerking van de meetresultaten.

*Om gebruikers inzicht te geven in de variatie op locaties als gevolg van meetfouten, wordt aanbevolen informatie over de meetfout bij de gebruikte meetmethode voor ieder monster, voor zover bekend, op te nemen in Priapus, en daarmee in het BIS. Daarnaast wordt aanbevolen de berekening van de doorlatendheidskarakteristiek in de bestaande software (APPIA) te controleren, en een analyse te doen van de voortplanting van de meetfouten in  $\theta$ ,  $h$  en  $K$  in deze berekening.*

11. Variatie in de functiebeschrijving met het Mualem-Van Genuchtenmodel kan worden gekwantificeerd als de variatie in de parameters van het model door het loten van functiebeschrijvingen uit selecties van bodemhydraulische karakteristieken. Een voorwaarde hiervoor is echter dat modelparameters van  $h(\theta)$ - en  $K(h)$ -relaties volgens het Mualem-Van Genuchtenmodel beschikbaar zijn voor iedere bodemhorizont in het BIS.

*Dit project voorziet hierin, doordat de parameters zijn opgenomen in het gegevensbestand Priapus. Ook voor de functiebeschrijvingen met cubical splines kunnen dergelijke kansverdelingen berekend worden door de Virtual Nodes van de splines als parameters te beschouwen.*

12. De analyse van de variabiliteit tussen locaties van veelgebruikte afgeleide gegevens van bodemhydraulische karakteristieken (de kritieke  $z$ -afstand en het verzadigingstekort) toont aan dat de bodemhydraulische karakteristieken die in dit project bijeengebracht zijn voor gebruikers van het BIS een

goede afspiegeling vormen van de bekende waarden voor bodems in Nederland. Voorspellingen van bodemhydraulische karakteristieken op basis van gegevens in het bestand Priapus (al dan niet ingedeeld in ruimtelijke bodemfysische eenheden) zijn minder onzeker als ze zijn afgeleid met cubical splines.

*Voor inzicht in de variatie tussen locaties wordt aanbevolen gebruikers (via de interface) te verwijzen naar de beschrijvende gegevens van grondmonsters in Priapus en in BIS, die een deel van de variatie binnen bodemfysische eenheden (bouwstenen van de Staringreeks dan wel eenheden van de nieuwe indeling) kan helpen verklaren.*

*Als in de toekomst meer bodemhydraulische karakteristieken beschikbaar komen, wordt aanbevolen de ruimtelijk gecorreleerde variatie tussen afgeleide gegevens binnen bodemfysische eenheden te modelleren en te gebruiken om de variatie binnen eenheden te reduceren. Ook hiervoor moet worden aangesloten op de instrumenten die in het Delta-BIS project ontwikkeld worden.*





# Referenties

- Ahuja, L.R., R.E. Green, S.K. Chong en D.R. Nielsen, 1980. A simplified functions approach for determining soil hydraulic conductivities and water characteristics in situ. *Water Resources Research* 16(5): 947-953.
- Ahuja, L.R., J.D. Ross, R.R. Bruce en D.K. Cassel, 1988. Determining unsaturated hydraulic conductivity from tensiometric data alone. *Soil Science Society of America Journal* 52(1): 27-34.
- Alexander, L. en R.W. Skaggs, 1987. Predicting unsaturated hydraulic conductivity from texture. *Journal of Irrigation and Drainage Engineering* 113(2): 184-192.
- Baker, K.R., 2006. Optimization modeling with spreadsheets. Belmont, CA, Thompson Brooks/Cole.
- Beckett, P.H.T. en P.A. Burrough, 1971. Soil variability: a review. *Soils and Fertilizers* 34: 1-15.
- Bitterlich, S., W. Durner, S.C. Iden en P. Knabner, 2004. Inverse estimation of the unsaturated soil hydraulic properties from column outflow experiments using free-form parameterizations. *Vadose Zone Journal* 3: 971-981.
- Bloemen, G.W., 1980. Calculation of hydraulic conductivities from texture and organic matter content. *Zeitschrift fuer Pflanzenernaehrung und Bodenkunde* 143(5): 581-605.
- Bierkens, M.F.P., P.A. Finke en P. Willigen, 2000. Upscaling and Downscaling Methods for Environmental Research Series: Developments in Plant and Soil Sciences , Vol. 88, 2000, 204 p.
- Bles, B.J. en H.J.M. Zegers, 1969. De bodemgesteldheid van het ruilverkavelingsgebied Lopikerwaard – West. Wageningen, STIBOKA. Rapport nr. 806.
- Bles, B.J., 1975. Ruilverkaveling St. Oedenrode: bodemgesteldheid en bodemgeschiktheid. Wageningen, STIBOKA. Rapport nr.1043.
- Bles, B.J. en A.G. Beekman, 1976. Ruilverkaveling St. Oedenrode II : aanvullend bodemkundig onderzoek. Wageningen, STIBOKA. Rapport nr.1224.
- Boels, D., J.B. van Gils, H.M., Veerman en K.E. Wit, 1978. Theory and systems of automatic determination of soil moisture characteristics and unsaturated hydraulic conductivities. *Soil Science* 126(4): 191-199.
- Børgesen, C.D., 2003. On models predicting soil hydraulic properties and their use in agro hydrological modelling. 136 pp.
- Børgesen, C.D., B.V. Iversen, O.H. Jacobsen en M.G. Schaap, 2008. Pedotransfer Functions Estimating Soil Hydraulic Properties using Different Soil Parameters. *Hydrological Processes*, 22(11):1630-1639.
- Bormann, H., L. Breuer, T. Graff en J.A. Huisman, 2007. Analysing the effects of soil properties changes associated with land use changes on the simulated water balance: A comparison of three hydrological catchment models for scenario analysis. *Ecological modelling* (1): 29-40 Nov. 24 2007.

Bouma, J., 1977. Soil survey and the study of water in unsaturated soil. Soil Survey Papers no. 13. Soil Survey Institute, Wageningen, The Netherlands. 107 pp.

Bouma, J. en L.L. Denning, 1972. Field measurement of unsaturated hydraulic conductivity by infiltration through gypsum crusts. Soil Science Society of America Proceedings 36: 846-847.

Bouma, J., D.I. Hillel, F.D. Hole en C.R. Amerman, 1971. Field measurement of unsaturated hydraulic conductivity by infiltration through artificial crusts. Soil Science Society of America Proceedings 35: 362-364.

Bouma, J., 1993. Stroming van water. In: W.P. Locher en H. De Bakker (Eds). Bodemkunde van Nederland. Algemene bodemkunde. Malmberg Den Bosch, pp. 147-166.

Bouwman, J.M.M., 1990. Achtergrond en toepassing van de TCGB-tabel. Een methode voor het bepalen van de opbrengstdepressie van grasland op zandgrond als gevolg van een grondwaterstandsverlaging. Utrecht. Nota Technische Commissie Grondwaterbeheer.

Buitenhuis, A., D.J. Groot Obbink, D.J. en B.H. Steeghs, 1972. De bodemgesteldheid van het ruilverkavelingsgebied Haaksbergen. Wageningen, STIBOKA. Rapport nr. 958.

Bresler, E., D. Russo en R.D. Miller, 1978. Rapid estimate of unsaturated hydraulic conductivity function. Soil Sci. Soc. Am., Proc., 42: 170-172.

Brooks, R.H. en A.T. Corey, 1964. Hydraulic properties of a porous media. Hydrology Paper No. 3, Colorado State Univ., Fort Collins, CO.

Brown, J.D. en G.B.M. Heuvelink, 2007. The Data Uncertainty Engine (DUE): A software tool for assessing and simulating uncertain environmental variables. Computers & Geosciences, Volume: 33, Issue: 2, Pages: 172-190.

Bruce, R.R., 1972. Hydraulic conductivity evaluation of the soil profile from soil water retention relations. Soil Science Society of America Proceedings 36(4): 551-561.

Bruckler, L., P. Renault en F. Aries, 1987. Laboratory estimation of apparent soil thermal conductivity using a numerical approach. Soil Science 143(6): 387-397

Cesari, L., 1983. Optimization - Theory and applications. New York, U.S.A., Springer Verlag.

Checklist Status A Gegevenbestanden - Priapus, 2008. Checklist voor Kwaliteitsstatus A van Gegevensbestanden voor het gegevensbestand Priapus, juli 2008. Versie 2.0, 13 pp.

Cnossen, J. en P.C. Kuyper, 1965. De bodemgesteldheid en de tuinbouwkundige geschiktheid van de gronden in de ruilverkaveling Berlikum. Wageningen, STIBOKA. Rapport nr. 654.

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

De Bakker, H. en J. Schelling, 1989. Systeem van bodemclassificatie voor Nederland. De hogere niveaus, 2e gewijzigde druk, bewerkt door D. J. Brus en C. van Wallenburg. PUDOC Wageningen.

De Gruijter, J., D. Brus, M. Bierkens en M. Kotters, 2006. Sampling for Natural Resource Monitoring. Springer-Verlag, Berlin, Heidelberg, 2006.

Dekker, L.W., H.R.J. Vroon en A.H. Booij, 1990. Gebruik van profiellak bij het nemen van ongestoorde monsters voor bodemfysische bepalingen. H2O 23, nr. 25, p. 691-693.

De Smet, L.A.H. de, 1965. De bodemgeschiktheidskaart voor akkerbouw schaal 1: 25.000 van de Groninger veenkolonien (westelijk deel). Wageningen, STIBOKA. Rapport nr. 676.

De Vries, F. en F. Brouwer, 2006. De bodem van Drenthe in beeld. Alterra-rapport (ISSN 1566-7197 ; 1381), in opdracht van de provincie Drenthe, 74 pp.

De Vries, F., G. Mol, M.J.D. Hack-Ten Broeke en F. Brouwer, 2008. Overzicht van het gebruik van en de wensen voor het Bodemkundig Informatie Systeem (BIS) van Alterra. Alterra-rapport xxxx, Alterra, Wageningen, 2008.

Dodewaard, E. van, 1997. De bodemgesteldheid van de landinrichtingsgebieden Zuidwolde - Zuid, Beneden - Egge en Zuidwolde - Noord: resultaten van een bodemgeografisch onderzoek. Wageningen, DLO-Staring Centrum. Rapport nr. 535

Eilander, D.A. en W.C. Markus, 1970. De bodemgesteldheid van het ontwateringsproefveld Hoenkoop. Wageningen, STIBOKA. Rapport nr. 918.

Erh, K.T., 1972. Application of spline functions to soil science. Soil Science 114: 333-338.

Elsenbeer, H., 2001. Pedotransfer functions in hydrology. Journal of Hydrology 251: 121-122.

Finke, P.A., J.H.M. Wösten en M.J.M. Jansen, 1996. Effects of uncertainty in major input variables on simulated functional soil behaviour. Hydrological Processes, Vol. 10, Issue 5, p. 661-669.

Freibauer, A.M., D.A. Rounsevell, P. Smith en J. Verhagen, 2004. Carbon sequestration in the agricultural soils of Europe. Geoderma 122, pp. 1-23.

Fuentes, C., R. Haverkamp, J.Y. Parlange, W. Brutsaert, K. Zayani en G. Vachaud, 1991. Constraints on parameters in three soil-water capillary retention equations. Transport in Porous Media 6(4): 445-449.

Fuentes, C., R. Haverkamp en J.-Y. Parlange, 1992. Parameter constraints on closed-form soil-water relationships. Journal of Hydrology 134(1-4): 117-142.

Gardner, W.R., 1985. Some steady-state solutions of the unsaturated moisture flow equation with application to evaporation from a water table, Soil Sci., 85, 228-232.

Gill, P.E., W. Murray en M.H. Wright, 1981. Practical optimization. London, U.K., Academic Press.

Groenevelt, P.H. en C.D. Grant, 2004. A new model for the soil-water retention curve that solves the problem of residual water contents. Eur. J. Soil Sci., 55: 479-485.

Haans, J.C.F.M., 1970. De interpretatie van bodemkaarten : rapport van de Werkgroep interpretatie bodemkaarten, stadium C. Wageningen : Stichting voor Bodemkartering. Rapport / Stichting voor Bodemkartering (no. 1463). 221 pp.

- Halbertsma, J.M. en G.J. Veerman, 1994. A new calculation procedure and simple set up for the evaporation method to determine soil hydraulic functions. Wageningen, The Netherlands, DLO Winand Staring Centre: 25.
- Hamming, C., 1961. De bodemgesteldheid van het ruilverkavelingsgebied Smilde. Wageningen, STIBOKA. Rapport nr. 521.
- Hampton, D.R., 1990. A method to fit soil hydraulic curves in models of subsurface flow in unsaturated soils. Computational methods in subsurface hydrology. G. Gambolati, Ed.. Boston, MA.: 175-180.
- Han, H., D. Giménez en A. Lilly, 2008. Textural averages of saturated soil hydraulic conductivity predicted from water retention data. *Geoderma* 146: 121-128.
- Hyams, D., 1993. Curveexpert 1.37. A curve fitting system for windows Double-precision/32-bit package. Starkville, MS. USA.
- Jansen, P.C., R.H. Kemmers en P. Mekking, 1994. Eco-hydrologische systeembeschrijving van het landgoed "De Wildenborch" , Wageningen, DLO-Staring Centrum. Rapport 296.
- Jansen, P.C., E.P. Querner en C. Kwakernaak, 2007. Effecten van waterpeilstrategieën in veenweidegebieden : een scenariostudie in het gebied rond Zegveld. Alterra-rapport , 1516 , 1566-7197, 86 pp.
- Jhorar, R.K., W.G.M. Bastiaanssen, R.A. Feddes en J.C. van Dam, 2002. Inversely estimating soil hydraulic functions using evapotranspiration fluxes, *J. of Hydr.* 258: 198-213
- Kamping, G. en J.A. van de Hurk, 1968. De bodemgesteldheid van het ruilverkavelingsgebied De Marne. Wageningen, STIBOKA. Rapport nr. 715.
- Kastanek, F.J. en D.R. Nielsen, 2001. Description of soil water characteristics using cubic spline interpolation. *Soil Science Society of America Journal* 65(2): 279-283.
- Kempen, B., 2008. Digitale Bodemkartering. Powerpoint presentatie. Wageningen : Alterra, 2008 symposium bodeminformatie: recente ontwikkelingen en toekomst, 2008-10-09.
- Kiestra, E., 2008. Bodemkundig-hydrologisch onderzoek in het herverkavelingsgebied Weerij-Zuid : bodemgesteldheid en bodemgeschiktheid. Wageningen : Alterra. Alterra-rapport (ISSN 1566-7197 ; 1594) 117 p.
- Kleijer, H., 2000. De bodemgesteldheid van de gebieden Berkeldal, Graafschap, Wildenborch, Warnsveld-Vierakker en Hummelo-Keppel: resultaten van een bodemgeografisch onderzoek. Wageningen, Alterra. Rapport nr. 90.
- Klungel, A.E., 1970. De bodemgesteldheid van de proefboerderij Ebelsheerd c.a. . Wageningen, STIBOKA. Rapport nr. 892.
- Kool, J.B. en J.C. Parker, 1987a. Development and evaluation of closed-form expressions for hysteretic soil hydraulic properties. *Water Resources Research* 23(1): 105-114.
- Kool, J.B. en J.C. Parker, 1987b. Estimating soil hydraulic properties from transient flow experiments: SFIT user's guide, Electric Power Research Institute, Palo Alto, California: 60.

Kool, J.B. en J.C. Parker, 1988. Analysis of the inverse problem for transient unsaturated flow. *Water Resources Research* 24(6): 817-830.

Kool, J.B., J.C. Parker en M.Th. van Genuchten, 1985. Determining soil hydraulic properties from one-step outflow experiments by parameter estimation: I. Theory and numerical studies. *Soil Science Society of America Journal* 49(6): 1348-1354.

Koorevaar, P., G. Menelik en C. Dirksen, 1983. Elements of soil physics. *Developments in Soil Science* 13. Elsevier, 283 pp.

Krabbenborg, A.J., J.N.B. Poelman en E.J. van Zuilen, 1983. Standaardvochtkarakteristieken van zandgronden en veenkoloniale gronden. Wageningen, STIBOKA. Rapport 1680.

Kros, J., P. Groenendijk, J.P. Mol-Dijkstra, H.P. Oosterom en G.W.W. Wamelink, 2005. Vergelijking van SMARTSUMO en STONE in relatie tot de modellering van de effecten van landgebruikverandering op de nutriëntenbeschikbaarheid. WOT-rapport 13, Wettelijke Onderzoektaken Natuur en Milieu, in opdracht van Milieu- en Natuurplanbureau (MNP) en de WOT Natuur & Milieu. 52 pp.

Kutilek, M. en D.R. Nielsen, 1994. Soil hydrology : GeoEcology Textbook. Catena-Verlag, Germany, 1994, 370 pp.

Leenders, W.H., 1993. De bodemgesteldheid van drie stroomgebieden voor het erosienormeringsonderzoek Zuid - Limburg : resultaten van een bodemgeografisch onderzoek. Wageningen, DLO-Staring Centrum. Rapport nr. 270

Leij, F.J., W.B. Russell en S.M. Lesch, 1997. Closed-form expressions for water retention and conductivity data. *Ground Water* 35(5): 848-858.

Leong, E.C. en H. Rahardjo, 1997. Permeability functions for unsaturated soils. *Journal of Geotechnical and Geoenvironmental Engineering* 123(12): 1118-1126.

Luenberger, D.G., 1973. Introduction to linear and non-linear programming, Addison-Wesley Publishing Company, U.S.A.

Lynden, K.R. van, 1958. De bodemgesteldheid van de boswachterij Kootwijk. Wageningen, StiBoKa. Rapport nr. 493.

Marquardt, D.W., 1963. An algorithm for least-squares estimation of nonlinear parameters. *Journal of the Society of Industrial Applied Mathematics* 11(2): 431-441.

Mekkink, P., 1998. De bodemgesteldheid van bosreservaten in Nederland - Bosreservaat Kampina. Wageningen, DLO-Staring Centrum. Rapport nr. 98-60.

Mertens, J., 2003. Parameter estimation strategies in unsaturated zone modelling. Leuven, Belgium, Leuven Catholic University. Ph.D.: 209.

Metselaar, K., 1999. Auditing predictive models : a case study in crop growth, Wageningen Agricultural University. Ph.D.: 265.

Minasny, B., McBratney, A.B. and Bristow, K.L., 1999. Comparison of different approaches to the development of pedotransfer functions for water-retention curves. *Geoderma* 93(3-4): 225-253.

Mol, G., 2009. BIS 2014 - Visie op de actualisatie van het Bodemkundig Informatie Systeem. Alterra, Wageningen UR, 4 pp.

Mualem, Y., 1976. A new model predicting the hydraulic conductivity of unsaturated porous media. *Water Resour. Res.* 12:513-522.

Nemes, A., 2003. Multi-scale hydraulic transfer functions for Hungarian soils. Wageningen, The Netherlands, Wageningen Agricultural University: 115.

Nelder, J.A. en R. Mead, R., 1965. "A simplex method for function minimization." *The Computer Journal* 7: 308-313.

Nemes, A. en W.J. Rawls, 2004. Soil texture and particle-size distribution as input to estimate soil hydraulic properties. In: Development of pedotransfer functions in soil hydrology. Eds: Ya. Pachepsky and W.J. Rawls. *Developments in Soil Science* Vol. 30, pp 47-64.

NHI, 2008. Nationaal Hydrologisch Instrumentarium – NHI. Modelrapportage. Hoofdrapport, versie : NHINFASE\_1+\2008\HR\_v2. 35 pp.

Oostindie, K. en J.B.B. Bronswijk, 1995. Consequences of preferential flow in cracking clay soils for contamination-risk of shallow aquifers. *Journal of Environmental Management*. Volume 43, Issue 4, April 1995, Pages 359-373.

Press, W.H., S.A. Teukolsky, W.T. Vetterling, B.P. Flannery, 1986. "Preface". *Numerical Recipes: The Art of Scientific Computing*. New York: Cambridge University Press

Price, W.L., 1979. A controlled random search procedure for global optimization. *The Computer Journal* 4: 367-370.

Prunty, L. and F.X.M. Casey, 2002. Soil water retention curve description using a flexible smooth function. *Vadose Zone Journal* 1: 179-185.

Rawls, W.J., A. Nemes en Y. Pachepsky, 2004. Effect of soil organic carbon on soil hydraulic properties. In: Development of pedotransfer functions in soil hydrology. Eds: Ya. Pachepsky and W.J. Rawls. *Developments in Soil Science* Vol. 30, pp 95-111.

Ritsema, C.J., H. Kuipers, L. Kleiboer, H.G.M. van den Elsen, K. Oostindie, J.G. Wesseling, J.W. Wolthuis en P. Havinga, 2009. A new wireless underground network system for continuous monitoring of soil water contents. *Water Resources Research* 45 pp. W00D36.

RIZA, HKV, Arcadis, Kiwa, Korbé en Hovelynck, 2006. Droogestudie Nederland. Aard, ernst en omvang van watertekorten in Nederland. Ministerie van Verkeer en Waterstaat, Directoraat Generaal Water. RIZA-rapport 2005.016, 120 pp.

Römkens, P.F.A.M., J.E. Groenenberg en L.T.C. Bonten, 2009. Invloed van maatregelen t.b.v. de Kaderrichtlijn Water en op organische stof en zware metalen in de bodem en het oppervlaktewater. Alterra-rapport 1824. Alterra, Wageningen UR. 47 pp.

- Roo, H.C. de en H. Harmsen, 1959. Een bodemkartering van een deel van de gemeente Rolde. Wageningen, STIBOKA. Rapport nr. 441.
- Russo, D., 1988. Determining soil hydraulic properties by parameter estimation: on the selection of a model for the hydraulic properties. *Water Resour. Res.*, 24 (1988), pp. 453–459.
- Rust, B. W. en W.R. Burrus, 1972. *Mathematical programming and the numerical solution of linear equations*. New York, U.S.A., American Elsevier Publishing Company Inc.
- Schaap, M.G. en F.J. Leij, 1998. Using neural networks to predict soil water retention and soil hydraulic conductivity. *Soil and Tillage Research* 47(1/2): 37-42.
- Schaap, M.G., F.J. Leij en M.Th. van Genuchten, 2001. ROSETTA: a computer program for estimating soil hydraulic parameters with hierarchical pedotransfer functions. *Journal of Hydrology* 251: 163-172
- Schaap, M.G. en M.Th. van Genuchten, 2005. A modified Mualem-Van Genuchten formulation for improved description of the hydraulic conductivity near saturation. *Vaodse Zone J.* 5: 27-34.
- Scholten, A., F. Brouwer, M. Knotters en H.R.J. Vroon, 1990. De bodemgesteldheid van het landinrichtingsgebied Land van Maas en Waal : resultaten van een bodemgeografisch onderzoek. Wageningen, DLO-Staring Centrum. Rapport nr. 35.
- Schothorst, C.J. en D. Hettinga, 1981. Het effect van diepe profielbewerking bij grasland op lichte zandgrond. *Nota / Instituut voor Cultuurtechniek en Waterhuishouding* (no. 1304), 69 pp.
- Schuh, W.M. en J.W. Bauder, 1986. Effect of soil properties on hydraulic conductivity-moisture relationships. *Soil Science Society of America Journal* 50(4): 848-855.
- Smit, A. en O. Kuikman, 2005. Organische stof: onbekend of onbemind? Alterra rapport 1126, Alterra, Wageningen UR, 2005.
- Spriet, J.A. en G.C. Vansteenkiste, 1982. *Computer-aided modeling and simulation*. London, U.K., Academic Press.
- Stephens, D.B. en K.R. Rehfeldt, 1985. Evaluation of closed-form analytical models to calculate conductivity in a fine sand. *Soil Science Society of America Journal* 49(1): 12-19.
- Steur, G.G.L., I. Ovaa en M.A. Bazen, 1956. De bodemgesteldheid van Noord-Beveland. Wageningen, STIBOKA. Rapport nr. 434.
- Steur, G.G.L. en F. de Vries, 1985. Bodemkaart van Nederland, 1: 250.000. Wageningen: Stiboka.
- Stoffelsen, G.H. en H.R.J. Vroon, 1998. De bodemgesteldheid van het herinrichtingsgebied Losser-Zuid. Wageningen, DLO-Staring Centrum. Rapport 551.
- Stolp, J. en H.R.J. Vroon, 1990. Een snelle methode voor het berekenen van kritieke z-afstanden en verzadigingstekorten bij twee fluxen (2 en 1 mm/dag) in gelaagde bodemprofielen tijdens de veldopname. Wageningen, DLO-Staring Centrum. Interne mededeling 92.

- Stolte, J. en G.J. Veerman, 1990. Description of the evaporation method, crust method and hanging water column method to determine the hydraulic conductivity and moisture retention characteristics (in Dutch), DLO, Winand Staring Centrum, Wageningen, The Netherlands: 38 pp.
- Stolte, J., J.I. Freijer, W. Bouten, C. Dirksen, J.M. Halbertsma, J.C. van Dam, J.A. van den Berg, G.J. Veerman en J.H.M. Wösten, 1994. Comparison of six methods to determine unsaturated soil hydraulic conductivity. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 58:1596-1603.
- Stolte, J., 1997a. Determination of the saturated hydraulic conductivity using the constant head method. In: J. Stolte (Ed.): *Manual for soil physical measurements*.
- Stolte, J., 1997b. Determination of the unsaturated hydraulic conductivity using the drip infiltrometer method. In: J. Stolte (Ed.): *Manual for soil physical measurements. Version 3. Technical Document 37*, Staring Centre-DLO, Wageningen, pp. 39-46.
- Stolte, J., J.G. Wesseling en J.H.M. Wösten, 1996. Pedotransfer functions for hydraulic and thermal properties of soil and the tool HERCULES. DLO-Staring Centrum. Report 126.
- Stolte, J., J.G. Wesseling en S.J.E. Verzandvoort, 2007. Kwaliteitsdocumentatie voor de verkrijging van Status A voor de meetgegevens achter de Staringreeks zoals opgenomen in het gegevensbestand Priapus: versie 1. Alterra Rapport 1522, Alterra, Wageningen UR. 85 pp.
- Tarantola, A., 1987. *Inverse problem theory. Methods for data fitting and model parameter estimation*. Amsterdam, The Netherlands, Elsevier Science Publishers B.V.
- Te Riele, W.J.M., 1966. De bodemgesteldheid van het ruilverkavelingsgebied Overloon. Bennekom, Stiboka. Rapport 659.
- Ten Cate, J.A.M., A.F. van Holst, H. Kleijer en J. Stolp, 1995. Handleiding bodemgeografisch onderzoek; richtlijnen en voorschriften. Deel D: Interpretatie van bodemkundige gegevens voor diverse vormen van bodemgebruik. Wageningen, DLO-Staring Centrum.
- Thunnissen, H.A.M. en E. Noordman, 1996. *Classification Methodology and Operational Implementation of the Land Cover Database of the Netherlands*, DLO Winand, Staring Centre, Wageningen, The Netherlands.
- Twaravaki, N.K.C., H. Saito, J. Simunek en M.Th. van Genuchten, 2008. A new approach to estimate soil hydraulic parameters using only soil water retention data. *Soil. Sci. Soc. Am. J.* 72: 471-479.
- Van Alphen, B.J., H.W.G. Bootink et al., 2001. Combining pedotransfer functions with physical measurements to improve the estimation of soil hydraulic properties. *Geoderma* 103(1/2): 133-147.
- Van Beek, P. and T.H.B. Hendriks, 1983. *Optimization techniques: principles and applications* (in Dutch). Utrecht, The Netherlands, Bohn, Sheltema en Holkema.
- Van Dam, J.C., J.M.H. Hendrickx et al., 1990a. "Water and solute movement in a coarse-textured water-repellent field soil." *Journal of Hydrology* 120(1-4): 359-379.
- Van Dam, J.C., J.N.M. Stricker en P. Droogers, 1990b. From one-step to multi-step : determination of soil hydraulic functions by outflow experiments, Dept. of Water Resources, Wageningen Agricultural University, Wageningen, The Netherlands.: 85



- Van den Akker, J.J.H. en W.J.M. de Groot, 2008. Een inventariserend onderzoek naar ondergrondverdichting van zandgronden en lichte zavel. Wageningen, Alterra, Alterra-rapport 1450. 77 pp.
- Van den Berg, F., D. Brus, S.L.G.E. Burgers, G.B.M. Heuvelink, J.G. Kroes, J. Stolte, A. Tiktak en F. de Vries, 2008. Uncertainty and sensitivity analysis of GeoPEARL. Alterra-report 1330.
- Van der Gaast, J.W.J., H.R.J. Vroon, H.Th.L. Massop en J.G. Wesseling, 2009. Verdieping bodemkaart van Nederland - Landsdekkende schematisatie en parametrisatie van de boven- en ondergrond ten behoeve van modellering. Alterra Rapport.
- Van der Sluys, P., 1956. Rapport betreffende de bodemgesteldheid van Tielerwaard-West. Wageningen, STIBOKA. Rapport nr. 436.
- Van Diepen, C.A., H.J.S.M. Vissers, O.F. Schoumans, H.L. Boogaard, F. Brouwer, F. de Vries en J. Wolf, 2002. Verkenning van bodemgeschiktheid ter identificatie van kansrijke gebieden voor de landbouwsector in Noord-Brabant. Alterra-rapport 526, 120 pp.
- Van Diepen, C.A., J. Wolf, H. van Keulen en C. Rappoldt, 2007. WOFOST: a simulation model of crop production. Soil Use and Management Volume 5 Issue 1, Pages 16 – 24.
- Van Dorp, D., K.J. Canters, J.T.R. Kalkhoven en P. Laan, 1999. Landschapsecologie: natuur en landschap in een veranderende samenleving. WLO, Boom, 415 pp. Van Genuchten, M.Th. 1980. A closed-form equation for predicting the hydraulic conductivity of unsaturated soils. Soil Sci. Soc. Am. J. 44:892–898.
- Van Genuchten, M.T., F.J. Leij et al., 1991. The RETC code for quantifying the hydraulic functions of unsaturated soils, In: Environmental Protection Agency (EPA) /600/2-91/065, USEPA, Robert S. Kerr Environ. Res. Lab, Ada, Okla., U.S.A: 85.
- Van Holst, A.F. en G. Rutten, 1974. Samenhang tussen de bodemgesteldheid en de mate van verdroging in het gebied rondom de Ossesluis. Wageningen, StiBoKa. Rapport nr. 1010.
- Van Schooten, H.A., N. van Eekeren, M.C. Hanegraaf, G.J. van der Burgt en M. de Visser, 2006. Effect meerjarige toepassing groenbemester en organische mest op bodemkwaliteit bij continue teelt maïs : 2e rapport project Zorg voor Zand. Lelystad. WUR, Animal Sciences Group. Rapport, no. 01.
- Van Soestbergen, G., C. van Wallenburg, K.R. van Lynden en H.A.J. van Lanen, 1986. De interpretatie van bodemkundige gegevens. Wageningen, STIBOKA. Rapport 1967.
- Velthof, G.L., 2004. Achtergrond document bij enkele vragen van de evaluatie meststoffenwet 2004. Alterra-rapport 730.2, Wageningen, 79 p.
- Velthof, G., 2005. Scheuren van grasland. In: Randvoorwaarden aan het scheuren van grasland met betrekking tot volggewas, periode en bemesting. Wageningen : Alterra, 2005 (Alterra-rapport 1204).
- Velthof, G.L., H.A. van Schooten, I.E. Hoving, P.H.M. Dekker, A.M. van Dam, A. Reijnders, H.F.M. Aarts en A. Smit, 2008. Indicator voor stikstofmineralisatie in gescheurd grasland; synthese. Alterra-rapport (ISSN 1566-7197 ; 1768). In opdracht van het ministerie van LNV (cluster BO-05 Mineralen en Milieukwaliteit). 41 pp.

Velthof, G.J., D.H.P. Oudendag, W.A.H. Witzke, Z. Asman, Z. Klimont and O. Oenema, 2009. Integrated Assessment of Nitrogen Losses from Agriculture in EU-27 using MITERRA-EUROPE. J Environ Qual 38:402-417 (2009) Event: Wageningen : Alterra, 2005 (Alterra-rapport 1204) LNV-DWK

Verzandvoort, S.J.E. 2008. Toelichting bij het indienen van databestand Priapus voor een 2e audit voor het verkrijgen van kwaliteitsstatus A. Alterra, Wageningen UR, mei 2008, 19 pp.

Vroon, H.R.J., L.W. Dekker en J.M.H. Hendricks, 1988. A method for measuring hydraulic properties of brittle soil horizons. Soil Sci. Soc. Am. J. 52, nr. 1, p. 292-294.

Vroon, H.R.J. en F. Brouwer, 2008. Bodemkundig-hydrologisch onderzoek in het waterwingebied Vierlingsbeek. Wageningen, Alterra. Rapport 1758.

Vrugt, J. A., W. Bouten, H.V. Gupta en S. Sorooshian, 2002. Toward improved identifiability of hydrologic model parameters : the information content of experimental data. Water Resources Research 38(12): 1-12.

Vrugt, J.A., Ph.H. Stauffer, Th. Whling, B.A. Robinson en V.V. Vesselinov, 2008. Inverse modeling of subsurface flow and transport properties: a review with new developments. Vadose Zone J. 7: 843-864.

Webster, R. en M.A. Oliver, 2007. Geostatistics for Environmental Scientists. Chichester, 487 pp.

Werkgroep Herziening Cultuurtechnisch vademecum, 1988. Cultuurtechnisch vademecum. Cultuurtechnische vereniging, Utrecht.

Wesseling, J.G., 1991. Meerjarige simulatie van grondwaterstroming voor verschillende bodemprofielen, grondwatertrappen en gewassen met het model SWATRE. DLO-Staring Centrum, Wageningen. Rapport / DLO-Staring Centrum no. 152.

Wesseling, J.G., J.G. Kroes en K. Metselaar, 1998. Global sensitivity and analysis of the Soil-Water-Atmosphere-Plant (Swap) model. DLO-Staring Centre. Report 160. 70 pp.

Wesseling, J.G., C.J. Ritsema, J. Stolte, K. Oostindie en L.W. Dekker, 2008. Describing the soil physical characteristics of soil samples with cubical splines. Transport in Porous Media, 71, 289–309.

Wesseling, J.G., 2009. Soil physical data and modeling soil moisture flow. Wageningen University, PhD Thesis.

Wesseling, J.G. en H.R.J. Vroon, 2012. Het Titanen project, deel 1 t/m 8. Alterra-rapporten in voorbereiding.

Wind, G.P., 1966. Capillary conductivity data estimated by a simple method. Water in the unsaturated zone. P. E. Rijtema and H. Wassink. Wageningen, The Netherlands. 1: 181-191.

Wösten, J.H.M., M.H. Bannink en J. Beuving, 1987. Waterretentie- en doorlatendheidskarakteristieken van boven- en ondergronden in Nederland: de Staringreeks. Wageningen, Stiboka-rapport 1932, ICW-rapport 18.

Wösten, J.H.M., F. de Vries, J. Denneboom en A.F. van Holst, 1988. Generalisatie en bodemfysische vertaling van de bodemkaart van Nederland, 1: 250.000, ten behoeve van de PAWN-studie. STIBOKA, Rapport 2055.

Wösten, J.H.M., G.J. Veerman en J. Stolte, 1994. Waterretentie- en doorlatendheidskarakteristieken van boven- en ondergronden in Nederland: de Staringreeks. Vernieuwde uitgave 1994. Wageningen, Staring Centrum-DLO, Technisch Document 18.

Wösten, J.H.M., P.A. Finke en M.J.W. Jansen, 1995. Comparison of class and continuous pedotransfer functions to generate soil hydraulic characteristics. *Geoderma* 66: 227-237.

Wösten, J.H.M., G.J. Veerman, W.J.M. de Groot en J. Stolte, 2001. Waterretentie- en doorlatendheids-karakteristieken van boven- en ondergronden in Nederland: de Staringreeks. Vernieuwde uitgave 2001. Alterra Rapport 153, 86 pp.

Xu, X., G. Kiely en C. Lewis, 2009. Estimation and analysis of soil hydraulic properties through infiltration experiments: comparison of BEST and DL fitting methods. *Soil Use and Management* 25: 354-361.

Yeh, W.W.-G., 1986. Review of parameter identification procedures in groundwater hydrology: the inverse problem. *Water Resources Research* 22(2): 95-108.

Geraadpleegde websites

[www.compendiumvoordeleefomgeving.nl](http://www.compendiumvoordeleefomgeving.nl) Compendium voor de Leefomgeving, geraadpleegd op 24-12-2009

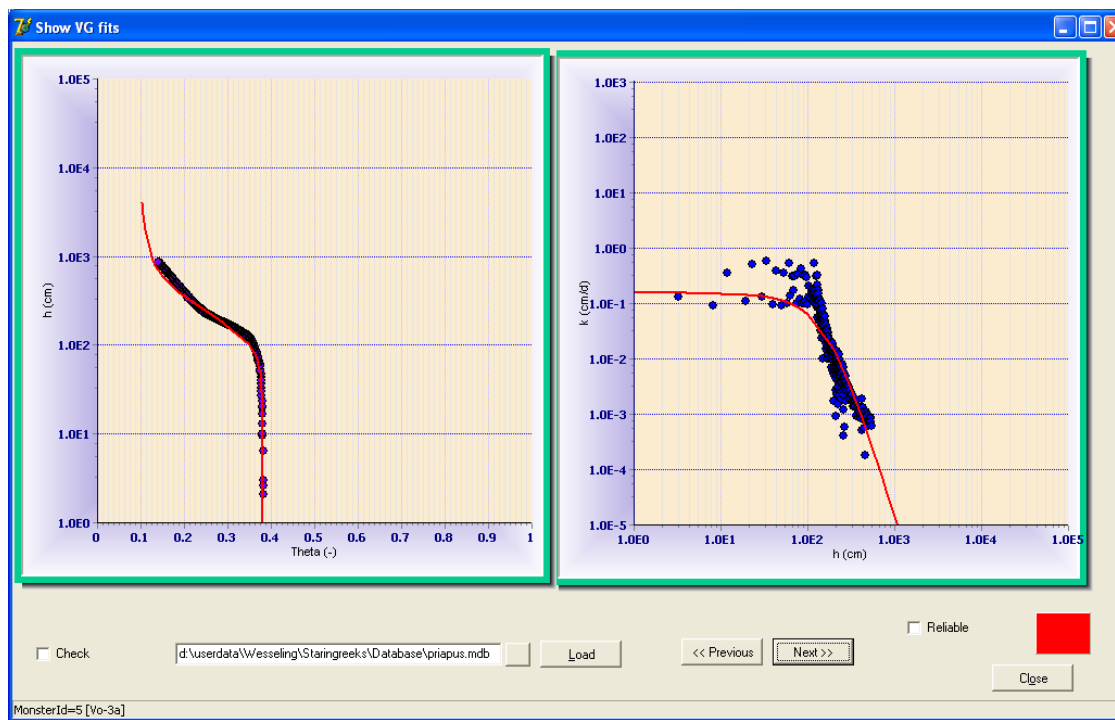
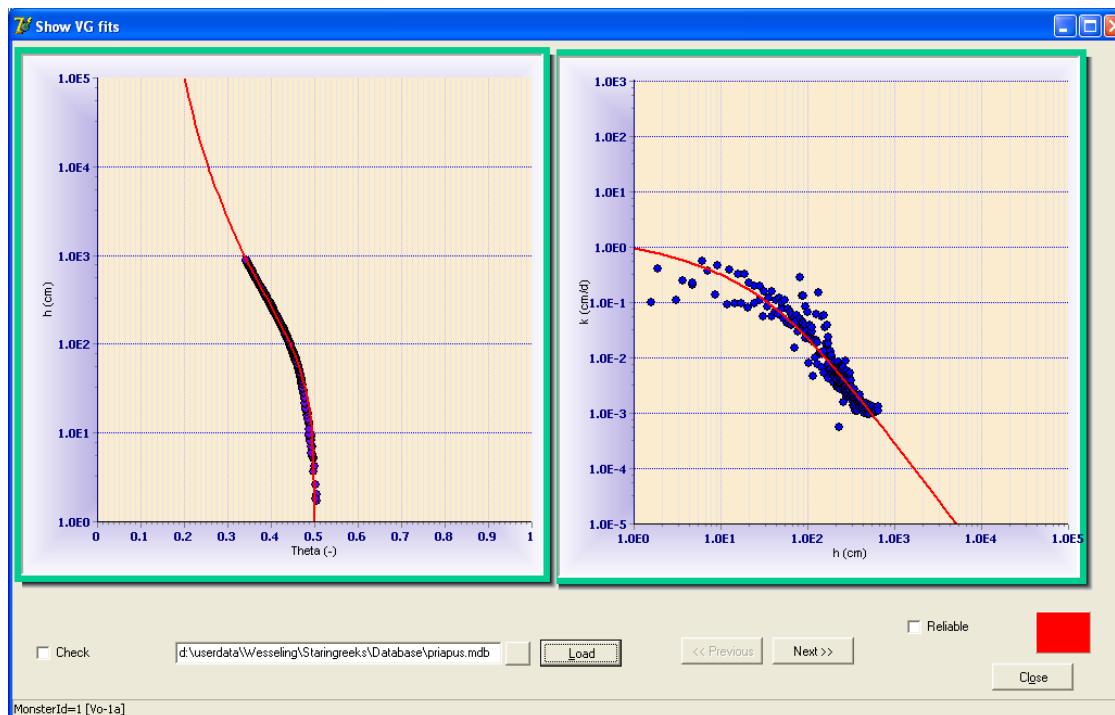


# Appendix I Criteria voor betrouwbaarheid en volledigheid van meetgegevens voor bodemhydraulische karakteristieken

| Nr | Criterium                                                                                                                             | Toelichting                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                           | Voorbeeld (Monsterld, Figuur)                                                 |
|----|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------|
| 1  | Gemeten met Beuving-methode                                                                                                           | Meetmethode is onbetrouwbaar volgens Jünt Halbertsma (voormalig kwaliteitscoördinator, voormalig hoofd Bodemfysisch Laboratorium ICW)                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                 |                                                                               |
| 2  | Meetpunten 'uitwaaiend' bij overgang van droge naar natte domein van h                                                                |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                       | 1, 5, 8, 40<br>Figuur 43, Figuur 44                                           |
| 3  | Geen MVG <sup>4</sup> -fit beschikbaar, of fit van slechte kwaliteit                                                                  |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                       | 16, 811<br>Figuur 45                                                          |
| 4  | K daalt niet monotoon met h                                                                                                           | Niet per se bodemfysisch onmogelijk; kan verklaard worden door combinatie van grof en fijn materiaal. Meetgegevens kunnen beschreven worden beschreven met modellen die samengestelde functies bieden (e.g. Brooks en Corey, 1964; Rijtema, 1965)                                                                                                                                                                                                                     | 31, 1624<br>Figuur 46                                                         |
| 5  | K neemt toe met afnemende h in trajecten van h op de overgang van het droge naar natte domein                                         | Bodemfysisch onmogelijk                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                               | 52, 97, 1331, 1819, 120, 1326<br>Figuur 47, Figuur 48<br>Figuur 49, Figuur 50 |
| 6  | Alleen afgeleiden (13 berekende waarden van $\theta(h)$ of $K(h)$ of alleen MVG-curve) beschikbaar                                    |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                       | 55<br>Figuur 51                                                               |
| 7  | Twee of meer duidelijk verschillende trajecten van $K(h)$                                                                             | Niet per se bodemfysisch onmogelijk; kunnen verklaard worden door gelaagdheid in grondmonster                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                         | 69, 296<br>Figuur 52                                                          |
| 8  | Metingen in beperkt domein van h monsters (dus beperkte serie meetpunten) of met onvoldoende meetpunten voor het fitten van een model | In het drukhoogtetraject tussen 0 en -10 cm dient ten minste één meting van K en $\theta$ te liggen, om twee redenen:<br>1. Bij drukhoogten van < -10 cm maakt de $K(h)$ -relatie een bocht. De ligging en het verloop van deze bocht heeft grote invloed op afgeleide gegevens zoals de kritieke z-afstand en het verzadigingstekort.<br>2. Extrapolatie van $K_{sat}$ uit metingen van $K(h)$ is betrouwbaarder op grond van waarden van h de buurt van het nulpunt | 101, 1898, 1128<br>Figuur 53, Figuur 54                                       |
| 9  | Alleen metingen van $\theta(h)$                                                                                                       |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                       | 1195<br>Figuur 55                                                             |
| 10 | Zwakke relatie tussen K en h, in het bijzonder in het domein van $0 < h < -10$ cm                                                     |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                       | 1258, 1270, 1829<br>Figuur 56, Figuur 57                                      |

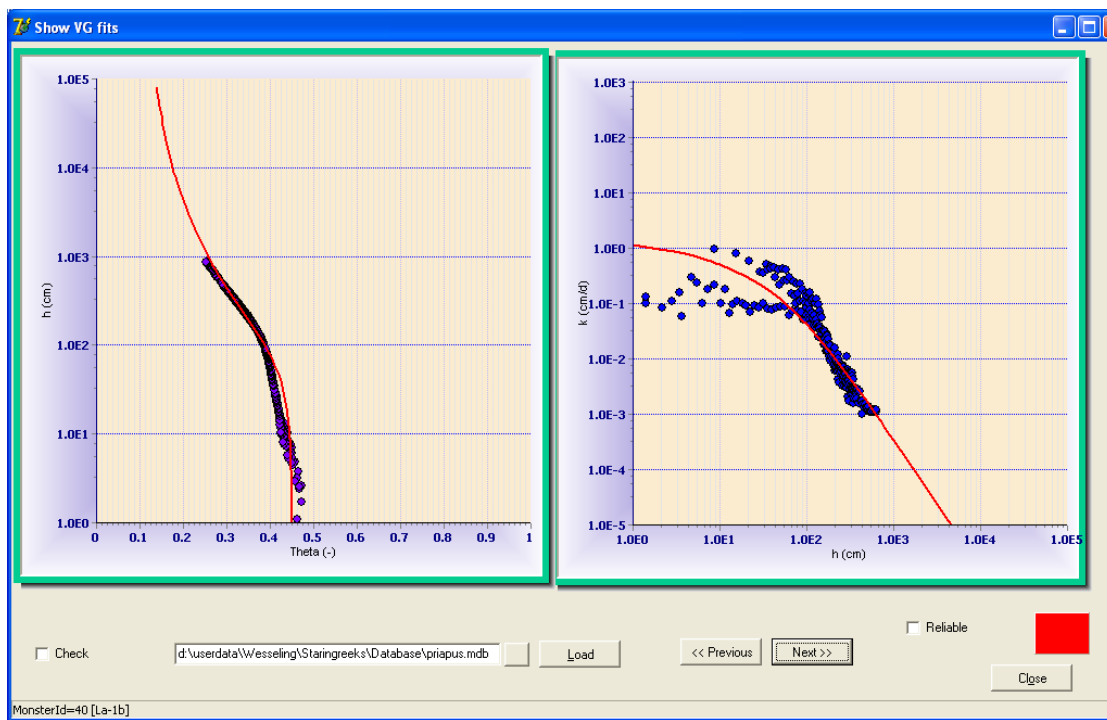
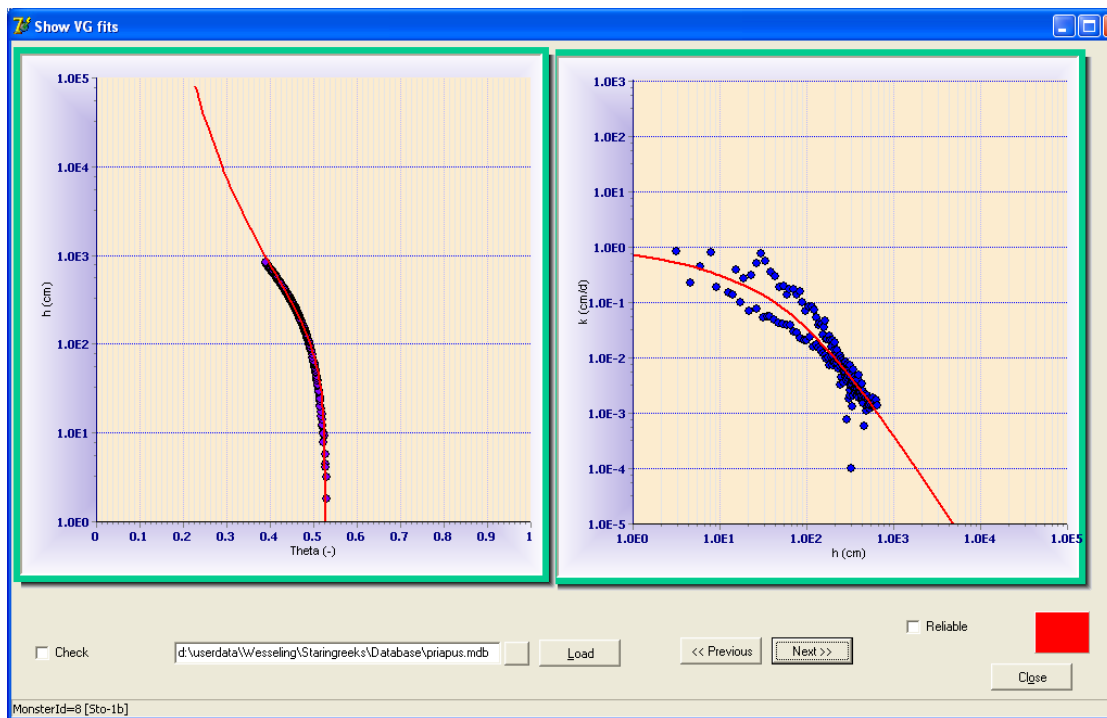
<sup>4</sup> Mualem-Van Genuchten-model

|    |                                                                                                                                        |                                                                                                                                                                                                                                                   |                                    |
|----|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------|
|    |                                                                                                                                        |                                                                                                                                                                                                                                                   |                                    |
| 11 | Alleen Ksat gemeten beschikbaar                                                                                                        |                                                                                                                                                                                                                                                   |                                    |
| 12 | Coördinaat van plek van monstername ontbreekt                                                                                          | Noodzakelijk voor bepalen van de bodemkundige context en Staringreeks-bouwsteen                                                                                                                                                                   |                                    |
| 13 | Afgeleide gegevens (kritieke z-afstand, verzadigingstekort) of Ksat niet consistent met bodemkundige karakterisering van grondmonsters |                                                                                                                                                                                                                                                   | 1635, 1636, 1326, 770<br>Figuur 58 |
| 14 | Sterk afwijkende meetgegevens in bepaald domein van h                                                                                  |                                                                                                                                                                                                                                                   | 1616, 1636, 1640<br>Figuur 60      |
| 15 | Monster is in ongerijpte toestand genomen en gemeten                                                                                   | Metten van $h(\theta)$ - en $K(h)$ -relaties door uitdroging met Windt methode leidt tot onomkeerbare veranderingen in structuur van het monster. Daardoor zijn de verkregen relaties oneigenlijk. Alleen gemeten Ksat waarde mag gebruikt worden | 1957                               |



**Figuur 44**

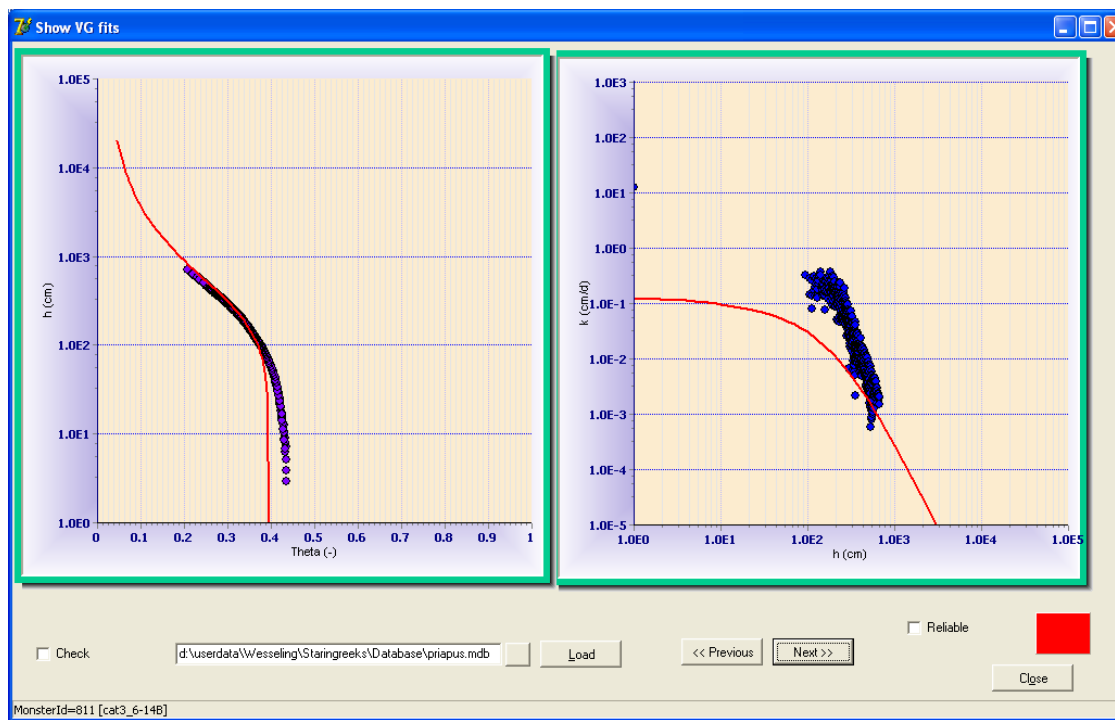
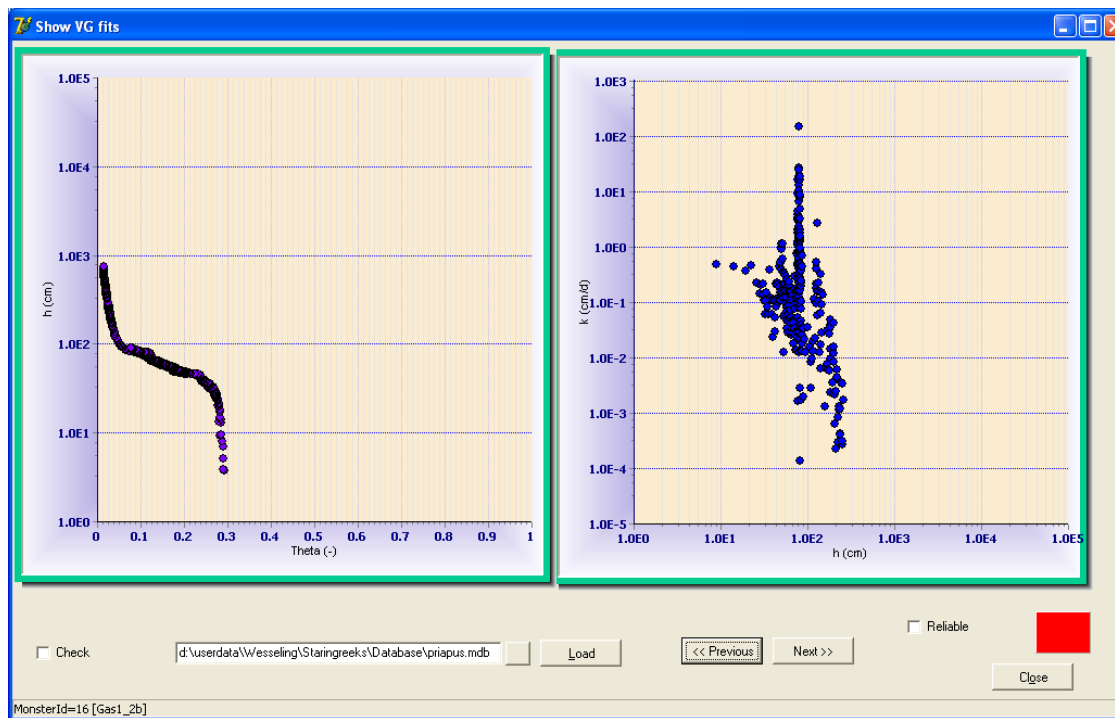
*Voorbeelden van monsters met meetpunten 'uitwaaiierend' bij overgang van droge naar natte domein van drukhoogte.*



**Figuur 45**

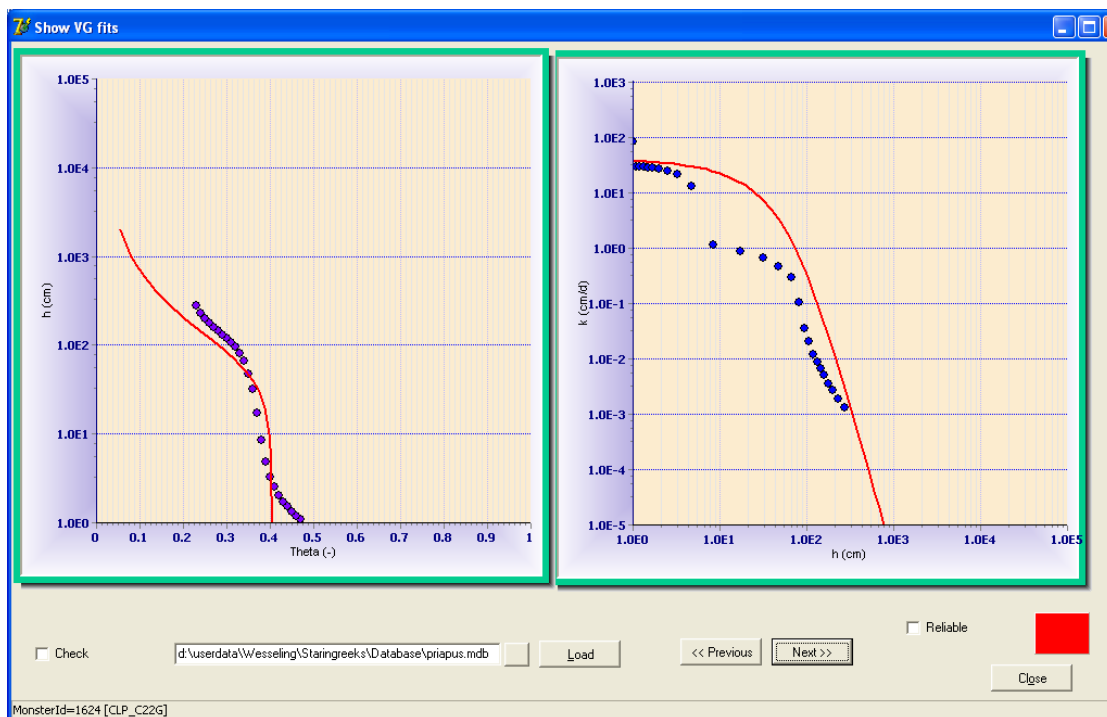
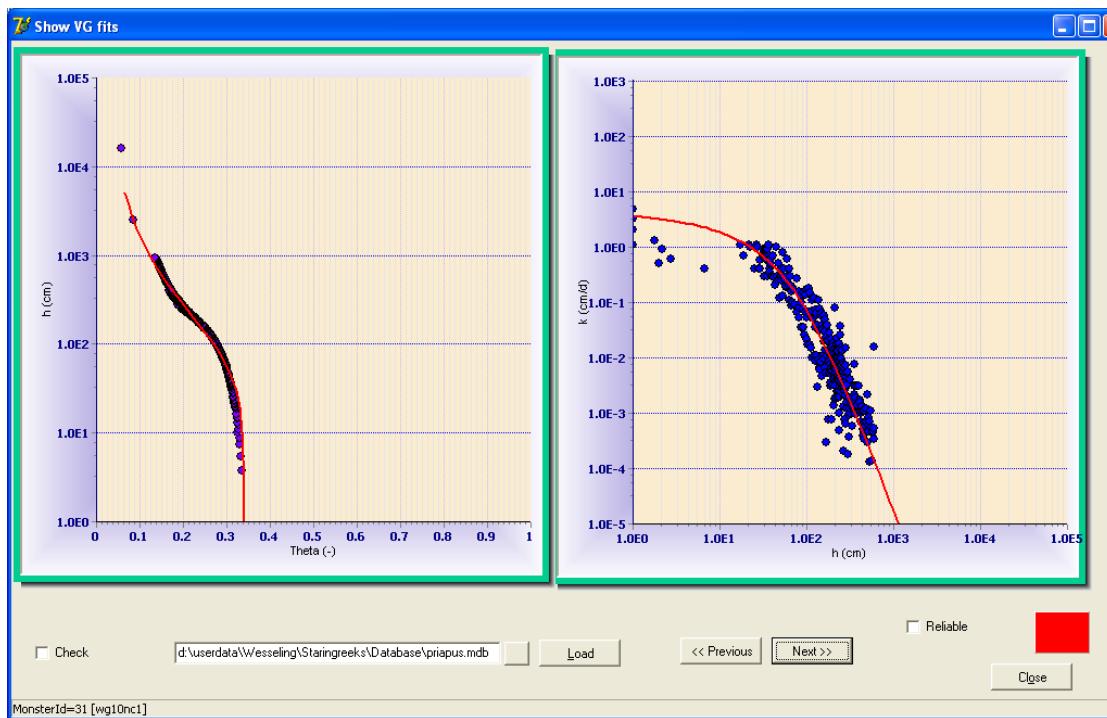
Voorbeelden van monsters met meetpunten 'uitwaaiend' bij overgang van droge naar natte domein van drukhoogte.





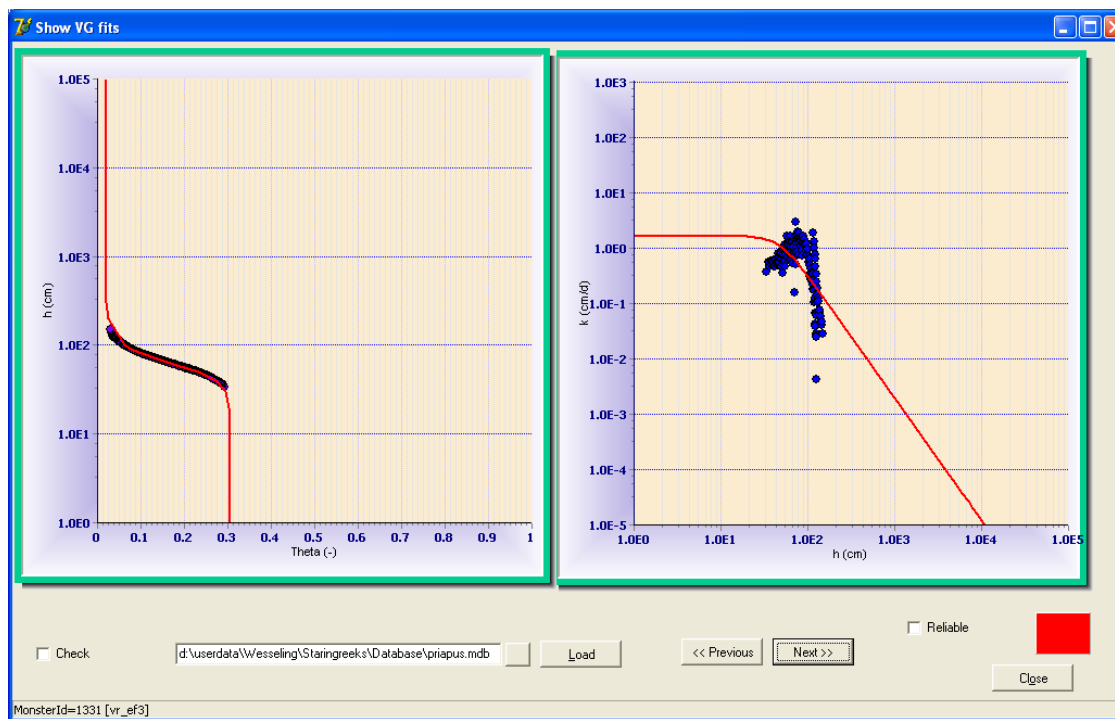
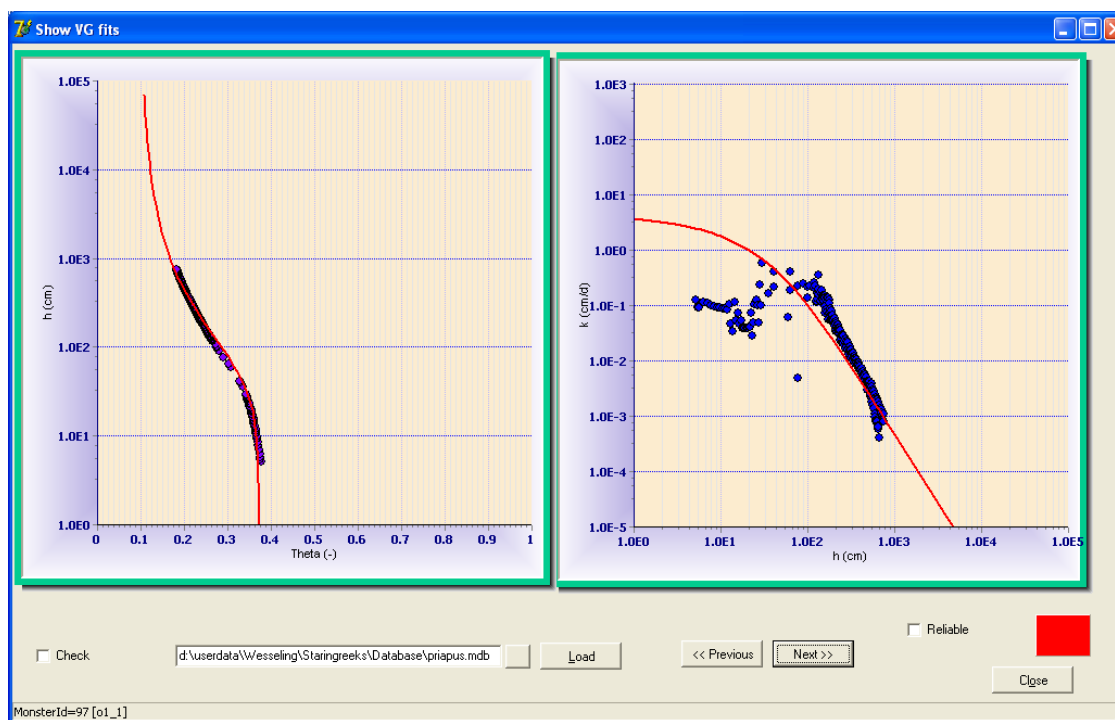
**Figuur 46**

*Voorbeelden van monsters waarvoor geen MVG-fit beschikbaar is, of een fit van slechte kwaliteit.*



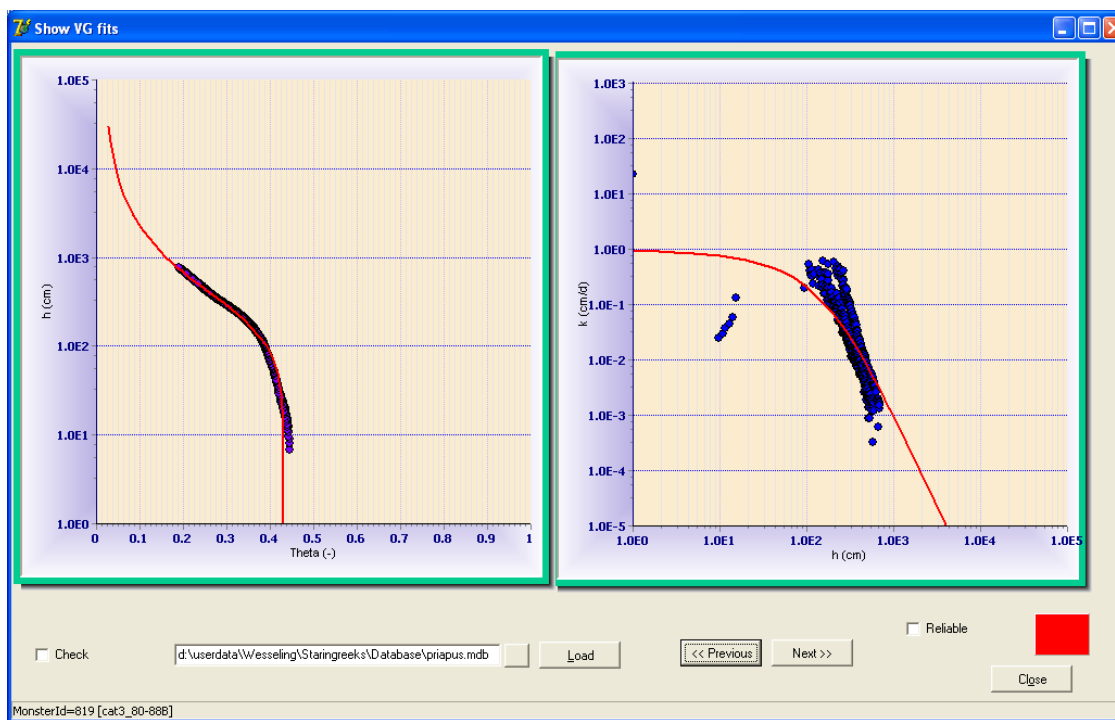
**Figuur 47**

*Voorbeelden van monsters waarvoor  $K$  niet monotoon daalt met  $h$ .*



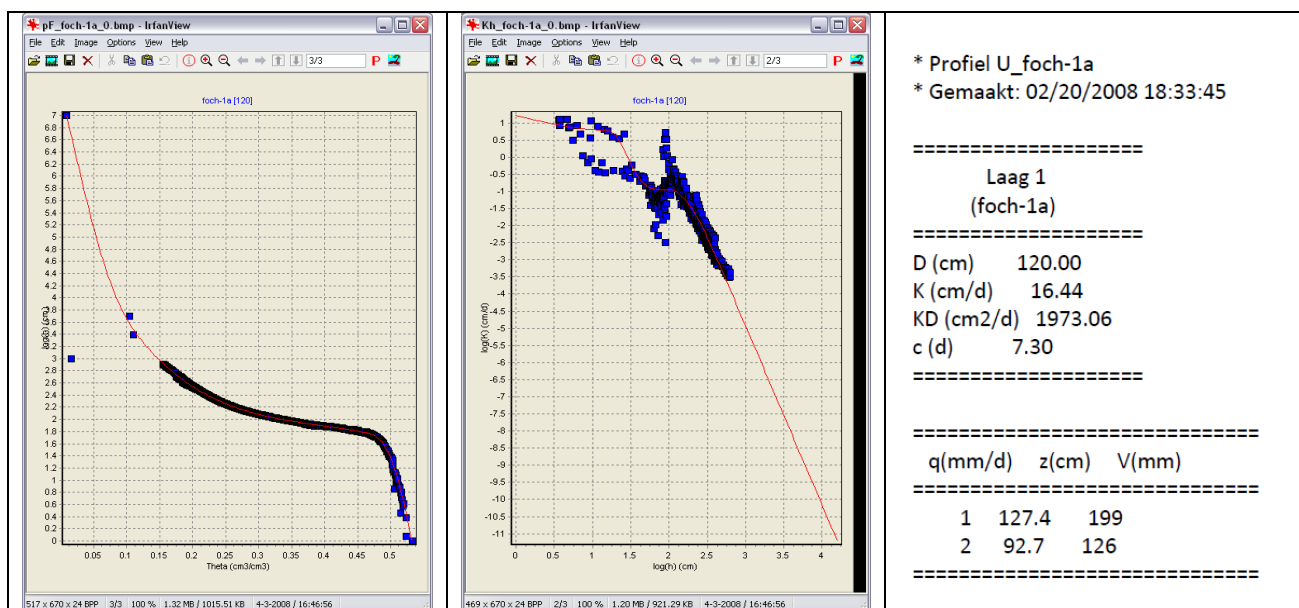
**Figuur 48**

Voorbeelden van monsters waarbij  $K$  toeneemt met afnemende  $h$  in trajecten van  $h$  op de overgang van het droge naar natte domein.



**Figuur 49**

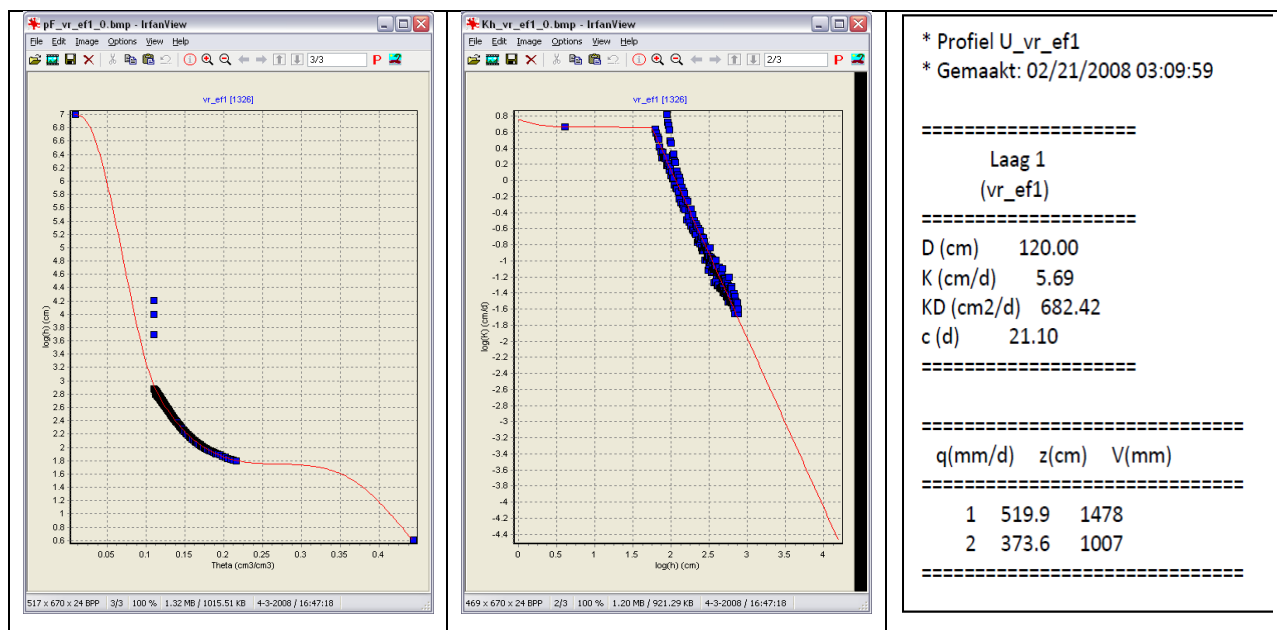
Voorbeelden van monsters waarbij  $K$  toeneemt met afnemende  $h$  in trajecten van  $h$  op de overgang van het droge naar natte domein



Dat de metingen van de  $K(h)$  niet correct zijn uit zich ook in de resultaten van de afgeleide gegevens. Zowel de berekende kritieke  $z$ -afstanden alsook de verzadigingstekorten zijn voor dit monster aan de hoge kant (Henk Vroon, mei 2008)

**Figuur 50**

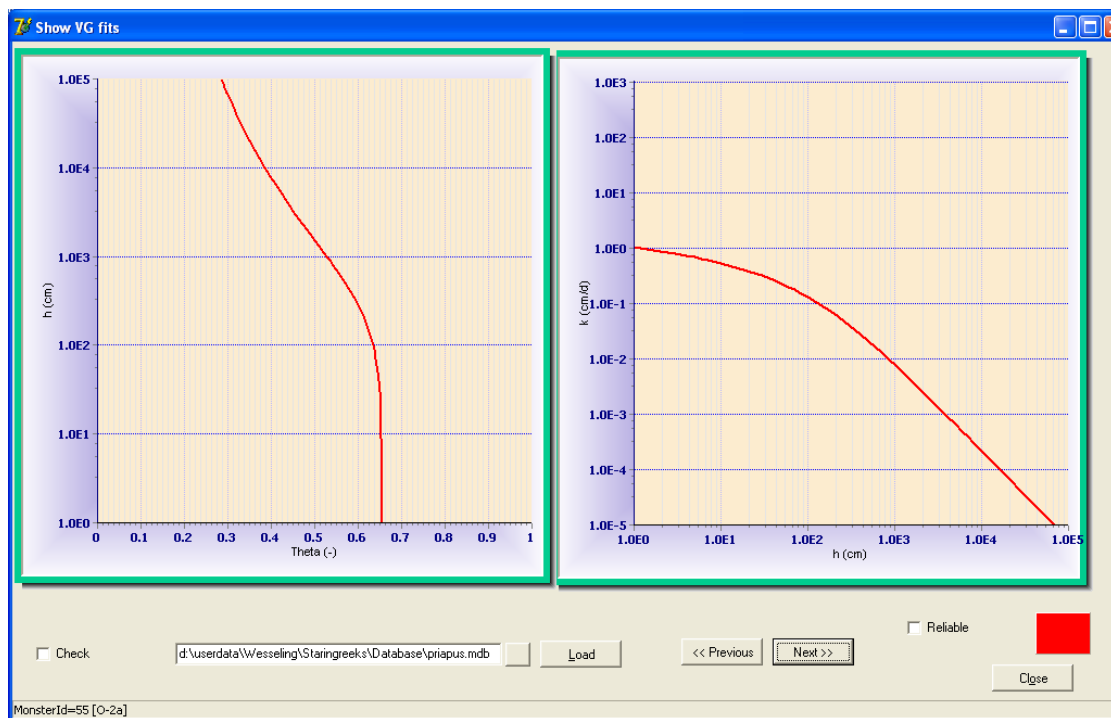
Voorbeelden van monsters waarbij  $K$  toeneemt met afnemende  $h$  in trajecten van  $h$  op de overgang van het droge naar natte domein.



De discontinuïteit in de  $K(h)$ -relatie veroorzaakt te grote berekende verzadigingstekorten en kritieke  $z$ -afstanden voor een monster uit bouwsteen B2 (Henk Vroon, mei 2008)

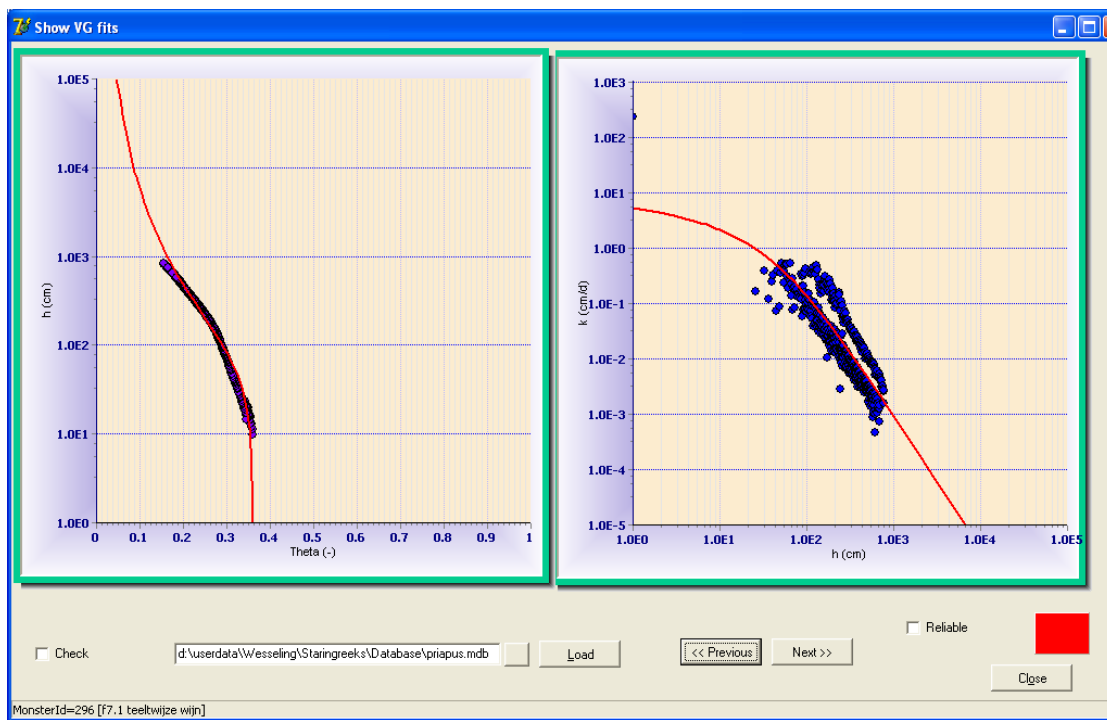
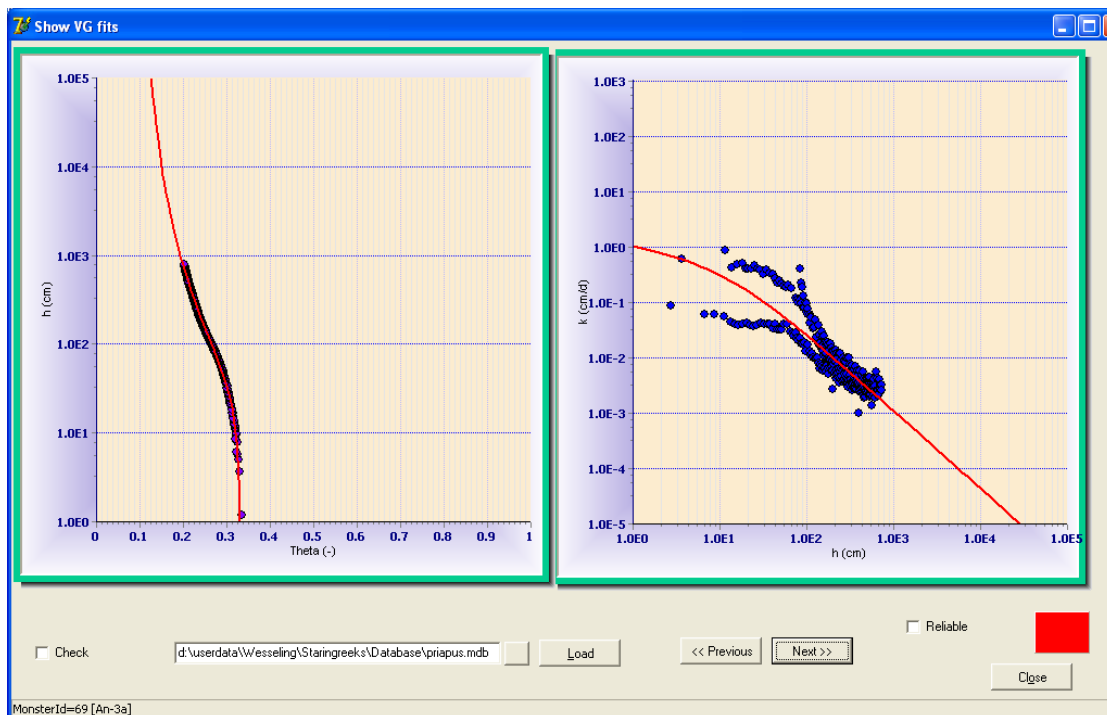
**Figuur 51**

Voorbeelden van monsters waarbij  $K$  toeneemt met afnemende  $h$  in trajecten van  $h$  op de overgang van het droge naar natte domein.



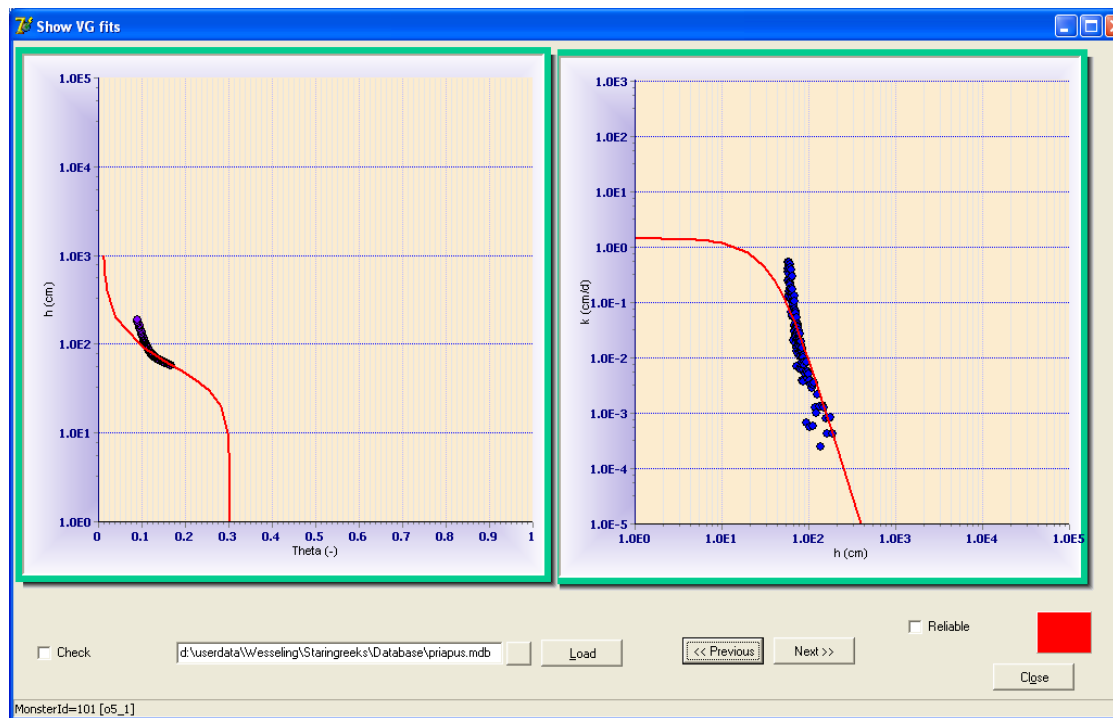
**Figuur 52**

Voorbeelden van monsters waarvoor alleen een MVG-fit beschikbaar is.



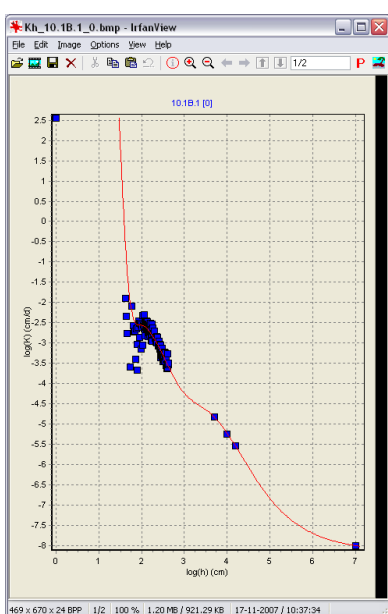
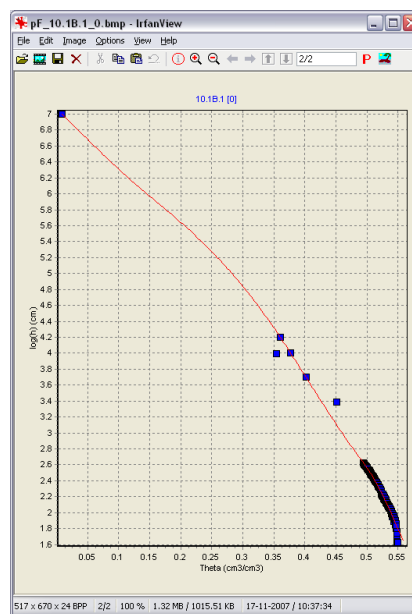
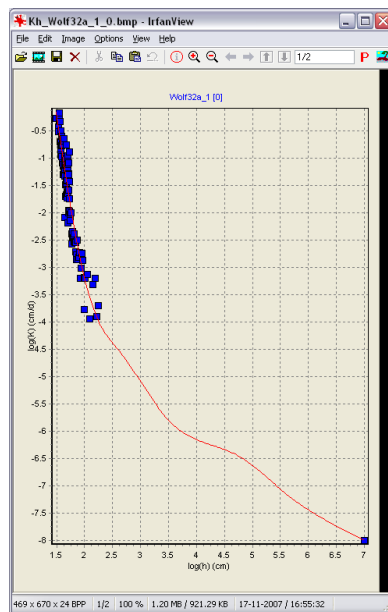
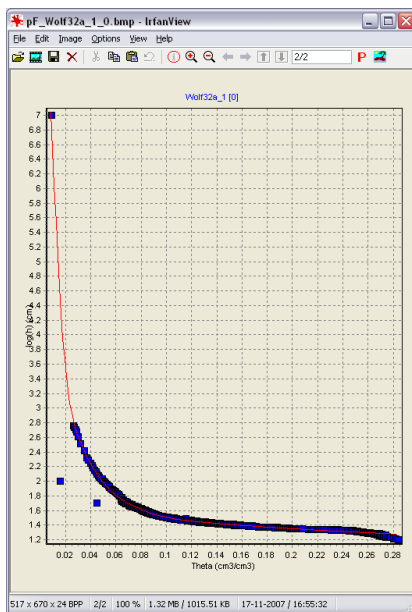
**Figuur 53**

*Voorbeelden van monsters met twee of meer duidelijk verschillende trajecten van  $K(h)$ .*



**Figuur 54**

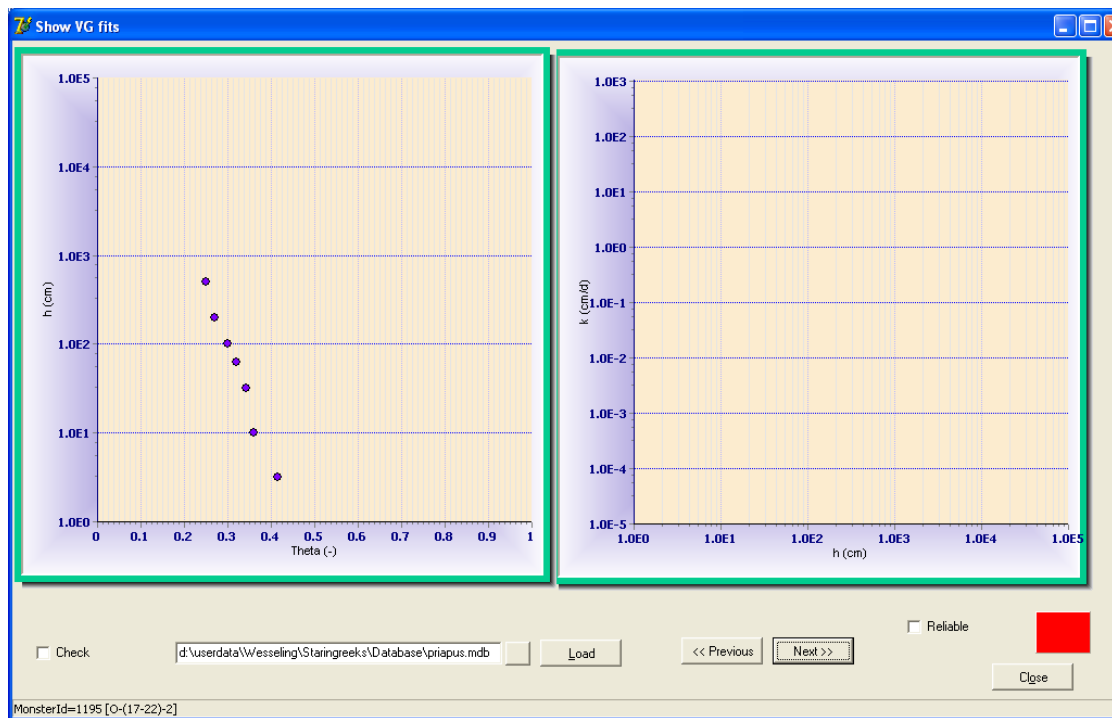
*Voorbeelden van monsters met metingen in beperkt domein van  $h$ .*



**Figuur 55**

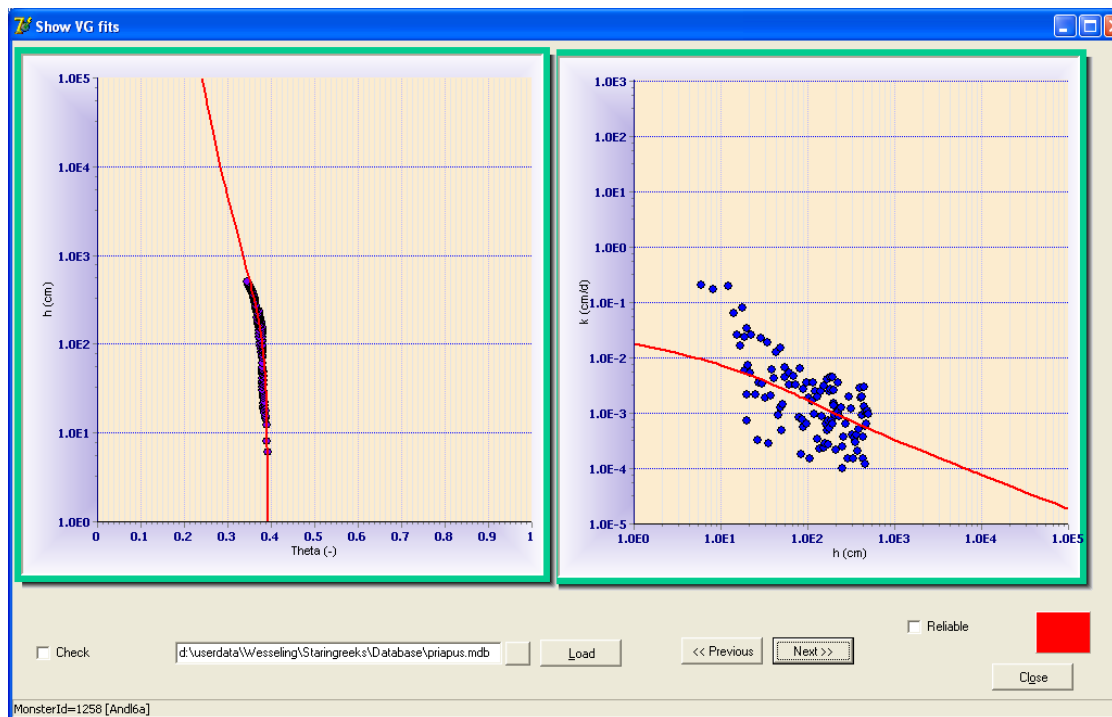
*Voorbeelden van monsters met metingen in beperkt domein van  $h$ .*





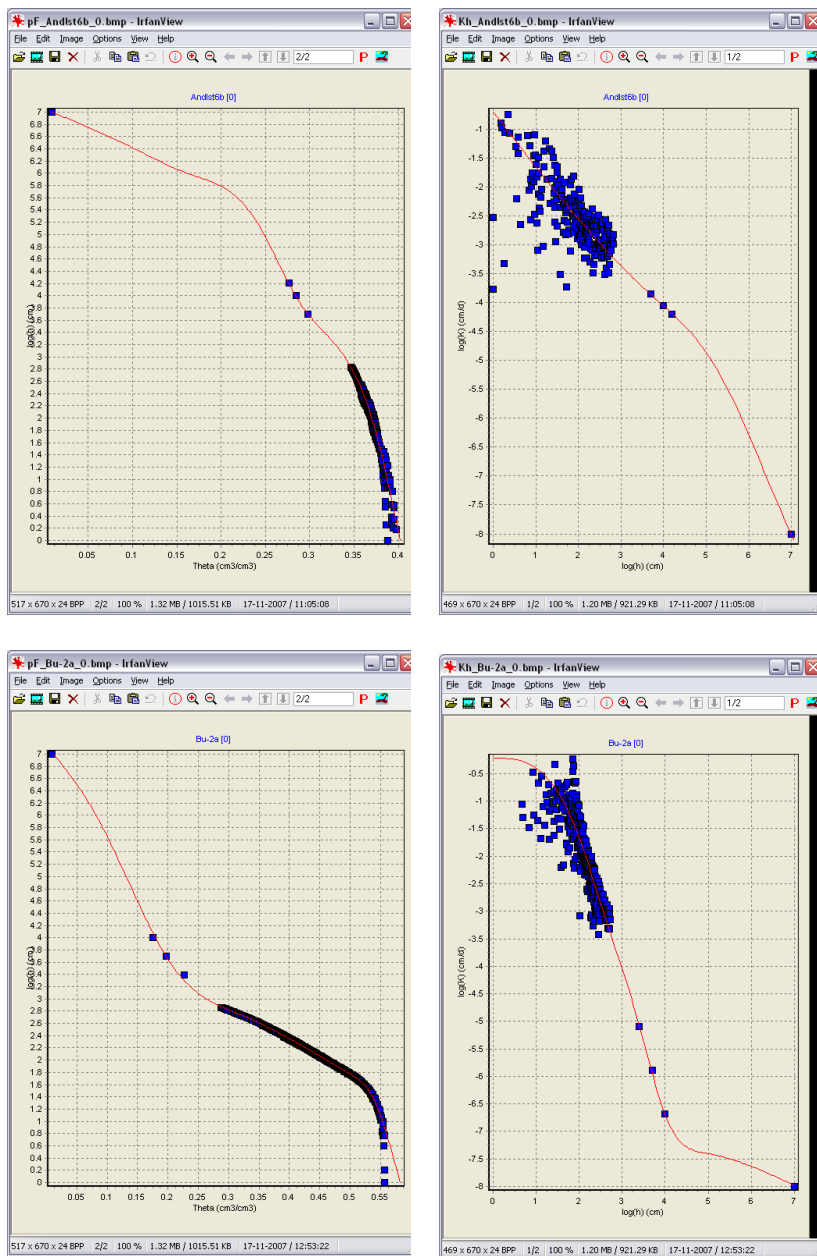
**Figuur 56**

*Voorbeeld van monsters waarvoor alleen  $\theta(h)$ -gegevens beschikbaar zijn.*



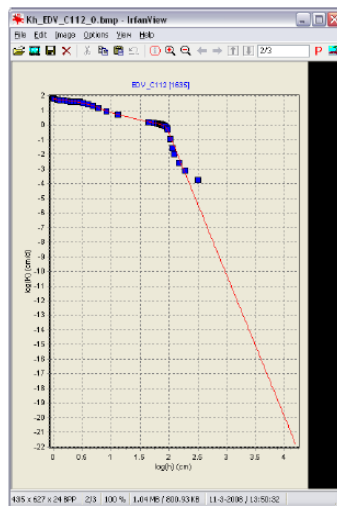
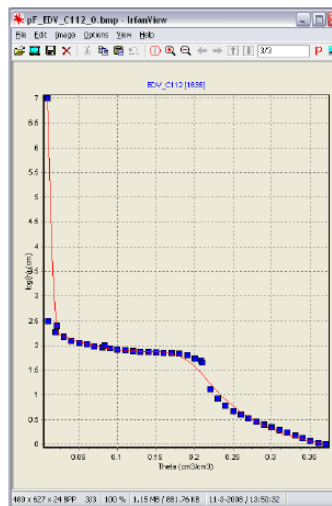
**Figuur 57**

*Voorbeeld van monster met zwakke relatie tussen  $K$  en  $h$ .*



**Figuur 58**

*Voorbeeld van monster met zwakke relatie tussen  $K$  en  $h$ .*



\* Profiel U\_EDV\_C112  
\* Gemaakt: 11-3-2008 12:50:31

=====

Laag 1  
(EDV\_C112)

=====

D (cm) 120.00  
K (cm/d) 60.29  
KD (cm<sup>2</sup>/d) 7234.65  
c (d) 1.99

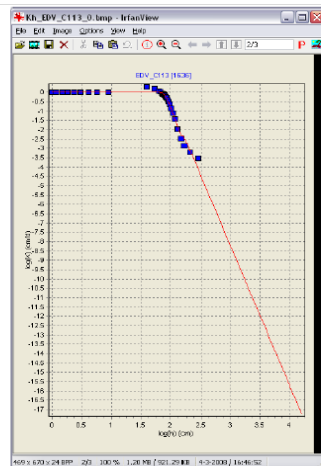
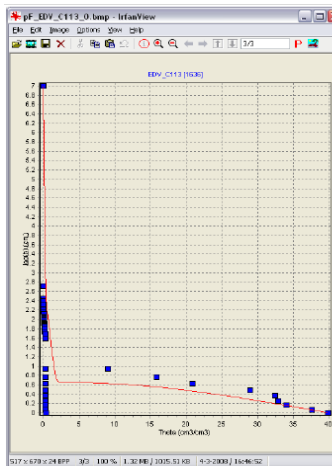
=====

=====

|   | q(mm/d) | z(cm) | V(mm) |
|---|---------|-------|-------|
| 1 | 109.3   | 228   |       |
| 2 | 98.0    | 198   |       |

=====

Het verloop van de  $K(h)$  relatie is te gunstig voor een zandondergrond. Dit uit zich in met name te hoge verzadigingstekorten en te grote Z-afstanden (te gunstige capillaire eigenschappen). (Henk Vroon, mei 2008)



\* Profiel U\_EDV\_C113  
\* Gemaakt: 02/21/2008 08:39:49

=====

Laag 1  
(EDV\_C113)

=====

D (cm) 120.00  
K (cm/d) 1.00  
KD (cm<sup>2</sup>/d) 120.12  
c (d) 119.88

=====

=====

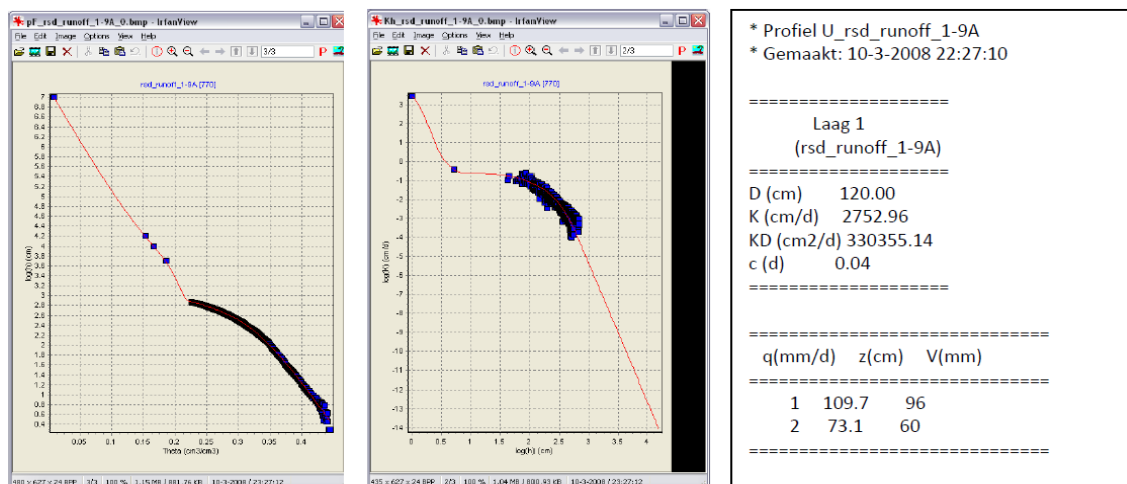
|   | q(mm/d) | z(cm) | V(mm) |
|---|---------|-------|-------|
| 1 | 101.2   | 38344 |       |
| 2 | 86.9    | 32863 |       |

=====

De  $K(h)$  relatie is niet correct voor een zandondergrond. Als gevolg hiervan zijn de fysische eigenschappen van het materiaal (bv. capillaire eigenschappen) veel te gunstig. Dit is goed te zien aan de afgeleide gegevens, zoals het berekende verzadigingstekort en de z-afstanden. Deze zijn voor zand (met name het verzadigingstekort) veel te hoog. (Henk Vroon, mei 2008)

### Figuur 59

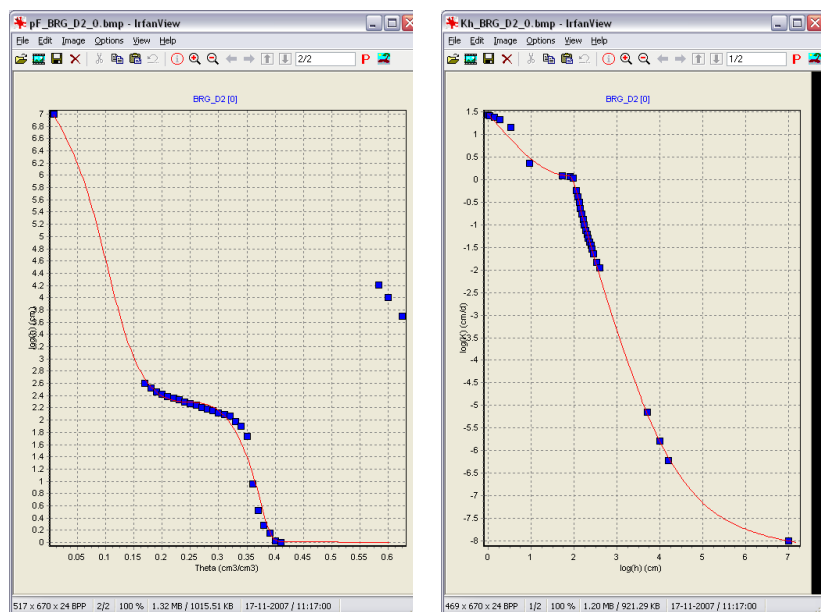
Voorbeelden van monsters met afgeleide gegevens (kritieke z-afstand, verzadigingstekort) of  $K_{sat}$  die niet consistent zijn met bodemkundige context, of waarvoor informatie over de bodemkundige context ontbreekt.



De gemeten Ksat waarde is veel te hoog voor een leemgrond (ca. 27m/dag). De meting zou verklaard kunnen worden door een scheur of wormgangen in het monster. Beschrijvende gegevens over de structuur, die hierover uitsluitsel kunnen geven, ontbreken in het databestand. (naar Henk Vroon, mei 2008).

**Figuur 60**

Voorbeelden van monsters met afgeleide gegevens (kritieke z-afstand, verzadigingstekort) of Ksat die niet consistent zijn met bodemkundige context, of waarvoor informatie over de bodemkundige context ontbreekt.



**Figuur 61**

Voorbeeld van monsters met sterk afwijkende meetgegevens in bepaald domein van h.

## Appendix II Verslag van de correctie en aanvulling van beschrijvende gegevens van grondmonsters in de Priapus database

**Monstidnr. 10 en 11.** Volgens de Priapusdatabase is er een starcode 28 (O10) aan beide monsters toegekend. Op basis van de Stibokarapporten 1043 en 1224 is nagegaan in welke context dit materiaal is gelegen en wat voor soort materiaal het is. De monsters liggen op basis van rapportnr. 1224 uit 1976 in een vlak tZg37x met Gt IIIa. De monsters zijn voorts ook op dezelfde locatie genomen. Volgens het rapport is in dit vlak een laag slecht doorlatende beekleem (O7) afgezet. Uit dit materiaal zijn ook de monsters 10 en 11 genomen. Het lutumpercentage van de monsters liggen in de klasse zware zavel (O10). De toekenning van de Starcode is juist, alleen dient de geocode te worden veranderd in 340 (beekafzettingen). Indien de code voor de Staringreeks (O10) impliciet vergezeld gaat met de geocode dan mag je O10 gebruiken, anders dien je O7 toe te kennen. Voorstel Geocode 340 en Starcode 28.

Monstidnr. 23 en 24. Volgens de Priapusdatabase is er aan beide monsters een Starcode 7 (B7) toegekend. Op basis van het SC-DLO rapport 90 (10.000 kartering, De Wildenborg) is nagegaan in welke context dit materiaal is gelegen en wat voor soort materiaal het is. Het monster ligt op basis van rapport 90 in een vlak tbZg35. Dat wil zeggen, dat de bovengrond van dit vlak bestaat uit een sterk lemige zeer fijnzandige zandgrond. De monsters zijn genomen uit de bovengrond (op dezelfde locatie) op een diepte tussen 4 en 12 cm. Het materiaal van de bovengrond is geanalyseerd en bestaat uit zeer lichte zavel (B7). De toekenning van de Starcode (B7) is juist, alleen dient de geocode te worden veranderd in 340 (beekafzettingen). Voorstel alleen Geocode veranderen in 340.

Monstidnr. 25. Volgens Priapusdatabase is er aan het monster geen Starcode toegekend. Op basis van het SC-DLO rapport 90 (10.000 kartering, De Wildenborg) is nagegaan in welke context dit materiaal is gelegen en wat voor soort materiaal het is. Het monster ligt op basis van rapport 90 in een vlak fktbZg37. Dat wil zeggen, dat de bovengrond van dit vlak bestaat uit beekklei. Het monster is ook genomen uit de bovengrond op een diepte tussen 10 en 18 cm. Het materiaal van de bovengrond is qua textuur niet geanalyseerd. Aan het monster heeft men een geocode 410 toegekend. Op enige meters afstand van de monsterlocatie ligt in hetzelfde vlak een karteringspunt, waarvan men de zwaarte van de bovengrond heeft geschat op een lutumpercentage van 11%. Verder heeft men aan dit materiaal een geocode 340 (beekafzettingen) toegekend. Voorstel Geocode 340 en Starcode 7.

Monstidnr. 27 en 28. Volgens de Priapusdatabase zijn er geen Starcodes aan het monster toegekend. Op basis van het SC-DLO rapport 90 (10.000 kartering, De Wildenborg) is nagegaan in welke context dit materiaal is gelegen en wat voor soort materiaal het is. De monsters zijn genomen op een diepte (op dezelfde locatie) tussen 64 en 72 cm -mv. Er zijn verder geen textuuranalyses aan deze monsters uitgevoerd. Op enige meters afstand van de monsterlocatie ligt in hetzelfde vlak een karteringspunt, waarvan men op dezelfde diepte van het monster een schatting van de textuur heeft uitgevoerd. Op basis van de boorbeschrijving gaat het om een zeer sterk lemig zand (ca. 36 % leem) en een M50 van 110. Verder is het materiaal qua samenstelling sterk gelaagd en heeft men aan het materiaal een geocode 410 toegekend. Voorstel Geocode 410 en Starcode 22.

Monstidnr. 29 en 30. Volgens de Priapusdatabase is er aan beide monsters een Starcode 8 (B8) toegekend. Op basis van het SC-DLO rapport 90 (10.000 kartering, De Wildenborg) is nagegaan in welke context dit materiaal is gelegen en wat voor soort materiaal het is. De monsters liggen op basis van rapport 90 in een vlak ktbZg35. Dat wil zeggen dat de bovengrond van dit vlak bestaat uit beekklei. De monsters zijn ook genomen uit de bovengrond (op dezelfde locatie) op een diepte tussen 12 en 20 cm. Het materiaal van de bovengrond is geanalyseerd en bestaat uit matig lichte zavel (B8). De toekenningen van de Starcode (B8) en geocode (340) is juist. Voorstel niets veranderen alleen de puntcode in ktbZg35.

Monstidnr. 35 en 36. Volgens de Priapusdatabase is er aan beide monsters een Starcode 17 (B17) toegekend. Op basis van het SC-DLO rapport 90 (10.000 kartering, De Wildenborg) en SC-rapport 296 (Jansen, 1994) is nagegaan in welke context dit materiaal is gelegen en wat voor soort materiaal het is. Het monster ligt op basis van rapport 90 en SC-rapport 296 in een vlak vWz met een laag beekklei net onder de moerige bovengrond. Uit de moerige bovengrond zijn ook de monsternummers 35 en 36 genomen. De monsters zijn voorts ook op dezelfde locatie genomen. Volgens de beschrijving in de toelichting van de karteringen bestaat het materiaal uit een lutumhoudende moerige bovengrond. Het monster bevat 30% organische stof en 8 % lutum (grens tussen B15 en B17). De toekenning van de Starcode (B17) is juist, alleen dient de geocode te worden veranderd in 110. Voorstel Geocode 110 en Starcode 17.

Monstidnr. 37. Volgens de Priapusdatabase is er aan het monster een starcode 27 (O9) toegekend. Op basis van het SC-DLO rapport 90 (10.000 kartering De Wildenborg) en het SC-rapport 296 (Jansen, 1994) is nagegaan in welke context dit materiaal gelegen is gelegen en wat voor soort materiaal het is. Het monster ligt op basis van rapport 90 en SC-rapport 296 in een vlak vWz met een laag beekklei (O7) net onder de moerige bovengrond. Uit deze beekklei is ook het monsternr. 27 genomen. Volgens de beschrijving in de toelichting van de karteringen gaat de beekklei over in zeer sterk lemig materiaal. Het lutumpercentage van het monster ligt in de klasse matig lichte zavel (O9). De toekenning van de Starcode is alleen juist indien de Starcode vergezeld gaat met de geocode. In dit geval moet de geocode worden veranderd in 340 (beekafzettingen). Als de code voor de Staringreeks (O9) impliciet vergezeld gaat met de geocode, dan mag je O10 gebruiken, anders moet je O7 toe te kennen. Voorstel Geocode 340 en Starcode 27.

Monstidnr. 50. Volgens de Priapusdatabase is er aan het monster een Starcode 9 en een geocode 510 toegekend. Op basis van het SC-rapport 551 uit 1997 (bodemkartering schaal 1: 10.000 Losser-zuid van Stoffelsen en Vroon) is nagegaan in welke context dit materiaal is gelegen en wat voor soort materiaal het is. De monsterlocatie ligt in een kaartvlak met een bodemcode tKX-GtVad. Dit betreft een keileemgrond met een minerale eerdlaag. Vlak bij de monsterlocatie (op ca. 35 m afstand) ligt een boorpunt uit de detailkartering met een uitgebreide profielbeschrijving. De puntcode van dit boorpunt is k4p235c. Op een afstand van ca. 50 meter van de monsterlocatie ligt ook een BISpunt in hetzelfde kaartvlak (archiefnummer 29C-39). Een aantal horizonten zijn op basis van o.a. textuur en organische stofgehalte geanalyseerd. In de BIS zit ook bodemkundige informatie over het bovengenoemde monster, dat op een diepte tussen 30 en 38 cm-mv. is bemonsterd. Op basis van informatie uit de BIS blijkt, dat de monsterlocatie een puntcode heeft van k4p225c. Op basis van de analyse gegevens uit de BIS en de analysegegevens uit de Priapusdatabase is de toegekende starcode (9) aan het monsternummer 50 in de Priapusdatabase fout indien er geen impliciete koppeling is gelegd met de geocode. Aan het monster dient een starcode 6 (B6) te worden toegekend. De geocode 510 is echter wel goed. De analyse gegevens uit de BIS voor het monsternummer 50 zijn: 1 % organische stof, 14.1 lutum en 31.7 % leem. De analysegegevens uit de priapusdatabase zijn iets zwaarder (lutum 24.3% en leem 42.6%). Voorstel indien er geen impliciete koppeling met de geocode wordt gelegd dient de starcode te worden veranderd in 6 (B6). Indien er wel een koppeling wordt gelegd dan hoeft er niets te veranderen. Verder dient de puntcode te worden veranderd in k4p235c.

Monstidnr. 60. Volgens de Priapusdatabase is er aan het monsters een Starcode 7 (B7) en een geocode 340 toegekend. Er zijn van deze monsterlocatie geen detailkarteringsgegevens aanwezig. Op een afstand van ca.

150 zijn in hetzelfde kaartvlak (bodemkaart schaal 1 : 50.000) echter wel BIS-gegevens bekend (archiefnummer 29A-14). Een aantal horizonten zijn op basis van o.a. textuur en organische stofgehalte geanalyseerd. In de BIS zit globaal ook bodemkundige informatie over het bovengenoemde monster, dat op een diepte tussen 40 en 48 cm-mv. is bemonsterd. Op basis van informatie uit de BIS blijkt, dat de monsterlocatie ligt in een vlak met beekklei. Het afzettingsmilieu van het BIS-monster komt goed overeen met de informatie uit de Priapusdatabase. Voorstel niets veranderen.

Monstidnr. 67. Volgens de Priapusdatabase is er aan het monster een starcode 7 (B7) toegekend. Er zijn van deze monsterlocatie geen detailkarteringsgegevens meer aanwezig. Op een afstand van ca. 150 zijn in het zelfde kaartvlak (bodemkaart schaal 1 : 50.000) echter wel BIS-gegevens bekend (archiefnummer 12E-28). Een aantal horizonten zijn op basis van o.a. textuur en organische stofgehalte geanalyseerd. In de BIS zit ook bodemkundige informatie over het bovengenoemde monster, dat op een diepte tussen 15 en 23 cm-mv. is bemonsterd. Op basis van informatie uit de BIS blijkt, dat de monsterlocatie ligt in een vlak KX en heeft men aan de monsterlocatie een puntcode van k4p213C (keileemgrond) toegekend. Op basis van de analyse gegevens uit de BIS is de toegekende geocode (411) en Starcode (7) aan het monsternummer 67 in de Priapusdatabase fout. Aan het monster dient een geocode 510 en een Starcode 6 (B6) te worden toegekend. De analysegegevens van de laag (20-40) die is bemonsterd op een afstand van ca. 150 van de monsterlocatie zijn o.a. lutumgehalte van 12% en een leemgehalte van 35%. Het organische stofgehalte bedraagt 1%. Voorstel de geocode en de starcode van het monsternummer 67 dient respectievelijk veranderd te worden in 510 en 6. Verder dient de vlak- en puntcode respectievelijk te worden vervangen in KX en k4p213c.

Monstidnr. 75. Volgens de Priapusdatabase is er aan het monster een starcode 1 (B1) toegekend. Op basis van het SC-rapport 535 (ruilverkaveling zuidwolde-noord, schaal 1 : 10.000 uit 1997 van Dodewaard en Kiestra) is nagegaan in welke context dit materiaal is gelegen en wat voor soort materiaal het is. Het monster is genomen op een diepte tussen 15 en 23 cm-mv. en ligt op basis van de detailkartering in een kaartvlak dat bestaat uit water. Op basis van een oudere detailkartering 1974 (Stibokarapportnr. 1010, schaal 1 : 10.000) blijkt, dat het monster ligt in een kaartvlak aWz-Gt IIIa. Dit is een broekeerdgrond met een moerige bovengrond. Op basis van de analysegegevens uit de Priapusdatabase blijkt, dat het organische stofgehalte 12% en de dichtheid 1.13 gr/cm<sup>3</sup> is. Verder zijn er geen textuurgegevens bekend. De aan het monster toegekende Starcode is op basis van de informatie uit de Priapusdatabase onjuist, omdat er alleen een textuuranalyse van het lutumpercentage (5,5 %) is uitgevoerd. Het toekennen van een B1 berust dus op onvoldoende textuurgegevens. Aangezien het monster zich op basis van de gemeten data van de theta-h relatie zich gedraagt als zijnde een moerige grond, en destijds ook is genomen uit een vlak, waarvan de bovengrond voornamelijk bestaat uit moerig materiaal is mijn voorstel om aan dit monster een Starcode 15 (B15) en een geocode 110 toe te kennen.

Monstidnr. 119. Volgens de Priapusdatabase is er geen Starcode en geocode aan het monster toegekend. Verder zijn er in de Priapusdatabase, behalve een gemeten dichtheid van 1.62 gr/cm<sup>3</sup>, geen nadere analysegegevens bekend over de textuur en het organische stofgehalte. Op basis van het SC-rapport 333 uit 1996 (hydrologisch onderzoek in bossen van Elbers etc.) is nagegaan in welke context dit materiaal is gelegen en wat voor soort materiaal het is. Het monster is volgens de beschrijving in dit rapport genomen uit een grijze uitspoelingslaag op een diepte van 50-58 cm. De beschrijving van het materiaal is niet door bodemkundigen gebeurd, waardoor het onzeker is uit wat voor soort materiaal het monster uiteindelijk is genomen. Op basis van informatie uit de detailkartering Kootwijk van Stiboka uit 1958 (rapport 493) blijkt, dat het monster ligt in een vlak stuifzand (ondieper dan 100cm) dat ligt in een uitgestoven laagte (bodemcode 27). Het podzolprofiel is op deze locatie als gevolg van erosie verdwenen. De textuur van het materiaal is niet geanalyseerd, maar men heeft echter wel de textuur van het materiaal als zijnde leemarm, zeer fijn zand geschat (leemarm zeerfijn zand). Ik stel op grond van de gemeten fysische data (theta-h relatie), dichtheid en de geschatte textuur dan ook voor om aan deze ondergrond een starcode 19 en een geocode 410 toe te kennen.

Monstidnr. 128 en 131. Volgens de Priapusdatabase is er aan beide monsters wel een Starcode (respectievelijk 8 en 19), maar geen geocode toegekend. De monsters zijn op dezelfde locatie genomen. Er zijn van deze monsterlocatie geen detailkarteringsgegevens aanwezig. Op basis van het SC-rapport 333 uit 1996 (hydrologisch onderzoek in bossen van Elbers etc.) is nagegaan in welke context dit materiaal is gelegen en wat voor soort materiaal het is. Het monster is volgens de beschrijving in dit rapport genomen uit een vanouds gedraineerd (80 cm diep) bosperceel op een diepte tussen respectievelijk 3 en 11 cm en een diepte tussen 36 en 44 cm. Voorts heeft men van de monsters niet allen de textuur bepaald, maar ook de dichtheid. Deze zijn voor gerijpte kleigronden aan de lage kant. Vooral de bovengrond kent voor een gerijpte bovengrond wel een ongekend lage dichtheid van 0.872 gr/cm<sup>3</sup>. De dichtheid van het monsternr. 131 is voor een ondergrond ook aan de lage kant (0.98 gr/cm<sup>3</sup>). Verder dient nog te worden opgemerkt dat de coördinaten niet geheel juist zijn en dat de monsters liggen in een Marien afzettingmilieu. Het is helaas niet meer te achterhalen, waarom vooral de dichtheid van de bovengrond zo laag is. Misschien is het organische stofgehalte in de bovengrond op deze locatie hoog (dit geeft de theta-h relatie van monsternummer 128 indirect ook aan) of is het materiaal minder gerijpt, dit is echter in het onderhavige onderzoek niet bepaald. Het voorstel is om aan beide monsters een geocode 211 toe te kennen en de starcodes te laten zoals ze zijn. Verder dient mogelijk nog ter plekke te worden bepaald, waarom de dichtheid zo laag is. Dit dient met elkaar te worden besproken. Omdat de monsters in het verleden zijn genomen en de bodemgesteldheid door werkzaamheden in het bos (bijvoorbeeld kaalkap van de populierenopstand met de daarbij behorende grondbewerkingen) door de jaren heen aanzienlijk kan zijn veranderd en dat de monsterlocatie niet exact kan worden achterhaald is besloten om de beide monsternummers te laten vervallen en dus niet op te nemen in de Priapusdatabase.

Monstidnr. 134. Volgens de Priapusdatabase is er geen Starcode en een geocode 410 aan het monster toegekend. Verder zijn er in de Priapusdatabase, behalve een gemeten dichtheid van 1.4 gr/cm<sup>3</sup>, geen nadere analysegegevens bekend over de textuur en het organischestofgehalte. Op basis van het SC-rapport 333 uit 1996 (hydrologisch onderzoek in bossen van Elbers etc.) is nagegaan in welke context dit materiaal is gelegen en wat voor soort materiaal het is. Het monster is volgens de beschrijving in dit rapport genomen uit een humushoudende bovengrond op een diepte tussen 3 en 11 cm-mv. De beschrijving van het materiaal is niet door bodemkundigen gebeurd, waardoor het onzeker is uit wat voor soort materiaal het monster uiteindelijk is genomen. Op basis van het SC-DLO rapport 98-60 (Kampina, bosreservaten van Mekkink, schaal 1 : 5000 uit 1999) blijkt, dat het monster ligt in een vlak pZn35-Gt IIIa (gooreerdgrond). Dat wil zeggen, dat de bovengrond ter plekke van de monsterlocatie bestaat uit sterk lemig, zeer fijn zand. (B3). Verder blijkt dat het punt, volgens de bodemkaart schaal 1 : 50.000, ligt in een vlak met een bodemcode Hn21-V en niet zoals in de Priapusdatabase staat vermeld in een vlak met een bodemcode Hn21-VI. Verder kan nog worden opgemerkt, dat er ook een schatting van de textuur in de database is opgenomen (leemarm, zeer fijn tot matig fijn zand). Concluderend kan worden afgevraagd of de coördinaten van dit monster wel juist zijn of is het mogelijk dat dit monster eventueel verwisseld is met een ander monster. Op grond van de uitkomsten van de fysische metingen (K(h) en theta(h)) kan verder nog worden vermeld, dat het er op lijkt dat de fysische eigenschappen van dit monster zich gedraagt als een leemarme zandbovengrond. Voorstel, aangezien er te veel onzekerheden zijn over de textuur van het monster zal de exacte monsterlocatie moeten worden achterhaald en in het veld een schatting van de textuur worden gemaakt. Vooralsnog is door Jan Wesseling, Simone Verzandvoort en Henk Vroon besloten dat een veldbodemkundige deze monsterlocatie zal gaan bezoeken en een beschrijving van het bodemprofiel zal gaan maken. Aan de hand van deze beschrijving zal dan aan het monster een starcode worden toegekend.

Monstidnr.513. Volgens de Priapusdatabase is er aan het monster geen Starcode, maar wel een geocode 321 toegekend. Aan het monster is geen starcode toegekend, omdat de textuur niet is bepaald. Op basis van het Stibokarapport 806 (ruilverkaveling Lopikerwaard, schaal 1 : 10.000 uit 1969 van Bles en Zegers.) is nagegaan in welke context dit materiaal is gelegen en wat voor soort materiaal het is. Het monster is genomen



op een diepte tussen 10 en 18 cm-mv. en ligt op basis van de detailkartering in een kaartvlak dat met een bodemcode Rv71C. Dit betreft een kalkloze drechtvaaggrond met een zeer zware kleibovengrond en profielverloop 1 (veen in de ondergrond beginnend op een diepte tussen 40 en 80 cm-mv.). Volgens de detailinformatie bestaat de bovengrond uit een zeer donkergrijze humeuze, zeer zware klei. Nadere informatie over de monsterlocatie is bij navraag (Wosten) niet meer aanwezig. Voorstel op basis van de aanvullende informatie uit de detailkartering dient aan het monster een starcode 12 (B12) te worden toegekend. Verder niets veranderen.

Monstidnr. 804. Volgens de Priapusdatabase is er een Starcode 9 en een geocode 610 aan het monster toegekend. Op basis van het SCrapport 270 (Catsop-erosieonderzoek Limburg, schaal 1 : 5000 uit 1993 door W. Leenders) is nagegaan in welke context dit materiaal is gelegen en wat voor soort materiaal het is. Het monster is genomen op een diepte tussen 56 en 64 cm. Op basis van informatie uit de detailkartering ligt de monsterlocatie in een kaartvlak met een kaartvlakcode Ldh6 (Ooivaaggrond in siltige leem (eolisch afgezet); colliviaal in helling afgezet). Uit de analysegegevens van de textuur blijkt, dat het monster een leemgehalte heeft van 92% en een lutumgehalte van 18%. Volgens het bodemkundig classificatiesysteem dienen gronden die eolisch zijn afgezet te worden ingedeeld naar het leemgehalte en niet zoals bij dit monster is gebeurd naar het lutumgehalte. De toekenning van Starcode 9 (B9) aan dit monster is dus fout en dient te worden veranderd in Starcode 33 (O15). De geocode van dit monster 690 is fout en dient te worden veranderd in 610. Voorstel de Starcode 9 dient te worden veranderd in Starcode 3 en de geocode te veranderen in 610.

Monstidnr. 812. Volgens de Priapusdatabase is er een Starcode 8 en een geocode 610 aan het monster toegekend. Op basis van het SCrapport 270 (Catsop-erosieonderzoek Limburg, schaal 1 : 5000 uit 1993 door W. Leenders) is nagegaan in welke context dit materiaal is gelegen en wat voor soort materiaal het is. Het monster is genomen op een diepte tussen 16 en 24 cm. Op basis van informatie uit de detailkartering ligt de monsterlocatie in een kaartvlak met een kaartvlakcode Ld6 (Ooivaaggrond in siltige leem (eolisch afgezet); onthoofde profielen van brikgronden). Uit de analysegegevens van de textuur blijkt, dat het monster een leemgehalte heeft van 91% en een lutumgehalte van 14%. Volgens het bodemkundig classificatiesysteem dienen gronden die eolisch zijn afgezet te worden ingedeeld naar het leemgehalte en niet zoals bij dit monster is gebeurd naar het lutumgehalte. De toekenning van Starcode 8 (B8) aan dit monster is dus fout en dient te worden veranderd in Starcode 14 (B14). De geocode van dit monster 610 is echter wel goed. Voorstel: de Starcode 8 moet veranderd worden in Starcode 14.

Monstidnr. 1126, 1138, en 1140. Volgens de Priapusdatabase is er aan alle monsters een Starcode (respectievelijk 12, 31, en 31) en een geocode 321 toegekend. De monsters zijn allen op dezelfde locatie genomen. Op basis van het Stibokarapport 436 (ruilverkaveling Tielerwaard west, schaal 1 : 20.000 uit 1956 van Van Der Sluijs) is nagegaan in welke context dit materiaal is gelegen en wat voor soort materiaal het is. De monsterlocatie ligt op basis van de detailkartering in een kaartvlak met zeer zware komklei. Nadere detailinformatie over dit monsterpunt ontbreekt. Verder kan nog worden vermeld, dat de analysegegevens uit de priapusdatabase overeenkomen met de toegekende Starcode. Het voorstel is dan ook niets veranderen.

Monstidnr. 1611, 1612, en 1613. Volgens de Priapusdatabase is er aan alle monsters een Starcode (respectievelijk 17, 21, en 19) toegekend. De monsters zijn allen op dezelfde locatie genomen. Er zijn van deze monsterlocatie geen detailkarteringsgegevens aanwezig. Van deze monsterlocatie zijn echter wel BIS gegevens bekend (archiefnummer 39F-26). Een aantal horizonten zijn op basis van o.a. textuur en organische stofgehalte geanalyseerd. In de BIS zit ook bodemkundige informatie over de bovengenoemde monsters. Op basis van informatie uit de BIS heeft men aan de monsterlocatie een puntcode 2o423 toegekend. Dat wil zeggen, dat het materiaal bestaat uit een sterk lemige, zeer fijn zandige humuspodzolgrond met een kleidek (kHn55). Op basis van informatie uit de Priapusdatabase heeft men het monsternummer 1611 genomen op een diepte tussen 4 en 14 cm. De analysegegevens van dit monster zijn als volgt: lutum 49,6 % en een organischestofgehalte van 15,3 %. Voorts heeft men aan deze horizont een geocode 321 toegekend. De

analysegegevens van dit monster zijn hetzelfde als de informatie die in de BIS staat vermeld. Volgens het bodemclassificatiesysteem dient aan dit monster een starcode (11, B11) te worden toegekend. Volgens de methode waarop de codes van de staringsreeks aan gronden worden toegekend, dient aan dit monster een geocode (17, B17) te worden toegekend. Er bestaat dus een discrepantie tussen de wijze waarop men bodemhorizonten volgens de Staringreeksmethode indeelt en de wijze waarop men volgens het classificatiesysteem van de bodem aan de bodemhorizonten een staringreekscode toekent. Dit heeft te maken met het feit dat de Staringreeksmethode alles vanaf meer dan 15% organische stof moerig noemt, terwijl het classificatiesysteem van de bodem de moerigheid laat afhangen van het lutumgehalte. Matig zware kleigronden (monsternummer 1611) bijvoorbeeld met een organischestofgehalte van 15,3 % zijn volgens het classificatiesysteem van de bodem nog steeds matig zware kleigronden en geen venige kleigronden, hiervoor dient het lutumpercentage ca. 20% te zijn.

Van de overige monsters dient alleen het organische stofgehalte van het monsternummer 1612 te worden veranderd van 12,4 % in 1,5 %. Dit is vermoedelijk een schrijffout. Voorstel er zit een discrepantie in de methode waarop men staringreekscodes aan bodemhorizonten toekent. Dit is een kwalijke zaak, omdat een deel van de gronden in Nederland dan op een bodemkundig onjuiste manier worden geparameteriseerd. Dit dient nader besproken te worden. Voorstel de starcode van het monsternummer 1611 dient te worden veranderd in 11 (B11). Verder dient het organische stofgehalte van monsternummer 1612 van 12,8 % te worden veranderd in 1,5 %.

Monstidnr. 1614, 1615 en 1616. Volgens de Priapusdatabase is er aan alle monsters een Starcode (respectievelijk 16, 34 en 34) toegekend. De monsters zijn allen op dezelfde locatie genomen. Op basis van het Stibokarapport 676 uit 1960 (Groninger veenkolonien schaal 1 : 25.000 van de Smet) is nagegaan in welke context dit materiaal is gelegen en wat voor soort materiaal het is. De monsterlocatie ligt in een kaartvlak dat is herontgonnen en gezakt en/of geëgaliseerd. Van deze monsterlocatie zijn ook BIS gegevens bekend (archiefnummer 12F-99). Een aantal horizonten zijn op basis van o.a. textuur en organische stofgehalte geanalyseerd. In de BIS zit ook bodemkundige informatie over de bovengenoemde monsters. Op basis van informatie uit de BIS blijkt, dat de monsterlocatie ligt in een vlak iWp en heeft men aan de monsterlocatie een puntcode van 2n422 (moerpodzolgrond) toegekend. Op basis van de analyse gegevens uit de BIS is de toegekende geocode (410) aan het monsternummer 1614 in de Priapusdatabase fout. Aan het monster dient een geocode 110 te worden toegekend. De starcode 16 is echter wel goed. De toegekende starcodes (016) en de geocodes (190) aan de monsternummers 1615 en 1616 zijn op basis van de BIS gegevens fout. Het materiaal van beide monsters bestaat uit leemarm zeer fijn zand (starcode 19) en de geocode dient van beide monsters 412 te zijn. De analyse gegevens uit de BIS voor het monsternummer 1615 zijn: 2.3% organische stof, 3.5% leem en een M50 van 125. De analyse gegevens uit de BIS voor het monsternummer 1616 zijn: 5.9% organische stof, 5.7% leem en een M50 van 115. Verder dient te worden vermeld, dat het leemgehalte van monsternummers 1615 en 1616 in de Priapusdatabase respectievelijk 26 % en 12 % is. Dit wijkt dus af van het leemgehalte dat in de BIS staat vermeld. Verder geven ook de gemeten fysische data (K(h) en Theta (h)) van monster 1616 aan dat het materiaal geen veen kan zijn, ondanks dat de vermelde dichtheid in de Priapusdatabase 0,2 gr/cm<sup>3</sup> is. Daarnaast is ook het vermelde org. stofgehalte niet in overeenstemming met de Theta(h) in verzadigde toestand. Volgens mij zijn er monstergegevens verwisseld of fout overgeschreven. Voorstel de geocode van monsternummer 1614 veranderen in 110 en de Star- en de geocodes van de monsternummers 1615 en 1616 te vervangen in starcode 19 en geocode 412. Verder dient de vlak- en puntcode respectievelijk te worden vervangen in iWp en 2n422. Verder de analysegegevens voor zover mogelijk aanpassen aan de hand van de BIS gegevens. Vanwege te veel onzekerheden dienen we over de monsternummers 1615 en 1616 met elkaar te beslissen wat we ermee gaan doen.! Uiteindelijk is door Jan Wesseling, Simone Verzandvoort en Henk Vroon besloten om de monsternummers 1615 en 1616 voorlopig te laten vervallen.

Monstidnr. 1621, 1622 en 1624. Volgens de Priapusdatabase is er bijna (op een na) aan alle monsters een Starcode (respectievelijk 9, 27 en geen) en een geocode 211 toegekend. De monsters zijn allen op dezelfde

locatie genomen. Op basis van het Stibokarapport 434 (ruilverkaveling Noord Beveland, schaal 1 : 10.000 uit 1956 van Steur en Ova) is nagegaan in welke context dit materiaal is gelegen en wat voor soort materiaal het is. De monsters zijn genomen op een diepte tussen respectievelijk 8 en 14 cm, 30 en 36 cm en 65 en 75 cm. Op basis van informatie uit de detailkartering ligt de monsterlocatie in een kaartvlak met een zware zavel bovengrond. Van deze monsterlocatie zijn ook BIS gegevens bekend (archiefnummer 42G-13). Een aantal horizonten zijn op basis van o.a. textuur en organische stofgehalte geanalyseerd. Op basis van informatie uit de BIS heeft men aan de monsterlocatie een puntcode M5p235a (kalkrijke poldervaaggrond met een zware zavel bovengrond en profielverloop 5) toegekend. In de BIS zit ook aanvullende bodemkundige informatie over de bovengenoemde monsters, die exact overeenkomen met de informatie uit de Priapusdatabase. De textuur van monsternummer 1624 bestaat volgens de analysegegevens uit de BIS en de Priapusdatabase uit: uiterst fijn, zwak kleiig zand. Het leemgehalte ligt tussen 10 en 17%. Op basis van de informatie uit de detailkarteringen en de informatie uit de BIS wordt voorgesteld om aan het monster een Starcode 20 toe te kennen. Deze toekenning geldt alleen indien de geocode (211) impliciet wordt gekoppeld aan het monster. Indien er geen koppeling met de geocode plaatsvindt, mag er aan het monster geen Starcode worden toegekend. Voorts dient men aan de monsterlocatie een boorpuntcode m5p225c toe te kennen. Verder niets veranderen.

Monstidnr.1626. Volgens de Priapusdatabase is er aan het monster een Starcode 12 (B12) en een geocode 321 toegekend. Op basis van het SCrapport 35 (ruilverkaveling land van Maas en Waal, schaal 1 : 10.000 uit 1988 van Scholten etc.) is nagegaan in welke context dit materiaal is gelegen en wat voor soort materiaal het is. Het monster is genomen op een diepte tussen 15 en 21 cm-mv. en ligt op basis van de detailkartering in een kaartvlak dat met een bodemcode Rn74C-GtIVu. Dit betreft een kalkloze poldervaaggrond met een zeer zware kleibovengrond en profielverloop 4. Vlak bij de monsterlocatie (op ca. 50 m afstand) ligt een boorpunt uit de detailkartering met een uitgebreide profielbeschrijving. De puntcode van dit boorpunt is R5p334C-GtIV. Uit de beschrijving volgt dat de bovengrond mooi regelmatig bruin van kleur is en is goed gehomogeniseerd. Van deze monsterlocatie zijn ook BIS gegevens bekend. De informatie uit de BIS komt exact overeen met de informatie uit de Priapusdatabase. Er dient alleen nog te worden opgemerkt, dat aan het BIS punt een foute puntcode is toegekend. Deze dient geen R5p355c te zijn, maar R5p334C. Voorstel alleen de vlak- en puntcode veranderen in respectievelijk Rn74C-GtIV en R5p334C. Verder niets veranderen.

Monstidnr. 1631, 1632, 1633 en 1634. Volgens de Priapusdatabase is er aan alle monsters een Starcode (respectievelijk 1, 2, 2 en 19) toegekend. De monsters zijn allen op dezelfde locatie genomen. Er zijn van deze monsterlocatie geen detailkarteringsgegevens aanwezig. Van deze monsterlocatie zijn echter wel BIS gegevens bekend (archiefnummer 32G-68). Een aantal horizonten zijn op basis van o.a. textuur en organische stofgehalte geanalyseerd. In de BIS zit ook bodemkundige informatie over de bovengenoemde monsters. Op basis van informatie uit de BIS heeft men aan de monsterlocatie een puntcode 2q422 toegekend. Dat wil zeggen, dat het materiaal bestaat uit een zwak lemige, zeer fijn zandige humuspodzolgrond met een matig dik (30- 50 cm) cultuurdek. Deze gronden worden volgens het classificatiesysteem van de Bakker en Schelling ook wel laarpodzolgronden genoemd. Op basis van de analyse gegevens uit de BIS is voor het monsternummer 1631 een leemgehalte van 12% (starcode 2) bepaald en men heeft aan het monster een geocode 692 toegekend. De textuur gegevens uit de Priapusdatabase zijn voor dezelfde bemonsterde horizont anders, namelijk 9,8 % (starcode 1). Verder heeft men aan deze horizont ook een andere geocode (411) toegekend. De informatie van overige horizonten is identiek aan de informatie die in de BIS vermeld staat, behalve de geocode van monsternummers 1632 en 1633. Deze dienen in de Priapusdatabase vervangen te worden door geocode 692, want het betreft immers door de mens opgebracht cultuurdek. Voorstel de starcode van het monsternummer 1631 dient te worden veranderd in 2 (B2). Verder dienen de geocodes van de monsternummers 1631, 1632 en 1633 te worden veranderd in 692.

Monstidnr. 1643, 1644, 1645 en 1646. Volgens de Priapusdatabase is er aan alle monsters een Starcode (respectievelijk 17, 31, geen en geen) en een geocode (respectievelijk 321, 321, 120 en 130) toegekend. De

monsters zijn allen op dezelfde locatie genomen. Op basis van de Stibokarapporten 806 (ruilverkaveling Lopikerwaard, schaal 1 : 10.000 uit 1969 van Bles en Zegers.) en 918 (proefveldkartering van Markus en Eilander uit 1970, schaal 1 : 2.500) is nagegaan in welke context dit materiaal is gelegen en wat voor soort materiaal het is. De monsters zijn genomen op een diepte tussen respectievelijk 2 en 12 cm, 12 en 22 cm, 40 en 50 cm en 65 en 75 cm. Op basis van informatie uit de detailkartering 806 ligt de monsterlocatie in een kaartvlak met een bodemcode Rv71C. Dit is een kalkloze drechtvaaggrond met een zeer zware kleibovengrond en profielverloop 1 (mesotroof broekveen in de ondergrond beginnend op een diepte tussen 40 en 80 cm-mv.). Verder kan op basis van nadere informatie uit deze kartering worden vermeld dat de zeer zware klei tussenlaag (op een diepte van ca. 15 a 25 cm) zeer slecht doorlatend is. Op basis van de informatie uit de detailkarteringsrapport 918 kan worden vermeld dat het punt ligt in een vlak met een bodemcode vKv/k234. Dit betekent dat de monsterlocatie ligt in een vlak met een bodemcode kVc (waardveengrond met mesotroof broekveen) en dat tussen 80 cm en 350 cm in totaal 200cm niet gerijpte klei in de ondergrond voorkomt. Van deze monsterlocatie zijn ook BIS gegevens bekend (archiefnummer 38E-65). Een aantal horizonten zijn op basis van o.a. textuur en organische stofgehalte geanalyseerd. In de BIS zit ook bodemkundige informatie over de bovengenoemde monsters, die exact overeenkomen met de informatie uit de Priapusdatabase. Op basis van de informatie uit de detailkarteringen en de informatie uit de BIS wordt voorgesteld om aan de monsternummers 1645 en 1646 een starcode 35 (O17) toe te kennen. Voorts dient te worden opgemerkt, dat de gemeten verzadigde verticale doorlatendheid van het monsternummer 1644 (ca. 52 cm/dag) op basis van informatie uit het rapport 806 (zeer slecht doorlatend) veel te hoog is. Verder niets veranderen.

Monstidnr.1650. Volgens de Priapusdatabase is er aan het monster geen Starcode en een geocode 130 toegekend. Op basis van de Stibokarapporten 806 (ruilverkaveling Lopikerwaard, schaal 1 : 10.000 uit 1969 van Bles en Zegers.) en 918 (proefveldkartering van Markus en Eilander uit 1970, schaal 1 : 2.500) is nagegaan in welke context dit materiaal is gelegen en wat voor soort materiaal het is. Het monster is genomen op een diepte tussen 55 en 65 cm-mv. en ligt op basis van de detailkartering in een kaartvlak met een bodemcode kVc. Dit is een veengrond (mesotroof broekveen) met een kleidek. Volgens het classificatiesysteem van de bodem worden dit ook wel waardveengronden genoemd. Het type veen waarin het monster is genomen is volgens de detailkartering 918 broekveen. Van deze monsterlocatie zijn ook BIS gegevens bekend (archiefnummer 38B-82). Een aantal horizonten zijn op basis van o.a. textuur en organische stofgehalte geanalyseerd. In de BIS zit ook bodemkundige informatie over de bovengenoemde monsters. De informatie uit de BIS komt exact overeen met de informatie uit de Priapusdatabase. Voorstel op basis van de aanvullende informatie uit de detailkartering en de BIS-gegevens dient aan het monster een starcode 35 (O17) te worden toegekend. Verder niets veranderen.

Monstidnr. 1651, 1653, 1654, 1655 en 1656. Volgens de Priapusdatabase is er aan alle monsters een Starcode (respectievelijk 8, 8, 27, 26 en 26) en een geocode 211 toegekend. De monsters zijn allen op dezelfde locatie genomen. Op basis van het Stibokarapport 434 (ruilverkaveling Noord Beveland, schaal 1 : 10.000 uit 1956 van Steur en Ovaa) is nagegaan in welke context dit materiaal is gelegen en wat voor soort materiaal het is. De monsters zijn genomen op een diepte tussen respectievelijk 10 en 16 cm, 32 en 38 cm, 46 en 52 cm, 70 en 76 cm en 85 en 95 cm. Op basis van informatie uit de detailkartering ligt de monsterlocatie in een kaartvlak met een matig lichte zavel bovengrond (15 - 25 % afslibbaar). Verder betreft het een slibhoudend profiel tot 120 cm-mv. Van deze monsterlocatie zijn ook BIS-gegevens bekend (archiefnummer 48E-42). Een aantal horizonten zijn op basis van o.a. textuur en organische stofgehalte geanalyseerd. Op basis van informatie uit de BIS heeft men aan de monsterlocatie een puntcode M5p225a (kalkrijke poldervaaggrond met een matig lichte zavel bovengrond en profielverloop 5) toegekend. In de BIS zit ook bodemkundige informatie over de bovengenoemde monsters, die exact overeenkomen met de informatie uit de Priapusdatabase. Op basis van de informatie uit de detailkarteringen en de informatie uit de BIS wordt voorgesteld om aan de monsterlocatie een boorpuntcode m5p225c toe te kennen. Verder niets veranderen.

Monstidnr. 1663, 1664, 1665 en 1666. Volgens de Priapusdatabase is er aan alle monsters een Starcode (respectievelijk 31, 31, 46 en 42) en een geocode 211 toegekend. De monsters zijn allen op dezelfde locatie genomen. Op basis van het Stibokarapport 434 (ruilverkaveling Noord-Beveland, schaal 1 : 10.000 uit 1956 van Steur en Ova) is nagegaan in welke context dit materiaal is gelegen en wat voor soort materiaal het is. De monsters zijn genomen op een diepte tussen respectievelijk 6 en 12 cm, 20 en 26 cm, 48 en 54 cm en 76 en 76 cm. Op basis van informatie uit de detailkartering ligt de monsterlocatie in een kaartvlak met een lichte klei bovengrond. Van deze monsterlocatie zijn ook BIS-gegevens bekend (archiefnummer 48E-41). Een aantal horizonten zijn op basis van o.a. textuur en organische stofgehalte geanalyseerd. Op basis van informatie uit de BIS heeft men aan de monsterlocatie een puntcode M5p235a (kalkrijke poldervaaggrond met een zware zavel bovengrond en profielverloop 5) toegekend. In de BIS zit ook aanvullende bodemkundige informatie over de bovengenoemde monsters, die exact overeenkomen met de informatie uit de Priapusdatabase. Op basis van de informatie uit de detailkarteringen en de informatie uit de BIS wordt voorgesteld om aan de monsterlocatie een boorpuntcode m5p315a toe te kennen. Verder niets veranderen. Er dient te worden opgemerkt, dat de puntcode die in de BIS staat vermeld onjuist is. Deze code dient M5p315a te zijn en niet M5p235c.

Monstidnr. 1657, 1658, 1659, 1660, 1661 en 1662. Volgens de Priapusdatabase is er aan alle monsters een Starcode (respectievelijk 7, 7, 26, 26, 26 en 27) toegekend. Op basis van het Stibokarapport 715 van Kamping en Rutten (bodempkartering schaal 1 : 15.000) is nagegaan in welke context deze monsters zijn gelegen en wat voor soort materiaal het is. De monsters liggen op basis van het bovengenoemde rapport in een vlak Mn05aC. Dat wil zeggen, dat de bovengrond van dit vlak bestaat uit lichte zavel (B7). De monsters zijn op dezelfde locatie genomen echter op verschillende dieptes. Het materiaal van de bovengrond is op basis van de informatie uit de detailkartering zeer slompgevoelig. De Monsternummers 1661 en 1662 zijn sterk gelaagd met wadzanden. De toekenningen van de Starcode en de geocodes (allen 211) aan de 6 monsters is juist. Voorstel niets veranderen alleen de puntcode in Mn05aC.

Monstidnr. 1667, 1668, 1669, 1670 en 1671. Volgens de Priapusdatabase is er aan alle monsters een Starcode (respectievelijk 11, 11, 31, 30 en 31) toegekend. Op basis van het Stibokarapport 892 uit 1970 (detailkartering proefboerderij schaal 1 : 2500 door Klungel) is nagegaan in welke context deze monsters zijn gelegen en wat voor soort materiaal het is. De monsters liggen op basis van het bovengenoemde rapport in een vlak Mn74Av met een puntcode M5p324av. Dat wil zeggen, dat de bovengrond ter plekke van de monsterlocatie bestaat uit kalkrijke zeer zware klei (B12). De ondergrond bestaat echter uit kalkloze zware klei, die binnen 120 cm-m.v. overgaat in veen. De monsters zijn op dezelfde locatie genomen echter op verschillende dieptes. De monsterlocatie heeft volgens de beschrijving de volgende opbouw. De bouwvoor heeft een dikte van ca. 30 cm en is goed gehomogeniseerd. Dit geldt ook voor het materiaal tot een diepte van ca. 55 cm-mv, waaruit ook het monsternummer 1669 is genomen. Deze gaat op een diepte van ca. 55 cm over in zwak gelaagde zeer zware Dollardklei, die niet is gehomogeniseerd en waaruit ook de monsternummers 1670 en 1671 zijn genomen. Deze gaat op een diepte van 95 cm over in sterk roestige enigszins plastische zeer zware Dollardklei. Dit materiaal werkt storend op de verticale waterbeweging. Op een diepte van ca. 105 gaat dit materiaal over in zeggeveen. De toegekende star- en geocodes (211) aan de monsternummers op basis van de informatie uit de database zijn juist. Voorstel alleen de vlak- en puntcode veranderen in respectievelijk Mn74av en m5p324av. Verder niets veranderen.

Monstidnr. 1672, 1673, en 1674. Volgens de Priapusdatabase is er aan alle monsters een Starcode (respectievelijk 12, 12 en 31) toegekend. Op basis van het Stibokarapport 654 uit 1965 (detailkartering Berlikum, schaal 1 : 25.000) is nagegaan in welke context deze monsters zijn gelegen en wat voor soort materiaal het is. De monsters liggen op basis van het bovengenoemde rapport in een vlak Mn15A-Gt V/VI. Dat wil zeggen, dat de bovengrond van dit vlak bestaat uit matig lichte zavel (B8). De monsters zijn op dezelfde locatie genomen echter op verschillende dieptes. De monsterlocatie ligt volgens informatie uit de

detailkartering in of net tegen een oude geul aan, waardoor het materiaal zeer zwaar kan zijn. Op basis van de analyse gegevens uit de Priapusdatabase (allen zeer zware klei) kan echter de vraag worden gesteld of de coördinaten van de monsterlocatie wel juist is. De toegekende star- en geocodes (211) aan de monsternummers 1672 en 1674 op basis van de informatie uit de database zijn juist. Alleen dient de starcode (12) van het monsternummer 1673, die genomen is op een diepte tussen 35 en 45 cm-mv. te worden vervangen door starcode 31. Voorstel alleen de starcode van monsternummer 1673 veranderen in 31 en de puntcode veranderen in Mn15a-GtV/VI. Verder niets veranderen.

Monstidnr. 1675, 1676 en 1677. Volgens de Priapusdatabase is er aan alle monsters een Starcode (respectievelijk 4, 21 en 19) toegekend. De monsters zijn allen op dezelfde locatie genomen. Op basis van het Stibokarapport 441 uit 1959 (bodempkartering schaal 1 : 10.000 Rolde, door de Roo en Harmse ) is nagegaan in welke context dit materiaal is gelegen en wat voor soort materiaal het is. De monsterlocatie ligt in een kaartvlak dat wisselend zeer nat en goed vochthoudend is (AoH4). Verder betreft het een humuspodzolgrond zonder nadere detaillering. Van deze exacte monsterlocatie zijn ook BIS gegevens bekend (archieffnummer 12D-32). Een aantal horizonten zijn op basis van o.a. textuur en organische stofgehalte geanalyseerd. In de BIS zit ook bodemkundige informatie over de bovengenoemde monsters. Op basis van informatie uit de BIS blijkt, dat de monsterlocatie een puntcode heeft van 2r423x8. Dat wil zeggen, dat het materiaal bestaat uit een sterk lemige, zeer fijn zandige humuspodzolgrond met een keileemondergrond die begint op een diepte van 80cm-m.v. Op basis van de analyse gegevens uit de BIS is de toegekende starcode (4) aan het monsternummer 1675 in de Priapusdatabase fout. Aan het monster dient een starcode 3 te worden toegekend. De geocode 412 is echter wel goed. De toegekende starcodes (21 en 19) en de geocodes (412) aan de monsternummers 1676 en 1677 zijn op basis van de BIS gegevens juist. Het materiaal van beide monsters bestaat uit leemarm zeer fijn zand (starcode 19) en de geocode dient van beide monsters 412 te zijn. De analyse gegevens uit de BIS voor het monsternummer 1675 zijn: 7% organische stof, 28% leem en een M50 van 145. Voorstel de Starcode van het monsternummer 1675 veranderen in 3. Verder dient de puntcode te worden vervangen in 22423x8.

Monstidnr. 1678, 1679, 1680, 1681 en 1682. Volgens de Priapusdatabase is er aan alle monsters een Starcode (respectievelijk 4, 4, 20, 19 en 19) toegekend. De monsters zijn allen op dezelfde locatie genomen. Er zijn van deze monsterlocatie geen detailkarteringsgegevens aanwezig. Van deze monsterlocatie zijn echter wel BIS gegevens bekend (archieffnummer 13D-20). Een aantal horizonten zijn op basis van o.a. textuur en organische stofgehalte geanalyseerd. In de BIS zit ook bodemkundige informatie over de bovengenoemde monsters. Op basis van informatie uit de BIS heeft men aan de monsterlocatie een puntcode 2r422 toegekend. Dat wil zeggen, dat het materiaal bestaat uit een zwak lemige, zeer fijn zandige humuspodzolgrond. Op basis van de analyse gegevens uit de BIS en op basis van de analysegegevens uit de Priapusdatabase is de toegekende starcode (4) aan de monsternummers 1678 en 1679 in de Priapusdatabase fout. Aan deze monsters dient een starcode 3 te worden toegekend. De geocode 412 is echter wel goed. De toegekende starcodes (20, 19 en 19) en de geocodes (412) aan de monsternummers 1680, 1681 en 1682 zijn op basis van de BIS gegevens echter wel juist. Voorstel de starcode van de monsternummers 1678 en 1679 dient te worden veranderd in 3. Verder dient de puntcode te worden veranderd in 2r423.

Monstidnr. 1684, 1685 en 1686 en 1687. Volgens de Priapusdatabase is er bijna (op een na) aan alle monsters een Starcode (respectievelijk 18, 18, 35 en geen) en een geocode (respectievelijk 110, 110, 120 en 130) toegekend. De monsters zijn allen op dezelfde locatie genomen. Er zijn van deze monsterlocatie geen detailkarteringsgegevens aanwezig. Van deze monsterlocatie zijn echter wel BIS gegevens bekend (archieffnummer 51D-51). Een aantal horizonten zijn op basis van o.a. textuur en organische stofgehalte geanalyseerd. In de BIS zit ook bodemkundige informatie over de bovengenoemde monsters. Op basis van informatie uit de BIS heeft men aan de monsterlocatie een puntcode 1db (koopveengrond, waarvan het veen bestaat uit broekveen) toegekend. In de BIS zit verder aanvullende bodemkundige informatie over de

bovengenoemde monsters, die exact overeenkomen met de informatie uit de Priapusdatabase. Op basis van de informatie uit de BIS en op basis van de informatie uit de Priapusdatabase wordt voorgesteld om aan het monsternummer 1687 een Starcode 35 (017) toe te kennen en aan de monsterlocatie een puntcode 1db toe te kennen. Verder niets veranderen.

Monstidnr. 1690. Volgens de Priapusdatabase is er aan het monster geen Starcode en een geocode 120 toegekend. De monsters zijn allen op dezelfde locatie genomen. Er zijn van deze monsterlocatie geen detailkarteringsgegevens aanwezig. Van deze monsterlocatie zijn echter wel BIS gegevens bekend (archiefnummer 31D-50). Een aantal horizonten zijn op basis van o.a. textuur en organische stofgehalte geanalyseerd. In de BIS zit ook bodemkundige informatie over de bovengenoemde monsters. Het monster is genomen op een diepte tussen 55 en 65 cm-mv. en ligt op basis van informatie uit de BIS in een kaartvlak met een bodemcode hVc (koopveengrond, waarvan het veen bestaat uit mesotroof broekveen) en een puntcode ter plaatste van monsterlocatie van 1dc. In de BIS zit verder aanvullende bodemkundige informatie over de bovengenoemde monsters, die vrijwel exact overeenkomen met de informatie uit de Priapusdatabase. Op basis van de informatie uit de BIS en op basis van de informatie uit de Priapusdatabase wordt voorgesteld om aan het monsternummer 1690 een Starcode 35 (017) toe te kennen en aan de monsterlocatie een puntcode 1dc toe te kennen. Verder niets veranderen.

Monstidnr. 1692, 1693 en 1695. Volgens de Priapusdatabase is er bijna (op een na) aan alle monsters een Starcode (respectievelijk 18, 18 en geen) en een geocode (respectievelijk 110, 110 en 120) toegekend. De monsters zijn allen op dezelfde locatie genomen. Er zijn van deze monsterlocatie geen detailkarteringsgegevens aanwezig. Van deze monsterlocatie zijn echter wel BIS gegevens bekend (archiefnummer 31D-49). Een aantal horizonten zijn op basis van o.a. textuur en organische stofgehalte geanalyseerd. In de BIS zit ook bodemkundige informatie over de bovengenoemde monsters. Op basis van informatie uit de BIS heeft men aan de monsterlocatie een puntcode o1db (koopveengrond met een toemaakdek en waarvan het veen bestaat uit broekveen) toegekend. In de BIS zit verder aanvullende bodemkundige informatie over de bovengenoemde monsters, die exact overeenkomen met de informatie uit de Priapusdatabase. Op basis van de informatie uit de BIS en op basis van de informatie uit de Priapusdatabase wordt voorgesteld om aan het monsternummer 1695 een Starcode 35 (017) toe te kennen en aan de monsterlocatie een puntcode o1db toe te kennen. Verder niets veranderen.

Monstidnr. 1830. Volgens de Priapusdatabase is er geen Starcode en geocode aan het monster toegekend. Verder zijn er in de Priapusdatabase ook geen nadere analysegegevens bekend over de textuur en het organische stofgehalte. Op een afstand van ca. 250 meter van de monsterlocatie ligt ook een BISpunt in hetzelfde kaartvlak van de bodemkaart schaal 1 : 50.000 (archiefnummer 34H-3). Een aantal horizonten zijn op basis van o.a. textuur en organische stofgehalte geanalyseerd. In de BIS zit ook bodemkundige informatie over het bovengenoemde monster, dat op een diepte tussen 10 en 18 cm-mv. is bemonsterd. Op basis van informatie uit de BIS blijkt, dat de monsterlocatie een puntcode heeft van 2n431. Dit betreft een moerpodzolgrond met een moerige bovengrond die overgaat in een leemarme, matig fijnzandige ondergrond. Het organische stofgehalte van de laag 5 - 24 cm bedraagt 23,8%. Voorts heeft men aan deze laag een geocode van 110 toegekend. Op basis van het Stibokarapport 958 (ruilverkaveling Haaksbergen, schaal 1 : 10.000 uit 1972 van Buitenhuis) is nagegaan in welke context dit materiaal is gelegen en wat voor soort materiaal het is. Het monster is genomen op een diepte tussen 10 en 18 cm-mv. ligt op basis van de detailkartering op een grens van 2 kaartvlakken met de bodemcodes aWp-GtIIIa en Hn52-GtVa. Dit betreft respectievelijk een moerpodzolgrond met een moerige eerdlaag en een leemarme of een zwaklemige, matig fijnzandige humuspodzolgrond.

Aangezien veel detailinformatie over het punt ontbreekt en de gemeten fysische gemeten data (theta-h relatie) veel overeenkomsten heeft met een venige zandbovengrond (dit wordt deels ook onderbouwd doordat het monster een dichtheid heeft van ca. 0,8 gr/cm<sup>3</sup>) is het plausibel om aan dit monster een starcode 15 toe te kennen. Voorstel starcode 15 (B15) en geocode 110.

Monstidnr. 1859. Volgens de Priapusdatabase is er geen Starcode aan het monster toegekend. Op basis van het Stibokarapport 521 (ruilverkaveling Smilde, schaal 1 : 10.000 uit 1961 van Hamminga) is nagegaan in welke context dit materiaal is gelegen en wat voor soort materiaal het is. Het monster is genomen op een diepte tussen 20 en 28 cm-mv. en ligt op basis van de detailkartering in een kaartvlak met een bodemcode D42. Dit betreft een dalgrond met een geschat percentage organische stof in de bovengrond van ca. 14 % en een leemgehalte van 15% en een mediaan van 155. In de ondergrond kan veen voorkomen. Indien dat het geval, dan hebben we te maken met een meerveengrond. Op basis van de analysegegevens uit de Priapusdatabase blijkt, dat het organische stofgehalte 96% en de dichtheid ca. 0,2 gr/cm<sup>3</sup> is. Op basis van de beschrijving uit de detailkartering kan dit niet, omdat de bovengrond bestaat uit een organischestofgehalte van ca. 14 %. Dit zou vervolgens dan moeten resulteren in een hogere dichtheid van ca. 0.9 gr/cm<sup>3</sup>. Verder dient nog te worden vermeld dat aan de hand van de gemeten data van de theta-h relatie lijkt, dat het monster zich gedraagt als zijnde een veenhorizont met een hoog percentage organische stof. De vraag is dan ook of de coördinaten van het monster wel goed zijn. Voorstel overleggen met elkaar wat we er mee gaan doen. Na controle ten aanzien van de nauwkeurigheid van de ligging van de monsterlocatie is gebleken, dat van de coördinaten zijn afgrond op kilometers. Dit houdt in dat de exacte locatie van het monster niet bekend is. Aangezien de metingen van het monster goed zijn, is door Jan Wesseling, Simone Verzendvoort en Henk Vroon besloten om dit monster toch op te nemen in de Priapusdatabase.

Monstidnr. 1936. Het monster is genomen op een diepte tussen 10 en 18 cm-mv. en heeft een puntvlakcode tZg33/t/F. Dit betreft een verwerkte zeer fijnzandige, zwak lemige beekerdgrond met tertiaire klei in de ondergrond, die begint binnen 120 cm-mv. Voorts heeft men aan deze laag een geocode 692 toegekend. Op basis van de analysegegevens van dit monster uit de Priapusdatabase blijkt, dat het organische stofgehalte 6,5 % is en dat de dichtheid varieert van 1,39 tot 1,47 gr/cm<sup>3</sup>. Informatie over de textuur is alleen beschrijvend uit de puntvlakcode af te leiden. Op basis van deze beschrijving kan aan dit monster een starcode B02 worden toegekend. Verder opdelen binnen de textuurklasse is niet mogelijk, omdat de schattinggegevens ten aanzien van het leemgehalte en de textuurklasse (M50) niet zijn gegeven. Indien men dit monster wil gebruiken binnen het nieuwe classificatiesysteem, dan is het voorstel om ten minste een schatting te doen van het leemgehalte en de M50. Dit kan aan de hand van de volgende manieren: 1) Men kan op de locatie van het monster door een veldbodemkundige het leemgehalte en de M50 van deze laag laten schatten. 2) Men kan het midden van de leemklasse en de klasse van de M50 in de database opnemen. 3) Men kan in het laboratorium het leemgehalte en de M50 van deze laag laten bepalen.

Monstidnr. 1937. Het monster is genomen op een diepte tussen 90 en 100 cm-mv. en heeft een puntvlakcode cHn51. Voorts heeft men aan deze laag een geocode 411 toegekend. Op basis van de analysegegevens van dit monster uit de Priapusdatabase blijkt, dat het organische stofgehalte 1,3 % is. Verdere informatie over deze laag ontbreekt. Uit navraag (bij Gert Stoffelsen) blijkt, dat men voor deze laag de beschrijvende leem- en M50 informatie van de bovengrond heeft genomen. Dit is onjuist, want voor een goede beschrijving van het materiaal dient de laag zelf te worden beschreven. Op basis van deze informatie kan aan dit monster dan ook vooralsnog geen Starcode worden toegekend. Het voorstel is dan ook om het leemgehalte en de M50 van deze laag te laten schatten door een bodemkundige of deze laag te laten analyseren in het laboratorium.

Monstidnrs. 1938 en 1939. De monsters zijn genomen op een diepte tussen 5 en 13 cm-mv. uit een dijklichaam, waarvan de benamingen en profielbenoeming bedenkelijk is. Voorts heeft men aan deze laag een geocode 200 toegekend. Op basis van de analysegegevens van deze monsters uit de Priapusdatabase blijkt, dat de dichtheid ca. 1,3 gr/cm<sup>3</sup> is. Verdere informatie over deze laag ontbreekt, waardoor het niet mogelijk is om aan deze laag een Starcode toe te kennen en deze bouwstenen op te nemen in het classificatiesysteem. Vanwege het ontbreken van essentiële informatie is het voorstel dan ook om deze monsternummers voorlopig te laten vervallen. Het voorstel is verder om deze laag (indien relevant, want het betreft een dijklichaam) door



een bodemkundige te laten beschrijven en het organische stofgehalte en het lutumpercentage te laten schatten of deze gegevens te laten analyseren in het laboratorium.

Monstidnr. 1940. Het monster is genomen op een diepte tussen 0 en 10 cm-mv. en heeft een geen puntvlakcode. Het betreft een zeggeveen (10 cm), op kleiig veen (40 cm). Voorts heeft men aan deze laag een geocode 130 toegekend. Verdere informatie over deze laag ontbreekt. Vanwege het ontbreken van essentiële informatie is het voorstel dan ook om dit monsternummer voorlopig te laten vervallen. Het voorstel is verder om deze laag door een bodemkundige te laten beschrijven en het organische stofgehalte en indien relevant het lutumpercentage te laten schatten of deze gegevens te laten analyseren in het laboratorium.

Monstidnrs. 1941 en 1942. De monsters zijn genomen op een diepte tussen 6 en 14 cm-mv. en hebben een puntvlakcode Mn35A. Dit betreft een poldervaaggrond met een bovengrond van kalkrijke zware zavel en profielverloop 5. Profielverloop 5 geeft aan dat de ondergrond tot ten minste 80 cm-mv. bestaat uit homogeen materiaal (in het algemeen variërend van zeer lichte zavel tot lichte klei). Voorts heeft men aan deze laag een geocode 210 toegekend. Op basis van de analysegegevens van deze monsters uit de Priapusdatabase blijkt, dat het organische stofgehalte 4,3 % is. Verdere informatie over deze laag ontbreekt. Informatie over het lutumgehalte is alleen beschrijvend uit de puntvlakcode af te leiden. Op basis van deze beschrijving kan aan deze monsters een starcode B09 worden toegekend. Verder opdelen binnen de lutumklasse is niet mogelijk, omdat het percentage lutum niet is gegeven. Indien men dit monster wil gebruiken binnen het nieuwe classificatiesysteem, dan is het voorstel om ten minste een schatting te doen van het lutumgehalte. Dit kan aan de hand van de volgende manieren: 1) Men kan op de locatie van het monster door een veldbodemkundige het lutumgehalte van deze laag laten schatten. 2) Men kan het midden van de lutumklasse in de database opnemen. 3) Men kan in het laboratorium het lutumgehalte van deze laag laten bepalen.

Monstidnrs. 1943, 1944, 1945, 1946 en 1947 zijn voorzien van alle relevante beschrijvende gegevens. Deze informatie is opgenomen in de Priapusdatabase.

Monstidnr. 1948. Het monster is genomen op een diepte tussen 15 en 23 cm-mv. en heeft geen puntvlakcode. Voorts heeft men aan deze laag een geocode 410 toegekend. Op basis van de analysegegevens van dit monster uit de Priapusdatabase blijkt, dat het organische stofgehalte 4,3 % en de M50 370 is. Verdere informatie over deze laag ontbreekt vooralsnog, waardoor het niet mogelijk is om aan dit monster een Starcode toe te kennen. Vanwege het ontbreken van essentiële informatie is het voorstel dan ook om dit monsternummer voorlopig te laten vervallen. Het voorstel is verder om deze laag door een bodemkundige te laten beschrijven en het leemgehalte te laten schatten of deze te laten analyseren in het laboratorium.

Monstidnrs. 1949, 1950 en 1951. De monsters zijn genomen op een diepte tussen 10 en 18 cm-mv. en hebben een puntvlakcode Mn74A. Dit betreft een poldervaaggrond met een ontkalkte bovengrond van matig zware klei en profielverloop 4. Profielverloop 4 geeft in het algemeen aan dat de ondergrond tot ten minste 80 cm-mv. bestaat uit matig zware of zware klei. Voorts heeft men aan deze laag een geocode 211 toegekend. Op basis van de analysegegevens van deze monsters uit de Priapusdatabase blijkt, dat het organische stofgehalte 7,4 % is en dat de dichtheid varieert van 1,17 tot 1,34 gr/cm<sup>3</sup>. Verdere informatie over deze laag ontbreekt. Informatie over het lutumgehalte is alleen beschrijvend uit de puntvlakcode af te leiden. Op basis van deze beschrijving kan aan deze monsters een starcode B11 worden toegekend. Verder opdelen binnen de lutumklasse is niet mogelijk, omdat het percentage lutum niet is gegeven. Indien men dit monster wil gebruiken binnen het nieuwe classificatiesysteem, dan is het voorstel om ten minste een schatting te doen van het lutumgehalte. Dit kan aan de hand van de volgende manieren: 1) Men kan op de locatie van het monster door een veldbodemkundige het lutumgehalte van deze laag laten schatten. 2) Men kan het midden van de lutumklasse in de database opnemen. 3) Men kan in het laboratorium het lutumgehalte van deze laag laten bepalen.

Monstidnr. 1952. Het monster is genomen op een diepte tussen 10 en 15 cm-mv. en heeft een puntvlakcode tZg33/t/F. Dit betreft een verwerkte zeer fijnzandige, zwak lemige beekerdgrond met tertiaire klei in de ondergrond, die begint binnen 120 cm-mv. Voorts heeft men aan deze laag een geocode 692 toegekend. Op basis van de analysegegevens van dit monster uit de Priapusdatabase blijkt, dat het organische stofgehalte 6,5 %, M 50 > 150 en de dichtheid ca. 1,4 gr/cm<sup>3</sup> is. Informatie over de textuur en het leemgehalte is alleen beschrijvend uit de puntcode af te leiden. Op basis van deze beschrijving kan aan dit monster een starcode B02 worden toegekend. Verder opdelen binnen de leem- en de M 50 klasse is niet mogelijk, omdat de schattinggegevens ten aanzien van het leemgehalte en de textuurklasse (M50) niet zijn gegeven. Indien men dit monster wil gebruiken binnen het nieuwe classificatiesysteem, dan is het voorstel om ten minste een schatting te doen van het leemgehalte en de M50. Dit kan aan de hand van de volgende manieren: 1) Men kan op de locatie van het monster door een veldbodemkundige het leemgehalte en de M50 van deze laag laten schatten. 2) Men kan het midden van de leemklasse en de klasse van de M50 in de database opnemen. 3) Men kan in het laboratorium het leemgehalte en de M50 van deze laag laten bepalen.

Monstidnr. 1953. Het monster is genomen op een diepte tussen 10 en 15 cm-mv. en heeft een puntvlakcode Hn31, Hn32, Hn51 of Hn53. Dit betreft een zeer fijnzandige of matig fijnzandige leemarme of zwak lemige veldpodzolgrond. Voorts heeft men aan deze laag een geocode 692 toegekend. Op basis van de gegevens van dit monster uit de Priapusdatabase blijkt, dat het organische stofgehalte 5,8 % en de dichtheid 1,4 gr/cm<sup>3</sup> is en de M50 ligt tussen 130 - 180. Verdere informatie over deze laag ontbreekt, waardoor het niet mogelijk is om aan dit monster een Starcode toe te kennen. Vanwege het ontbreken van essentiële informatie is het voorstel dan ook om dit monsternummer voorlopig te laten vervallen. Het voorstel is verder om deze laag door een bodemkundige te laten beschrijven en het leemgehalte en de M 50 te laten schatten of deze te laten analyseren in het laboratorium.

Monstidnr. 1954. Het monster is genomen op een diepte tussen 140 en 150 cm-mv. en heeft een puntcode R5p334C. Dit betreft een kalkloze poldervaaggrond met een zeer zware kleibovengrond en profielverloop 4. Profielverloop 4 geeft in het algemeen aan dat de ondergrond tot ten minste 80 cm-mv. bestaat uit matig zware of zware klei. Voorts heeft men aan deze laag een geocode 320 toegekend. Op basis van de analysegegevens van dit monster uit de Priapusdatabase blijkt, dat het organische stofgehalte 2,5 % en dat de dichtheid 0,848 gr/cm<sup>3</sup> is. Verder heeft het monster een lutumpercentage van 46,7%. Het monster ligt op een locatie met Gt III\*. Dit betekent dat de GLG ligt tussen 80 en 120 cm - mv. Het monster is genomen uit een laag ver onder het GLG-niveau. Aangezien de dichtheid van dit monster voor een gerijpte kleigrond te laag is en dat het monster is genomen ver onder het GLG-niveau denk ik dat we te maken hebben met een ongerijpt of een nagenoeg ongerijpt kleimonster! Dit wordt ook gestaafd aan de hand van het hoge poriënvolume van 0,69. Op basis van deze beschrijving kan aan dit monster een starcode O13 worden toegekend. Indien men dit monster wil gaan gebruiken binnen het nieuwe classificatiesysteem, dan is het raadzaam om de mate van rijping van deze laag te controleren in het veld, anders kunnen er later fouten ontstaan bij het toekennen van deze laag aan een bepaalde bodemhorizont! Deze controle dient door een bodemkundige te worden uitgevoerd.

Monstidnr. 1955. Het monster is genomen op een diepte tussen 10 en 20 cm-mv. en heeft een puntcode oh1Vb. Dit betreft een Koopveengrond met toemaakdek, met overwegend bosveen in de ondergrond. Voorts heeft men aan deze laag een geocode 692 toegekend. Op basis van de analysegegevens van deze monsters uit de Priapusdatabase blijkt, dat het organische stofgehalte 19,2 % en dat de dichtheid 0,86 gr/cm<sup>3</sup> is. Men heeft aan deze laag een starcode B15 toegekend. Verdere informatie over deze laag ontbreekt. Aangezien de bovengrond bestaat uit een toemaakdek dat meestal bestaat uit een moerige bovengrond (slechts 19,2 % organische stof) met een bepaald percentage lutum of zand en dat juist het ontbreken van deze essentiële informatie het voorstel dan ook is om dit monsternummer voorlopig te laten vervallen. Het voorstel is verder om het lutumgehalte door een bodemkundige te laten schatten of deze te laten analyseren in het laboratorium.

Monstidnr. 1956. Het monster is genomen op een diepte tussen 10 en 20 cm-mv. en heeft een puntvlakcode kVb. Dit betreft een waardveengrond met een kleidek als bovengrond en overwegend bosveen in de ondergrond. Voorts heeft men aan deze laag een geocode 320 toegekend. Op basis van de analysegegevens van dit monster uit de Priapusdatabase blijkt, dat het organische stofgehalte 26 % en dat de dichtheid 0,752 gr/cm<sup>3</sup> is. Men heeft aan deze laag een Starcode B17 met een vraagteken toegekend. Verdere informatie over deze laag ontbreekt. Aangezien de bovengrond bestaat uit een kleidek en een geocode 320 (rivierafzetting) en dat het organische stofgehalte 26 % is hebben we te maken met een discrepantie tussen enerzijds een kleidek en anderzijds een dek van venige klei. Een ander probleem is echter ook dat het lutumpercentage ontbreekt, waardoor het monster bij een lutumpercentage van ca. < 15 % ook nog kleilig veen (B18) mag heten. Zandig veen is uitgesloten, omdat de locatie is gelegen in de Lopikerwaard waar de bovengrond is beïnvloed door kleilige rivierafzettingen. Het voorstel is om de geocode te veranderen in 110 in verband met de analysegegevens van het organische stofgehalte. Daarnaast dient ook het lutumgehalte door een bodemkundige te worden geschat of in het laboratorium te worden bepaald, waardoor uiteindelijk ook bepaald kan worden of we te maken hebben met een venige klei (B17) of kleilig veen (B18) monster.

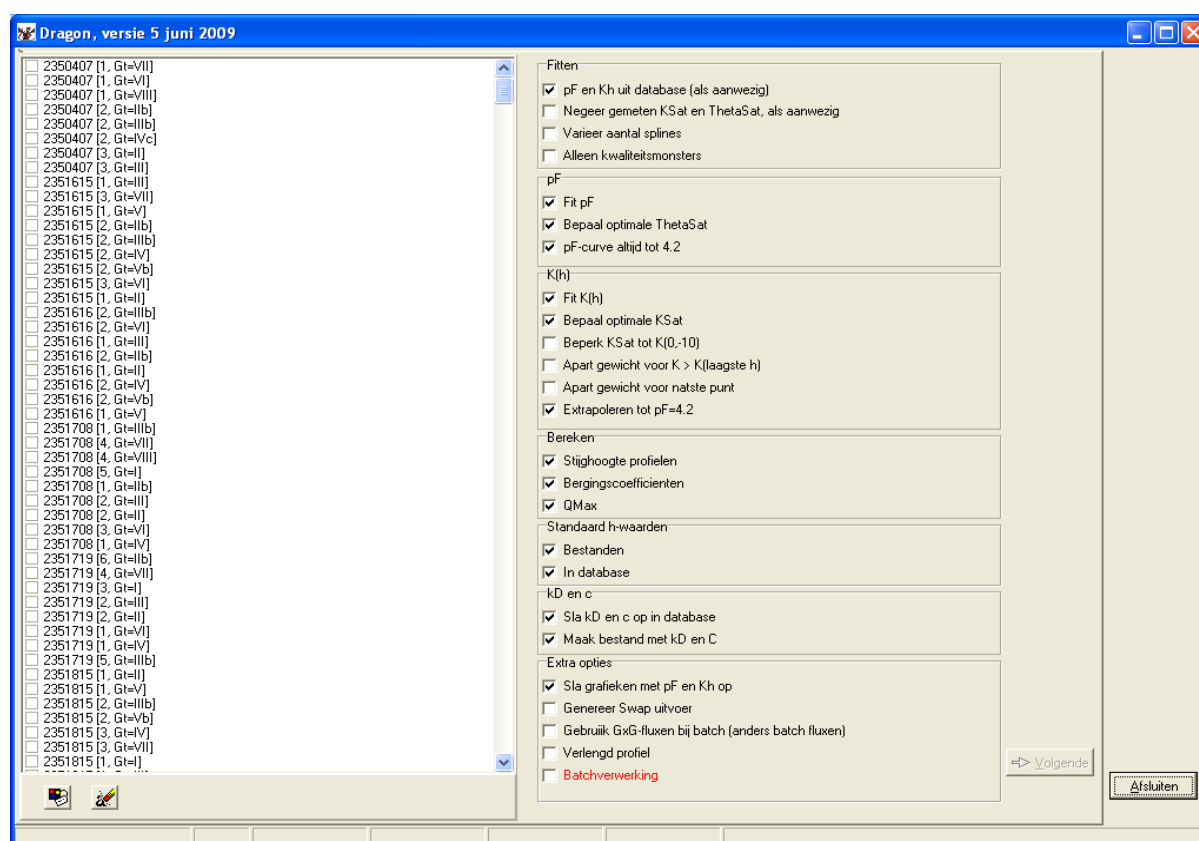
Monstidnr. 1957. Het monster is genomen op een diepte tussen 56 en 66 cm-mv. en heeft een puntvlakcode kVb. Dit betreft een waardveengrond met een kleidek als bovengrond en overwegend bosveen in de ondergrond. Voorts heeft men aan deze laag een geocode 130 toegekend. Op basis van de analysegegevens van dit monster uit de Priapusdatabase blijkt, dat het organische stofgehalte 63,5 % en dat de dichtheid 0,230 gr/cm<sup>3</sup> is. Men heeft aan deze laag een Starcode O17 toegekend. De conclusie is dat dit monster is voorzien van alle relevante meta-data. Deze informatie is opgenomen in de Priapusdatabase.



# Appendix III Software voor het bepalen van een aantal bodemhydraulische karakteristieken: Dragon

Het programma Dragon is in het kader van het projekt Verdiepende Bodemkaart (Van der Gaast et al., 2009) ontwikkeld voor het verwerken van bodemfysische karakteristieken en het bepalen van afgeleide gegevens voor zowel homogene als heterogene gronden. Er wordt hier volstaan met een globale beschrijving. Voor een meer gedetailleerde beschrijving van de achterliggende theorie en een handleiding van het programma kan worden verwezen naar Wesseling en Vroon (2012).

Het programma is database georiënteerd. Dat wil zeggen dat standaard de invoer wordt gelezen uit een Microsoft Access database. De voornaamste uitvoer wordt ook weer opgeslagen in diezelfde database. De gebruiker kan een aantal opties meegeven aan het programma waardoor er ook uitvoerbestanden op schijf worden aangemaakt. Dit kan worden aangegeven door de desbetreffende opties aan te vinken in het startscherm van het programma (zie Figuur 62).



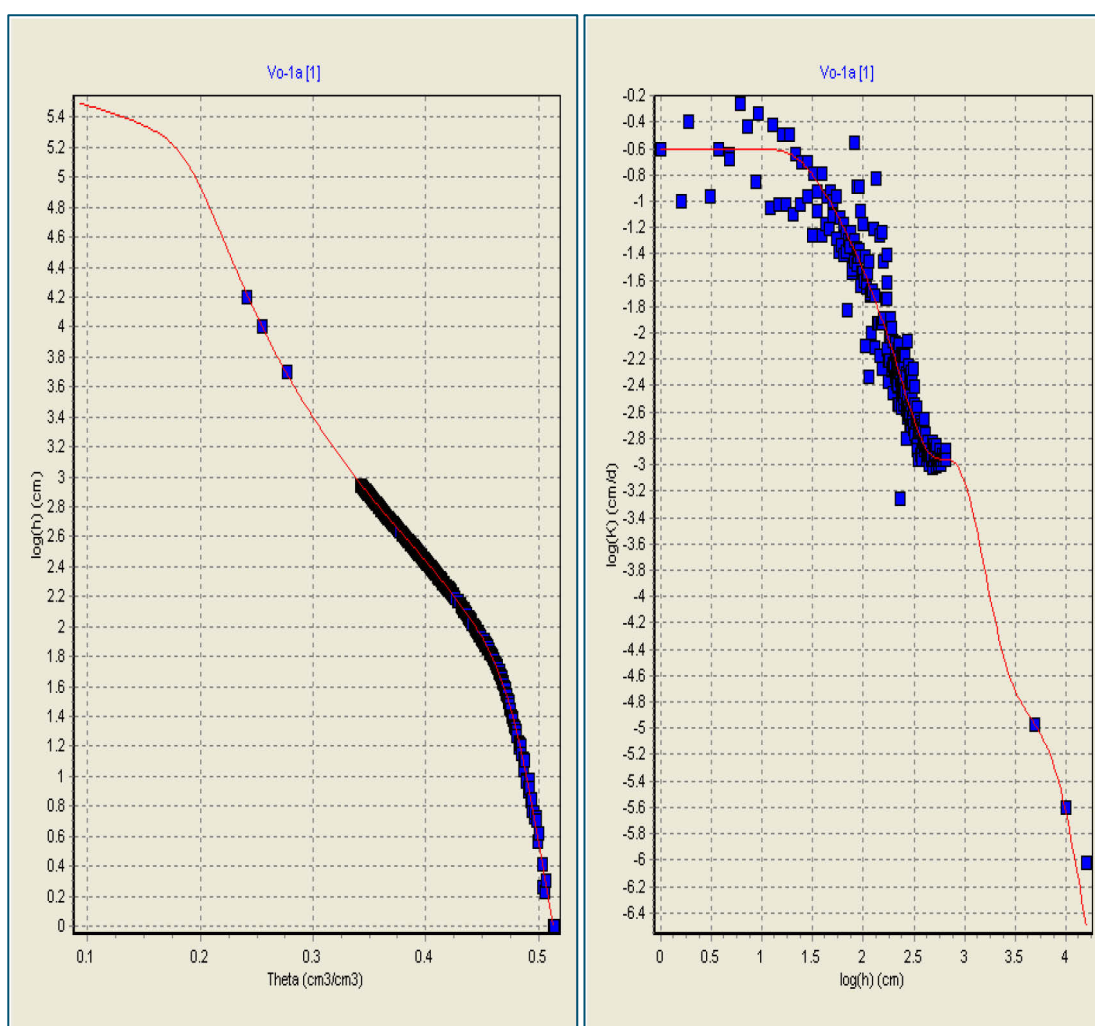
**Figuur 62**

*Het startscherm van het programma Dragon. Links de mogelijke bodemprofielen voor de berekeningen, rechts de opties.*

Hieronder worden een aantal mogelijkheden van Dragon besproken, samen met voorbeelden van resultaten. Voor meer details kan worden verwezen naar Wesseling en Vroon (2012).

### Fitten van splines door gemeten $h(\theta)$ en $K(h)$ gegevens

Zoals in hoofdstuk 5 van dit rapport is besproken kunnen de cubical splines goed worden gebruikt voor het beschrijven van relaties tussen drukhoogte en vochtgehalte of tussen doorlatendheid en drukhoogte. Het bepalen van de beste ligging van de splines wordt bepaald met een optimalisatieprocedure. Dit deel van Dragon is gebaseerd op het eerder ontwikkelde programma Splop (Wesseling et al., 2008; Wesseling, 2009). De gemeten waarden worden ingelezen uit de database en de Virtual Nodes van de splinefuncties worden er weer in opgeslagen. Er is een aantal extra mogelijkheden in het programma gebouwd zoals een gedwongen continu dalende functie, extrapolatie tot  $h=16000$  cm, bepalen van de mediaan van geschatte waarden van verzadigd vochtgehalte en verzadigde doorlatendheid, enzovoort. Figuur 63 geeft een voorbeeld van de gefitte curves door de gemeten waarden.

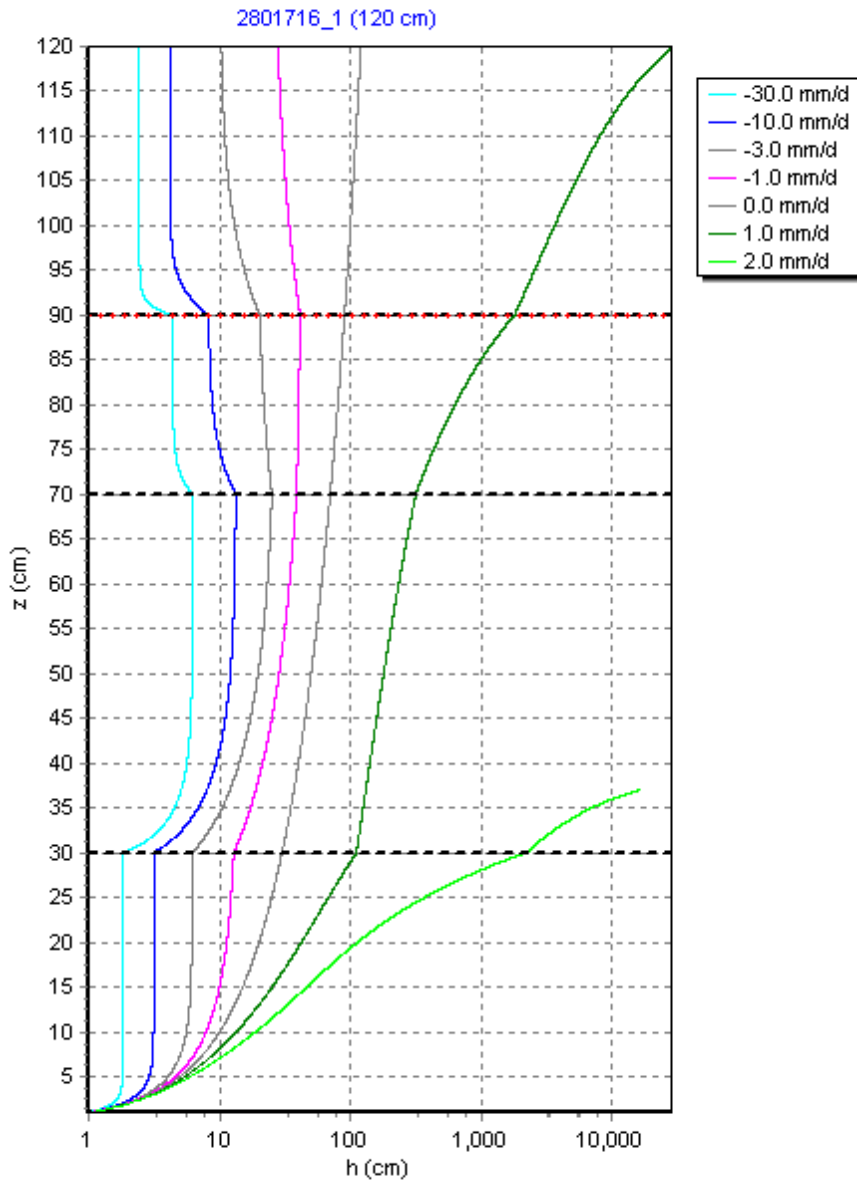


**Figuur 63**

Een voorbeeld van de gefitte splines door de gemeten waarden van een  $h(\theta)$  en een  $K(h)$  curve.

## Drukhoogteprofielen

Als er een eenduidige relatie bekend is tussen vochtgehalte en drukhoogte en tussen drukhoogte en doorlatendheid kan door het integreren van de vergelijking van Darcy op eenvoudige wijze het verloop van de drukhoogte met de diepte worden bepaald bij een bepaalde stationaire fluxdichtheid en opbouw van de bodem (Wesseling, 1991). Alle benodigde gegevens voor deze berekeningen worden door het programma uit de database gehaald. De resultaten worden zowel tabellarisch als grafisch weergegeven. Een voorbeeld hiervan is gegeven in Figuur 64



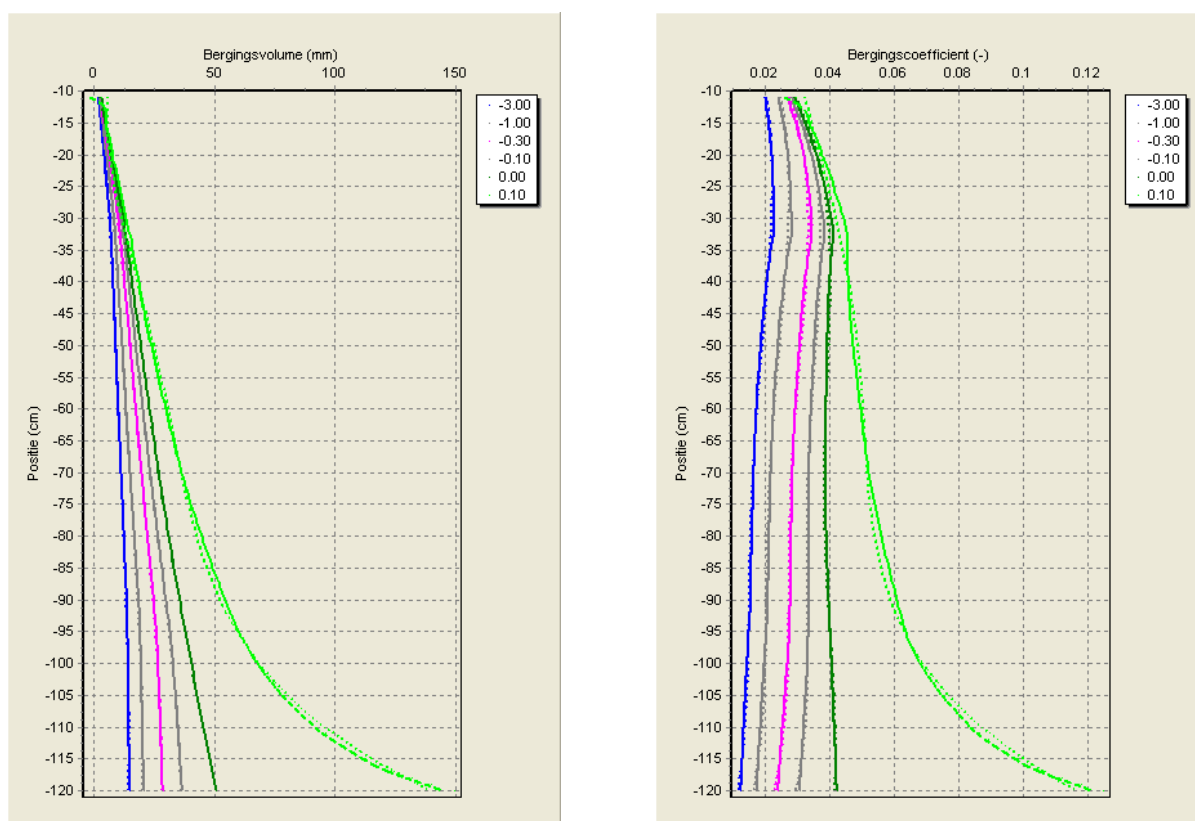
**Figuur 64**

*Drukhootelijnen bij een stationaire stroming voor een vierlagenprofiel en zeven fluxdichtheden bij een grondwaterstand van 120 cm.*

In deze Figuur is een grondwaterstand van 120 cm beneden maaiveld aangenomen. Het (onverzadigde) profiel bestaat uit vier lagen met verschillende karakteristieken en er is gerekend voor zeven fluxdichtheden: drie infiltratieflexen en vier waarden voor capillaire opstijging. Het is duidelijk dat de capillaire opstijging van 1 mm/dag onder stationaire omstandigheden bij deze grondwaterstand nog net mogelijk is, hoewel al wel de kritieke drukhoogte van -16000 cm wordt bereikt. De lijn van de 2 mm/dag capillaire opstijging haalt het maaiveld niet. Op deze wijze kan een schatting worden gemaakt van het vochtleverend vermogen van de grond.

## Bergingsvolume en bergingscoëfficiënt

Door de drukhoogteprofielen uit de vorige paragraaf te combineren met de  $h(\theta)$ -relatie van elke laag kan de aanwezige hoeveelheid water in het profiel worden berekend. Aangezien ook de maximale hoeveelheid te bergen water bekend is (= diepte \* watergehalte bij verzadiging), kan het bergend vermogen van de grond worden berekend als het verschil tussen aanwezige hoeveelheid water en hoeveelheid water bij verzadiging. Deze berging verloopt niet lineair met een toenemende grondwaterstand aangezien zowel de drukhoogteprofielen als de waterretentiecurves niet lineair verlopen. In Figuur 65 (links) is het verloop van de berging als functie van de grondwaterstand gegeven voor verschillende fluxdichtheden. Een waarde die in grondwaterstromingsmodellen veelvuldig wordt gebruikt is de bergingscoëfficiënt. Deze waarde wordt berekend als de verhouding tussen de berging en de grondwaterstand. Vaak wordt onterecht aangenomen dat de waarde van de bergingscoëfficiënt constant is met de grondwaterstandsdiepte. Uit Figuur 65 (rechts) blijkt al dat dit niet het geval is.



**Figuur 65**

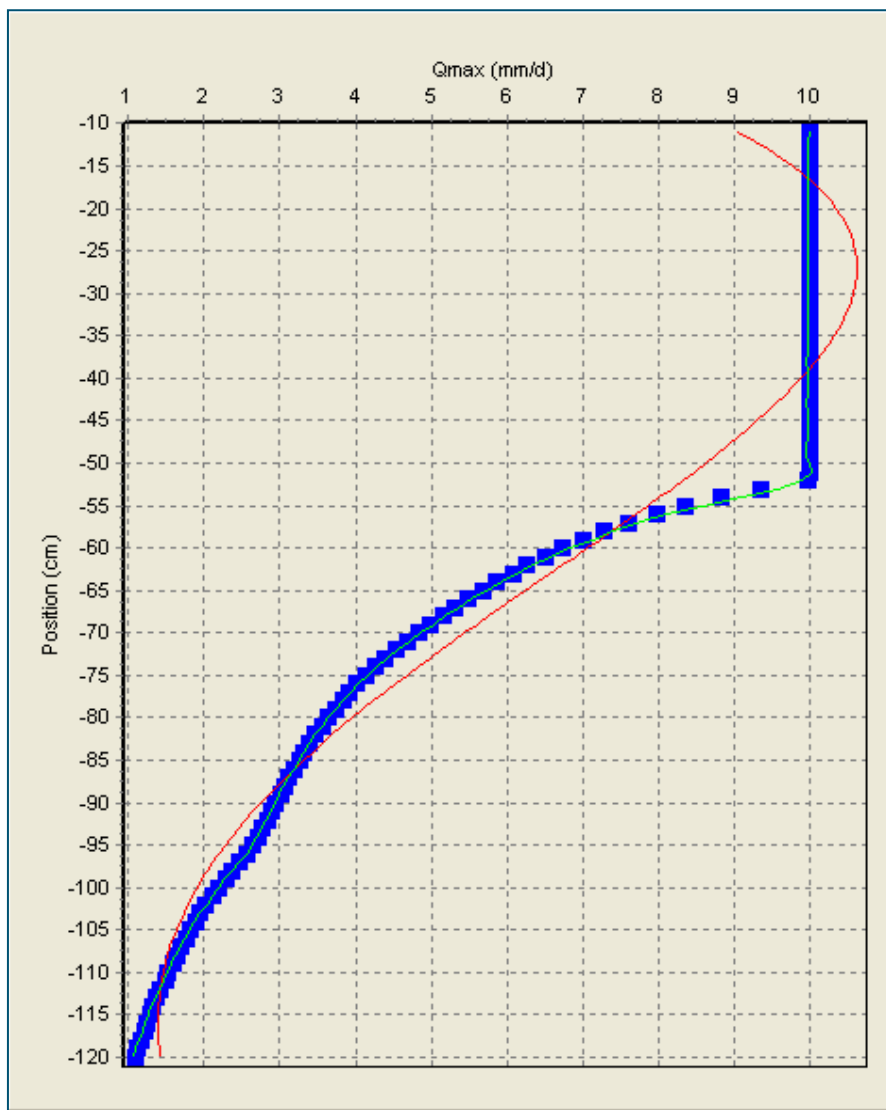
*Bergingsvolume (links) en bergingscoëfficiënt (rechts) voor een aantal fluxdichtheden en voor een aantal grondwaterstanden.*



In deze figuren zijn de gestippelde (dunnere) lijntjes de berekende waarden en de gestreepte (dikkere) lijntjes geven een benadering van de funktie door middel van een Fourier-reeks (zie Wesseling en Vroon, 2012, voor meer details). Het is duidelijk dat deze twee lijnen vrijwel identiek aan elkaar zijn, dit toont aan dat de Fourier benadering goed voldoet.

## Maximale fluxen

Het is relatief eenvoudig om voor de stationaire stromingssituatie te bepalen wat de maximale fluxdichtheid is die het maaiveld (of de onderzijde van de wortelzone) kan bereiken bij een gegeven grondwaterstand en een vaste minimale drukhoogte (meestal  $h = -16000$  cm). Intuïtief is het al duidelijk dat de waarde van deze maximale flux zal variëren met de diepte van het grondwater. Maar het hangt weer van de bodemfysische karakteristieken af in welke mate deze variatie optreedt. Een voorbeeld van dit verloop is weergegeven in Figuur 66.



**Figuur 66**

*De maximale flux van een bodemprofiel als functie van de grondwaterstandsdiepte en twee analytische functies die de waarden moeten weergeven: een derdegraads polynoom (rood) en een Fourier reeks (groen).*

Bij het bepalen van de maximale fluxdichtheid is de hoogste waarde op 10 mm/d gesteld. Dit is ook in de praktijk ongeveer de maximale waarde die op kan treden. In Figuur 68 blijkt dat de maximale flux constant blijft zolang de grondwaterstand niet dieper komt dan 55 cm. Daaronder neemt hij snel af.

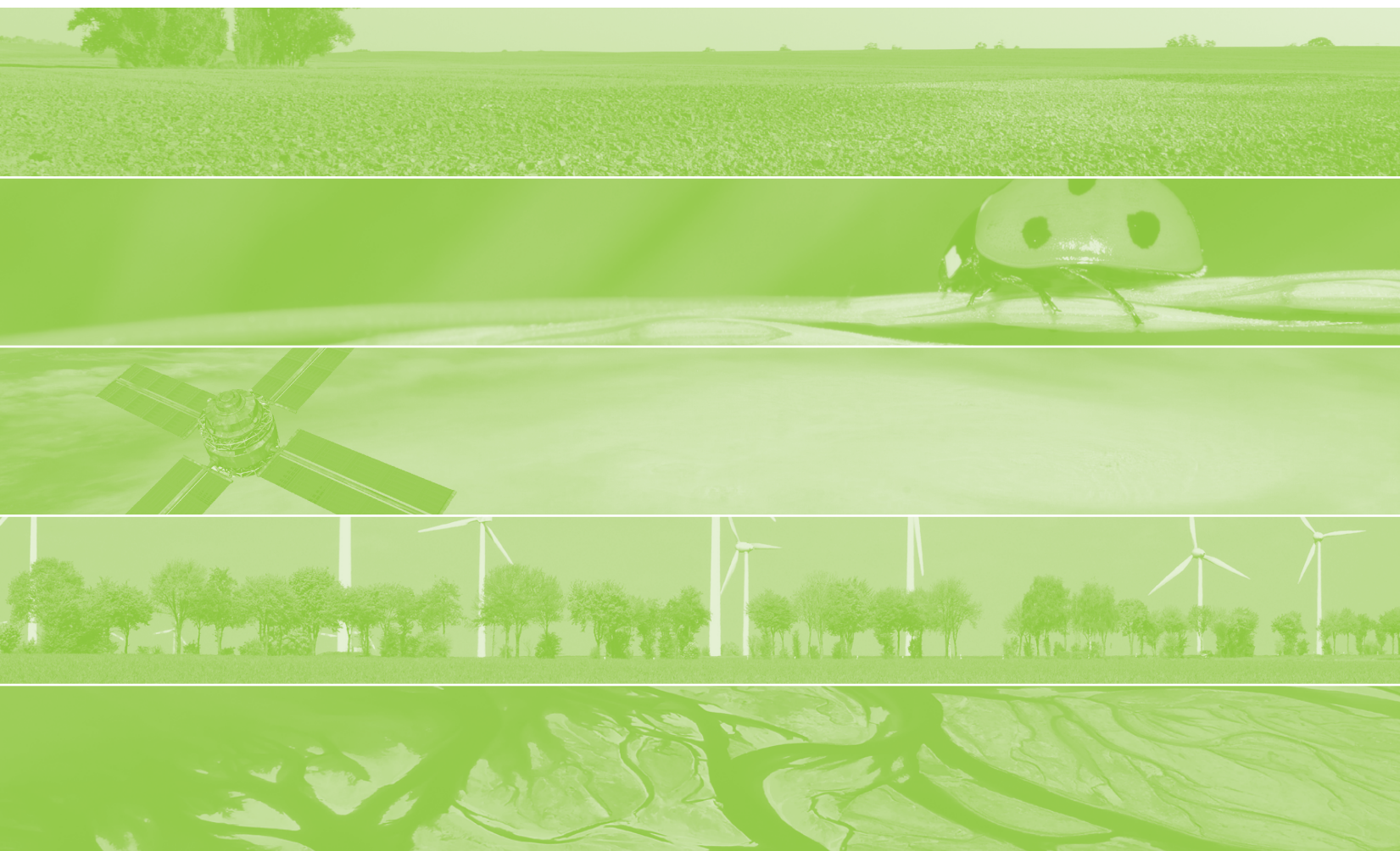
Om niet alle berekende punten van de lijn te hoeven bewaren is ook hier weer geprobeerd de relatie met een analytische functie te beschrijven. Door het vertikaal lopen van de lijn tussen 0 en -55 cm is het buitengewoon lastig om de relatie met een polynoom van welke orde dan ook te benaderen. In het algemeen is een polynoom van de derde graad nauwkeurig genoeg om dergelijke relaties goed te beschrijven. Zoals te zien aan de rode lijn in de figuur levert deze benadering in dit geval een zeer slecht resultaat op. Daarom is ervoor gekozen om de relatie te beschrijven met een aantal termen van een Fourier reeks (groene lijn).

## **Andere opties**

Tenslotte nog een aantal andere mogelijkheden van Dragon zonder er dieper op in te gaan:

- Bepalen van kritieke grondwaterstanden en kritieke berging bij fluxen van 1 en 2 mm.
- Maken van zgn. ISS-files (vochtgehalte en doorlatendheid bij een aantal standaard drukhoogtes), die gebruikt kunnen worden in andere onverzadigde stromingsmodellen, zoals MUST of LDMUST.
- Wegschrijven van bestanden met bodemfysische eigenschappen in tabelvorm voor het simulatieprogramma Swap.
- Het is mogelijk om de berekeningen voor een groot aantal profielen en monsters automatisch te laten verlopen (batch-verwerking).
- Het berekenen van de verticale weerstand (c-waarde in dagen) en het doorlaatvermogen (KD-waarde in m<sup>2</sup>/dag) van het gehele bodemprofiel.





Alterra is onderdeel van de internationale kennisorganisatie Wageningen UR (University & Research centre). De missie is 'To explore the potential of nature to improve the quality of life'. Binnen Wageningen UR bundelen negen gespecialiseerde en meer toegepaste onderzoeksinstituten, Wageningen University en hogeschool Van Hall Larenstein hun krachten om bij te dragen aan de oplossing van belangrijke vragen in het domein van gezonde voeding en leefomgeving. Met ongeveer 40 vestigingen (in Nederland, Brazilië en China), 6.500 medewerkers en 10.000 studenten behoort Wageningen UR wereldwijd tot de vooraanstaande kennisinstellingen binnen haar domein. De integrale benadering van de vraagstukken en de samenwerking tussen natuurwetenschappelijke, technologische en maatschappijwetenschappelijke disciplines vormen het hart van de Wageningen Aanpak.

Alterra Wageningen UR is het kennisinstituut voor de groene leefomgeving en bundelt een grote hoeveelheid expertise op het gebied van de groene ruimte en het duurzaam maatschappelijk gebruik ervan: kennis van water, natuur, bos, milieu, bodem, landschap, klimaat, landgebruik, recreatie etc.

Meer informatie: [www.alterra.wur.nl](http://www.alterra.wur.nl)