



Bodemfysische gegevens in BIS

G. Bakker, M. Heinen, J.G. Wesseling, W.J.M. de Groot, F.B.T. Assinck, E.W.J. Hummelink



ALTERRA
WAGENINGEN UR

Bodemfysische gegevens in BIS

G. Bakker, M. Heinen, J.G. Wesseling, W.J.M. de Groot, F.B.T. Assinck, E.W.J. Hummelink

Dit onderzoek is uitgevoerd door Alterra Wageningen UR in opdracht van en gefinancierd door het Ministerie van Economische Zaken, in het kader van het Beleidsondersteunend onderzoekthema 'BIS' (projectnummer BO-11-017-012).

Alterra Wageningen UR
Wageningen, april 2015

Alterra-rapport 2613
ISSN 1566-7197

Bakker, G., M. Heinen, J.G. Wesseling, W.J.M. de Groot, F.B.T. Assinck, E.W.J. Hummelink, 2015. *Bodemfysische gegevens in BIS*. Wageningen, Alterra Wageningen UR (University & Research centre), Alterra-rapport 2613. 64 blz.; 3 fig.; 9 tab.; 74 ref.

Bodemfysische gegevens, zoals de waterretentiekarakteristiek en doorlatendheidskarakteristiek, organisch stofgehalte, textuurgegevens, profielbeschrijving en andere metagegevens zijn belangrijke basisgegevens bij het modelleren van transport van water en opgeloste stoffen in de onverzadigde zone, maar vinden ook tal van andere toepassingen. Omdat er grote behoefte is aan actuele bodemfysische gegevens van hoge kwaliteit en omdat de huidige databases onvoldoende opschalingsmogelijkheden bieden, zijn in dit project 100 nieuwe bodemfysische gegevens van goede kwaliteit gegenereerd. De bodemfysische gegevens en de bijbehorende beschrijvende gegevens zijn ondergebracht in het BIS (Bodem Informatie Systeem). Aanvullend is van 91 bestaande bodemfysische gegevens van hoge kwaliteit in Priapus een koppeling gelegd met beschrijvende gegevens in BIS en de literatuur, zodat er in totaal 191 bodemfysische monsters beschikbaar zijn.

Trefwoorden: Bodemfysica, bodemfysische meetgegevens, BIS, retentiecurve, pF-curve, waterdoorlatendheid

Dit rapport is gratis te downloaden van www.wageningenUR.nl/alterra (ga naar 'Alterra-rapporten' in de grijze balk onderaan). Alterra Wageningen UR verstrekt *geen* gedrukte exemplaren van rapporten.

© 2015 Alterra (instituut binnen de rechtspersoon Stichting Dienst Landbouwkundig Onderzoek), Postbus 47, 6700 AA Wageningen, T 0317 48 07 00, E info.alterra@wur.nl, www.wageningenUR.nl/alterra. Alterra is onderdeel van Wageningen UR (University & Research centre).

- 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 2613 | ISSN 1566-7197

Foto omslag: www.akkerwijzer.nl

Inhoud

| | | |
|----------|---|-----------|
| | Woord vooraf | 5 |
| | Samenvatting | 7 |
| 1 | Inleiding | 9 |
| | 1.1 Nut en noodzaak van bodemfysische gegevens | 9 |
| | 1.1.1 Bodemfysische gegevens als basis | 9 |
| | 1.1.2 Gezonde bodems (Eng: healthy soils) | 10 |
| | 1.1.3 Beleidsmodellen | 11 |
| | 1.1.4 Operationele modellen | 11 |
| | 1.2 Geschiedenis en toekomst van bodemfysische gegevens | 12 |
| | 1.2.1 Staringreeks | 12 |
| | 1.2.2 Priapus | 13 |
| | 1.2.3 Vooronderzoek bodemfysische gegevens voor BIS-Nederland | 14 |
| | 1.2.4 BIS – Bodem Informatie Systeem (2014) | 14 |
| | 1.2.5 DINO - Data en Informatie van de Nederlandse Ondergrond | 14 |
| | 1.2.6 BRO - Basis Registratie Ondergrond | 15 |
| | 1.2.7 INSPIRE – Infrastructure for Spatial Information in the European Community | 15 |
| | 1.3 Aanleiding en probleemstelling | 16 |
| | 1.4 Projectdoelstelling | 16 |
| | 1.5 Leeswijzer | 16 |
| 2 | Materialen en methoden | 17 |
| | 2.1 Gegevenskeuze, kwaliteit en presentatie | 17 |
| | 2.1.1 Welke bodemfysische gegevens in BIS | 17 |
| | 2.1.2 Kwaliteitscriteria | 17 |
| | 2.2 Selectiewijze monsterlocaties | 18 |
| | 2.2.1 Latin Hypercube Sampling | 19 |
| | 2.2.2 Selectiewijze bemonsteringslocaties | 19 |
| | 2.3 Bemonsteringswijze | 20 |
| | 2.4 Analysemethoden | 21 |
| | 2.4.1 Textuur | 21 |
| | 2.4.2 Gloeiverlies | 22 |
| | 2.4.3 Retentie- en onverzadigde waterdoorlatendheidskarakteristiek | 22 |
| | 2.4.4 Verzadigde waterdoorlatendheid | 24 |
| | 2.4.5 Karakteristiek-parametrisering met Mualem-Van Genuchten | 25 |
| 3 | Resultaten | 26 |
| | 3.1 Veldgegevens | 28 |
| | 3.2 Textuur | 30 |
| | 3.3 Dichtheid en gloeiverlies | 32 |
| | 3.4 Mualem-Van Genuchten-parameters van de prefit | 34 |
| | 3.5 Mualem-Van Genuchten-parameters van de eindfit | 34 |
| | 3.6 Koppeling extra monsters Priapus met metadata | 36 |

| | | |
|----------|---|-----------|
| 4 | Discussie | 39 |
| 4.1 | Rapport en database | 39 |
| 4.2 | Gebruiksadvies | 39 |
| 4.2.1 | Aandachtspunten | 39 |
| 4.2.2 | Fuzzy-classificatie | 40 |
| 4.3 | Raadplegen bodemfysische data in BIS | 40 |
| 5 | Conclusies | 41 |
| | Literatuur | 42 |
| | Bijlage 1 Excel fit-programma | 46 |
| | Bijlage 2 Grafieken van de nieuwe meetgegevens (2012-2014) | 51 |
| | Bijlage 3 Geocodes | 62 |

Woord vooraf

Dit onderzoek voor de verzameling van bodemfysische gegevens voor het Bodem Informatie Systeem is onderdeel van het programma BIS Nederland (BO-11, Natuur en Regio, thema 017 BIS). Het onderzoek is gefinancierd door het ministerie van Economische zaken. Wij zijn ir. E.J. van Beusekom van dit ministerie erkentelijk voor zijn nuttige inbreng.

Wageningen, december 2014

Samenvatting

Bodemfysische gegevens, zoals de waterretentiekarakteristiek en doorlatendheidskarakteristiek, organisch stofgehalte, textuurgegevens, profielbeschrijving en andere metagegevens zijn belangrijke basisgegevens bij het modelleren van transport van water en opgeloste stoffen in de onverzadigde zone, maar worden ook gebruikt voor tal van andere toepassingen. Omdat er grote behoefte is aan actuele bodemfysische gegevens van hoge kwaliteit en omdat de huidige databases onvoldoende opschalingsmogelijkheden bieden, zijn in dit project bodemfysische gegevens van 100 nieuwe monsters bepaald. De bodemfysische gegevens en de bijbehorende beschrijvende gegevens zijn ondergebracht in BIS (Bodem Informatie Systeem). Aanvullend is van 91 bestaande bodemfysische gegevens van hoge kwaliteit in Priapus een koppeling gelegd met beschrijvende gegevens in BIS en de literatuur, zodat er in totaal 191 nieuwe bodemfysische monsters beschikbaar zijn.

Zoals beoogd, zijn de meeste opschalingseenheden nu gevuld met gegevens van minimaal 2 locaties per opschalingseenheid. Vanwege de nauwkeurig uitgevoerde selectie voorafgaand aan de bemonsteringen, zijn vrijwel alle gewenste opschalingseenheden aangetroffen en bemonsterd. Slechts een klein aantal opschalingseenheden zijn niet met 2 locaties gevuld. Er is namelijk geen volledige garantie te geven dat de op de bodemkaart aangegeven bodemprofielen ook daadwerkelijk in het veld worden aangetroffen. Bovendien kunnen veldschattingen afwijken van de achteraf in het laboratorium bepaalde textuurverdeling. In dat geval zijn vanwege efficiëntie de gegevens wel aan BIS toegevoegd, maar zijn ze verbonden aan een andere opschalingseenheid. Alleen de klasse met zware zavel is in het veld helemaal niet aangetroffen. Dit zal in een kleine aanvullende meetsessie alsnog ingevuld moeten worden.

In dit project is een Excel-rekensheet ontwikkeld dat op een veel kleiner detailniveau de tussen- en eindresultaten van de fitprocedure kan analyseren dan tot op heden gebeurde. Hierdoor kunnen oorzaken van eventuele onvolkomenheden eerder in het proces worden getraceerd en kunnen, zo nodig, onbetrouwbare metingen worden verwijderd, resulterend in meer betrouwbare gegevens. Invoergegevens voor dit programma zijn de drukhoogten, vochtgehalten en tijd van de verschillende meetmethoden en de verzadigde waterdoorlatendheden. Uitvoergegevens zijn de afgeleide bodemhydraulische eigenschappen en de Mualem-Van Genuchten (MVG-)parameters.

1 Inleiding

De fysische conditie van de bodem (bodemvocht, bodemlucht, bodemtemperatuur en bodemstructuur) bepaalt in grote mate de wisselwerking tussen biochemische kringlopen, nutriëntenkringlopen, biodegradatie van organische toxische stoffen en de emissie of absorptie van broeikasgassen uit of in de grond. De bodem bepaalt daarom in grote mate de functie en de inrichting van onze leefomgeving. Door intensivering van het grondgebruik is een goed fundamenteel begrip van de bodem en van de relaties ervan met de omgeving nodig om gezonde voeding en een veilige en prettige leefomgeving te kunnen waarborgen.

Het verzamelen en interpreteren van fundamentele gegevens over de bodem die een directe relatie hebben met de stroming en retentie van water en stoffen, de luchthuishouding en de beschikbaarheid van organische stof, is het domein van de bodemfysica en vormt de basis voor een groot aantal onderzoeksdisciplines.

Omdat er door het brede toepassingsgebied grote behoefte is aan actuele bodemfysische gegevens van hoge kwaliteit en omdat de huidige databases onvoldoende opschalingsmogelijkheden bieden, zijn in dit project bodemfysische gegevens van goede kwaliteit van 100 nieuwe monsters bepaald. De bodemfysische gegevens en de bijbehorende beschrijvende gegevens zijn ondergebracht in BIS (Bodem Informatie Systeem). Daarbij zijn bemonsteringslocaties gericht geselecteerd, zodat later via Latin Hypercube Sampling zo veel mogelijk opschalingsmogelijkheden ontstaan. Daarnaast is van 91 bestaande bodemfysische gegevens van hoge kwaliteit in Priapus een koppeling gelegd met beschrijvende gegevens in BIS en de literatuur, zodat er uiteindelijk in totaal 191 bodemfysische monsters beschikbaar zijn. De koppeling van de oudere gegevens maakt het eenvoudiger om in een vervolgtraject de gegevens te digitaliseren en passend te maken voor het BIS-format. Met de resulterende datareeks wordt een belangrijke basis gelegd voor het faciliteren van landsdekkende omgevingsgerichte onderzoeken.

1.1 Nut en noodzaak van bodemfysische gegevens

1.1.1 Bodemfysische gegevens als basis

Overheden en diverse nationale en internationale organisaties maken zich steeds meer zorgen over bodemdegradatie en klimaatverandering als gevolg van de intensivering en veranderingen van landgebruik. De voedselvoorziening, biodiversiteit en natuurlijke ecosystemen worden beïnvloed en samenlevingen worden bedreigd. Het gevolg daarvan is dat er toenemende behoefte is aan inzichten, methoden en technieken om te komen tot 'duurzaam en gezond bodemgebruik'. De bodemfysische wetenschap speelt een grote rol bij maatschappelijke onderwerpen die te maken hebben met oogst-opbrengsten, effecten van de bodemeigenschappen op klimaatverandering door broeikasgasemissies, uitspoeling en retentie van nutriënten en contaminanten, natuurwaarden, bodemverdichting, erosie, efficiëntie van watergebruik en de invloed van de bodem op de veiligheid van dijken. Voor het faciliteren van gedegen onderzoeken zijn landsdekkende gegevens nodig van goede kwaliteit.



Figuur 1.1 Scheuren in een kleigrond door krimp beïnvloeden de fysische eigenschappen.

Voorbeelden van belangrijke bodemfysische gegevens zijn het organische stofgehalte van de bodem, textuur, structuur, dichtheid, krimp- en zweleigenschappen van klei- en veengronden, waterafstotende eigenschappen in bijvoorbeeld dijken of na bosbranden, maar vooral ook de waterretentie- en doorlatendheidskarakteristieken, die direct gebruikt kunnen worden voor het modelleren van transport van water en opgeloste stoffen in de onverzadigde zone.

De bodem kent verschillende gebruiksvormen of gebruiksfuncties. Vaak zijn deze bodemfuncties bewust aan een bepaalde locatie gekoppeld, omdat de bodemeigenschappen daar geschikt zijn voor de functie. De dynamiek in het bodemvocht speelt daarin een cruciale rol. De bodem is een belangrijke parameter in de waterkringloop tussen atmosfeer, grondwater en rivieren. Grondwater, bodem en waterdamp zijn media die zich gedragen als paden waarlangs stoffen worden getransporteerd. De systemen zijn sterk gekoppeld met de uitwisseling van energie en warmte tussen het aardoppervlak en atmosfeer en zijn daarom belangrijk in weersvoorspellingen en voorspellingen van klimaatverandering op regionale en wereldschaal. De wisselwerking tussen fysische en biochemische processen, nutriënten, organische en toxische stoffen, (de)nitrificatie of de emissie of absorptie van broeikasgassen uit of in de grond komt ook tot uitdrukking in de in Nederland nog vrij onbekende term 'bodemgezondheid'. De term is echter sterk in opkomst en past in deze tijd van integrale benaderingen.

1.1.2 Gezonde bodems (Eng: healthy soils)

Bodemgezondheid wordt vaak geassocieerd met schone grond, ofwel met verontreinigingen, en aan de directe relatie met gezondheid van mens en dier. De term 'gezonde bodem' poogt echter vooral aan te duiden dat de bodem zelf gezond, ofwel van goede kwaliteit is. Een gezonde bodem is in staat om duurzaam goed te functioneren, uiteindelijk resulterend in een gezonde leefomgeving voor mens en dier. Hoewel een dergelijke omschrijving van een gezonde bodem in Nederland nog weinig gebruikt wordt, is hij elders in de wereld al veel toegepast. De driehoek Fysisch-Chemisch-Biologisch omspannt de eigenschappen van de bodem die bepalend zijn voor de bodemgezondheid. De term is in het leven geroepen omdat de bodem nu te vaak vanuit eenzijdig perspectief wordt gezien. De bodem is echter een complex systeem dat een integrale benadering vraagt. Alleen met een integrale benadering kunnen grote vraagstukken die betrekking hebben op bijvoorbeeld voedselzekerheid en het verminderen van effecten van een veranderend klimaat, op een duurzame wijze worden opgelost. De bodemgezondheid wordt momenteel bedreigd door klimaatverandering, resulterend in bijvoorbeeld intensere regens en overvloedige erosie of, door verkeerd landgebruik, het uitmijnen van organische stof en essentiële nutriënten. Hierdoor staan ook de kwantiteit en de kwaliteit van de gewassen die verbouwd worden onder druk.

1.1.3 Beleidsmodellen

Beleideffecten worden meestal gekwantificeerd met behulp van rekenmodellen. De bodemfysische gegevens, die als basisinvoer voor deze modellen nodig zijn, hebben grote invloed op de uitkomsten van de modellen. Het belang van een goede bodemfysische dataset wordt daarmee onderstreept. Enkele belangrijke beleidsmodellen die in Nederland bij omgevingsgericht onderzoek gebruikt worden, zijn:

- **SWAP**: Soil-Water-Atmosphere model – Eendimensionale simulatie van waterstroming en plantengroei in het systeem van bodem, water en atmosfeer (Van Dam *et al.*, 2008).
- **LGM**: Landelijk Grondwater Model – Het model beschrijft de stroming van het diepere, verzadigde grondwater in een meerlagensysteem, waarbij goed doorlatende watervoerende pakketten zijn gescheiden door slecht doorlatende scheidingslagen (Pastoors, 1992).
- **PEARL**: Pesticide Emission At Regional and Local scales – Dit model berekent de uit- en afspoeling van gewasbeschermingsmiddelen (ook wel bestrijdingsmiddelen genoemd) naar het grond- en oppervlaktewater (Tiktak *et al.*, 2000, 2003, 2004).
- **STONE**: Samen Te Ontwikkelen Nutriënten Emissie model – Dit beleidsevaluatiemodel is in samenwerking met het RIVM en RIZA ontwikkeld voor nationale beleidsevaluaties, maar kan voor verschillende schaalniveaus worden gebruikt. Het model kwantificeert de effecten van het landbouw- en milieubeleid op de uitspoeling van N en P naar het grondwater en de afspoeling naar het oppervlaktewater. Het accent ligt daarbij op landbouwkundige bronnen, zoals dierlijke mest en kunstmest (Wolf *et al.*, 2003).
- **WATERNOOD en HELP-tabellen**: Waternood is een methode die als leidraad wordt gebruikt voor het ontwerp en beheer van waterhuishoudkundige infrastructuur in het regionale waterbeheer. De STOWA ondersteunt deze methode via het Waternood-instrumentarium. De recentste HELP-tabellen zijn opgenomen in het instrumentarium (van Bakel *et al.*, 2005).
- **NHI**: Nationaal Hydrologisch Instrumentarium – Een geïntegreerd landsdekkende grond- en oppervlaktewatermodel van Nederland. De resultaten van het hydrologisch model worden ingezet voor landelijke beleid (Delta-beslissingen, Kader Richtlijn Water, Nitraatrichtlijn etc.) en voor operationele ondersteuning voor de waterverdeling tijdens droogte. Het is opgebouwd uit diverse gekoppelde concepten: Verzadigde zone (grondwater) – MODFLOW, Onverzadigde zone – MetaSWAP, Regionaal oppervlaktewater – MOZART, Landelijk oppervlaktewater – DM (SOBEK) (Hoogewoud *et al.*, 2013).
- **SIMGRO**: gedateerd acroniem voor SIMulatie van GRondwater – SIMGRO 6 combineert diverse deelprocesmodellen tot één generiek model: MetaSWAP voor de eendimensionale onverzadigde stroming, MODFLOW voor de regionale grondwaterstroming en SWQN voor het oppervlaktewater (van Walsum *et al.*, 2010).

1.1.4 Operationele modellen

Buiten de beleidsmodellen worden diverse (experimentele) modellen gebruikt op projectbasis. Ook deze modellen zijn afhankelijk van de bodemfysische basisgegevens:

- **MODFLOW** - MODulair driedimensionaal grondwater FLOW model – Dit eindige differentie-grondwaterstromingsmodel, dat oorspronkelijk door de US Geological Survey is gemaakt, is modulair opgebouwd (Prince *et al.*, 1988, Berlitz *et al.*, 1993).
- **HYDRUS-1D** - Een 'public domain' model voor de eendimensionale analyse van water-, stoffen- en warmtetransport in variabele poreuze media. Vanwege het public domain-karakter wordt het wereldwijd op grote schaal toegepast (HYDRUS 2D/3D: Vogel *et al.*, 1996).
- **HYDRUS-2D/3D** – De twee-/driedimensionale variant van Hydrus-1D (Simunek *et al.*, 1999)
- **MicroFEM** – Een eindige elementen grondwatermodel voor meerdere watervoerende lagen, geschikt voor zowel stationaire als dynamische grondwaterstroming (Hemker *et al.*, 1997)
- **FUSSIM2** – Twee-/driedimensionaal simulatiemodel voor de beschrijving van water- en zouttransport in poreuze media, de opname van water en nutriënten in de wortel, reductie van evaporatie van water aan het bodemoppervlak, oppervlakkige afstroming, (de)nitrificatie en bodemtemperatuur. Het model is verder gekoppeld met het organische stofmodel MOTOR (Heinen *et al.*, 1998).
- **EmMan3G** – Afgeleid en versimpeld FUSSIM2-model dat bedoeld is om continue metingen van nutriënten in de bodem en de uitspoeling ervan naar het grondwater – evenals de meting van

bodemvochtgehalten en drainage sturende bodemparameters in vollegronds kasteelten – gedeeltelijk te vervangen.

- **ZEUS** – Berekent op basis van bodemfysische kenmerken en profielgegevens afgeleide functionele kenmerken, zoals kritieke z-waarden, beschikbare hoeveelheden vocht in de wortelzone en ondergrond, C- en kD-waarden en berging (Wesseling *et al.*, 2013).



Figuur 1.2 Foto links: Proeflocatie in Salland – onderzoek naar de invloed van kortstondige inundatie van grasland op draagkracht, af- en uitspoeling van nutriënten en grasopbrengst. Foto rechts: Proeflocatie in Portugal – onderzoek naar de invloed van bosbranden op de relatie tussen bodemfysische eigenschappen en erosie.

1.2 Geschiedenis en toekomst van bodemfysische gegevens

Al sinds het ontstaan van de bodemfysische wetenschap kort na WOII is men bezig om bodemfysische gegevens systematisch te rangschikken en is men op zoek naar mogelijke generalisaties. In Nederland heeft deze systematiek voor het eerst vorm gekregen in de Staringreeks (Wösten *et al.*, 1987). In de loop der tijd zijn regelmatig aanvullingen uitgevoerd en updates uitgebracht:

- Staringreeks 1987
- Staringreeks 1994
- Staringreeks 2001
- Priapus 2010
- (BIS Nederland)

Hieronder wordt een beknopte geschiedenis van de bodemfysische reeksen gegeven en de logische opvolgingen die vervolgens plaatsvonden. De laatste jaren wordt hard gewerkt om niet alleen bodemfysische gegevens, maar ook veel andere gegevens over de bodem dusdanig te standaardiseren en te verzamelen dat zij onder te brengen zijn in BIS, maar ook in landelijke en vervolgens Europese databanken, zoals de Nederlandse BRO en het Europese INSPIRE.

1.2.1 Staringreeks

In 1987 is de Staringreeks voor het eerst uitgebracht aan de hand van 273 grondmonsters (Wösten *et al.*, 1987). In 1994 en in 2001 heeft er een uitbreiding plaatsgevonden tot respectievelijk 620 en 832 monsters die ondergebracht zijn in 18 boven- en 18 ondergronden (Wösten *et al.*, 1994, 2001).

Uitgangspunt bij de opzet van de Staringreeks was de Bodemkaart van Nederland 1: 50 000. De textuurklassen van de daarop aangegeven bodemhorizonten zijn op diverse plekken in Nederland bemonsterd in zowel de boven- als ondergrond (wortelzone en daaronder). Vervolgens is van elke onderscheiden boven- en ondergrond een gemiddelde waterretentie- en waterdoorlatendheidskarakteristiek bepaald. De Staringreeks bevat geen gegevens van afzonderlijke monsters, maar geeft gemiddelden van de karakteristieken. Om het gebruik in simulatiemodellen te vereenvoudigen, zijn de

karakteristieken behalve in tabelvorm ook beschreven met 'klasse-vertaalfuncties'. Dit zijn analytische vergelijkingen die beschreven worden met de Mualem-Van Genuchten parameters (Mualem, 1976; Van Genuchten, 1980). Aanvullend zijn nog 'continue vertaalfuncties' (Eng.: pedotransfer functions) gegeven die de klasse-vertaalfuncties kunnen genereren op basis van lutumgehalte, leem- en organisch stofgehalte, M50, dichtheid en een boven- of ondergrondaanduiding.

Voor- en nadelen Staringreeks

Het grote voordeel van de Staringreeks is het overzichtelijke en snel toepasbare karakter. Dit heeft ervoor gezorgd dat het veel gebruikt wordt in modelstudies. Nadeel is echter dat de ruwe data en beschrijvende gegevens van de monsters onbekend zijn. Gebruikers van de Staringreeks hebben behoefte aan meer differentiatie van de bodemfysische gegevens en aan een hogere betrouwbaarheid van de gemiddelde karakteristieken per bouwsteen. Dit inzicht is van belang om de betrouwbaarheid van uitkomsten van modellen te kunnen kwantificeren. De indeling van de Staringreeks is 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. De pakking, sortering en het organische stofgehalte van oude dekzanden zijn bijvoorbeeld 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.

1.2.2 Priapus

In opdracht van het Project Kwaliteitsslag Databestanden & Modellen van het WOT-MNP en de Helpdesk Vitaal Landelijk Gebied heeft er, als gevolg van de veranderde gebruikerswensen, een kwaliteitsverbetering plaatsgevonden. Tussen 2006 en 2008 zijn afgeleide gegevens en beschrijvende gegevens van grondmonsters, waarop onder meer de Staringreeks is gebaseerd, opgezocht in de archieven van Stiboka, ICW, Staring Centrum en Alterra. De bodemfysische data zijn opgenomen in het gegevensbestand Priapus (Verzandvoort *et al.*, 2012), terwijl van de beschrijvende gegevens een referentie is gegeven in het rapport. De gegevens zijn getoetst aan strenge kwaliteitseisen. *De database is niet ontworpen ter vervanging van de Staringreeks, maar als een uitbreiding daarvan.*

Voor de certificering tot Kwaliteitsstatus A in 2008 werd een groot deel van de monstergegevens vervolgens 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. Mede omdat de bodem continu aan verandering onderhevig is en een groot deel van de monsters ouder is dan 30 jaar, zijn op dit moment onvoldoende recente en gecertificeerde gegevens van bodemhydraulische karakteristieken beschikbaar om nieuwe bodemschematisaties zoals PAWN (Wösten *et al.*, 1988) of BOFEK2012 (Wösten *et al.*, 2013) af te kunnen afleiden of om landsdekkende of regionale studies uit te kunnen voeren met bijvoorbeeld STONE.

Voor- en nadelen Priapus

De analysereeksen zijn nu per monster in Priapus opgenomen en uitgebreid getest op kwaliteitskenmerken. Door het ontsluiten van kwalitatief hoogwaardige meetdata, gecombineerd met de afgeleide data en de mogelijkheid om deze bodemfysische data te koppelen aan meta-informatie per monsterpunt, wordt tegemoetgekomen aan de gebruikerswensen ten aanzien van het kunnen kwantificeren van de betrouwbaarheid van uitkomsten van hydrologische modellen en de variatie tussen de karakteristieken van monsters met verwante eigenschappen. De Priapus-opzet maakt een bredere toepassing van de data mogelijk dan de Staringreeks, omdat op een veel kleiner detailniveau eigenschappen zijn te vergelijken. Bovendien kan de gebruiker zelf voortschrijdende inzichten gebruiken om bijvoorbeeld klasse-vertaalfuncties te genereren die betrekking hebben op het afzettingsmilieu. Omdat Priapus alleen monsters toelaat met een complete meet- en metadataset en een hoog kwaliteitsniveau nastreeft, zijn er veel minder monsterpunten (91 stuks) beschikbaar dan in de Staringreeks. Hierdoor zijn geen landsdekkende onderzoeken met Priapus mogelijk.

1.2.3 Vooronderzoek bodemfysische gegevens voor BIS-Nederland

Vanwege het ontbreken van voldoende gecertificeerde bodemfysische gegevens in Priapus is in de aanloop naar de update voor BIS onderzocht welke aanvulling minimaal nodig is (Knotters *et al.*, 2011).

Verzandvoort *et al.* (2011) stellen een nieuwe indeling in bodemfysische eenheden voor. Die indeling moet voldoen aan onder meer de eis dat bodemfysische karakteristieken op meerdere niveaus, zowel bodemkundig als geologisch, kunnen worden ingedeeld en geselecteerd. De criteria op basis waarvan opschaling dan kan plaatsvinden, zijn:

- boven- en ondergrond (2 klassen);
- gehalte aan organische stof (6 klassen voor minerale gronden en 3 klassen voor moerige gronden);
- textuur (6 leemklassen, 5 mediaanklassen, 10 lutumklassen);
- afzettingsmilieu (6 hoofdklassen).

Het theoretisch aantal ruimtelijke opschalingseenheden is volgens Knotters *et al.* (2011) dan gelijk aan 2364. Dit aantal is te groot om uit elke eenheid een monster te nemen. Daarom wordt monstername volgens een Latin Hypercube-steekproef aanbevolen. In dat geval moet ervoor gezorgd worden dat in ieder geval alle bovengenoemde klassen in Priapus zijn vertegenwoordigd met ten minste twee monsters per klasse. Meerdere monsters per klasse zijn nodig om de nauwkeurigheid van geschatte gemiddelden te kunnen kwantificeren. Rekening houdend met de al aanwezige monsters in Priapus, concludeerden Knotters *et al.* (2011) dat er nog ten minste 50 horizonten bemonsterd zouden moeten worden, resulterend in een minimale steekproefomvang van 100. Aanbevolen wordt de monsterlocaties gericht te selecteren met als doel de hiaten in Priapus op te vullen. De Latin-Hypercube werkwijze heeft het voordeel dat het de gebruiker in staat stelt zelf de grootte van de ruimtelijke opschaling te kiezen. Het nadeel van de werkwijze is dat opschalings- of aggregatiemethoden voor kleine gebieden of voor 'empty domains' niet eenvoudig zijn. Het gebruik van modellen is hierbij onvermijdelijk.

De nieuwe ruimtelijke indeling sluit 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.

1.2.4 BIS – Bodem Informatie Systeem (2014)

Bodemgegevens staan in de top 5 van meest door de overheid gebruikte gegevens. Het betreft dan veelal bodemgegevens uit het Bodemkundig Informatie Systeem (BIS) dat in beheer is bij Alterra. BIS-Nederland bevat, behalve bodemfysische gegevens, enorm veel informatie over de Nederlandse bodem die vanaf de zestiger jaren tot op heden op systematische wijze is verzameld en bewerkt. BIS-Nederland bestaat uit de volgende onderdelen:

- Lokale bodemgegevens over de bodemkwaliteit, bodemopbouw en fysische en chemische eigenschappen per laag;
- Landsdekkende bodem- en grondwatertrappenkaart schaal 1 : 50 000;
- Landsdekkende bodemkaart schaal 1 : 250 000;
- Bodem- en grondwatertrappenkaarten op schalen 1 : 25 000 en 1 : 10 000;
- Kaarten en bestanden met gedetailleerde beschrijving van de grondwaterdynamiek;
- DeltaBIS: mogelijkheid tot vervaardiging van kaarten 'op recept' door de gebruiker zelf.

1.2.5 DINO - Data en Informatie van de Nederlandse Ondergrond

DINO staat voor Data en Informatie van de Nederlandse Ondergrond. Daar waar BIS zich richt op de Nederlandse bovengrond tot circa 1,2 meter-mv, richt TNO zich met DINO op de bodem daaronder. DINO is de centrale opslagplaats voor geowetenschappelijke gegevens over de diepe en ondiepe ondergrond van Nederland voor diverse gebruiksdoeleinden, die te maken hebben met grondwater, delfstoffen en bodemchemie. Vanaf 2006 tot nu zijn voor DINO ongeveer 200 boringen tot 30 à 40 meter diepte uitgevoerd met zeer zware apparatuur en zijn er circa 6000 analyses verricht (mondelinge informatie TNO, 2014). Het betreft steekboringen, waarin sonderingen en meestal een

boorgatmeting zijn uitgevoerd. De zware apparatuur is ongeschikt voor het nemen van monsters ten behoeve van BIS vanwege de gevoeligheid van hydraulische kenmerken voor mechanische verstoringen. DINO en BIS bestrijken elk een eigen toepassingsgebied en zijn complementair.

1.2.6 BRO - Basis Registratie Ondergrond

BRO staat voor Basis Registratie Ondergrond. Binnen BRO wordt de ondergrond gedefinieerd als de ruimte tussen het maaiveld en de aardkern (Hooghart, 2011). BRO is een van de Geobasisregistraties van het ministerie van Infrastructuur en Milieu. In BRO zal zowel BIS als DINO worden opgenomen, omdat de afzonderlijke informatiesystemen onvoldoende met elkaar zijn verbonden, waardoor hergebruik van gegevens door derden belemmerd wordt. Bij de vastlegging van gegevens werden vaak verschillende standaarden gebruikt en werden veel gegevens helemaal niet in informatiesystemen vastgelegd. BRO creëert een eenduidig, landelijk systeem. In een later stadium worden mogelijk gegevens over archeologie en milieukwaliteit toegevoegd. Het gebruik van geologische en bodemkundige gegevens vindt veelal plaats in de vorm van kaarten en profielen die gebaseerd zijn op geologische en bodemkundige modellen. De modellen maken onderdeel uit van BRO.

Gemeenten beschikken met BRO over meer en betere gegevens, waardoor ze sneller en beter gefundeerde beslissingen kunnen nemen ten aanzien van een breed spectrum aan beleidsvragen. De gemeenten krijgen met BRO direct toegang tot de gegevens die voor hen van belang zijn. Het belang van adequate informatie over de bodem en ondergrond zal in de toekomst alleen maar toenemen, ook in het kader van Europese regelgeving. De exacte inhoud van BRO wordt in samenwerking met belanghebbenden vastgelegd in de Catalogus BRO.

Het ministerie van Infrastructuur en Milieu is initiatiefnemer van BRO. Het besluit tot invoering van BRO is in nauwe samenwerking met de overige bestuursorganen tot stand gekomen en zal ook gezamenlijk verder worden uitgewerkt. BRO geeft tevens invulling aan (een deel van) verplichtingen die voortvloeien uit de Europese richtlijn INSPIRE (zie hieronder). Deze richtlijn verplicht lidstaten onder meer gegevens over de ondergrond via internet ter beschikking te stellen. Dit betekent dat er een wettelijke verplichting voor alle bestuursorganen komt om gegevens, die in de catalogus BRO genoemd worden, aan te leveren.

De minister van Infrastructuur en Milieu wordt bronhouder van de gegevens die op het moment van de inwerkingtreding van de wet op de BRO in BIS en DINO staan. Eventuele terugmeldingen op deze gegevens zijn daarmee een verantwoordelijkheid van de minister, ook in het geval deze gegevens in het verleden door een ander bestuursorgaan zijn aangeleverd. Conform de andere basisregistraties is het uitgangspunt dat BRO de best mogelijke gegevens bevat, maar geen 100% garantie geeft op de juistheid. Bestuursorganen kunnen dus worden aangesproken op hun zorgplicht. Indien bij de totstandkoming van de brondocumenten zorgvuldigheid is betracht, heeft het bestuursorgaan aan zijn verplichtingen voldaan en geldt er geen verdere aansprakelijkheid.

1.2.7 INSPIRE – Infrastructure for Spatial Information in the European Community

BRO is opgezet met als doel de informatiehuishouding ten aanzien van de Nederlandse ondergrond te verbeteren. Met BRO geeft Nederland ook invulling aan de Europese INSPIRE-eisen voor de thema's uit de Annex II Geology en de Annex III: Soil, Environmental monitoring facilities. De INSPIRE-richtlijn verplicht de Europese lidstaten geo-informatie over 34 thema's te voorzien van metadata, deze te harmoniseren en beschikbaar te stellen via het INSPIRE-portaal volgens leveringsvoorwaarden die het gebruik niet onnodig belemmeren. INSPIRE zorgt er zo voor dat geo-informatie van goede kwaliteit beschikbaar, vindbaar en bruikbaar is en dat de inhoud ervan, ook over de landsgrenzen heen, op elkaar is afgestemd. Hiervoor richten de lidstaten een netwerk in dat bestaat uit één Europees en meerdere nationale internetportalen en netwerkdiensten. Via dit INSPIRE-netwerk krijgen zowel overheden als burgers en bedrijven toegang tot de geo-informatie. INSPIRE is gestart in 2007 en zal naar verwachting in 2019 volledig operationeel zijn. Een Europees Ruimtelijke Data Infrastructuur helpt beleidsmakers bij het beantwoorden van grensoverschrijdende vraagstukken.

1.3 Aanleiding en probleemstelling

Het totaal aantal betrouwbare bodemfysische gegevens voor een bodemkundig informatiesysteem is niet toereikend om landsdekkende dan wel regionale studies uit te kunnen voeren. De Staringreeks (Wösten *et al.*, 1987, 1994, 2001) geeft weliswaar gemiddelden van de hydraulische karakteristieken, maar bevat geen gegevens van afzonderlijke monsters. Het bevat ook geen beschrijvende gegevens, omdat de gegevens van verschillende monsterplekken zijn geclusterd tot gemiddelde bouwstenen.

Gebruikers van bodemfysische gegevens hebben echter behoefte aan meer differentiatie, aan een hogere betrouwbaarheid van de gemiddelde karakteristieken per bouwsteen en aan de beschrijvende gegevens per monsterlocatie. Met de Priapus-database is daartoe een eerste aanzet gedaan: het maakt een bredere toepassing van de data mogelijk dan de Staringreeks, omdat op monsterniveau eigenschappen zijn te vergelijken. Bovendien hebben de data, die uit verschillende bronnen zijn verzameld, een strenge kwaliteitsslag ondergaan. Er is echter behoefte aan veel meer kwalitatief hoogwaardige bodemfysische data die tevens geschikt zijn voor opschaling op basis van meerdere criteria, zoals boven- en ondergrond, gehalte aan organische stof, textuur en afzettingmilieu.

1.4 Projectdoelstelling

Het hoofddoel van dit project is het aanvullen van de Priapus-database met nieuwe, kwalitatief hoogwaardige bodemfysische data die voldoen aan de eisen zoals hierboven zijn omschreven. De nieuw verkregen data worden in dit project ondergebracht in BIS en kunnen daardoor op eenvoudige en eenduidige wijze gebruikt worden, ook in combinatie met andere in BIS opgeslagen bodemkundige gegevens. Er wordt verder een koppeling gelegd tussen bestaande bodemfysische data in Priapus en bestaande profielbeschrijvingen in BIS en/of de literatuur. Bodemfysische data waarvan momenteel alleen in de literatuur meta data bekend is, kunnen daarmee in de toekomst eenvoudiger in BIS worden ondergebracht. Door eenduidige ontsluiting in BIS kan het vervolgens relatief eenvoudig ondergebracht worden in het Nederlandse BRO en het Europese INSPIRE, uiteindelijk resulterend in een systeem dat beleidsmakers en andere gebruikers helpt bij het beantwoorden van lokale, nationale en grensoverschrijdende vraagstukken.

1.5 Leeswijzer

In hoofdstuk 1 is voornamelijk aandacht besteed aan het belang van bodemfysische gegevens voor onderzoek en aan de geschiedenis en toekomst van bodemfysische data. Hoofdstuk 2 geeft een overzicht van de gebruikte veld- en laboratoriummethoden. Hoofdstuk 3 is een vrij uitgebreide presentatie van de belangrijkste componenten van de veld-, laboratorium- en deskgegevens in tabelvorm. Voor verdere details wordt verwezen naar de databases zelf: BIS en/of Priapus. Hoofdstuk 4 geeft een korte terugblik op de resultaten, het gebruik van de resultaten en een doorkijk naar de toekomst. In de bijlagen is het voor dit onderzoek ontwikkelde analyseprogramma voor hydraulische eigenschappen toegelicht en zijn de bodemhydraulische eigenschappen van de nieuwe monsters grafisch weergegeven.

2 Materialen en methoden

Dit hoofdstuk geeft een toelichting op de keuze van de te verzamelen gegevens en op de veld- en laboratoriummethoden die gebruikt zijn om deze gegevens te verzamelen en te interpreteren.

2.1 Gegevenskeuze, kwaliteit en presentatie

2.1.1 Welke bodemfysische gegevens in BIS

Het is binnen de huidige omstandigheden niet mogelijk om alle bodemfysische gegevens te bepalen en op te nemen in BIS. Daarom wordt een selectie van de meest gebruikte parameters toegepast. De parameters zijn in overeenstemming met de kwaliteitscriteria zoals die in de volgende paragraaf worden besproken:

- Textuur
- Droge bulkdichtheid
- Gloeiverlies (organisch stofgehalte)
- Verzadigde waterdoorlatendheid
- Waterretentiekarakteristiek
- Waterdoorlatendheidskarakteristiek
- Beschrijving van de retentie- en doorlatendheidskarakteristiek met de Mualem-Van Genuchten-vergelijkingen
- Profielbeschrijving
- Landgebruik huidig en vorig jaar
- Coördinaten

Voor de bullets 5 tot en met 7 geldt dat de hydraulische karakteristieken (retentiekarakteristiek en waterdoorlatendheidskarakteristiek) met verschillende analytische vergelijkingen beschreven kunnen worden. Omdat geen enkel model in staat is om de metingen volledig correct te beschrijven en omdat er nog steeds nieuwe modellen worden ontwikkeld, is ervoor gekozen om van deze items in ieder geval alle betrouwbaar geachte ruwe meetgegevens op te nemen in BIS. De ruwe meetgegevens bestaan uit een tijdreeks met monstergewichten, drukhoogtewaarden op meerdere diepten en gemiddelde vochtgehalten per tijdstap. Uit deze ruwe basisreeks is in beginsel met elk gewenst model de puntenwolk af te leiden die de waterdoorlatendheid als functie van de drukhoogte of het vochtgehalte beschrijft. Met de ruwe gegevens is de gebruiker dus altijd in staat om met eigen voorkeursmodellen een complete set hydraulische parameters af te leiden. Dit maakt de reeks ook voor toekomstig gebruik geschikt. Omdat de Mualem-Van Genuchten-vergelijkingen momenteel wereldwijd erg veel gebruikt worden, zijn deze modelparameters, bij wijze van voorbeeld, eveneens in BIS opgenomen. Ook de doorlatendheidspuntenwolk is met een 1-modale (of meer) Van Genuchten-vergelijking afgeleid en opgenomen in BIS.

2.1.2 Kwaliteitscriteria

De kwaliteitscriteria voor de bodemfysische data die zijn ondergebracht in Priapus, staan vermeld in Stolte *et al.* (2007) en in Verzandvoort *et al.* (2012). Deze kwaliteitscriteria worden ook voor de nieuwe bodemfysische data van BIS nagestreefd. De kwaliteitseisen zijn enerzijds gebaseerd op de volledigheid van de metagegevens, parametersoorten en meetbereik en anderzijds op de kwaliteit van de gegevens zelf, zoals die van de afgeleide waterdoorlatendheidsdata en de Mualem-Van Genuchten-krommen. In Tabel 1 zijn – in het kader van het nastreven van de minimaal benodigde informatie – de hoofdgroepen gegeven die opgenomen worden in BIS.

Tabel 1*Hoofdgroepgegevens (minimale variant) van de bodemfysische data in BIS.*

| Hoofdgroepnaam | Omschrijving |
|------------------------------|---|
| Beschrijving | Hoofdkenmerken van grondmonsters |
| Landen | Namen van landen |
| Provincies | Namen van provincies |
| Waterschappen | Namen van waterschappen |
| Coördinatenstelsels | Beschrijving van coördinatenstelsels |
| Bodemgebruik | Beschrijving van bodemgebruik |
| GtClassificatiemethoden | Classificatiemethoden voor grondwatertrappen |
| Grondwatertrappen | Definities van grondwatertrappen |
| Geologie | Beschrijving van geologische ondergrond |
| GrondsoortLegenda | Beschrijving van grondsoorten |
| Grondsoort | Grondsoorten waarop indeling Staringreeks is gebaseerd |
| Staringreeks | De bouwstenen van de Staringreeks |
| ElementenStaringreeks | Relatie tussen grondmonster en Staringreeks |
| Kwaliteit | Kwaliteitscodering van grondmonsters |
| Kwaliteitscodes | Beschrijving van de kwaliteitscodering |
| Eigenschappen | De bodemfysische eigenschappen van de grondmonsters |
| Textuur | Gemeten textuurgegevens van bodemmonsters |
| TextuurClassificatieSystemen | Beschrijvingen van classificatiesystemen voor textuur |
| TextuurClassificatieGrenzen | Definities van textuurklassen |
| Metingen | Gegevens over de metingen |
| Meetmethoden | De gebruikte meetmethoden |
| Laboratoria | De laboratoria |
| Meetresultaten | De gemeten vochtgehalten, drukhoogten en doorlatendheden |
| Fitten | Gegevens over de fits |
| Fitmethodes | Methoden om te fitten |
| Standaardreeks | Vochtgehalte en doorlatendheid bij standaard drukhoogte |
| VanGenuchtenParams | De gefitte parameters van de Mualem-Van Genuchten vergelijkingen voor de monsters |
| StandaardDrukhoogte | De 13 standaard drukhoogten |

In een enkel geval kan het voorkomen dat niet volledig aan alle criteria kan worden voldaan. In dat geval wordt daarvan in het commentaarveld van BIS melding gemaakt. De afgeleide gegevens, zoals de puntenwolk van de drukhoogte en de onverzadigde waterdoorlatendheid – die wordt verkregen door modellering van de meetgegevens van de verdampingsmethode – zijn alle gecontroleerd op consistentie en fysische verklaarbaarheid. De afgeleide gegevens kunnen soms afwijkend gedrag vertonen. Dit kan optreden bij meetfouten of als het gebruikte model onvoldoende in staat is om de metingen te fitten. In het eerste geval, waarin de afgeleide gegevens leidden tot twijfel over een of meerdere gemeten datapunten of zelfs over een hele tensiometerreeks, zijn deze datapunten niet gepresenteerd in dit rapport en niet opgenomen in de BIS-database. Indien de afgeleide gegevens onvoldoende nauwkeurig door het model kunnen worden beschreven terwijl de meetgegevens zelf betrouwbaar worden geacht, zijn de daaraan ten grondslag liggende metingen wel in BIS opgenomen, maar is van de afwijking in afgeleide gegevens een melding gemaakt in het commentaarveld van BIS en Priapus.

2.2 Selectiewijze monsterlocaties

De indelingscriteria voor bemonstering, zoals voorgesteld door Verzandvoort *et al.* (2012) zijn boven- of ondergrond, afzettingsmilieu (6 hoofdklassen), textuur (6 leemklassen, 5 klassen op basis van mediaan zandfractie en 10 lutumklassen) en organisch stofgehalte (6 klassen bij minerale gronden, 3 klassen bij moerige gronden). Het aantal mogelijke opschalingseenheden wordt daarmee maximaal 2364. Als in elke eenheid ten minste 2 monsterlocaties moeten liggen, betekent dit een steekproef-omvang die op dit moment niet haalbaar is. Omdat niet alle 2364 combinaties kunnen worden bemonsterd, is door Knotters *et al.* (2011) een methode voorgesteld om op slimme wijze met een beperkt aantal monsters zo veel mogelijk bodemfysische informatie toe te voegen aan de BIS-database.

2.2.1 Latin Hypercube Sampling

Bij de opzet van de aanvullende steekproef en bij de ruimtelijke opschaling kan wel rekening worden gehouden met het feit dat niet alle opschalingseenheden steekproefpunten bevatten (empty domains). Belangrijk is dat in alle klassen waarop de indeling in opschalingseenheden is gebaseerd, monsters liggen. Indien dit wordt voorgesteld als een tabel met rijen en kolommen, betekent dit dat niet alle vakjes zijn gevuld, maar wel alle rijen en kolommen informatie bevatten. Dit kan worden bewerkstelligd door *Latin Hypercube Sampling*. Bij de bemonstering is de aanbeveling gevolgd dat zo veel mogelijk klassen naar boven- en ondergrond, afzettingmilieu, textuur en gehalte aan organische stof uiteindelijk in BIS worden opgenomen met ten minste twee monsters per klasse. Meerdere monsters per klasse zijn nodig om de nauwkeurigheid van geschatte gemiddelden te kunnen kwantificeren of om benaderingen, waarbij wordt gelooft uit bodemfysische karakteristieken, voor individuele locaties mogelijk te maken (bootstrapping).

Knotters *et al.* (2011) bevelen aan om de monsterlocaties gericht te selecteren, met als doel de hiaten in Priapus op te vullen. Geconcludeerd werd dat er minimaal 50 aanvullende horizonten bemonsterd moeten worden voor een goede dekking van de ruimtelijke hoofdaggregatie-eenheden. Bij uitvoering in duplo betekent dit dat er minimaal 100 monsters per bepalingmethode genomen en doorgemeten moeten worden. Bij de bemonstering en analyse is een prioriteitsvolgorde aangehouden: de grootste oppervlakten per opschalingseenheid zijn daarbij het eerst gemonsterd.

In Tabel 2 is een overzicht gegeven van de nog ontbrekende opschalingseenheden in Priapus. Dit overzicht is het uitgangspunt geweest voor de te selecteren bemonsteringslocaties.

2.2.2 Selectiewijze bemonsteringslocaties

In BIS zijn op dit moment al duizenden profielbeschrijvingen beschikbaar van locaties verspreid over Nederland. Bij het zoeken naar geschikte bemonsteringslocaties is daarvan gebruikgemaakt. Bij het selecteren van de locaties is een aantal criteria gehanteerd:

- De gewenste textuurklasse van Tabel 2 moet aanwezig zijn over een dikte van ten minste 20 cm, zodat de kans op voorkomen wordt vergroot en er een voldoende diep profiel voor bemonstering aanwezig is.
- De gewenste textuurklasse moet aanwezig zijn in de boven- of ondergrond, overeenstemmend met Tabel 2.
- De locatie heeft de geologische ontstaanswijze zoals aangegeven in Tabel 2.

Vanuit de verkregen selectie is een overzicht met locatie- en contactgegevens gegenereerd. De potentiële bemonsteringslocaties zijn daarna verder handmatig geselecteerd op basis van de volgende eigenschappen:

- De bemonsteringslocaties moeten voldoende verspreid over Nederland liggen. Er is bijvoorbeeld rekening gehouden met bemonstering van locaties van mariene afkomst uit zowel het zuidwesten als het noorden.
- Om de kans op aantreffen van de betreffende textuur in het veld te vergroten, zijn locaties aan de randen van een kaartvlak van de Bodemkaart van Nederland (schaal 1: 50 000) vermeden, omdat daar de variatie in textuur groter is. In het algemeen geldt dat naarmate de profielbeschrijvingen ouder zijn, de locaties minder nauwkeurig zijn vastgelegd.
- In een aantal gevallen was het praktisch om op dezelfde locatie zowel een boven- als ondergrond te bemonsteren.

Van de locaties die aan alle criteria voldeden, zijn de eigenaren benaderd om toestemming voor bemonstering te vragen.

Tabel 2

Oppervlakten van klassen waarin nul of één *Priapus*-monster ligt. De monsternamedatum geeft de prioriteitsvolgorde voor verzameling van aanvullende gegevens.

| Ingang | Klasse | Aantal monsters In Priapus | Boven of Ondergrond (B/O) | Oppervlakte (ha) | Oppervlakte (%) | Monster name jaar |
|--|-----------------------|-------------------------------|---------------------------------|---------------------|--------------------|-------------------------|
| Afzettingsmilieu | 500 (keileem) | 1 | B | 6197 | 0.14 | 2013 |
| | | 0 | O | 138273 | 3.04 | 2013 |
| Textuur eolische en sommige niet-eolische afzettingen: leemgehalte | Zeer sterk lemig zand | 0 | B | 10672 | 0.23 | 2014 |
| | | 0 | O | 39907 | 0.88 | 2014 |
| | Zandige leem | 0 | B | 16006 | 0.35 | 2014 |
| | | 1 | O | 83864 | 1.84 | 2014 |
| | | 0 | B, marien-200 | 17511 | 0.38 | 2014 |
| Textuur eolische en sommige niet-eolische afzettingen: M50 zandfractie | Matig grof zand | 0 | O, marien-200 | 1918 | 0.04 | 2013 |
| | | 0 | O, fluviatiel-300 | 12852 | 0.28 | 2013 |
| | | 0 | B, eolisch-400 | 109058 | 2.4 | 2013 |
| | Zeer grof zand | 0 | O, eolisch-400 | 200360 | 4.4 | 2013 |
| | | 0 | B, antropogeen-600 | 10787 | 0.24 | 2013 |
| | | 0 | O, fluviatiel-300 | 517 | 0.01 | 2013 |
| Textuur niet-eolische afzettingen: lutumgehalte | Klei-arm zand | 0 | B, marien-200 | 6575 | 0.14 | 2013 |
| | | 0 | O, marien-200 | 44629 | 0.98 | 2013 |
| | | 0 | O, fluviatiel-300 | 105541 | 2.32 | 2013 |
| | Kleilig zand | 0 | B, marien-200 | 7675 | 0.17 | 2014 |
| | | 0 | O, marien-200 | 58430 | 1.28 | 2014 |
| | Zware zavel | 1 | B, marien-200 | 224448 | 4.93 | 2012 |
| | | 0 | O, marien-200 | 371655 | 8.17 | 2012 |
| | | 0 | B, fluviatiel-300 | 121493 | 2.67 | 2012 |
| | | 0 | O, fluviatiel-300 | 190143 | 4.18 | 2012 |
| | | 1 | B, marien-200 | 201118 | 4.42 | 2012 |
| Lichte klei | 0 | O, marien-200 | 330762 | 7.27 | 2012 | |
| | 0 | B, fluviatiel-300 | 35493 | 0.78 | 2012 | |
| | 0 | O, fluviatiel-300 | 131918 | 2.9 | 2012 | |
| Gehalte aan organische stof bij moerige gronden en veengronden | Venige klei | 0 | B, moerig-100 | 37249 | 0.82 | 2014 |
| | | 0 | O, moerig-100 | 1767 | 0.04 | 2014 |

2.3 Bemonsteringswijze

Op de geselecteerde locaties zijn de volgende monsters in duplo genomen in het midden van de betreffende horizont:

- Roestvrijstalen monsterringen (hoogte $h=5$ cm, diameter $D\approx 5$ cm) voor onverstoorte monsters ten behoeve van de bepaling van de retentiecurve op de zandbak voor het traject $h = 0$ tot -100 cm ($pF=2$).
- PVC-monsterringen ($h=8$ cm, $D\approx 10$ cm) voor onverstoorte monsters ten behoeve van de bepaling van de retentiecurve en curve van de onverzadigde waterdoorlatendheid op de verdampingsopstelling voor het traject $h = -10$ tot -700 cm ($pF=1$ tot $pF=2.8$).
- PVC-monsterringen ($h=10$ cm, $D\approx 20$ cm) voor onverstoorte monsters ten behoeve van de bepaling van de verzadigde waterdoorlatendheid ($h = 0$).
- Verstoorte grondmonsters in zakken ter bepaling van de textuur en organische stof.

De ringen voor de onverstoorte monsters zijn dusdanig voorzichtig met de hand in de grond gebracht dat de structuur van de grond behouden is gebleven. Daarna zijn de monsterringen rondom uitgegraven en handstrak met folie omwikkeld zodat er geen grond uit de ringen kon vallen. In het lab zijn de monsters verder geprepareerd. De 100 cm^3 ringen zijn in het veld al voorgeprepareerd met een vlakke boven- en onderzijde. Vervolgens zijn de monsters dezelfde dag nog bij 4 graden Celsius opgeborgen voor verdere analyse in het lab. Bij de bemonstering van de ondergronden is de bovengrond eerst voorzichtig afgegraven tot de bovenzijde van het benodigde profiel, waarbij de bovenzijde

netjes vlak is afgewerkt. Het eigenlijke profiel is daarbij onverstoord gebleven, hetgeen betekent dat er niet overheen is gelopen en niet verticaal met de schop in is gestoken.

Tijdens monsternamen is tevens een profielbeschrijving gemaakt en zijn onder andere de volgende gegevens genoteerd op de veldcomputer:

- Monstercode
- Locatie
- XY coördinaten
- Horizont
- Diepte boven- en onderkant monster
- Monsterdatum
- Monsternemer
- Bodemgebruik
- Grondwatertrappen (GtCode, GLG, GHG)
- Geologische ondergrond
- Grondsoort

2.4 Analysemethoden

2.4.1 Textuur

Voor bodemkartering worden van oudsher de textuurklassen van de Stiboka (Stichting voor Bodemkartering) gebruikt. Voor kleigronden werden andere fractieverdelingen gehanteerd dan voor zandgronden. De Nederlandse norm NEN 5753/C1 (2006, 2009) en de gelijksoortige internationale norm ISO 11277 (2009) schrijven geen specifieke fracties voor, maar geven wel een overzicht van de meest gebruikte fracties. De Rijks Geologische Dienst (RGD) gebruikt enigszins afwijkende fractieverdelingen in de range 50 tot 150 μm . Voor de nieuw te analyseren monsters voor BIS wordt een combinatie van beide systemen aangehouden, zodat ze geldig zijn ongeacht de gehanteerde indeling. Voor een uniforme verdeling worden voor alle grondsoorten dezelfde verdelingen aangehouden.

In Tabel 3 zijn de gehanteerde textuurklassen weergegeven en de laboratoriummethode die voor de fractiebepaling is gebruikt. De gebruikte laboratoriummethoden zijn beschreven in de ISO 11277 (2009). Uitgegaan wordt van de fracties ten opzichte van de minerale delen, waarvan de hoofdonderdelen als volgt worden benoemd:

- Lutum: 0 - 2 μm
- Silt: 2 - 50 μm
- Leem: 0 - 50 μm
- Zand: 50 - 2000 μm

De fractie < 63 μm wordt in het Chemisch Biologisch Laboratorium Bodem (CBLB) geanalyseerd volgens de pipet- en natte zeefmethode. De fractie 63 - 2000 μm wordt daarna in het Bodemfysisch Laboratorium verder geanalyseerd door middel van droog zeven.

In het laboratorium wordt voor de fracties < 63 μm de grond met waterstofperoxide voorbehandeld om aanwezige organische stof te oxideren. Daarna volgt een behandeling met zoutzuur om aanwezige carbonaten in oplossing te brengen. Voor ijzerrijke grond kan het gewenst zijn de korrelgrootteverdeling van de minerale delen zonder ijzeroxide te bepalen. Hierbij wordt het aanwezige ijzeroxide in oplossing gebracht. Na verwijdering van de opgeloste zouten wordt het monster door zeven in twee fracties verdeeld. De hoofdfractie met grovere deeltjes wordt gedroogd en gewogen en via zeven met verschillende maaswijdte onderverdeeld in subfracties en vervolgens nogmaals gewogen. De hoofdfractie met de kleinere deeltjes wordt onderverdeeld in subfracties op basis van verschil in bezinkingssnelheid. Hierbij wordt van een suspensie van het monster in een maatcilinder, na toevoeging van een peptisatiemiddel op verschillende tijdstippen en diepten, in de cilinder een monster gepipetteerd. Tijdstippen en diepten voor het pipetteren van bepaalde fracties worden met de wet van Stokes berekend. De gepipetteerde suspensie wordt ingedampt en gedroogd en door weging wordt het massapercentage van de gepipetteerde fractie bepaald.

Tabel 3*Gehanteerde fracties voor BIS en de gebruikte labmethode.*

| Textuurklasse (μm) | Gebruikte methode |
|---------------------------------|-------------------|
| <2 | Pipetmethode |
| 2-16 | Pipetmethode |
| 16-50 | Pipetmethode |
| 50-63 | Natte zeefmethode |
| 63-105 | Droge zeefmethode |
| 105-150 | Droge zeefmethode |
| 150-210 | Droge zeefmethode |
| 210-420 | Droge zeefmethode |
| 420-2000 | Droge zeefmethode |

2.4.2 Gloeiverlies

Het gloeiverlies is een maat voor het organisch stofgehalte van een grondmonster. Hoe groter het aandeel organisch materiaal, hoe groter het gloeiverlies zal zijn. In het laboratorium wordt het in het veld genomen verstoorde grondmonster gezeefd over een zeef met 2 mm maaswijdte. De fractie kleiner dan 2 mm wordt gedroogd bij 105 °C, gewogen en vervolgens gegloeid bij 550 °C. Het gloeiverlies w_{gv} wordt vervolgens berekend uit

$$w_{gv} = \frac{m_{105} - m_{550}}{m_{105} - m_0} \times 100\%$$

waarin:

- w_{gv} = gloeiverlies op basis van stoofdroge grond (%);
- m_0 = massa van het lege kroesje (g);
- m_{105} = massa van het kroesje met het stoofdroge monster (g);
- m_{550} = massa van het kroesje met het gegloeide monster (g).

Het organische stofgehalte is per definitie kleiner of gelijk aan het gloeiverlies. Het organische stofgehalte kan volgens de NEN 5754 bepaald worden door de gloeiverliesbepaling vergezeld te laten gaan van een lutumgehaltebepaling en een bepaling van het gehalte aan vrij ijzer. Het OS-gehalte wordt dan als volgt berekend:

$$w_{OS} = w_{gv} - 0.07 * L - 0.12 * Y$$

waarin:

- w_{OS} = organisch stofgehalte van stoofdroge grond (%);
- L = lutumgehalte (%);
- Y = gehalte aan vrij ijzer (%). (Alleen corrigeren bij >5%.)

2.4.3 Retentie- en onverzadigde waterdoorlatendheidskarakteristiek

De retentiekarakteristiek wordt bepaald met behulp van 3 verschillende laboratoriumopstellingen:

- Zandbak voor het bereik $h = 0$ tot -100 cm ($pF \leq 2$)
- Verdampingsopstelling voor het bereik $h = -10$ tot -700 cm ($1 \leq pF \leq 2,8$)
- Drukpanopstelling voor het bereik $h = -1000$ tot $h = -15000$ cm ($3 \leq pF \leq 4,2$)

De karakteristiek voor de onverzadigde waterdoorlatendheid wordt bepaald met behulp van de verdampingsopstelling voor het bereik $h = -50$ tot -700 cm ($1,7 \leq pF \leq 2,8$). De metingen vinden plaats in het bodemfysisch laboratorium van Wageningen UR onder strenge temperatuur- en vochtigheidscondities.

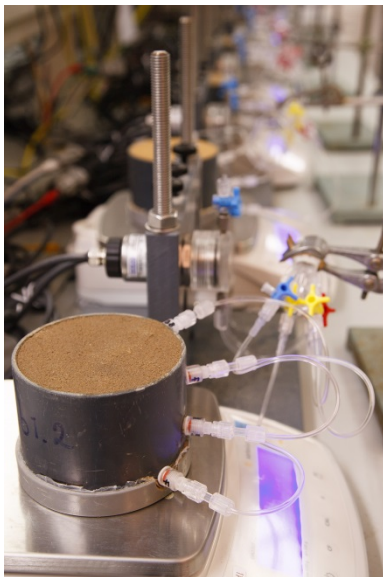
2.4.3.1 Zandbakmethode

Voor deze methode wordt een onverstoord gestoken grondmonster van 100 cm^3 in een roestvrijstalen monsterring ($h=5$ cm, $D \approx 5$ cm) aan de boven en onderzijde vlak afgewerkt. Op deze wijze ontstaat een monster met een nauwkeurig bekend grondvolume. Eén zijde wordt voorzien van een nylon-

gaasje. Het monster wordt met water verzadigd en vervolgens met het nylongaasje op de zandbak geplaatst. De zandbak bevat een fijn gesorteerde grondsoort die een hoge doorlatendheid combineert met een kleine poriediameter. De drukhoogte van de grond in de bak zelf blijft in het te meten gebied, van $h = 0$ tot ongeveer -100 cm, nagenoeg verzadigd. Door middel van een drainagebuis onder in de bak die verbonden is met een waterreservoir, kan het bodemwater op elke gewenste zuigspanning worden gebracht. Door het monster in contact te brengen met deze zuigspanning, zal het water in het monster deze zuigspanning overnemen en zal er water uit het monster stromen (desorptie). Zodra na herhaaldelijk wegen geconcludeerd wordt dat er geen water meer uit het monster stroomt en het monster dus in evenwicht is met de aangelegde zuigspanning, wordt het monster definitief gewogen. Vervolgens wordt een nieuwe zuigspanning aangelegd en wordt de procedure herhaald. Zodra alle zuigspanningen op deze wijze zijn doorgemeten, wordt het monster gedroogd bij 105 °C en wordt het opnieuw gewogen. Al het water is nu uit het monster verdwenen en de volumetrische vochtgehalten bij de aangelegde zuigspanningen kunnen worden berekend. De methode is beschreven in de ISO 11274 (1998).

2.4.3.2 Verdampingsmethode

De verdampingsmethode wordt gebruikt om een deel van de retentie- en onverzadigde waterdoorlatendheidskarakteristiek te bepalen. Voor deze methode (ISO 11275, 2004) wordt een onverstoord gestoken grondmonster van circa 600 cm³ in een PVC-monsterring ($h=8$ cm, $D\approx 10$ cm) aan de boven- en onderzijde vlak afgewerkt. Op deze wijze ontstaat een monster met een nauwkeurig bekend grondvolume. De onderzijde wordt afgesloten met een water- en luchtdichte bodemplaat. Het monster wordt met water verzadigd en vervolgens op een weegschaal geplaatst. Om verdamping mogelijk te maken, staat de bovenzijde bloot aan de omgevingslucht. De drukhoogte wordt op bekende tijdstippen in het monster gemeten met 4 tensiometers die op gelijke verticale afstanden worden geplaatst. Ook de tensiometerdoorgangen in de monsterring zijn lucht- en waterdicht afgesloten, zodat hierdoor geen verdamping kan optreden. Naast de drukhoogten bepaalt



Figuur 2.1 Verdampingsmethode.

men op dezelfde tijdstippen het totale gewicht van het monster. Hieruit berekent men de afname van het totale watergehalte door verdamping. Zodra de watergevulde tensiometers stoppen met werken, meestal in de buurt van de $h = -700$ tot -900 cm, bepaalt men het ovdroge gewicht van het monster, zodat het gemiddelde watergehalte op elk tijdstip is terug te rekenen.

Tevens bepaalt men de gemiddelde gemeten drukhoogte. Dit resulteert in de gemeten retentie-karakteristiek. De retentiekarakteristiek gebruikt men om, volgens een iteratieve procedure, de vochtgehalten per tensiometerhoogte te bepalen op basis van de gemeten drukhoogten. De

onverzadigde waterdoorlatendheid volgens Darcy kan nu berekend worden op basis van de verandering in watergehalte per tijdseenheid, de compartimenthoogte en de gradiënt van de stijghoogte in het monster. De data worden verkregen met een geautomatiseerde opstelling die door Wageningen UR in eigen beheer is ontwikkeld (zie Figuur 2.1).

2.4.3.3 Drukpanmethode

Met een hangende waterkolom, zoals aangebracht met de zandbakopstelling, kan een maximale theoretische zuigspanning van 1000 cm worden aangebracht. Vanaf dat punt zal het water gaan koken en is een betrouwbare meting niet meer mogelijk. Om toch bij grotere zuigspanningen te kunnen meten, wordt met een overdruk in plaats van een onderdruk gewerkt. Verschillende kleine verzadigde bodemonsters worden op een met water verzadigde keramische plaat geplaatst. De keramische plaat wordt vervolgens in een drukpan gemonteerd. De keramische plaat is aan de onderzijde afgesloten met een rubbermat. Tussen de plaat en de mat bevindt zich water. Door de plaat zit een afvoerbuisje naar de bovenzijde van de plaat, dat met een slangetje naar een punt buiten de drukpan wordt geleid. De onderzijde van het afvoerbuisje bevindt zich tussen de rubbermat en het keramiek en is daarmee in staat water naar buiten af te voeren dat door de poriën van de keramische plaat wordt getransporteerd. Door middel van een overdruk in de drukpan wordt er een waterpotentiaal aangebracht tussen het water in het monster en de buitenlucht. De atmosferische druk wordt via een dunne slang overgebracht van buiten de drukpan naar de afgesloten onderzijde van de keramische plaat. Door de fijne poriestructuur van de plaat is de overdruk niet in staat om de poriën die gevuld zijn met water leeg te drukken. Wel kan er via de watergevulde poriën watertransport plaatsvinden vanuit het monster door de plaat en het slangetje naar buiten. Zodra het monster in evenwicht is met de aangelegde druk, wordt de druk weggenomen en worden de monsters gewogen. Daarna worden ze gedroogd bij 105 °C en nogmaals gewogen. Om het volumetrisch vochtgehalte te kunnen bepalen, is dan wel nog de droge bulkdichtheid van een onverstoord monster nodig:

$$\theta = \frac{\rho_d}{\rho_l} w$$

waarin:

ρ_d = droge bulkdichtheid ($\text{kg}\cdot\text{m}^{-3}$);

ρ_l = dichtheid van water ($\text{kg}\cdot\text{m}^{-3}$);

w = watergehalte op gewichtsbasis en is gelijk het gewicht van het water in het monster gedeeld door het gewicht aan van de oven-droge grond ($\text{kg}\cdot\text{kg}^{-1}$).

Bij deze hoge zuigspanningen kunnen verstoorde grondmonsters worden gebruikt. De methode wordt gebruikt voor het meetbereik van $h = -1000$ tot $h = -15000$ cm ($3 \leq pF \leq 4,2$). De methode is beschreven in de ISO 11274 (1998).

2.4.4 Verzadigde waterdoorlatendheid

Een niet-verstoord, homogeen grondmonster in een ring wordt in een opstelling geplaatst. Het monster wordt geheel verzadigd met water. Boven op het grondmonster wordt een waterlaag met constante hoogte gehandhaafd. Bovendien wordt de onderzijde van het monster geheel verzadigd gehouden. Er wordt een constante stijghoogtegradiënt ingesteld door de uitstroomslang op een vaste positie te houden. Door de hoeveelheid uitstromend water per tijdseenheid te meten, kan de verzadigde waterdoorlatendheid K_s volgens de wet van Darcy worden bepaald:

$$k_s = \frac{V}{|\nabla H| \cdot \Delta t \cdot A}$$

waarin:

k_s = verzadigde waterdoorlatendheid ($\text{cm}\cdot\text{d}^{-1}$); 'd' stelt een geheel etmaal voor;

V = volume water dat gedurende Δt is uitgestroomd (cm^3);

$|\nabla H|$ = absolute hydraulische stijghoogtegradiënt ($\text{cm}\cdot\text{cm}^{-1}$);

A = oppervlakte van het grondmonster (cm^2);

Δt = tijd waarin het uitstromende water is gemeten (d).

Voor de meting wordt afgeweken van de NEN 5789 (1991). De NEN gaat uit van vrije uitstroom aan de onderzijde van het monster. Omdat in dat geval onverzadigde delen aan de onderzijde van het monster ontstaan en de te overwinnen cohesie- en adhesiekrachten aan de onderzijde ongelijk aan nul zijn, is de gemeten waterdoorlatendheid lager dan de werkelijke verzadigde waterdoorlatendheid. Door de onderzijde verzadigd te houden, wordt dit probleem ondervangen (Vos *et al.*, 1997).

2.4.5 Karakteristiek-parametrisering met Mualem-Van Genuchten

De metingen van de drukhoogten, vochtgehalten en tijd van de verschillende meetmethoden en de verzadigde waterdoorlatendheden zijn gebruikt om de retentie- en onverzadigde waterdoorlatendheids-karakteristiek te bepalen. Daarbij is in dit project gebruikgemaakt van het Mualem-Van Genuchten-model (Mualem, 1976, Van Genuchten, 1980). Voor het uitvoeren van de berekeningen en fitprocedure is in dit project een Excel-rekensheet ontwikkeld dat op strategische momenten gebruikmaakt van het RETC-programma (Van Genuchten *et al.*, 1991; Leij *et al.*, 1992). Het grote voordeel van deze werkwijze is dat de fitprocedure op een veel kleiner detailniveau geanalyseerd kan worden. Te denken valt daarbij aan uitbijters of berekende en gemeten gewichtsafnamen in de tijd. Vooral de prefit-fase, waarin de puntenwolk van de onverzadigde doorlatendheid wordt afgeleid, moet altijd kritisch door een expert worden beschouwd, omdat met name in het natte traject door modellering fouten kunnen ontstaan in de afgeleide gegevens vanwege beperkingen van het model, maar ook van de meetnauwkeurigheid. Bijlage 1 geeft een uitgebreidere weergave van het Excel-programma.

2.4.5.1 Prefit – De eerste Van Genuchten-retentiefit

De metingen van de drukhoogten en gemiddelde volumetrische vochtgehalten van de ruwe meetdata van de verdampingsmethode worden gebruikt om de Van Genuchten-retentiecurve voor de eerste keer te fitten. Deze gemiddelde fit wordt gebruikt om vochtgehalten te berekenen in elk compartiment van het bodemonmonster, ofwel op elke hoogte van de tensiometers en op elk tijdstip. Door de berekende vochtgehalten per compartiment te vermenigvuldigen met het volume van het monstercompartiment, ontstaat een berekende hoeveelheid water per compartiment. De som van deze hoeveelheden water moet gelijk zijn aan de totale gemeten hoeveelheid water in het monster. Als hierin een afwijking zit, worden de vochtgehalten van de retentiecurve aangepast. Op deze wijze wordt de fit door iteratie geoptimaliseerd. De prefits in dit project zijn, afhankelijk van de resultaten, uitgevoerd met een 1, 2 of 3 modale functie van Van Genuchten (Durner, 1992).

De geoptimaliseerde prefit wordt vervolgens gebruikt om de waterbeweging tussen de 4 bodemlagen in de tijd te berekenen. Met de vergelijking van Darcy worden vervolgens voor elke set van 2 tensiometers de doorlatendheden als functie van de drukhoogte berekend, resulterend in 3 data sets van 3 tensiometerparen. Deze methode is gebaseerd op de zogenaamde 'instantaneous profile method' en is bijvoorbeeld beschreven in Peters and Durner (2008). In het natte bereik kunnen in de praktijk door kleine meetfouten dh/dz -waarden, die dicht bij de waarde 1 liggen, resulteren in negatieve waarden van k , of in waarden die grote uitschieters vertonen. Deze waarden worden in dit project als uitbijters beschouwd en niet meegenomen in de verdere analyse. In de literatuur wordt in deze context veelvuldig gewezen op de onzekere uitkomsten van k - h -relaties in het natte gebied. Afhankelijk van de grondsoort is het in de praktijk daarom lastig om betrouwbare k - h -relaties te vinden in het gebied $h = 0$ tot -50 cm. Er zal daarom niet altijd een meting van de doorlatendheid berekend kunnen worden in het gebied $h = 0$ tot -10 cm. Hoewel kwaliteitsstatus A dit wel vereist, zijn de data wel opgenomen in BIS, maar is hiervan een melding gemaakt in het commentaarveld. Via aanvullende methoden zijn bepalingen van doorlatendheden in dit natte traject wel mogelijk, zoals via de sproeimethode of de druppel-infiltrometer, maar daar waren in dit project geen middelen voor beschikbaar.

2.4.5.2 Uiteindelijke Mualem-van Genuchten-fit

Samen met de metingen uit de zandbak-, drukpan- en verzadigde waterdoorlatendheidsmethode, worden de retentie- en 3 series met onverzadigde waterdoorlatendheidsdata uit de prefit gebruikt om de uiteindelijke Mualem-van Genuchten-fit uit te voeren. De uiteindelijke Van Genuchten pF-curve kan afwijken van de prefit pF-curve, omdat de uiteindelijke fit geoptimaliseerd is in combinatie met de doorlatendheidsdata, terwijl de prefit alleen gebaseerd is op vochtgehalten en drukhoogten. Bovendien is de uiteindelijke fit een 1-modale fit, terwijl de prefit vaak een hogere modaliteit heeft.

3 Resultaten

In dit hoofdstuk wordt een overzicht gegeven van de resultaten. Daarbij is een indeling gehanteerd die aansluit bij de in hoofdstuk 2 weergegeven opschalingseenheden. De resultaten worden weergegeven op monsterniveau en in 2 categorieën ingedeeld:

I Nieuwe monsters (100 stuks) genomen en geanalyseerd in de periode 2012-2014 die tezamen met profielbeschrijvingen en metagegevens fysiek zijn ondergebracht in BIS.

II Bestaande monsters in Priapus (91 stuks), waarvan:

- in Priapus geen, maar in BIS wel metagegevens aanwezig zijn (43 stuks). In dit project is daarmee een directe koppeling gemaakt. De gegevens moeten nog een aanpassing in de datastructuur en klasse-indelingen ondergaan, zodat zij op uniforme wijze in BIS ondergebracht kunnen gaan worden.
- in Priapus en BIS geen profielbeschrijvingen en metagegevens aanwezig zijn, maar waarvan wel literatuur is gevonden met metagegevens (48 stuks). In de tabel is de koppeling gelegd tussen de monsters in Priapus en de betreffende literatuur, zodat het overbrengen van de gecombineerde data naar BIS makkelijker kan worden uitgevoerd.

In Tabel 4 is een overzicht gegeven van de koppeling tussen de opschalingseenheden van Tabel 2 en de nieuwe monsternummers. Omdat, ondanks de strenge criteria voor de bepaling van de monsterlocaties (paragraaf 2.2.2), niet altijd exact de gewenste opschalingseenheden zijn aangetroffen, zijn sommige monsters ondergebracht in andere eenheden. Daartoe is Tabel 4 met enkele eenheden uitgebreid.

Tabel 4

Referentietabel met differentiatiemogelijkheden en de daarin beschikbare monsters.

| Afzettingsmilieu | Textuurklasse | Boven- of Ondergrond (Geocode) ^{d)} | MIN ^{a)} | Monster-naam | Monster-naam-datum | X-coördinaat (m) | Y-coördinaat (m) | |
|--|-------------------------------|--|---|--|------------------------------------|---------------------------|----------------------------|------------------|
| Glaciale en fluvio-glaciale afzettingen | keileem | B (500) | 10059,10060 | Ens11 | 26-6-2013 | 259885 | 467940 | |
| | | O | 10061,10062 10063,10064 | Ens12 Hoo2 | 26-6-2013 27-6-2013 | 259885 232493 | 467940 549592 | |
| | | B | 10079,10080 10087,10088 | Wou11 ^{b)} Raa11 ^{b)} | 16-4-2014 14-5-2014 | 86475 218895 | 394400 493210 | |
| Textuur eolische en sommige niet-eolische afzettingen: leemgehalte | Zeer sterk lemig zand | O | 10081,10082 10089,10090 10077,10078 | Wou12 ^{b)} Raa12 ^{b)} Rhe2 | 16-4-2014 14-5-2014 3-4-2014 | 86475 218895 198965 | 394400 493210 448105 | |
| | | Zandige leem | B | 10073,10074 | Gro11 | 3-4-2014 | 194130 | 423304 |
| | | | O | 10075,10076 | Gro12 | 3-4-2014 | 194130 | 423304 |
| | Uiterst fijn zand | B Marien (200) | 10067,10068 | Blo1N | 4-9-2013 | 192200 | 526690 | |
| | Matig fijn zand ^{c)} | B Eolisch (400) | 10037,10038 | Luy11 | 17-6-2013 | 150486 | 365497 | |
| Textuur eolische en sommige niet-eolische afzettingen: M50 zandfractie | Matig grof zand | O | 10045,10046 | Rog1 | 16-7-2013 | 183900 | 508200 | |
| | | Marien (200) | 10051,10052 | Ber1N | 10-7-2013 | 106130 | 520320 | |
| | | O | 10039,10040 | Luy12 | 17-6-2013 | 150486 | 365497 | |
| | | Fluviatiel (300) | 10053,10054 | Rek1N | 12-7-2013 | 248429 | 459637 | |
| | | B Eolisch (400) | 10033,10034 | Wel11 | 14-6-2013 | 204988 | 399621 | |
| | | | O | 10035,10036 | Wel12 | 14-6-2013 | 204988 | 399621 |
| | | | Eolisch (400) | 10069,10070 | Wy1 | 6-11-2013 | 177580 | 425845 |
| | | | B Antropogeen (600) | 10031,10032 10029,10030 | Zel1 Rhe1 | 10-6-2013 3-6-2013 | 198720 169620 | 412570 441340 |

| Afzetting- milieu | Textuur- klasse | Boven- of Ondergrond (Geocode) ^{d)} | MIN ^{a)} | Monster- naam | Monster- name- datum | X-coör- dinaat (m) | Y-coör- dinaat (m) | |
|---|---|--|---------------------|------------------|----------------------------|--------------------------|--------------------------|--------|
| Textuur niet- eolische afzettingen: lutumgehalte | Zeer grof zand | O | 10065,10066 | Sch1 | 1-7-2013 | 238852 | 442855 | |
| | | Fluviaal (300) | 10071,10072 | Kou1 | 6-11-2013 | 173972 | 470815 | |
| | Klei-arm zand | B Marien (200) | 10047,10048 | Oud11 | 18-7-2013 | 115885 | 537826 | |
| | | O | 10043,10044 | Ben12 | 16-7-2013 | 131684 | 524276 | |
| | | Marien (200) | 10049,10050 | Oud12 | 18-7-2013 | 115885 | 537826 | |
| | | O | 10055,10056 | Gor2N | 5-7-2013 | 208039 | 467912 | |
| | Kleiig zand | Fluviaal (300) | 10057,10058 | Gie1 | 9-7-2013 | 129600 | 422520 | |
| | | B | 10083,10084 | Ril11 | 16-4-2014 | 73174 | 382847 | |
| | | Marien (200) | 10091,10092 | Lau11 | 14-5-2014 | 215400 | 594350 | |
| | | O | 10085,10086 | Ril12 | 16-4-2014 | 73174 | 382847 | |
| | Zeer lichte zavel ^{c)} | Marien (200) | 10093,10094 | Lau12 | 14-5-2014 | 215400 | 594350 | |
| | | B Marien (200) | 10041,10042 | Ben11 | 16-7-2013 | 131684 | 524276 | |
| | Matig lichte zavel ^{c)} | B Marien (200) | 10021,10022 | PPO1 | 10-5-2012 | 166645 | 505600 | |
| | | O Marien (200) | 10001,10002 | Abb1 | 26-6-2012 | 75248 | 427879 | |
| | Zware zavel | B Fluviaal (300) | 10009,10010 | Cot1 | 23-5-2012 | 148307 | 446398 | |
| | | B Marien (200) | | | Niet aangetroffen | | | |
| | | O Marien (200) | | | Niet aangetroffen | | | |
| | | B Fluviaal (300) | | | Niet aangetroffen | | | |
| | | O Fluviaal (300) | 10011,10012 | Gor1 | 13-6-2012 | 208683 | 468149 | |
| | | O Fluviaal (300) | 10005,10006 | Bun12 | 6-6-2012 | 144560 | 452490 | |
| | | B Marien (200) | 10007,10008 | CK1 | 10-5-2012 | 171402 | 504777 | |
| | | O Marien (200) | 10019,10020 | Poo1 | 26-6-2012 | 69226 | 396699 | |
| | | O Marien (200) | 10017,10018 | Pon1 | 13-6-2012 | 132749 | 535189 | |
| | | Lichte klei | B Fluviaal (300) | 10027,10028 | Voo1 | 17-10-2012 | 207750 | 465610 |
| | O Fluviaal (300) | | 10003,10004 | Bun11 | 6-6-2012 | 144560 | 452490 | |
| | O Fluviaal (300) | | 10023,10024 | Ran11 | 16-5-2012 | 176290 | 439670 | |
| | O Fluviaal (300) | | 10015,10016 | Pan1 | 16-5-2012 | 200220 | 433880 | |
| | O Fluviaal (300) | | 10025,10026 | Ran12 | 16-5-2012 | 176290 | 439670 | |
| | O Marien (200) | | 10013,10014 | Hoo1 | 13-6-2012 | 125225 | 527770 | |
| | Gehalte aan organische stof bij moerige gronden en veengronden | Venige klei | B Moerig (100) | 10099,10100 | Nie1 | 28-5-2014 | 122550 | 458880 |
| B Moerig (100) | | | 10095,10096 | Kam11 | 28-5-2014 | 215400 | 594350 | |
| O Moerig (100) | | | 10097,10098 | Kam12 | 28-5-2014 | 215400 | 594350 | |

a) MIN = Monster Identificatie Nummer

b) Indeling gebaseerd op veldwaarneming

c) Extra aangetroffen klasse ten opzichte van de indeling in Knotters *et al.* (2011)

d) Code voor afzettingmilieu of ontwikkelingswijze van de horizont (zie Bijlage 3)

3.1 Veldgegevens

In Tabel 5 zijn enkele belangrijke veldgegevens weergegeven, zoals monsterdiepte, standaardpuntencode, grondwatertrap en grondwaterstanden (GHG en GLG). Meer gedetailleerde gegevens zijn terug te vinden in de database zelf.

Tabel 5

Monsterdiepte, profielgegevens volgens de standaardpuntencode, grondwatertrapcodering en de gemiddeld hoogste en laagste grondwaterstand op basis van de veldwaarnemingen; alles in cm ten opzichte van maaiveld.

| MIN ^{a)} | Bovenkant monster (cm-MV) | Onderkant monster (cm-MV) | Standaard- puntencode | Gt | GHG (cm-MV) | GLG (cm-MV) |
|-------------------|---------------------------------|---------------------------------|--------------------------|--------|----------------|----------------|
| 10001 | 40 | 50 | M5p235a | VIIo | 90 | 140 |
| 10002 | 40 | 50 | M5p235a | VIIo | 90 | 140 |
| 10003 | 5 | 15 | R5x315c | VIo | 70 | 150 |
| 10004 | 5 | 15 | R5x315c | VIo | 70 | 150 |
| 10005 | 45 | 55 | R5x315c | VIo | 70 | 150 |
| 10006 | 45 | 55 | R5x315c | VIo | 70 | 150 |
| 10007 | 5 | 15 | M5p315a | VIIo | 90 | 150 |
| 10008 | 5 | 15 | M5p315a | VIIo | 90 | 150 |
| 10009 | 10 | 20 | R5x235a | VIIId | 100 | 200 |
| 10010 | 10 | 20 | R5x235a | VIIId | 100 | 200 |
| 10011 | 40 | 50 | R5x232a | VIIIId | 160 | 260 |
| 10012 | 40 | 50 | R5x232a | VIIIId | 160 | 260 |
| 10013 | 60 | 70 | M5p235c/H | VIo | 60 | 160 |
| 10014 | 60 | 70 | M5p235c/H | VIo | 60 | 160 |
| 10015 | 30 | 40 | R5x315a | VIo | 60 | 160 |
| 10016 | 30 | 40 | R5x315a | VIo | 60 | 160 |
| 10017 | 50 | 60 | M5p235a | VIIo | 90 | 140 |
| 10018 | 50 | 60 | M5p235a | VIIo | 90 | 140 |
| 10019 | 35 | 45 | M5m311c | VIo | 50 | 120 |
| 10020 | 35 | 45 | M5m311c | VIo | 50 | 120 |
| 10021 | 5 | 15 | M5p235a | VIIo | 90 | 150 |
| 10022 | 5 | 15 | M5p235a | VIIo | 90 | 150 |
| 10023 | 10 | 20 | R5p235cp10 | VIo | 70 | 170 |
| 10024 | 10 | 20 | R5p235cp10 | VIo | 70 | 170 |
| 10025 | 40 | 50 | R5p235cp10 | VIo | 70 | 170 |
| 10026 | 40 | 50 | R5p235cp10 | VIo | 70 | 170 |
| 10027 | 5 | 15 | R5p315b | VIId | 70 | 190 |
| 10028 | 5 | 15 | R5p315b | VIId | 70 | 190 |
| 10029 | 5 | 15 | 4s512 | VIIIId | 300 | 400 |
| 10030 | 5 | 15 | 4s512 | VIIIId | 300 | 400 |
| 10031 | 25 | 35 | 4r513 | VIIId | 120 | 200 |
| 10032 | 25 | 35 | 4r513 | VIIId | 120 | 200 |
| 10033 | 20 | 30 | 2d512 | VIo | 75 | 170 |
| 10034 | 20 | 30 | 2d512 | VIo | 75 | 170 |
| 10035 | 65 | 75 | 2d512 | VIo | 75 | 170 |
| 10036 | 65 | 75 | 2d512 | VIo | 75 | 170 |
| 10037 | 10 | 20 | 4i432 | VIo | 65 | 170 |
| 10038 | 10 | 20 | 4i432 | VIo | 65 | 170 |
| 10039 | 35 | 45 | 4i432 | VIo | 65 | 170 |
| 10040 | 35 | 45 | 4i432 | VIo | 65 | 170 |
| 10041 | 10 | 20 | k4k4111a | VIo | 45 | 130 |
| 10042 | 10 | 20 | k4k4111a | VIo | 45 | 130 |
| 10043 | 45 | 55 | k4k4111a | VIo | 45 | 130 |
| 10044 | 45 | 55 | k4k4111a | VIo | 45 | 130 |
| 10045 | 60 | 70 | 5k4211a/F | Vbo | 30 | 130 |
| 10046 | 60 | 70 | 5k4211a/F | Vbo | 30 | 130 |
| 10047 | 30 | 40 | 4k4311c/H | IVu | 45 | 120 |

| MIN ^{a)} | Bovenkant monster (cm-MV) | Onderkant monster (cm-MV) | Standaard- puntencode | Gt | GHG (cm-MV) | GLG (cm-MV) |
|-------------------|---------------------------------|---------------------------------|--------------------------|--------|----------------|----------------|
| 10048 | 30 | 40 | 4k4311c/H | IVu | 45 | 120 |
| 10049 | 55 | 65 | 4k4311c/H | IVu | 45 | 120 |
| 10050 | 55 | 65 | 4k4311c/H | IVu | 45 | 120 |
| 10051 | 60 | 70 | 5k511 | VIIId | 115 | 220 |
| 10052 | 60 | 70 | 5k511 | VIIId | 115 | 220 |
| 10053 | 70 | 80 | 4i512 | VIo | 60 | 150 |
| 10054 | 70 | 80 | 4i512 | VIo | 60 | 150 |
| 10055 | 45 | 55 | R5x235c | VIIId | 90 | 200 |
| 10056 | 45 | 55 | R5x235c | VIIId | 90 | 200 |
| 10057 | 50 | 60 | R5x222c | VIIId | 90 | 190 |
| 10058 | 50 | 60 | R5x222c | VIIId | 90 | 190 |
| 10059 | 5 | 15 | mK4p225cg14 | Vad | 20 | 300 |
| 10060 | 5 | 15 | mK4p225cg14 | Vad | 20 | 300 |
| 10061 | 40 | 50 | mK4p225cg14 | Vad | 20 | 300 |
| 10062 | 40 | 50 | mK4p225cg14 | Vad | 20 | 300 |
| 10063 | 35 | 45 | K5p215c | Vad | 20 | 300 |
| 10064 | 35 | 45 | K5p215c | Vad | 20 | 300 |
| 10065 | 30 | 40 | 4k512 | VId | 70 | 200 |
| 10066 | 30 | 40 | 4k512 | VId | 70 | 200 |
| 10067 | 10 | 20 | 5k4111a | VIIId | 100 | 230 |
| 10068 | 10 | 20 | 5k4111a | VIIId | 100 | 230 |
| 10069 | 90 | 100 | 4s511 | VIIIId | 150 | 250 |
| 10070 | 90 | 100 | 4s511 | VIIIId | 150 | 250 |
| 10071 | 70 | 80 | 2i511 | VIIIId | 500 | 600 |
| 10072 | 70 | 80 | 2i511 | VIIIId | 500 | 600 |
| 10073 | 15 | 25 | 5x81 | VIIIId | 0 | 0 |
| 10074 | 15 | 25 | 5x81 | VIIIId | 0 | 0 |
| 10075 | 50 | 60 | 5x81 | VIIIId | 0 | 0 |
| 10076 | 50 | 60 | 5x81 | VIIIId | 0 | 0 |
| 10077 | 45 | 55 | 5x81 | VIIIId | 0 | 0 |
| 10078 | 45 | 55 | 5x81 | VIIIId | 0 | 0 |
| 10079 | 10 | 20 | 4s424 | VIIo | 85 | 180 |
| 10080 | 10 | 20 | 4s424 | VIIo | 85 | 180 |
| 10081 | 55 | 65 | 4s424 | VIIo | 85 | 180 |
| 10082 | 55 | 65 | 4s424 | VIIo | 85 | 180 |
| 10083 | 10 | 20 | 5k4212a | VIIo | 85 | 130 |
| 10084 | 10 | 20 | 5k4212a | VIIo | 85 | 130 |
| 10085 | 40 | 50 | 5k4212a | VIIo | 85 | 130 |
| 10086 | 40 | 50 | 5k4212a | VIIo | 85 | 130 |
| 10087 | 15 | 25 | 2q424 | Vbo | 35 | 160 |
| 10088 | 15 | 25 | 2q424 | Vbo | 35 | 160 |
| 10089 | 35 | 45 | 2q424 | Vbo | 35 | 160 |
| 10090 | 35 | 45 | 2q424 | Vbo | 35 | 160 |
| 10091 | 10 | 20 | 5k4212a | VIIo | 85 | 130 |
| 10092 | 10 | 20 | 5k4212a | VIIo | 85 | 130 |
| 10093 | 35 | 45 | 5k4212a | VIIo | 85 | 130 |
| 10094 | 35 | 45 | 5k4212a | VIIo | 85 | 130 |
| 10095 | 5 | 15 | R4m311c | IIIb | 30 | 90 |
| 10096 | 5 | 15 | R4m311c | IIIb | 30 | 90 |
| 10097 | 35 | 45 | R4m311c | IIIb | 30 | 90 |
| 10098 | 35 | 45 | R4m311c | IIIb | 30 | 90 |
| 10099 | 5 | 15 | v4c32l4 | Iib | 25 | 75 |
| 10100 | 5 | 15 | v4c32l4 | Iib | 25 | 75 |

a) MIN = Monster Identificatie Nummer

Gt = Grondwatertrap; GHG = Gemiddeld Hoogste Grondwaterstand; GLG = Gemiddeld Laagste Grondwaterstand

3.2 Textuur

In Tabel 6 zijn de gemeten textuurgegevens weergegeven. Kleine negatieve waarden in de tabel duiden op een fractie die lager is dan de aantoonbaarheidsgrens van circa 1%. Verder zijn er enkele bodemmonsters aanwezig waarvan de fracties < 63 µm niet volgens de geldende NEN- en ISO-normen geanalyseerd konden worden. Daarvan is in het onderschrift van de tabel melding gemaakt.

Tabel 6

Textuurgegevens in gewichtsprocenten van de minerale fractie kleiner dan 2000 µm.

| MIN ^{a)} | <2 | 2-16 | 16-50 | 50-63 | 63-105 | 105-150 | 150-210 | 210-420 | 420-2000 |
|-------------------|------|------|-------|-------|--------|---------|---------|---------|----------|
| 10001 | 14.5 | 9.1 | 11.7 | 24.6 | 38.3 | 0.8 | 0.3 | 0.3 | 0.4 |
| 10002 | 17.3 | 9.9 | 13.9 | 17.1 | 36.9 | 2.1 | 1.2 | 0.9 | 0.9 |
| 10003 | 25.2 | 19.2 | 17.5 | 2.6 | 6.8 | 6.5 | 10.0 | 10.6 | 1.6 |
| 10004 | 26.1 | 18.1 | 13.4 | 5.7 | 8.6 | 5.4 | 11.0 | 10.5 | 1.2 |
| 10005 | 19.6 | 16.5 | 16.2 | 2.4 | 8.0 | 5.0 | 11.5 | 20.5 | 0.4 |
| 10006 | 18.5 | 14.0 | 13.0 | 5.4 | 9.2 | 3.5 | 13.0 | 23.1 | 0.5 |
| 10007 | 25.2 | 20.4 | 23.0 | 7.0 | 19.6 | 2.8 | 0.9 | 1.1 | 0.1 |
| 10008 | 26.5 | 18.1 | 22.6 | 11.0 | 18.1 | 1.1 | 1.1 | 1.0 | 0.5 |
| 10009 | 16.6 | 10.3 | 7.6 | 3.4 | 11.4 | 14.1 | 17.6 | 11.9 | 7.1 |
| 10010 | 16.4 | 10.6 | 9.9 | 2.8 | 11.5 | 10.6 | 17.4 | 13.6 | 7.2 |
| 10011 | 18.3 | 15.6 | 19.2 | 2.1 | 12.0 | 16.6 | 11.6 | 4.4 | 0.2 |
| 10012 | 17.4 | 13.4 | 13.6 | 7.2 | 15.0 | 14.7 | 13.4 | 5.0 | 0.3 |
| 10013 | 39.3 | 20.1 | 22.6 | 5.1 | 8.7 | 1.4 | 0.7 | 0.9 | 1.1 |
| 10014 | 44.0 | 20.8 | 18.9 | 6.8 | 7.1 | 0.6 | 0.6 | 0.7 | 0.7 |
| 10015 | 30.8 | 30.2 | 23.5 | 5.7 | 4.9 | 2.0 | 1.1 | 1.2 | 0.7 |
| 10016 | 26.2 | 29.0 | 8.9 | 16.2 | 12.7 | 2.1 | 1.9 | 2.4 | 0.7 |
| 10017 | 25.5 | 13.4 | 21.6 | 9.7 | 20.3 | 5.4 | 1.1 | 2.5 | 0.4 |
| 10018 | 19.5 | 9.4 | 19.3 | 8.5 | 39.6 | 2.7 | 0.4 | 0.5 | 0.1 |
| 10019 | 26.2 | 14.6 | 30.1 | 10.4 | 13.4 | 1.8 | 1.1 | 1.6 | 0.9 |
| 10020 | 31.2 | 16.9 | 30.5 | 9.7 | 9.2 | 0.7 | 0.4 | 0.6 | 0.8 |
| 10021 | 16.4 | 6.9 | 13.2 | 2.2 | 40.1 | 19.1 | 0.8 | 0.7 | 0.7 |
| 10022 | 16.8 | 9.7 | 10.2 | 4.6 | 54.0 | 3.8 | 0.3 | 0.3 | 0.4 |
| 10023 | 27.0 | 0.0 | 36.1 | 1.9 | 9.7 | 6.9 | 6.9 | 8.1 | 3.4 |
| 10024 | 25.6 | 21.2 | 14.3 | 4.1 | 9.6 | 6.1 | 7.3 | 8.6 | 3.3 |
| 10025 | 30.2 | 16.5 | 15.4 | 6.3 | 5.0 | 7.5 | 4.6 | 8.1 | 6.4 |
| 10026 | 23.5 | 14.2 | 9.4 | 12.4 | 21.7 | 5.7 | 4.8 | 5.1 | 3.2 |
| 10027 | 30.4 | 26.4 | 12.0 | 3.8 | 6.8 | 5.1 | 8.3 | 6.3 | 0.8 |
| 10028 | 30.6 | 27.4 | 13.0 | 3.4 | 6.4 | 4.9 | 8.0 | 5.8 | 0.5 |
| 10029 | 5.7 | 1.8 | 4.4 | 0.8 | 4.6 | 5.8 | 14.9 | 37.8 | 24.2 |
| 10030 | 5.4 | 2.6 | 3.7 | 1.2 | 4.1 | 5.3 | 14.2 | 39.5 | 24.0 |
| 10031 | 5.4 | 4.7 | 3.9 | 1.5 | 3.9 | 4.8 | 16.3 | 42.8 | 16.6 |
| 10032 | 5.1 | 5.3 | 2.5 | 1.8 | 3.6 | 4.4 | 16.2 | 45.6 | 15.6 |
| 10033 | 1.0 | 1.1 | 0.2 | 0.1 | 1.2 | 4.6 | 21.8 | 55.1 | 14.8 |
| 10034 | 1.9 | 0.4 | 0.0 | 0.2 | 1.3 | 4.8 | 22.2 | 55.7 | 13.5 |
| 10035 | 0.6 | 0.5 | -0.2 | 0.1 | 1.2 | 6.4 | 27.2 | 56.4 | 7.8 |
| 10036 | 0.9 | 0.2 | -0.4 | 0.0 | 0.9 | 4.8 | 24.1 | 59.1 | 10.4 |
| 10037 | 4.6 | 1.6 | 2.9 | 2.3 | 11.4 | 15.1 | 19.4 | 33.7 | 9.0 |
| 10038 | 3.9 | 2.9 | 2.7 | 2.1 | 12.0 | 15.3 | 19.8 | 33.1 | 8.2 |
| 10039 | 1.4 | 1.2 | 1.1 | 0.4 | 1.9 | 2.5 | 8.6 | 73.0 | 9.8 |
| 10040 | 0.8 | 2.3 | 0.6 | 0.7 | 3.0 | 3.2 | 8.7 | 69.4 | 11.2 |
| 10041 | 10.5 | 6.9 | 6.3 | 7.5 | 65.3 | 2.5 | 0.2 | 0.4 | 0.3 |
| 10042 | 9.9 | 6.4 | 4.1 | 6.5 | 69.6 | 2.8 | 0.2 | 0.3 | 0.2 |
| 10043 | 1.3 | 2.3 | 0.0 | 1.6 | 88.3 | 5.9 | 0.2 | 0.1 | 0.2 |
| 10044 | 1.5 | 2.3 | 0.9 | 3.0 | 83.1 | 8.7 | 0.3 | 0.1 | 0.2 |
| 10045 | 0.4 | 1.3 | -0.7 | 0.1 | 0.6 | 1.5 | 17.7 | 73.6 | 5.5 |
| 10046 | 0.3 | 1.5 | -1.0 | 0.1 | 0.5 | 1.6 | 17.8 | 75.9 | 3.4 |
| 10047 | 5.4 | 2.4 | 4.3 | 2.1 | 12.4 | 21.9 | 27.9 | 23.0 | 0.6 |
| 10048 | 5.6 | 2.3 | 5.0 | 1.7 | 11.9 | 21.6 | 26.9 | 24.4 | 0.7 |
| 10049 | 2.9 | 0.6 | 2.0 | 0.8 | 8.0 | 40.8 | 42.7 | 2.1 | 0.1 |
| 10050 | 3.3 | 0.5 | 2.9 | 0.8 | 8.6 | 39.6 | 40.1 | 4.0 | 0.2 |

| MIN ^{a)} | <2 | 2-16 | 16-50 | 50-63 | 63-105 | 105-150 | 150-210 | 210-420 | 420-2000 |
|-------------------|------|------|-------|-------|--------|---------|---------|---------|----------|
| 10051 | 0.6 | 1.3 | -0.9 | 0.0 | 0.1 | 0.9 | 37.0 | 55.5 | 5.5 |
| 10052 | 0.2 | 1.2 | -1.0 | 0.0 | 0.1 | 0.9 | 36.0 | 56.2 | 6.4 |
| 10053 | 0.7 | 0.8 | -0.4 | 0.0 | 0.9 | 3.8 | 12.8 | 37.5 | 43.9 |
| 10054 | 0.3 | 1.7 | -0.9 | 0.1 | 1.0 | 4.4 | 15.6 | 43.4 | 34.4 |
| 10055 | 4.3 | 1.7 | 2.1 | 0.8 | 8.5 | 13.9 | 33.4 | 34.4 | 0.9 |
| 10056 | 2.9 | 1.3 | 2.0 | 0.4 | 6.2 | 11.2 | 29.0 | 45.4 | 1.7 |
| 10057 | 2.5 | 1.3 | 1.8 | 0.4 | 4.5 | 16.3 | 46.8 | 25.6 | 0.8 |
| 10058 | 1.9 | 0.7 | 0.5 | 0.2 | 4.7 | 17.3 | 50.3 | 23.8 | 0.5 |
| 10059 | 7.4 | 5.1 | 6.1 | 2.9 | 20.2 | 12.3 | 17.9 | 19.2 | 8.9 |
| 10060 | 7.3 | 4.6 | 6.1 | 3.2 | 20.7 | 12.2 | 17.8 | 19.2 | 8.9 |
| 10061 | 20.9 | 6.0 | 5.6 | 5.8 | 26.8 | 6.4 | 8.6 | 11.9 | 7.9 |
| 10062 | 19.0 | 6.1 | 3.6 | 9.3 | 26.6 | 6.6 | 8.6 | 12.0 | 8.1 |
| 10063 | 16.0 | 6.9 | 4.6 | 2.7 | 14.0 | 10.9 | 15.8 | 19.6 | 9.6 |
| 10064 | 15.2 | 6.6 | 5.2 | 2.4 | 13.1 | 11.7 | 16.7 | 20.1 | 8.9 |
| 10065 | 2.5 | 1.4 | 1.9 | 0.9 | 5.4 | 5.5 | 12.4 | 22.4 | 47.5 |
| 10066 | 1.9 | 1.7 | 2.6 | 1.3 | 7.0 | 7.1 | 16.0 | 28.5 | 33.8 |
| 10067 | 2.6 | 1.8 | 6.4 | 13.6 | 72.3 | 1.4 | 0.9 | 0.6 | 0.5 |
| 10068 | 2.2 | 2.0 | 5.7 | 10.0 | 77.3 | 1.2 | 0.8 | 0.5 | 0.3 |
| 10069 | 1.3 | 0.3 | 1.2 | 0.3 | 2.5 | 7.4 | 27.9 | 52.5 | 6.6 |
| 10070 | 1.0 | -0.3 | 1.0 | 0.1 | 2.0 | 8.1 | 31.2 | 50.4 | 6.5 |
| 10071 | 1.3 | 0.5 | 0.7 | 0.2 | 0.7 | 1.0 | 5.2 | 26.5 | 63.8 |
| 10072 | 1.0 | 0.7 | 0.8 | 0.2 | 0.6 | 0.8 | 4.6 | 25.6 | 65.7 |
| 10073 | 9.8 | 7.5 | 36.0 | 15.0 | 6.1 | 4.1 | 8.3 | 9.0 | 4.2 |
| 10074 | 9.9 | 7.3 | 38.1 | 12.8 | 6.5 | 4.0 | 8.0 | 9.1 | 4.3 |
| 10075 | 7.7 | 9.1 | 32.5 | 22.0 | 7.3 | 3.9 | 7.3 | 7.5 | 2.7 |
| 10076 | 8.4 | 8.6 | 36.4 | 15.1 | 7.9 | 4.2 | 7.9 | 8.3 | 3.0 |
| 10077 | 5.0 | 2.3 | 26.4 | 18.8 | 10.2 | 7.2 | 12.5 | 13.1 | 4.6 |
| 10078 | 7.7 | 4.6 | 27.8 | 26.6 | 5.7 | 3.5 | 5.5 | 9.8 | 8.8 |
| 10079 | 5.3 | 2.6 | 9.7 | 3.8 | 29.2 | 18.0 | 19.4 | 11.1 | 0.9 |
| 10080 | 5.2 | 2.5 | 11.0 | 4.5 | 28.5 | 17.8 | 18.9 | 10.2 | 0.8 |
| 10081 | 3.3 | 0.3 | 6.7 | 2.4 | 26.8 | 22.1 | 24.1 | 13.3 | 1.0 |
| 10082 | 3.7 | 0.6 | 7.4 | 6.5 | 32.4 | 19.2 | 18.7 | 10.5 | 0.9 |
| 10083 | 6.9 | 1.1 | 5.5 | 1.6 | 44.9 | 33.9 | 5.7 | 0.4 | 0.0 |
| 10084 | 7.1 | 1.3 | 4.9 | 1.8 | 43.6 | 35.1 | 5.7 | 0.4 | 0.0 |
| 10085 | 4.2 | 0.6 | 2.2 | 1.0 | 37.4 | 42.8 | 11.4 | 0.3 | 0.1 |
| 10086 | 5.9 | 1.8 | 3.9 | 1.5 | 43.6 | 36.7 | 5.9 | 0.5 | 0.1 |
| 10087 | 4.3 | 2.4 | 8.7 | 9.4 | 26.6 | 16.8 | 20.5 | 9.9 | 1.4 |
| 10088 | 4.4 | 3.1 | 8.1 | 5.2 | 28.1 | 17.7 | 21.4 | 10.5 | 1.6 |
| 10089 | 3.4 | 0.8 | 7.0 | 6.9 | 33.8 | 17.8 | 19.6 | 9.5 | 1.1 |
| 10090 | 3.2 | 0.8 | 8.0 | 8.1 | 29.5 | 20.4 | 21.4 | 8.1 | 0.8 |
| 10091 | 6.6 | 1.1 | 4.1 | 2.5 | 64.3 | 19.4 | 1.4 | 0.6 | 0.1 |
| 10092 | 6.6 | 1.1 | 4.8 | 2.0 | 64.7 | 18.9 | 1.3 | 0.5 | 0.1 |
| 10093 | 4.7 | 0.7 | 2.7 | 1.8 | 60.2 | 27.8 | 1.8 | 0.3 | 0.0 |
| 10094 | 6.2 | 1.3 | 2.8 | 2.0 | 51.0 | 33.4 | 2.7 | 0.4 | 0.1 |
| 10095 | 57.0 | 13.8 | 4.1 | 1.3 | 2.5 | 2.6 | 6.6 | 8.1 | 4.1 |
| 10096 | 55.1 | 12.9 | 3.7 | 2.1 | 2.9 | 3.0 | 7.3 | 8.8 | 4.2 |
| 10097 | 60.5 | 8.0 | 0.3 | 0.9 | 5.7 | 4.6 | 6.7 | 11.2 | 2.2 |
| 10098 | 65.3 | 7.8 | 0.5 | 1.2 | 3.9 | 2.7 | 4.1 | 8.5 | 6.1 |
| 10099 | 39.1 | 27.2 | 11.4 | 1.3 | 3.2 | 2.6 | 5.4 | 8.6 | 1.1 |
| 10100 | 38.8 | 28.3 | 10.2 | 1.6 | 2.9 | 2.6 | 6.5 | 8.4 | 0.7 |

a) MIN = Monster Identificatie Nummer

3.3 Dichtheid en gloeiverlies

In Tabel 7 is van de nieuwe monsters de droge bulkdichtheid en het gloeiverlies weergegeven.

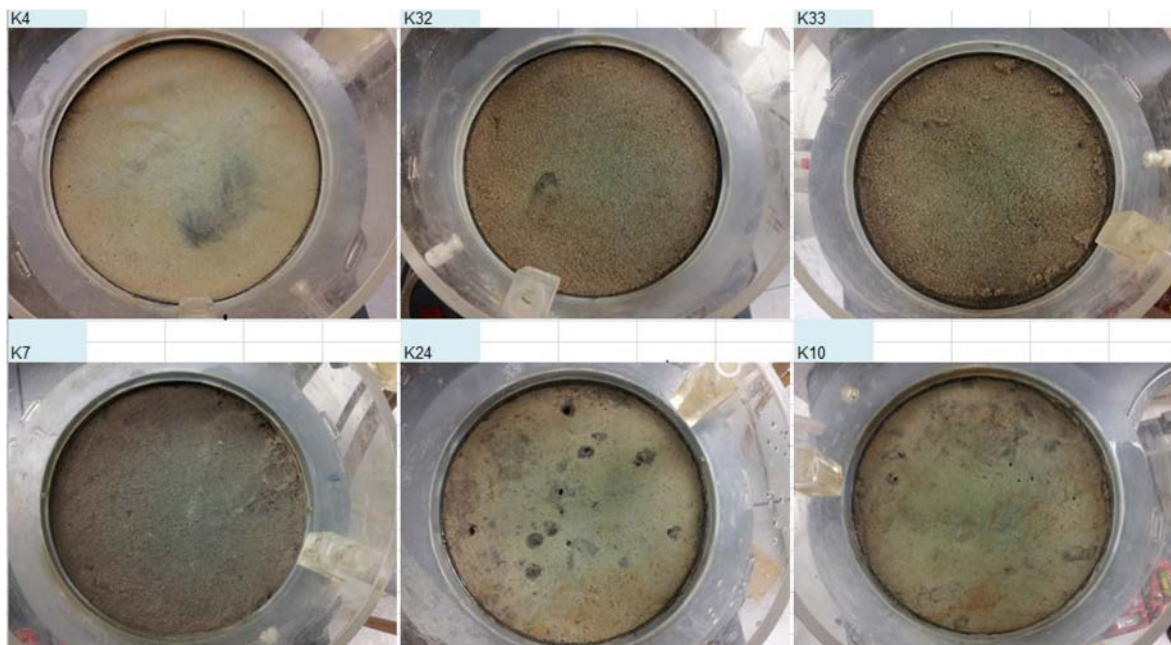
Tabel 7

Droge bulkdichtheid en gloeiverlies

| MIN ^{a)} | Dichtheid (g.cm ⁻³) | Gloeiverlies (%g.g ⁻¹) |
|-------------------|---------------------------------|------------------------------------|
| 10001 | 1.4804 | 3.90 |
| 10002 | 1.5227 | 4.12 |
| 10003 | 1.4268 | 6.03 |
| 10004 | 1.4735 | 5.79 |
| 10005 | 1.5702 | 3.33 |
| 10006 | 1.6550 | 2.79 |
| 10007 | 1.2874 | 4.72 |
| 10008 | 1.2862 | 3.89 |
| 10009 | 1.4585 | 4.76 |
| 10010 | 1.5233 | 3.99 |
| 10011 | 1.4306 | 3.97 |
| 10012 | 1.4216 | 3.78 |
| 10013 | 1.3198 | 5.11 |
| 10014 | 1.3774 | 4.19 |
| 10015 | 1.5135 | 2.54 |
| 10016 | 1.4809 | 4.90 |
| 10017 | 1.0950 | 5.51 |
| 10018 | 1.2225 | 3.64 |
| 10019 | 1.4866 | 4.68 |
| 10020 | 1.4420 | 4.34 |
| 10021 | 1.5567 | 3.29 |
| 10022 | 1.5763 | 2.63 |
| 10023 | 1.4186 | 5.74 |
| 10024 | 1.4484 | 4.24 |
| 10025 | 1.6028 | 3.74 |
| 10026 | 1.5222 | 4.46 |
| 10027 | 1.5755 | 5.50 |
| 10028 | 1.5623 | 5.28 |
| 10029 | 1.3058 | 2.26 |
| 10030 | 1.4254 | 2.37 |
| 10031 | 1.5012 | 2.08 |
| 10032 | 1.3155 | 2.11 |
| 10033 | 1.2190 | 4.53 |
| 10034 | 1.3017 | 4.91 |
| 10035 | 1.5988 | 0.92 |
| 10036 | 1.6748 | 0.83 |
| 10037 | 1.5861 | 3.85 |
| 10038 | 1.4695 | 3.61 |
| 10039 | 1.5589 | 0.43 |
| 10040 | 1.6253 | 0.53 |
| 10041 | 1.3445 | 5.12 |
| 10042 | 1.3974 | 4.72 |
| 10043 | 1.4015 | 0.50 |
| 10044 | 1.4034 | 1.06 |
| 10045 | 1.5114 | 0.31 |
| 10046 | 1.4739 | 0.32 |
| 10047 | 1.3532 | 3.96 |
| 10048 | 1.3509 | 4.12 |
| 10049 | 1.5765 | 0.56 |
| 10050 | 1.5523 | 0.91 |
| 10051 | 1.5282 | 0.22 |
| 10052 | 1.5800 | 0.24 |
| 10053 | 1.7055 | 0.27 |
| 10054 | 1.7057 | 0.21 |

| MIN ^{a)} | Dichtheid (g.cm ⁻³) | Gloeiverlies (%g.g ⁻¹) |
|-------------------|---------------------------------|------------------------------------|
| 10055 | 1.4390 | 0.85 |
| 10056 | 1.4820 | 1.19 |
| 10057 | 1.4525 | 0.81 |
| 10058 | 1.4416 | 0.73 |
| 10059 | 1.6186 | 3.67 |
| 10060 | 1.5209 | 3.78 |
| 10061 | 1.5088 | 2.13 |
| 10062 | 1.5483 | 2.26 |
| 10063 | 1.7884 | 1.22 |
| 10064 | 1.6856 | 1.36 |
| 10065 | 1.6808 | 0.95 |
| 10066 | 1.6390 | 0.84 |
| 10067 | 1.3861 | 1.90 |
| 10068 | 1.3960 | 2.35 |
| 10069 | 1.5851 | 0.49 |
| 10070 | 1.5286 | 0.57 |
| 10071 | 1.5149 | 0.43 |
| 10072 | 1.5402 | 0.42 |
| 10073 | 1.5631 | 2.54 |
| 10074 | 1.5844 | 2.81 |
| 10075 | 1.2966 | 1.77 |
| 10076 | 1.5487 | 1.88 |
| 10077 | 1.5058 | 1.50 |
| 10078 | 1.5970 | 1.83 |
| 10079 | 1.4214 | 3.14 |
| 10080 | 1.4116 | 3.33 |
| 10081 | 1.4891 | 1.69 |
| 10082 | 1.5139 | 1.19 |
| 10083 | 1.5768 | 1.98 |
| 10084 | 1.6454 | 2.14 |
| 10085 | 1.5719 | 1.50 |
| 10086 | 1.6808 | 1.62 |
| 10087 | 1.3337 | 8.10 |
| 10088 | 1.3364 | 7.95 |
| 10089 | 1.4484 | 2.73 |
| 10090 | 1.5132 | 3.67 |
| 10091 | 1.5753 | 3.38 |
| 10092 | 1.5502 | 2.05 |
| 10093 | 1.6038 | 1.04 |
| 10094 | 1.5585 | 2.25 |
| 10095 | 0.6498 | 28.45 |
| 10096 | 0.6447 | 28.46 |
| 10097 | 0.6407 | 43.72 |
| 10098 | 0.5189 | 36.12 |
| 10099 | 0.8615 | 29.58 |
| 10100 | 0.8752 | 28.23 |

a) MIN = Monster Identificatie Nummer



Figuur 3.1 Enkele monsters van de meetopstelling voor de verzadigde waterdoorlatendheid

3.4 Mualem-Van Genuchten-parameters van de prefit

In veel gevallen bleek het gewenst om een 2- of 3-modale Van Genuchten-curve te hanteren in de prefit. Omdat de prefit alleen is gebruikt om watergehaltes te schatten bij de gemeten drukhoogten en vervolgens in de tweede stap de uiteindelijke Mualem-van Genuchten-optimalisatie is uitgevoerd, worden de tussenresultaten hier niet vermeld. De prefit is per bodemmonster opgeslagen in de afzonderlijke Excelbestanden.

3.5 Mualem-Van Genuchten-parameters van de eindfit

In Tabel 8 zijn de Mualem-Van Genuchten-parameters gegeven van de eindfit. De verzadigde waterdoorlatendheid van de fit (K_s^s) is doorgaans (veel) kleiner dan de gemeten doorlatendheid bij verzadiging (K_s^m) als gevolg van de invloed van de macroporiën die in de fit niet, maar in de directe meting wel een grote rol spelen.

Tabel 8

De Mualem-Van Genuchten-parameters die zijn vastgesteld op basis van alle beschikbare meetgegevens van drukhoogten en vochtgehalten. In de rechterkolom is tevens de gemeten verzadigde waterdoorlatendheid (K_s^m) gegeven. Verder is uitgegaan van $m = 1-1/n$.

| MIN ^{a)} | Θ_r ($\text{cm}^3 \cdot \text{cm}^{-3}$) | Θ_s ($\text{cm}^3 \cdot \text{cm}^{-3}$) | α (cm^{-1}) | n (-) | L (-) | $K_s^{s\ b)}$ ($\text{m} \cdot \text{d}^{-1}$) | $K_s^{m\ b)}$ ($\text{m} \cdot \text{d}^{-1}$) |
|-------------------|--|--|----------------------------------|------------|------------|---|---|
| 10001 | 0.000000 | 0.450972 | 0.008174 | 1.187610 | 3.037784 | 1.6 | 259.8 |
| 10002 | 0.000000 | 0.437636 | 0.004913 | 1.213351 | 5.902848 | 0.3 | 457.8 |
| 10003 | 0.000000 | 0.476000 | 0.018850 | 1.129398 | 3.966555 | 15.5 | 305.4 |
| 10004 | 0.000000 | 0.475000 | 0.038870 | 1.108804 | -0.414785 | 21.4 | 699.9 |
| 10005 | 0.000000 | 0.395037 | 0.009739 | 1.189868 | 14.007813 | 1.1 | 390.3 |
| 10006 | 0.000000 | 0.396618 | 0.028034 | 1.132916 | 7.475197 | 42.6 | 1119.3 |
| 10007 | 0.000000 | 0.425429 | 0.011994 | 1.146787 | 6.983435 | 7.2 | 1550.9 |
| 10008 | 0.000000 | 0.452981 | 0.003921 | 1.186049 | 11.557163 | 0.8 | 1464.2 |
| 10009 | 0.000000 | 0.400000 | 0.013502 | 1.179250 | 3.584879 | 2.1 | 1693.7 |
| 10010 | 0.000000 | 0.410000 | 0.006411 | 1.223154 | 7.271316 | 1.5 | 795.0 |
| 10011 | 0.041862 | 0.480000 | 0.051243 | 1.255263 | 3.970637 | 658.7 | 1249.5 |
| 10012 | 0.000000 | 0.427583 | 0.015653 | 1.274562 | 4.368854 | 28.6 | 866.3 |
| 10013 | 0.000000 | 0.555306 | 0.045474 | 1.090902 | 11.750864 | 58.3 | 1438.3 |
| 10014 | 0.000000 | 0.510000 | 0.015730 | 1.104335 | 22.098196 | 8.8 | 1143.0 |
| 10015 | 0.000000 | 0.430000 | 0.051644 | 1.087413 | 4.696373 | 77.5 | 1096.7 |
| 10016 | 0.000000 | 0.440000 | 0.014640 | 1.131559 | -2.912670 | 3.8 | 1726.9 |
| 10017 | 0.000000 | 0.586000 | 0.009417 | 1.190376 | 0.539997 | 1.7 | 154.9 |
| 10018 | 0.000000 | 0.592036 | 0.003484 | 1.260830 | 5.327617 | 0.3 | 60.0 |
| 10019 | 0.000000 | 0.461102 | 0.002178 | 1.258033 | 11.089525 | 0.0 | 265.9 |
| 10020 | 0.000000 | 0.454732 | 0.021447 | 1.136542 | 13.492558 | 10.5 | 719.4 |
| 10021 | 0.000000 | 0.392055 | 0.003903 | 1.235306 | 11.186869 | 1.9 | 67.4 |
| 10022 | 0.000000 | 0.417063 | 0.007771 | 1.254838 | 5.557662 | 7.5 | 1266.5 |
| 10023 | 0.000000 | 0.433076 | 0.004504 | 1.222709 | 6.311427 | 0.1 | 82.1 |
| 10024 | 0.000000 | 0.425029 | 0.003595 | 1.235545 | 6.745672 | 0.1 | 113.1 |
| 10025 | 0.000000 | 0.415059 | 0.003065 | 1.164545 | 4.584957 | 0.1 | 2138.3 |
| 10026 | 0.000000 | 0.431522 | 0.012939 | 1.110840 | -1.048587 | 1.7 | 180.5 |
| 10027 | 0.000000 | 0.457540 | 0.050320 | 1.090172 | 4.300061 | 46.4 | 275.8 |
| 10028 | 0.000000 | 0.455915 | 0.039173 | 1.090762 | 0.000100 | 19.2 | 2080.4 |
| 10029 | 0.093672 | 0.401735 | 0.023232 | 2.018099 | 0.212271 | 15.5 | 623.0 |
| 10030 | 0.082498 | 0.430000 | 0.058942 | 1.611261 | -0.559575 | 48.9 | 764.8 |
| 10031 | 0.099225 | 0.448135 | 0.033058 | 2.000000 | -1.133092 | 17.2 | 35.2 |
| 10032 | 0.096300 | 0.390000 | 0.025149 | 1.800000 | -0.076869 | 10.5 | 230.5 |
| 10033 | 0.104572 | 0.470000 | 0.033932 | 2.208751 | 0.193827 | 90.1 | 1198.1 |
| 10034 | 0.101767 | 0.480000 | 0.031143 | 2.020320 | -0.061949 | 39.8 | 1226.2 |
| 10035 | 0.050000 | 0.314000 | 0.024214 | 2.397038 | -0.724922 | 1.5 | 116.9 |
| 10036 | 0.040000 | 0.340000 | 0.023827 | 1.700000 | -0.392968 | 6.7 | 112.5 |
| 10037 | 0.119198 | 0.406000 | 0.014051 | 2.000000 | 1.899944 | 10.5 | 72.6 |
| 10038 | 0.107420 | 0.410000 | 0.013855 | 2.000000 | 0.900089 | 11.0 | 349.3 |
| 10039 | 0.036623 | 0.322113 | 0.030908 | 3.000000 | -0.997628 | 3.5 | 145.2 |
| 10040 | 0.071432 | 0.305919 | 0.025292 | 3.000000 | -0.275297 | 24.4 | 83.7 |
| 10041 | 0.132366 | 0.480000 | 0.011273 | 1.612448 | 5.552503 | 22.9 | 84.7 |
| 10042 | 0.080354 | 0.490000 | 0.008823 | 1.475626 | 7.144081 | 11.8 | 540.1 |
| 10043 | 0.035469 | 0.420000 | 0.009157 | 5.705278 | 0.232504 | 4.2 | 58.5 |
| 10044 | 0.070634 | 0.460000 | 0.009242 | 5.805063 | -0.146651 | 9.4 | 14.7 |
| 10045 | 0.000000 | 0.379815 | 0.027596 | 5.607569 | -0.974542 | 2.8 | 1253.2 |
| 10046 | 0.043010 | 0.380000 | 0.031225 | 5.500000 | -0.721732 | 13.1 | 1161.9 |
| 10047 | 0.080532 | 0.465045 | 0.015508 | 1.474650 | 6.387758 | 55.5 | 73.2 |
| 10048 | 0.102886 | 0.459852 | 0.012999 | 1.715768 | 4.174926 | 32.9 | 191.1 |
| 10049 | 0.043896 | 0.310000 | 0.015049 | 3.251305 | -0.041415 | 3.6 | 288.7 |
| 10050 | 0.041553 | 0.340000 | 0.014402 | 2.682156 | 1.079650 | 3.9 | 40.2 |
| 10051 | 0.050900 | 0.361058 | 0.031147 | 5.777075 | -0.749332 | 55.2 | 1238.0 |
| 10052 | 0.028835 | 0.345062 | 0.028783 | 5.065705 | -0.766187 | 13.4 | 1239.6 |
| 10053 | 0.020577 | 0.286682 | 0.034872 | 4.064356 | -0.856990 | 2.0 | 463.7 |
| 10054 | 0.032030 | 0.310000 | 0.019391 | 5.024249 | -0.804548 | 4.0 | 670.9 |
| 10055 | 0.040063 | 0.345684 | 0.022761 | 2.008150 | -0.016092 | 8.5 | 241.0 |
| 10056 | 0.047393 | 0.378171 | 0.026100 | 2.556275 | 0.198126 | 21.5 | 665.0 |
| 10057 | 0.030565 | 0.395000 | 0.021618 | 4.190625 | 0.360432 | 26.8 | 346.7 |

| MIN ^{a)} | Θ_r (cm ³ .cm ⁻³) | Θ_s (cm ³ .cm ⁻³) | α (cm ⁻¹) | n (-) | L (-) | Ks^s ^{b)} (m.d ⁻¹) | Ks^m ^{b)} (m.d ⁻¹) |
|-------------------|--|--|---------------------------------|------------|------------|--|--|
| 10058 | 0.033983 | 0.385000 | 0.022221 | 4.747635 | -0.280765 | 31.4 | 177.4 |
| 10059 | 0.000000 | 0.395808 | 0.009614 | 1.286788 | 6.331613 | 10.7 | 378.3 |
| 10060 | 0.000000 | 0.408446 | 0.010762 | 1.294969 | 3.661327 | 12.9 | 174.5 |
| 10061 | 0.000000 | 0.417939 | 0.003448 | 1.142355 | 3.855992 | 0.2 | 7.4 |
| 10062 | 0.000000 | 0.427827 | 0.003373 | 1.148864 | 7.868708 | 0.2 | 84.0 |
| 10063 | 0.000000 | 0.281122 | 0.020113 | 1.187284 | -0.832973 | 4.9 | 6.6 |
| 10064 | 0.010636 | 0.300000 | 0.023570 | 1.217745 | 5.205625 | 34.7 | 18.4 |
| 10065 | 0.041794 | 0.284654 | 0.040404 | 1.662751 | 0.250227 | 266.8 | 145.8 |
| 10066 | 0.048044 | 0.300000 | 0.039906 | 1.847285 | -0.326950 | 105.6 | 340.9 |
| 10067 | 0.049876 | 0.483641 | 0.006815 | 3.823948 | 0.830086 | 8.2 | 88.1 |
| 10068 | 0.057229 | 0.480000 | 0.008265 | 3.064624 | 1.136109 | 30.2 | 107.3 |
| 10069 | 0.037345 | 0.350000 | 0.026255 | 5.576863 | -0.849298 | 13.8 | 533.7 |
| 10070 | 0.034034 | 0.340000 | 0.025407 | 4.818143 | -0.599885 | 22.6 | 1137.8 |
| 10071 | 0.025933 | 0.340463 | 0.052121 | 3.050017 | -1.142803 | 8.9 | 2681.9 |
| 10072 | 0.038447 | 0.338320 | 0.046111 | 4.615859 | -0.999048 | 35.1 | 2664.4 |
| 10073 | 0.038666 | 0.389631 | 0.007895 | 1.419464 | 0.595961 | 2.5 | 1366.0 |
| 10074 | 0.056397 | 0.373680 | 0.003617 | 1.610946 | 2.352115 | 1.0 | 1304.1 |
| 10075 | 0.035062 | 0.405453 | 0.007492 | 1.500907 | 2.176377 | 9.9 | 441.2 |
| 10076 | 0.091988 | 0.487044 | 0.008479 | 1.863352 | 0.551994 | 16.7 | 7.4 |
| 10077 | 0.064792 | 0.390000 | 0.007211 | 1.735346 | 3.468448 | 34.3 | 22.5 |
| 10078 | 0.081224 | 0.361228 | 0.006684 | 2.338892 | 1.912414 | 45.9 | 12.7 |
| 10079 | 0.068642 | 0.412000 | 0.008324 | 1.779788 | 2.236931 | 10.4 | 1071.1 |
| 10080 | 0.062638 | 0.431000 | 0.014781 | 1.557488 | 1.394848 | 41.6 | 26.6 |
| 10081 | 0.063010 | 0.410000 | 0.013028 | 1.709011 | 0.919393 | 61.3 | 54.2 |
| 10082 | 0.065112 | 0.389417 | 0.008098 | 1.889165 | 1.357510 | 17.0 | 101.4 |
| 10083 | 0.086160 | 0.360000 | 0.010321 | 1.724363 | 2.361924 | 1.7 | 3.6 |
| 10084 | 0.096441 | 0.360000 | 0.009195 | 1.766291 | 3.573490 | 2.3 | 7.5 |
| 10085 | 0.078679 | 0.348531 | 0.012891 | 1.723542 | -0.270576 | 1.2 | 1.5 |
| 10086 | 0.078216 | 0.346277 | 0.013847 | 1.628116 | -1.001202 | 1.0 | 1.1 |
| 10087 | 0.000000 | 0.487427 | 0.007714 | 1.237043 | 8.843949 | 11.9 | 939.7 |
| 10088 | 0.000000 | 0.480000 | 0.006166 | 1.237493 | 2.669459 | 3.5 | 14.5 |
| 10089 | 0.000000 | 0.460000 | 0.006339 | 1.311151 | 1.744644 | 9.5 | 44.5 |
| 10090 | 0.000000 | 0.435000 | 0.003989 | 1.465165 | 2.850440 | 3.0 | 13.3 |
| 10091 | 0.095008 | 0.371000 | 0.009113 | 2.450403 | 0.939675 | 1.7 | 79.7 |
| 10092 | 0.090854 | 0.370000 | 0.009520 | 2.232756 | 1.457228 | 3.5 | 81.8 |
| 10093 | 0.106499 | 0.388151 | 0.009223 | 2.040044 | 4.259281 | 6.4 | 16.7 |
| 10094 | 0.113365 | 0.378000 | 0.009697 | 2.999150 | 1.108878 | 5.7 | 78.4 |
| 10095 | 0.000000 | 0.710000 | 0.020017 | 1.137665 | 6.329056 | 6.4 | 823.5 |
| 10096 | 0.000000 | 0.710000 | 0.028113 | 1.117878 | 18.586666 | 156.7 | 681.0 |
| 10097 | 0.000000 | 0.790000 | 0.014338 | 1.107252 | 24.285676 | 63.8 | 204.5 |
| 10098 | 0.000000 | 0.780000 | 0.025997 | 1.087423 | 13.241214 | 42.8 | 12.9 |
| 10099 | 0.000000 | 0.658400 | 0.012944 | 1.112651 | 8.298246 | 19.2 | 54.7 |
| 10100 | 0.000000 | 0.629800 | 0.020838 | 1.100764 | 16.876455 | 192.1 | 107.0 |

a) MIN = Monster Identificatie Nummer

b) Tijdens de meting van de verzadigde waterdoorlatendheid hebben macroporiën, zoals wormgaten en wortelkanalen, grote invloed op de resultaten. Met de verdampingsmethode worden doorlatendheden afgeleid in het drukhoogtegebied $h < -50$ cm, waardoor de invloed van de macroporiën onvoldoende wordt meegenomen. Het effect van macroporiën komt daarom ook onvoldoende tot uitdrukking in de Mualem-Van Genuchten-fit. De werkelijk gemeten verzadigde doorlatendheid Ks^m kan daarom veel groter zijn dan de modelparameter Ks^s .

3.6 Koppeling extra monsters Priapus met metadata

Behalve de in de periode 2012-2014 verworven nieuwe data, zijn er in Priapus al bodemfysische data van hoge kwaliteit aanwezig. Van de meeste monsters zijn metagegevens, zoals profielbeschrijvingen en grondwaterstanden, terug te vinden in de BIS-database. Van andere monsters is dat niet het geval, maar is er literatuur gevonden die relevante metadata bevatten.

In Tabel 9 is een overzicht gegeven van bestaande monsters in Priapus, waarvan:

- in Priapus geen, maar in BIS wel metagegevens aanwezig zijn (43 stuks). In dit project is daarmee een directe koppeling gemaakt. De gegevens moeten nog een aanpassing in de datastructuur en klasse-indelingen ondergaan, zodat zij op uniforme wijze in BIS ondergebracht kunnen worden.
- in Priapus en BIS geen profielbeschrijvingen en metagegevens aanwezig zijn, maar waarvan wel literatuur is gevonden met metagegevens (48 stuks). In de tabel is de koppeling gelegd tussen de monsters in Priapus en de betreffende literatuur, zodat het overbrengen van de gecombineerde data naar BIS makkelijker kan worden uitgevoerd.

Tabel 9

Bestaande Priapus-monsters, met koppeling aan metadata uit BIS en/of literatuur.

| Afzettingsmilieu | Textuurklasse | Boven- of Onder-Grond (B/O) | MIN ^{a)} | X-coördinaat | Y-coördinaat | Literatuur |
|-----------------------------|---------------------------|-----------------------------|-------------------|--------------|------------------------------|-------------------------------|
| Moerig -100 | Bosveen | O | 1686, 1690 | 117250 | 461400 | |
| | Kleilig veen | B | 1684, 1685 | 117250 | 461400 | |
| | | | 1692, 1693 | 117600 | 461125 | |
| | Mesotroof en eutroof veen | O | 1645, 1646 | 120075 | 447200 | |
| | | | 1650 | 119600 | 446850 | |
| | Riet-zeggeveen | O | 1687 | 117250 | 461400 | |
| | | | 1695 | 117600 | 461125 | |
| | Venig zand | B | 75 | 221000 | 522000 | Dodewaard, 1997 |
| | | | 1830 | 253000 | 460000 | |
| | Zandige veen en veen | B | 35, 36 | 223504 | 459500 | Kleijer, 2000 |
| | | | O | 1859 | 227000 | 556000 |
| | Zeer fijn zand | B | 1614 | 251200 | 569025 | |
| | | | B | 1956 | 120430 | 446510 |
| | Onbekend | O | 1943, 1944 | 117350 | 461150 | Beuving <i>et al.</i> , 1996 |
| 1945, 1946, 1947 | | | 117250 | 461400 | Beuving <i>et al.</i> , 1996 | |
| 1957 | | | 120430 | 446510 | Bles <i>et al.</i> , 1969 | |
| Mariene afzettingen -200 | Lichte klei | B | 1663, 1664 | 49300 | 398000 | |
| | | | B | 1651, 1653 | 43650 | 398875 |
| | Matig lichte zavel | O | 1622 | 46350 | 401075 | |
| | | | 1654 | 43650 | 398875 | |
| | | | 1662 | 223225 | 602075 | Kamping <i>et al.</i> , 1968 |
| | Matig zware klei | B | 1667, 1668 | 273300 | 579650 | Klungel, 1970 |
| | | | O | 1665, 1666 | 49300 | 398000 |
| | Uiterst fijn zand | O | 1670 | 273300 | 579650 | Klungel, 1970 |
| | | | 1624 | 46350 | 401075 | |
| | Zeer lichte zavel | B | 1657, 1658 | 223225 | 602075 | Kamping <i>et al.</i> , 1968 |
| | | | O | 1655, 1656 | 43650 | 398875 |
| | Zeer zware klei | O | 1659, 1660, 1661 | 223225 | 602075 | Kamping <i>et al.</i> , 1968 |
| | | | B | 1672 | 174300 | 583450 |
| | Zware zavel | B | 1669, 1671 | 273300 | 579650 | Klungel, 1970 |
| O | | | 1673, 1674 | 174300 | 583450 | Cnossen <i>et al.</i> , 1965 |
| Mariene afzettingen -200 | Onbekend | B | 1621 | 46350 | 401075 | |
| | | | 1941, 1942 | 103408 | 407700 | Te Riele <i>et al.</i> , 1968 |
| | | | 1949, 1950, 1951 | 179833 | 577213 | Hoving <i>et al.</i> , 2006 |

| Afzettingen- milieu | Textuurklasse | Boven- of Onder- Grond (B/O) | MIN ^{a)} | X-coör- dinaat | Y-coör- dinaat | Literatuur |
|---|-------------------------------------|------------------------------------|---------------------|-------------------|-------------------|--|
| Fluviatiele afzettingen -300 | Matig lichte zavel | B | 29, 30 | 224620 | 460325 | Kleijer, 2000 |
| | Matig zware klei | B | 1126 | 144829 | 428998 | Van der Sluys, 1956 |
| | | | 1611 | 170875 | 445200 | |
| | Zeer fijn tot matig fijn zand | B | 23, 24, 25 | 223965 | 460246 | Kleijer, 2000 |
| | | | 60 | 260000 | 491000 | |
| | Zeer fijn? zand | O | 37 | 223504 | 459500 | Kleijer, 2000 |
| | | | 11 | 158000 | 397000 | Bles <i>et al.</i> , 1975, 1976 |
| | Zeer grof? zand | O | 10 | 158000 | 397000 | Bles <i>et al.</i> , 1975, 1976 |
| | | | 513 | 123000 | 443000 | Bles <i>et al.</i> , 1976 |
| | Zeer zware klei | B | 1626 | 161025 | 428730 | Scholten <i>et al.</i> , 1990 |
| 1643 | | | 120075 | 447200 | | |
| Onbekend | O | 1644 | 120075 | 447200 | | |
| Eolische en fluvio- periglaciale afzettingen -400 | Onbekend | O | 1954 | 144696 | 429023 | Salm, C. van der <i>et al.</i> , 2006 |
| | Matig fijn zand | O | 1612, 1613 | 170875 | 445200 | |
| | Zeer fijn tot matig fijn zand | O | 27, 28 | 223693 | 459325 | Kleijer, 2000 |
| | | | 119 | 179343 | 464441 | Elbers <i>et al.</i> , 1996; Lynden, 1958 |
| | Zeer fijn zand | B | 1675, 1678, 1679 | 239975 | 553900 | |
| O | | 1676, 1677, 1680, 1681, 1682 | 239975 | 553900 | | |
| Onbekend | O | 1948 | 180200 | 445630 | intern | |
| Glaciale en fluvio- glaciale afzettingen -500 | Keileem | B | 50 | 263000 | 480000 | |
| | | | 67 | 245000 | 563000 | |
| Overige afzettingen -600 | Matig fijn zand | B | 1631, 1632, 1633 | 167575 | 452700 | |
| | Siltige leem | B | 812 | 182679 | 327589 | Leenders, 1993 |
| | | O | 804 | 182715 | 327645 | Leenders, 1993 |
| | Onbekend | B | 1936, 1952 | 246880 | 437200 | Kleijer <i>et al.</i> , 1998, Van Bakel <i>et al.</i> , 2007 |
| Onbekend | Zandige veen en veen | O | 1859 | 227000 | 556000 | Hamming, 1961 |

a) MIN = Monster Identificatie Nummer

4 Discussie

4.1 Rapport en database

Van de bodemfysische data die via dit project zijn gegenereerd, zijn de belangrijkste gegevens in dit rapport in tabel- en grafiekvorm opgenomen:

- ID-naam
- Afzettingmilieu
- Textuurklassenaam
- Boven- of Ondergrond
- Coördinaten
- Monsternamedatum
- Monsterdiepte
- Standaardpuntencode (profielbeschrijving)
- Grondwatertrap
- Gemiddeld Hoogste - en Gemiddeld Laagste Grondwaterstand (GHG en GLG)
- Textuurverdeling op gewichtsbasis van de minerale delen
- Droge bulkdichtheid
- Gloeiverlies (organische stof)
- Mualem-Van Genuchten-parameters
- Gemeten verzadigde waterdoorlatendheid

De hydraulische gegevens zijn in het rapport alleen opgenomen door middel van de Mualem-Van Genuchten-parameters en de bijbehorende grafieken, omdat de retentiekarakteristiek en onverzadigde waterdoorlatenheden eenvoudig zijn af te leiden met behulp van de vergelijkingen in Bijlage 1.

Voor uitgebreidere gegevens kan de BIS-database worden geraadpleegd. Daarin zijn nog meer gegevens opgenomen, zoals landgebruik, profielbeschrijvingen, ruwe meetdata, volumetrische vochtgehalten en waterdoorlatenheden bij verschillende drukhoogten, berekende organische stofgehalten, monsternamen van de verschillende methoden, afgeleide gegevens en meer.

4.2 Gebruiksadvies

4.2.1 Aandachtspunten

De verkregen informatie kan gebruikt worden voor het opstellen van stromingsmodellen waarin de bodemfysische informatie van een bepaalde opschalingseenheid wordt gekoppeld aan een verwante horizont dat in een bodemprofiel voorkomt. Vaak worden daarvoor afgeleide gegevens, bijvoorbeeld de Mualem-Van Genuchten-parameters, gebruikt. Bij het gebruik van de gegevens in stromingsmodellen is het van belang in te zien dat:

- a. De afgeleide gegevens vaak informatie bevatten in een bereik dat groter is dan dat van de oorspronkelijke meetdata. Feitelijk is er extrapolatie van de gegevens uitgevoerd die buiten het fysieke meetbereik tot onzekere resultaten kan leiden.
- b. De Mualem-Van Genuchten-parameters een rekenkundige verzadigde waterdoorlatendheid bevatten die vaak veel kleiner is dan de werkelijk gemeten verzadigde waterdoorlatendheid. Dit komt doordat de macroporiën in de opstelling voor de gemeten verzadigde waterdoorlatendheid een veel grotere rol spelen dan die worden afgeleid van de resultaten van de verdampingsmethode, die pas betrouwbare resultaten geeft vanaf een zuigspanning van $h < -50$ cm.
- c. Er onvolkomenheden kunnen zitten in de werkelijke bodemprofielopbouw ten opzichte van de profielopbouw zoals die voorkomt op de bodemkaarten. Het is bijvoorbeeld mogelijk dat er

-
- plaatselijk dunne verdichte lagen in de bodem aanwezig zijn die de hydraulische eigenschappen, zoals capillaire opstijging van water uit het grondwater, kunnen tegenwerken.
- d. Bodemhorizonten die homogeen worden verondersteld, inhomogeen zijn en feitelijk met meerdere aparte lagen gemodelleerd moeten worden.

4.2.2 Fuzzy-classificatie

De textuurklassen zijn momenteel hard gedefinieerd. Als een monster nog net in een bepaalde klasse valt, wordt deze toegekend aan deze klasse, terwijl hij feitelijk ook eigenschappen bezit van de naastliggende klasse. Om hieraan tegemoet te komen, is het mogelijk om gebruik te maken van een zogenaamde 'fuzzy-classificatie'. Dit houdt in dat de werkelijk aangetroffen textuurverdeling niet wordt ingedeeld in een textuurklasse met harde grenzen, maar een gewogen deelname aan verschillende textuurklassen zal bevatten. Een hoge weging geldt dan voor de textuurklasse waarmee hij de meeste verwantschap heeft en een lagere weging voor de naastliggende klassen. De weging kan bijvoorbeeld volgens een Gauss-kromme worden toegekend.

4.3 Raadplegen bodemfysische data in BIS

De gegevens in BIS zijn te bereiken door direct in te loggen bij de Oracle-database en met behulp van SQL-statements de benodigde gegevens te selecteren. Toegang wordt alleen verkregen nadat er door de beheerder van de database inloggegevens zijn verstrekt.

De eenvoudigste inlogprocedure is via de command-prompt van Windows (DOS-box, te openen via Windows\Accessories\Command Prompt). Om in te loggen, moet het volgende commando worden gegeven: `SQLPLUS bisuser/bisuser@geo_scomp0628.world`

Hierna zal de prompt `SQL>` in het venster verschijnen met de vraag om de persoonlijke inloggegevens. Na het inloggen kunnen SQL-commando's worden ingetypt.

Van de gegevens uit het BIS Nederland-project is bekend dat zij allemaal zijn ingevoerd onder projectnummer 5235655.29. Met behulp van deze code kan een overzicht worden verkregen van alle profielen die binnen dit project vallen. Uit deze gegevens kan vervolgens een monster geselecteerd worden waaraan bodemfysische bepalingen zijn uitgevoerd. De identificatie van zo'n monster wordt gegeven aan de hand van `PFB_ID` in tabel `PFB_MONSTER`.

Het zou te ver voeren om hier alle commando's te geven die gebruikt kunnen worden om gegevens uit BIS te selecteren. In het Technisch datamodel (De Groot, 2010) is hierover meer informatie beschikbaar.

5 Conclusies

Dit project geeft een overzicht van het belang van een goede bodemfysische datareeks, in combinatie met beschrijvende gegevens. Het heeft geresulteerd in het opnemen van 100 hoogwaardige nieuw gestoken en gemeten bodemfysische monsters in BIS, gecombineerd met profieldata en andere beschrijvende data. Daarbij zijn de monsterlocaties gericht geselecteerd aan de hand van een prioritering die door Knotters *et al.* (2011) is voorgesteld. Bij de opzet is uitgegaan van de *Latin Hypercube Sampling*, waarbij rekening gehouden wordt met het feit dat niet alle opschalingseenheden steekproefpunten bevatten ('empty domains'). Bij de bemonstering is getracht zo veel mogelijk klassen naar boven- en ondergrond, afzettingmilieu, textuur en gehalte aan organische stof in BIS op te nemen, met ten minste twee monsters per klasse. Meerdere monsters per klasse zijn nodig om de nauwkeurigheid van geschatte gemiddelden te kunnen kwantificeren of om benaderingen, waarbij wordt geloot uit bodemfysische karakteristieken, voor individuele locaties mogelijk te maken (bootstrapping).

Aanvullend heeft dit project geresulteerd in een 'zachte' koppeling tussen 91 bestaande hoogwaardige monsters in Priapus en bestaande beschrijvende data in BIS of in de literatuur. Door deze koppeling wordt het onderbrengen van de data in BIS in een later stadium aanzienlijk vergemakkelijkt.

Na toevoeging van deze extra data zal BIS dus de beschikking hebben over 191 hoogwaardige monsters en beschrijvende data die goed zijn verdeeld over de verschillende opschalingseenheden.

De drukhoogten, vochtgehalten en tijd van de verschillende meetmethoden en de verzadigde waterdoorlatendheden zijn gebruikt voor het bepalen van afgeleide bodemhydraulische eigenschappen en Mualem-Van Genuchten-parameters. Daarbij is in dit project een Excel-rekensheet ontwikkeld dat op een veel kleiner detailniveau de fitprocedure kan analyseren, waardoor eventuele afwijkingen beter op hun waarde geschat kunnen worden. In de bijlagen is een uitgebreidere weergave van het Excel-programma gegeven.

Zoals beoogd, zijn de meeste opschalingseenheden nu gevuld met gegevens van 2 locaties per opschalingseenheid. Vanwege de nauwkeurig uitgevoerde selectie voorafgaand aan de bemonsteringen, zijn vrijwel alle gewenste opschalingseenheden aangetroffen en bemonsterd. Slechts een klein aantal opschalingseenheden zijn niet met 2 locaties gevuld. Er is namelijk geen volledige garantie te geven dat de op de bodemkaart aangegeven bodemprofielen ook daadwerkelijk in het veld worden aangetroffen. Bovendien kunnen veldschattingen afwijken van de achteraf in het laboratorium bepaalde textuurverdeling. In dat geval zijn vanwege efficiëntie de gegevens wel aan BIS toegevoegd, maar zijn ze verbonden aan een andere opschalingseenheid. Alleen de klasse met zware zavel is in het veld helemaal niet aangetroffen. Dit zal in een kleine aanvullende meetsessie alsnog ingevuld moeten worden.

Literatuur

- Bakel, P.J.T. van, J. Huinink, H. Prak en F. van der Bolt, 2005. HELP-2005. Uitbreiding en actualisering van de HELP-tabellen ten behoeve van het WATERNOOD-instrumentarium. Utrecht, Stowa/DLG/Alterra/LNV, Stowa-rapport 2005-16.
- Bakel, P.J.T. van, H.T.L. Massop en A.J. van Kekem, 2007. Locatiekeuze ten behoeve van het onderzoek naar bemestingsvrije perceelsranden; Hydrologische en bodemkundige karakterisering van de proeflocaties. Alterra-rapport 1457.
- Belitz, K. and S.P. Phillips, 1993. Numerical simulation of ground-water flow in the central part of the western San Joaquin Valley, California: U.S. Geological Survey Water-Supply Paper 2396, 69p.
- Bles, B.J. en H.J.M. Zegers, 1969. De bodemgesteldheid van het Ruilverkavelingsgebied Lopikerwaard – West. Stiboka-rapport 806.
- Bles, B.J., 1975. Ruilverkaveling St. Oedenrode: bodemgesteldheid en bodemgeschiktheid. Wageningen, Stiboka-rapport 1043.
- Bles, B.J. en A.G. Beekman, 1976. Ruilverkaveling St. Oedenrode II: aanvullend bodemkundig onderzoek. Wageningen, Stiboka-rapport 1224.
- Beuving, J. en J.J.H. van den Akker, 1996. Maaiveldsdaling van veengrasland bij twee slootpeilen in de polder Zegveldbroek; vijftienvintig jaar zakkingsmetingen op het ROC Zegveld. Wageningen, SC-DLO, Rapport 377.
- Cnossen, J. en P.C. Kuyper, 1965. De bodemgesteldheid en de tuinbouwkundige geschiktheid van de gronden in de ruilverkaveling Berlikum. Wageningen, Stiboka-rapport 654.
- Dam, J.C. van, P. Groenendijk, R.F.A. Hendriks and J.G. Kroes, 2008. Advances of modeling water flow in variably saturated soils with SWAP. *Vadose Zone J.*, Vol.7, No.2.
- Hooghart, H., 2011. Veel gestelde vragen en antwoorden over de Basisregistratie Ondergrond, BRO.
- Dirksen, C., 1991. Unsaturated hydraulic conductivity. In: K.A. Smith and C.E. Mullins (Eds.): *Soil Analysis, Physical Methods*. Marcel Dekker, Inc., New York, p.209-269.
- 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 535.
- Durner, W., 1992. Predicting the unsaturated hydraulic conductivity using multi-porosity water retention curves. In: M. Th. van Genuchten, F.J. Leij, and L.J. Lund (eds.), *Proc. Int. Workshop, Indirect Methods for Estimating the Hydraulic Properties of Unsaturated Soils*. pp. 185-202, University of California, Riverside.
- Ebbers, G. en J.C. Pape, 1967. De bodemgesteldheid van het Ruilverkavelingsgebied Borculo. Stiboka-rapport 720.
- Elbers, J.A., A.J. Dolman, E.J. Moors en W. Snijders, 1996. Hydrologie en waterhuishouding van bosgebieden in Nederland. Fase 2: Meetopzet en eerste resultaten. DLO - Staring Centrum, Rapport 333.2.
- Genuchten, M.Th. van, 1980. A Closed-form Equation for Predicting the Hydraulic Conductivity of Unsaturated Soils. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 44:892-898.
- Genuchten, M.Th. van, F.J. Leij and S.R. Yates, 1991. The RETC code for quantifying the hydraulic functions of unsaturated soils. USDA, US Salinity Laboratory, Riverside, CA
- Groot, H. de, 2010. Technisch Datamodel van BIS en LSK versie 7.2 en gebruik in ARCGIS. Alterra, Wageningen, 31 p.
- Halbertsma, J.M. and G.J. Veerman, 1994. A new calculation procedure and simple set-up for the evaporation method to determine soil hydraulic functions. Rep. 88. DLO Winand Staring Centre, Wageningen, The Netherlands.
- Halbertsma, J., 1996. Wind's evaporation method, determination of the water retention characteristics and unsaturated hydraulic conductivity of soil samples: possibilities, advantages and disadvantages. *Advanced methods to determine hydraulic properties of soils: extended abstracts of the European workshop, Germany, June 10-12, 1996*.
- Hamming, C., 1961. De bodemgesteldheid van het ruilverkavelingsgebied Smilde. Wageningen, Stiboka-rapport 521.

-
- Heinen, M. and P. de Willigen, 1998. FUSSIM2. A two-dimensional simulation model for water flow, solute transport and root uptake of water and nutrients in partly unsaturated porous media, Quantitative Approaches in Systems Analysis No. 20, AB-DLO and PE, Wageningen, The Netherlands, 140 p.
- Hemker, C.J. en R.G. de Boer, 1997. MicroFEM Version 3.60.66. Amsterdam.
- Hendriks, R.F.A., van den Akker en Hummelink, 2008. Inverse modellering van verticale-infiltratieproeven op de Waddenzeedijk bij de Boonweg. Alterra-rapport 1833.
- Hoogewoud, J.C., J.C. Hunink, G.F. Prinsen, A.A. Veldhuizen en J. Verkaik, 2013. Veranderingsrapportage NHI 3.0. Beschrijving van de veranderingen in versie 3.0. Deltares.
- Hoving, I.E. en G.L. Velthof, 2006. Landbouw- en milieukundige effecten van graslandvernieuwing op zand- en kleigrond. Praktijkrapport Rundvee 83.
- ISO 11272 First edition, 1998. Soil quality — Determination of dry bulk density
- ISO 11274 First edition, 1998. Soil quality — Determination of the waterretention characteristic — Laboratory methods.
- ISO 11275, 2004. Soil quality - Determination of unsaturated hydraulic conductivity and water retention characteristic- Wind's evaporation method.
- ISO 11277 Second edition, 2009. Soil quality — Determination of particle size distribution in mineral soil material — Method by sieving and sedimentation.
- ISO 11461, 2001. Soil quality - Determination of soil water content as a volume fraction using coring sleeves - Gravimetric method.
- Kamping, G. en J.A. van de Hurk, 1968. De bodemgesteldheid van het ruilverkavelingsgebied De Marne. Wageningen, Stiboka-rapport 715.
- Kleijer, H. en J.A.M. ten Cate, 1998. De bodemgesteldheid van het herinrichtingsgebied Winterswijk-Oost; resultaten van een bodemgeografisch onderzoek. Wageningen, SC-DLO, Rapport 603.
- Kleijer, H., 2000. De bodemgesteldheid van de gebieden Berkeldal, Graafschap, Wildenborch, Warnsveld-Vierakker en Hummelo-Keppel: resultaten van een bodemgeografisch onderzoek. Wageningen, Alterra-rapport 90.
- Klungel, A.E., 1970. De bodemgesteldheid van de proefboerderij Ebelsheerd c.a. Wageningen, Stiboka-rapport 892.
- Klute, A., 1972. The determination of the hydraulic conductivity and diffusivity of unsaturated soils. Soil Sci. 113, 264-276.
- Knotters, M. en P.C. Jansen, 2004. Drempel-niet-lineariteit in ondiepe grondwaterregimes. Rapport 981.
- Knotters, M., D.J. Brus, S.J.E. Verzandvoort en M. Heinen, 2011. Aanvullende bodemfysische gegevens voor BIS-Nederland. Wageningen, Alterra, Alterra-rapport 2245.
- Leenders, W.H., 1992. De bodemgesteldheid van het herinrichtingsgebied de Leijen-West. Rapport 214.
- Leenders, W.H., 1993. De bodemgesteldheid van drie stroomgebieden voor het erosienormeringsonderzoek Zuid-Limburg: resultaten van een bodemgeografisch onderzoek. Wageningen, DLO-Staring Centrum. Rapport 270.
- Leenders, W.H., 1999. Bodemkundig-Hydrologisch onderzoek De Vlietpolder. Alterra rapport 693
- Leij, F.J., M.Th. van Genuchten, S.R. Yates and W.B. Russell, 1992. RETC: a computer program for analyzing soil water retention and hydraulic conductivity data. In: M. Th. van Genuchten, F.J. Leij, and L.J. Lund (eds.), Proc. Int. Workshop, Indirect Methods for Estimating the Hydraulic Properties of Unsaturated Soils. pp. 263-272, University of California, Riverside.
- Lynden, K.R. van, 1958. De bodemgesteldheid van de boswachterij Kootwijk. Wageningen, Stiboka-rapport 493.
- Mualem, Y., 1976. A new model for predicting the hydraulic conductivity of unsaturated porous media. Israel. Water Resources Research, Vol. 12, No. 3.
- NEN 5709, ICS 13.080.10, 2006. Bodem - Monstervoorbehandeling voor de bepaling van organische en anorganische parameters in grond.
- NEN 5753 en 5753/C1, ICS 13.080.20, 2006 en 2009. Bodem - Bepaling van het lutumgehalte en de korrelgrootteverdeling in grond en waterbodem met behulp van zeef en pipet.
- NEN 5754, 1992. Bepaling van het gehalte aan organische stof in grond volgens de gloeiverliesmethode.
- NEN 5789, 1991. Bepaling van de verzadigde waterdoorlatendheid.

-
- Pastoor, M.J.H., 1992. Landelijk Grondwater Model; conceptuele modelbeschrijving (National Groundwater Model; description of model concept). RIVM-report no. 7143050004, Bilthoven, The Netherlands.
- Pertassek, T., A. Peters and W. Durner, 2011. HYPROP Data Evaluation Software User's Manual, V.1.0, UMS GmbH, München, Germany.
- Peters, A. and W. Durner, 2008. Simplified evaporation method for determining soil hydraulic properties. *Journal of Hydrology* 356: 147– 162.
- Prince, K.R., O.L. Franke and T.E. Reilly, 1988. Quantitative assessment of the shallow ground-water flow system associated with Connetquot Brook, Long Island, New York: U.S. Geological Survey Water-Supply Paper 2309, 28p.
- Salm, C. van der, J. Dolfing, J.W. van Groenigen, M. Heinen, G. Koopmans, J. Oenema, M. Pleijter en A. van den Toorn, 2006. Diffuse belasting van oppervlaktewater met nutriënten uit de veehouderij; Monitoring van nutriëntenverliezen uit grasland op zware klei in Waardenburg. Wageningen, Alterra, Alterra-rapport 1266.
- 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 35.
- Šimůnek, J., M. Sejna and M.Th. van Genuchten, 1999. The Hydrus-2D software package for simulating two-dimensional movement of water, heat, and multiple solutes in variably saturated media. Version 2.0, IGWMC - TPS - 53, International Ground Water Modeling Center, Colorado School of Mines, Golden, Colorado, 251pp.
- Šimůnek, J., M. Šejna, H. Saito, M. Sakai and M.Th. van Genuchten, 2008. The Hydrus-1D Software Package for Simulating the Movement of Water, Heat, and Multiple Solutes in Variably Saturated Media, Version 4.0, HYDRUS Software Series 3, Department of Environmental Sciences, University of California Riverside, Riverside, California, USA, pp. 316.
- Sluys, P. van der, 1956. Rapport betreffende de bodemgesteldheid van Tielerwaard-West. Wageningen, Stiboka-rapport 436.
- Tiktak, A., F. van den Berg, J.J.T.I. Boesten, M. Leistra, A.M.A. van der Linden and D. van Kraalingen, 2000. Pesticide Emission Assessment at Regional and Local Scales: User Manual of FOCUS Pearl version 1.1.1. RIVM Report 711401008, Alterra-report 28, RIVM, Bilthoven, 142 pp.
- Tiktak, A., A.M.A. van der Linden and J.J.T.I. Boesten, 2003. The GeoPEARL model. Model description, applications and manual RIVM Report 716601007/2003, RIVM, Bilthoven, 79 pp.
- Tiktak, A., A.M.A. van der Linden, J.J.T.I. Boesten, R. Kruijne and D. van Kraalingen, 2004. The GeoPEARL model. Part II. User Guide and model description update. RIVM-report 716601008/2004. RIVM, Bilthoven, The Netherlands.
- Riele, W.J.M. te en B.H. Steeghs, 1968. De bodemgesteldheid van het ruilverkavelingsgebied Zevenbergen. Stiboka-rapport 722.
- Verzandvoort, S.J.E., H.R.J. Vroon, J.G. Wesseling, G. Bakker, K. Oostindie, G.H. Stoffelsen, A.H. Heidema en G.B.M. Heuvelink, 2012. Naar een database van bodemhydraulische karakteristieken voor Nederland. Wageningen, Alterra, Alterra-rapport 2238.
- Vogel, T., K. Huang, R. Zhang and M.Th. van Genuchten, 1996. The HYDRUS code for simulating one-dimensional water flow, solute transport, and heat movement in variably-saturated media, Version 5.0, Research Report No 140, U.S. Salinity Laboratory, USDA, ARS, Riverside, CA.
- Vos, J.A. de, 1997. Water flow and nutrient transport in a layered silt loam soil. Doctoral Thesis, Wageningen Agricultural University, Wageningen, The Netherlands, 287 p.
- Walsum, P.E.V. van, A.A. Veldhuizen and P. Groenendijk, 2010. SIMGRO 7.1.0, Theory and model implementation. Wageningen, Alterra, Alterra-report 913.1. 93pp.
- Watson, K.K., 1966. An instantaneous profile method for determining the hydraulic conductivity of unsaturated porous materials. *Water Resour. Res* 2, 709-715.
- Wendroth, O., W. Ehlers, J.W. Hopmans, J. Halbertsma and J.H.M. Wösten, 1993. Reevaluation of the evaporation method for determining hydraulic functions in unsaturated soils. *Soil Science Society of America journal*, Volume 57, Issue 6, Pages: 1436-1443.
- Wesseling, J.G., H.R.J. Vroon en F. Brouwer, 2013. Het Titanen project. Een set software-tools voor het verwerken van veld- en labgegevens. Alterra-rapport (in voorbereiding).
- Wolf, J., A.H.W. Beusen, P. Groenendijk, T. Kroon, R. Rötter and H. van Zeijts, 2003. The integrated modeling system STONE for calculating nutrient emissions from agriculture in the Netherlands. *Environmental Modelling & Software*, Volume 18, Issue 7, Pages 597-617.

-
- Wösten, J.H.M., J.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, 1:250000, ten behoeve van de PAWN-studie. Stiboka, Wageningen. 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., G.J. Veerman, W.J.M de Groot en J. Stolte, 2001. Waterretentie- en doorlatendheidskarakteristieken van boven- en ondergronden in Nederland: de Staringreeks. Vernieuwde uitgave 2001. Wageningen, Wageningen UR-Alterra. Alterra-rapport 153, ISSN 1566-7197.
- Wösten, J.H.M., F. de Vries, T. Hoogland, H.T.L. Massop, A.A. Veldhuizen, H.R.J. Vroon, J.G. Wesseling, J. Heijkers en A. Bolman, 2012. BOFEK2012, de nieuwe, bodemfysische schematisatie van Nederland. Wageningen, Alterra, Alterra-rapport 2387. 88 blz.

Bijlage 1 Excel fit-programma

Het Excel-programma dat is gebruikt om de puntenwolk van de verdampingsmethode en vervolgens de uiteindelijke Mualem-Van Genuchten-fit (MVG-fit) af te leiden, is gedurende dit project door de eerste twee auteurs ontwikkeld.

Aanleiding voor het ontwikkelen van nieuwe programmatuur was de wens om gedurende het fit-proces gedetailleerd inzicht te krijgen in de tussenresultaten en om onbetrouwbare meetpunten van de verdampingsmethode te kunnen verwijderen of meetpunten van aanvullende apparatuur toe te kunnen voegen en de effecten hiervan gedetailleerd te kunnen bestuderen. De opzet via een Excel rekensheet biedt tevens kansen om op eenvoudige wijze op gebruikersniveau in- en uitvoer aan te passen, toe te voegen of te verwijderen. Bestaande software, zoals RETC (van Genuchten *et al.*, 1991; Leij *et al.*, 1992), Appia (Halbertsma, 1994) en HYPROP (Pertassek *et al.*, 2011), voeren veel berekeningen op de achtergrond uit zonder dat de gebruiker tussenresultaten kan inzien. Bovendien zijn er in de programmatuur beperkingen opgelegd in het aantal meetpunten, het aantal tensiometers en is de invoer niet altijd gebruiksvriendelijk. Vooral de van de ruwe verdampingsdata afgeleide puntenwolk van de onverzadigde doorlatendheid moet altijd kritisch door een expert worden beschouwd. Met name in het natte traject kunnen namelijk door modellering fouten ontstaan in de afgeleide gegevens vanwege beperkingen van het model, maar ook als gevolg van de meetnauwkeurigheid.

Invoerscherm

In Figuur B.1.1 is een indruk gegeven van het invoerscherm van de rekensheet. De gele cellen geven de mogelijkheid om de modaliteit van de prefit aan te passen (J7), de fit-optimalisatie uit te laten voeren op basis van de gemeten monstergewichten of de gemiddelde volumetrische vochtgehalten (F17) en de weegfactor (D19) aan te passen voor het vochtgehalte bij de start van de metingen of het eind van de metingen (F19). In rij 22 t/m 25 zijn aanvullende vochtgehaltemetingen toe te voegen. Lager in het invoerscherm (Figuur B.1.2) zijn apart gemeten verzadigde doorlatendheden toe te voegen en is het mogelijk om de prefit uit te laten voeren op basis van 2, 3 of 4 tensiometer-meetreeksen of om individuele metingen in de fit-procedure weg te laten.

| Initial | Fit_1 | Fit_2 | Min | Max |
|----------|-------|-------|----------|-------|
| 0 | 1 | 1 | 0 | 0,2 |
| 0.405 | 1 | 1 | 0.1 | 0.99 |
| 0.009688 | 1 | 1 | 0.000001 | 100 |
| 2.599593 | 1 | 1 | 1.01 | 1000 |
| 2.668763 | 1 | 1 | -20 | 20 |
| 1.0 | 1 | 1 | 0.000001 | 10000 |

| Additional info: wc (h) (max. 3); e.g., additional points from pressure plate (must be left-aligned) | | | | | | | | | | |
|--|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|
| h (cm) | -10 | -30 | -100 | -3000 | -15000 | -10 | -30 | -100 | -3000 | -15000 |
| wc (cm ³ /cm ³) | 0.386273 | 0.348597 | 0.257315 | 0.096354 | 0.062962 | 0.383066 | 0.348597 | 0.237575 | 0.071661 | 0.047341 |
| Weightfactor: for fit wc(h) | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| Weightfactor: for RETC | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |

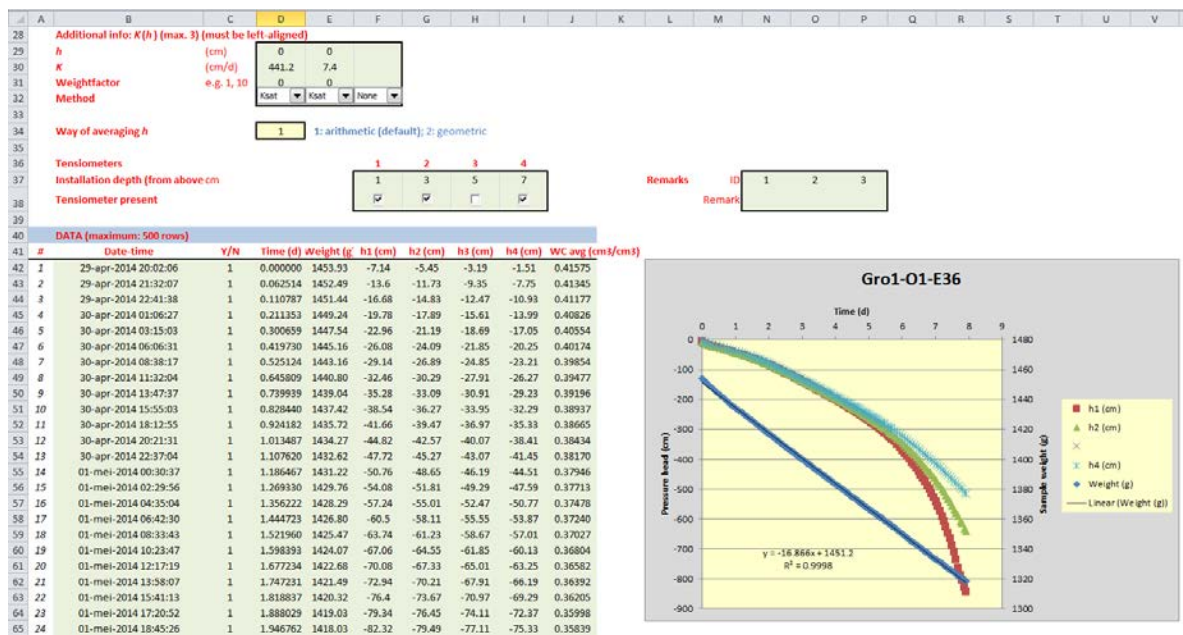
Figuur B.1.1

Bovenste deel van het invoerscherm van de Excelsheet.

Prefit – De eerste Van Genuchten-retentiefit

De ruwe data die met de verdampingsopstelling worden gegenereerd, zijn vaak omvangrijk. Er is zeer frequent gemeten omdat de data, ondanks het feit dat de metingen in een goed geklimatiseerd lab (temperatuur 16 +/- 1 °C) uitgevoerd worden, een rimpel in het drukverloop bevatten die een functie is van de temperatuur. Deze rimpel is in het natte traject niet te verwaarlozen. Daarom worden de data dusdanig gefilterd dat er steeds een meetpunt wordt geselecteerd op hetzelfde punt van de flanken van de rimpel. Daarna worden de data nog verder ingekort, zodat uiteindelijk 50 tot 200 datapunten beschikbaar zijn. Er wordt alleen gewerkt met werkelijk gemeten data: er vindt geen middeling van metingen plaats.

De metingen van de drukhoogten en gemiddelde volumetrische vochtgehalten van het totale monster van de verdampingsmethode worden gebruikt om de Van Genuchten-retentiecure voor de eerste keer te fitten. Deze gemiddelde fit wordt gebruikt om vochtgehalten te berekenen in elk compartiment van het bodemonmonster, ofwel op elke hoogte van de tensiometers en op elk tijdstip. Door de berekende vochtgehalten per compartiment te vermenigvuldigen met het volume van het monster-compartiment, ontstaat een berekende hoeveelheid water per compartiment.



Figuur B.1.2 Onderste deel van het invoerscherm van de Excelsheet.

De som van deze hoeveelheden water moet gelijk zijn aan de totale gemeten hoeveelheid water in het monster. Als hierin een afwijking zit, worden de vochtgehalten van de retentiecure aangepast. Op deze wijze wordt de fit door iteratie geoptimaliseerd. De prefits in dit project zijn, afhankelijk van de resultaten, uitgevoerd met een 1, 2 of 3 modale functie van Van Genuchten (1980) (cf. Durner, 1992).

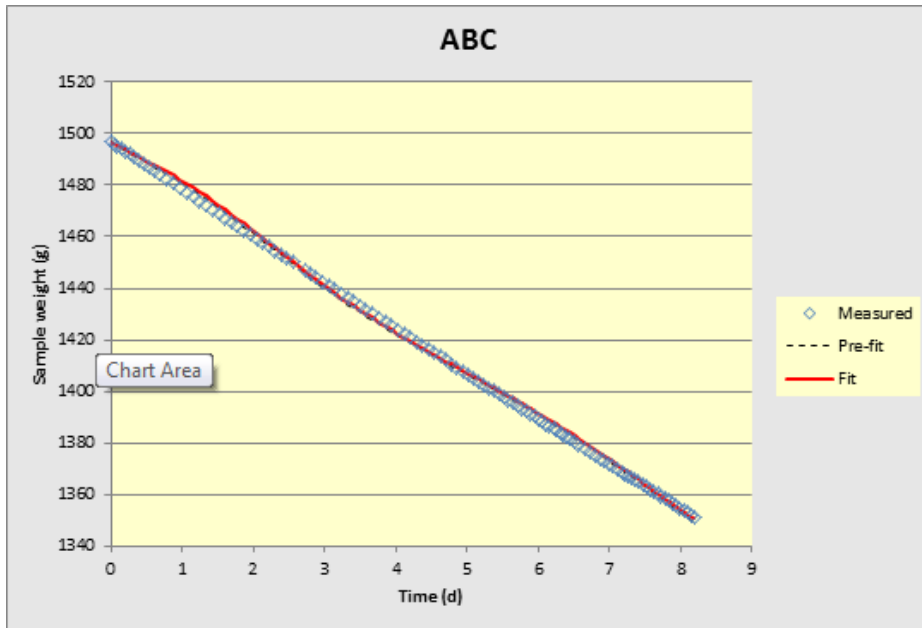
De vorm van de waterretentiekarakteristiek volgens het k-modale Van Genuchten-model wordt bepaald met de volgende vergelijking:

$$S_e = \sum_{i=1}^k w_i \left(\frac{1}{1 + (\alpha_i |h|)^{n_i}} \right)^{m_i} \quad (B.1)$$

waarin:

- k totale modaliteit (hier $k = 1, 2$ of 3) is gebruikt;
- S_e verzadigingsgraad, $S_e = (\theta - \theta_r) / (\theta_s - \theta_r)$ (dimensieloos);
- θ volumetrisch vochtgehalte ($L^3 L^{-3}$) als functie van de drukhoogte h ;

- θ_r residueel vochtgehalte (L^3L^{-3}), gedefinieerd bij dat deel van de pF-curve waar $dh/d\theta \rightarrow 0$, dus bijvoorbeeld bij pF = 4,2 of pF = 6 (luchtdroog);
- θ_s verzadigd vochtgehalte (L^3L^{-3}), ofwel het vochtgehalte bij $h \rightarrow 0$;
- a vormparameter (L^{-1}), verschillende voor elke modaliteit (cm^{-1}); voor $k=1$ ongeveer gelijk aan $1/h_{plateau}$, ofwel de h behorend bij het punt waar $dh/d\theta$ maximaal is;
- n vormparameter (-), verschillende voor elke modaliteit, stelt de steilheid van de retentiekarakteristiek voor bij kleine θ ; een grotere n geeft een steilere grafiek bij kleine θ en daarmee een platter plateau;
- m vormparameter, verschillende voor elke modaliteit, $m = 1-1/n$ (dimensieloos);
- h drukhoogte (cm).



Figuur B.1.3 Vergelijkende figuur van de fysiek gemeten gewichten (blauwe punten), de berekende gewichten op basis van de retentiekarakteristiek van de prefit (zwarte stippellijn) en van de berekende uiteindelijke fit volgens Mualem-Van Genuchten (rode lijn) die door het Excel-programma worden gegenereerd.

In eerste instantie is de prefit gedaan met een 1-modale fit ($k = 1$) en worden de extra metingen van de zandbak en andere opstellingen buiten beschouwing gelaten (weight factor for $wc(h)=0$), zodat de resultaten een $k-h$ -puntenwolk (onverzadigde waterdoorlatendheid) opleveren die alleen door de waarnemingen van de verdampingsmethode worden bepaald. Bij onvoldoende resultaten, met name wanneer de berekende gewichtsafname onvoldoende aansluit bij de gemeten gewichtsafname, wordt de modaliteit verhoogd. Figuur B.1.3 geeft een voorbeeld van het programma waarmee een dergelijke vergelijking visueel wordt gemaakt. De geoptimaliseerde prefit resulteert in termen voor de waterbeweging tussen de 4 bodemlagen in de tijd volgens de 'instantaneous profile method' (Watson, 1966; Klute, 1972; Dirksen, 1991). Met de vergelijking van Darcy worden daarmee voor elke set van 2 tensiometers de doorlatendheden als functie van de drukhoogte berekend, resulterend in 3 data sets van 3 tensiometerparen in het geval er 4 tensiometers bij de berekeningen worden gebruikt.

In het natte bereik kunnen in de praktijk door kleine meetfouten dh/dz -waarden resulteren in negatieve waarden van k (indien $dh/dz < 1$) of in waarden die grote uitschieters vertonen bij waarden van dh/dz net groter dan 1. Deze waarden worden in dit project als uitbijters beschouwd en niet meegenomen in de verdere analyse. Negatieve waarden voor k worden in het programma automatisch verworpen door ze te markeren met een waarde van -999 (m/s). Uitbijters worden selectief door de gebruiker verwijderd door in de tussenresultaten te zoeken naar het meettijdstip waarop de uitbijter betrekking heeft en deze vervolgens in het invoerscherm uit te zetten. De uitbijters zitten normaliter in het natte meetgebied. In de literatuur wordt in deze context veelvuldig gewezen op de onzekere

uitkomsten van k - h -relaties in het natte gebied. Afhankelijk van de grondsoort is het in de praktijk daarom lastig om betrouwbare k - h -relaties te vinden in het gebied $h = 0$ tot -50 cm. Er zal daarom niet altijd een meting van de doorlatendheid berekend kunnen worden in het gebied $h = 0$ tot -10 cm. Ook blijkt in de praktijk vaak dat het gebruik van een 1-modale functie onvoldoende is om het drukhoogtetraject in het natte bereik te beschrijven. Dit komt door de vaak (relatief) snelle daling van de drukhoogte in het hele natte gebied. In het half-natte gebied gaat deze weer over in een tragere daling en vervolgens in het droge gebied weer in een snellere daling.

De uiteindelijk gegenereerde drukhoogte h (en daarmee ook de drukgradiënt dh/dz) die wordt weergegeven in de puntenwolken van de retentie- en doorlatendheidskarakteristiek, is een harmonisch (optioneel: geometrisch) gemiddelde drukhoogte op het grensvlak tussen twee opeenvolgende tensiometers en twee opeenvolgende tijdstippen. Dit geldt ook voor het vochtgehalte θ .

Het debiet q (m/s) dat, als gevolg van verdamping aan de bovenzijde van het monster, van onderen naar boven stroomt, wordt berekend op basis van de instantaneous profile method. De uiteindelijk berekende doorlatendheid k (m/s) volgt uit de vergelijking van Darcy:

$$k = \frac{q}{\frac{dh}{dz} - 1} \quad (\text{B.2})$$

De aldus gegenereerde θ - h - K data zijn gebruikt in de uiteindelijke Mualem-Van Genuchten-fit.

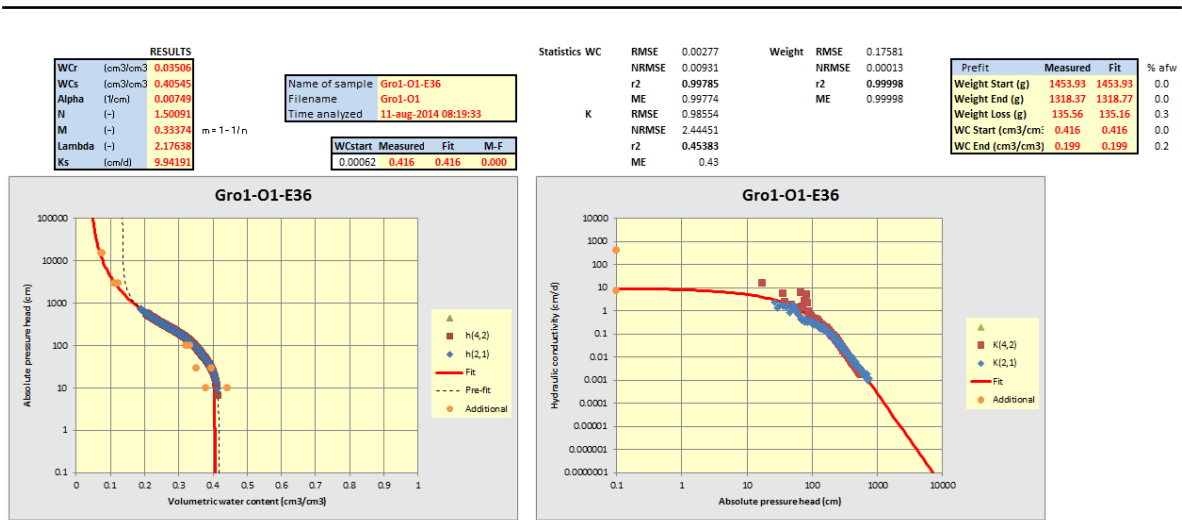
Uiteindelijke Mualem-Van Genuchten-fit

Bij de uiteindelijke fit kunnen de metingen uit de zandbak-, drukpan- en verzadigde waterdoorlatendheidsmethode worden meegenomen in de berekening. De uiteindelijke Van Genuchten pF-curve kan afwijken van de prefit pF-curve, omdat de uiteindelijke fit geoptimaliseerd is in combinatie met de doorlatendheidsdata, terwijl de prefit alleen gebaseerd is op vochtgehalten en drukhoogten. Bovendien is de uiteindelijke fit een 1-modale fit, terwijl de prefit vaak een hogere modaliteit heeft. De vergelijkingen die gebruikt worden bij de MvG-fit zijn de vergelijkingen B.1 (met $k = 1$) en B.3.

$$K(h) = K_s^s \frac{[(1+|\alpha h|^n)^{1-1/n} - |\alpha h|^{n-1}]^2}{(1+|\alpha h|^n)^{(1-1/n)(L+2)}} \quad (\text{B.3})$$

waarin:

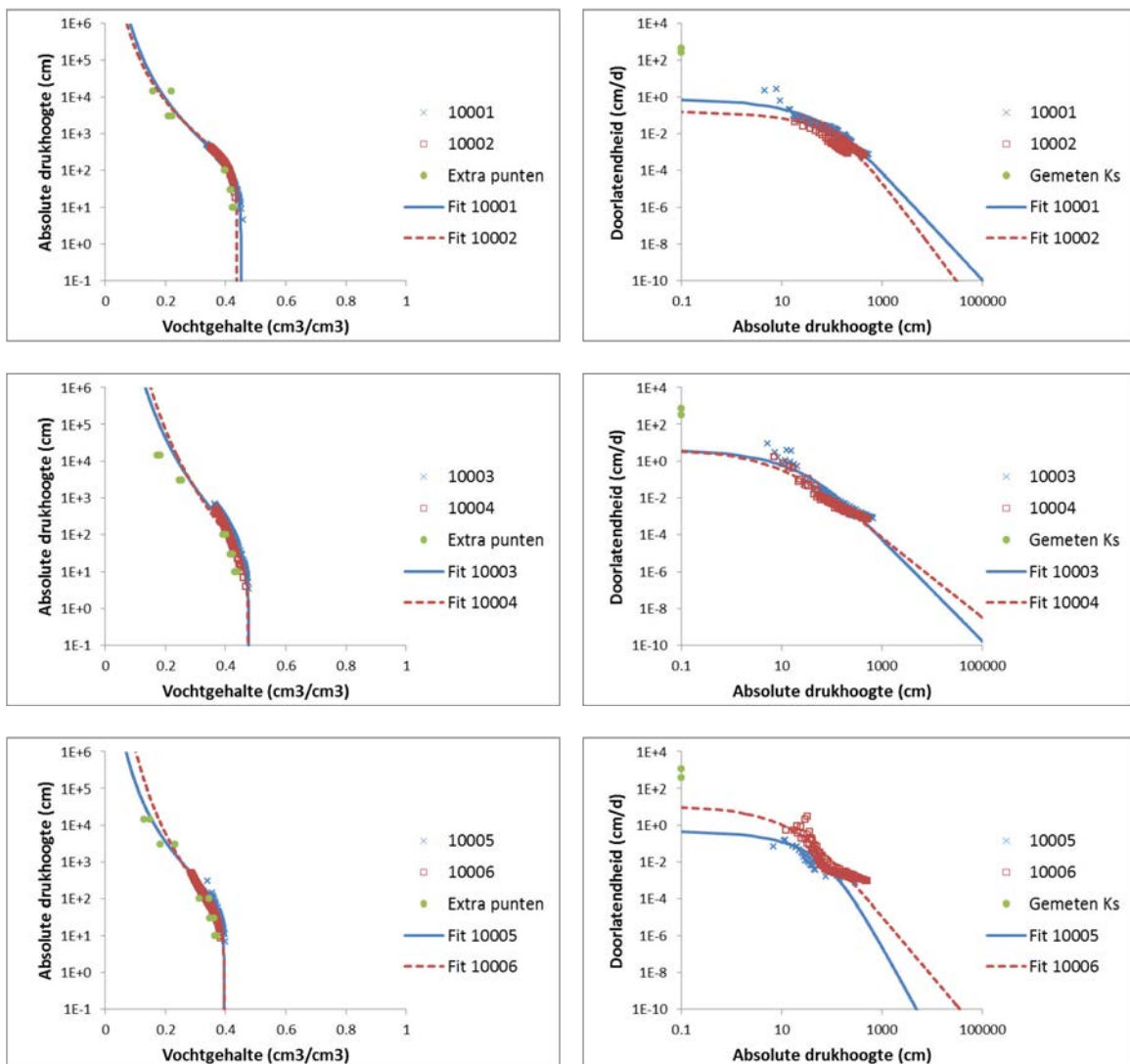
- L : Vormparameter (-) en stelt het verloop voor van $K(h)$ bij lage h , ofwel bij grote zuigspanningen. Hoe groter (minder negatief) de waarde van L , hoe steiler de grafiek van $K(h)$.
- K_s^s : Dit is de verzadigde waterdoorlatendheid van de fit. Deze waarde komt meestal niet overeen met de gemeten K_s^m , die normaliter (veel) groter is. Dit komt waarschijnlijk doordat de berekende doorlatendheid bij $h=0$ geen rekening houdt met de met water gevulde macroporiën. Randvoorwaarde: $K_s^s > 0$.

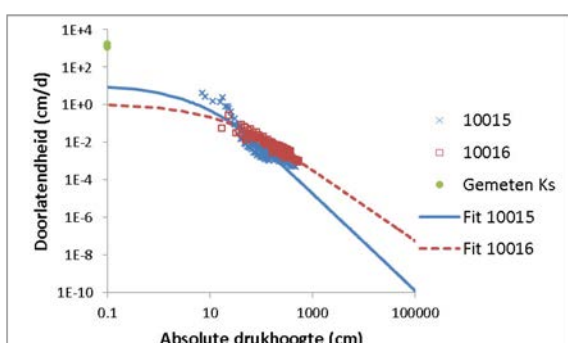
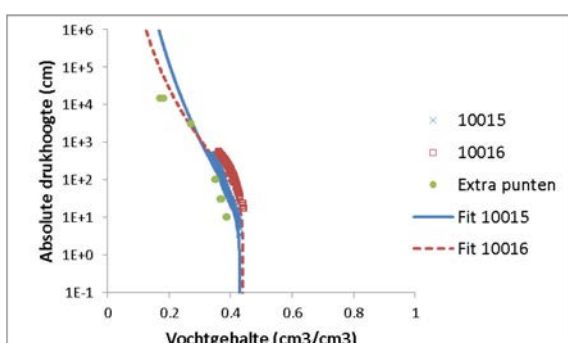
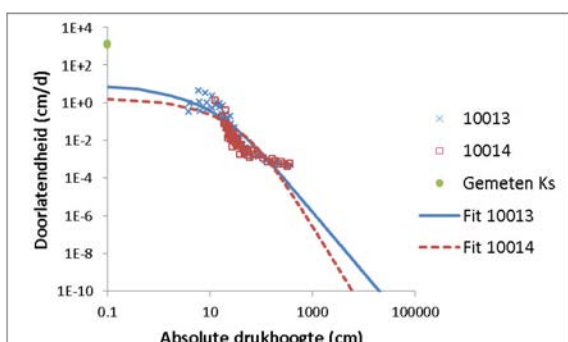
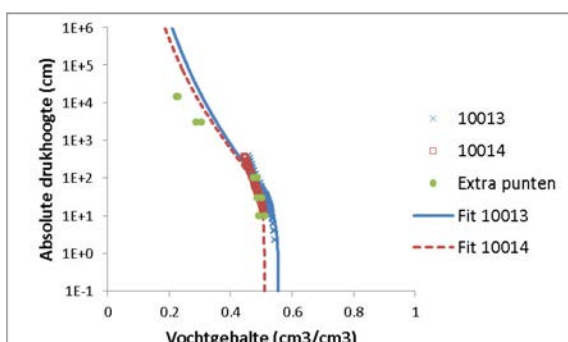
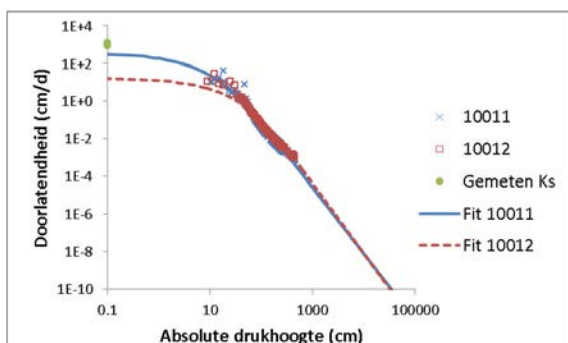
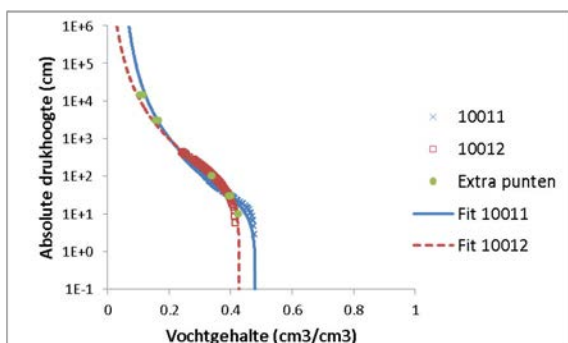
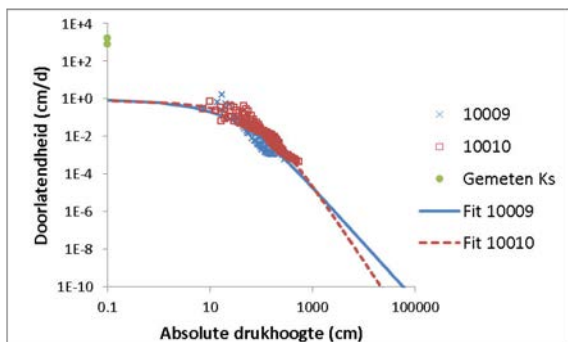
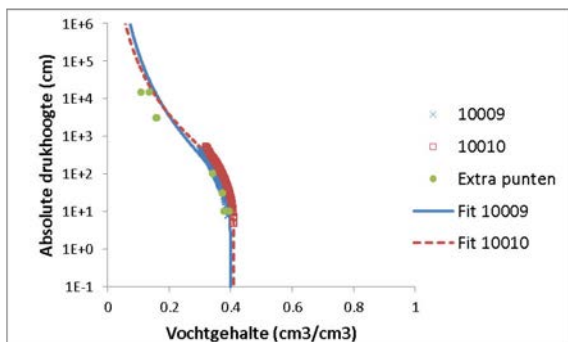
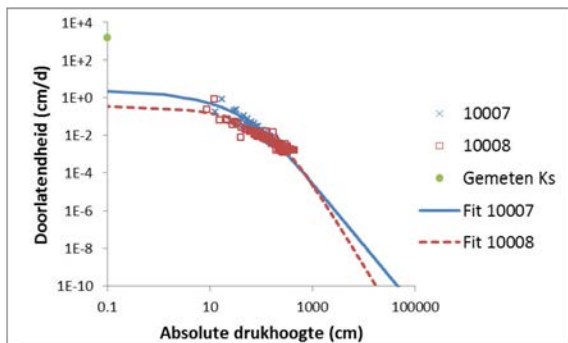
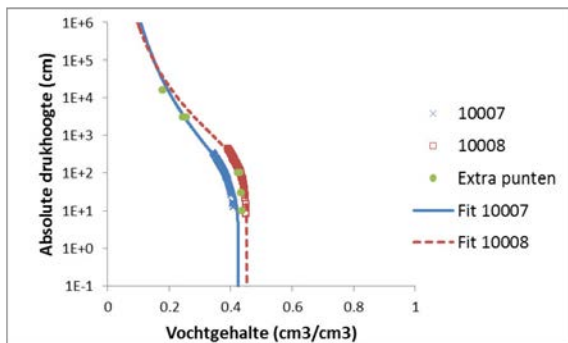


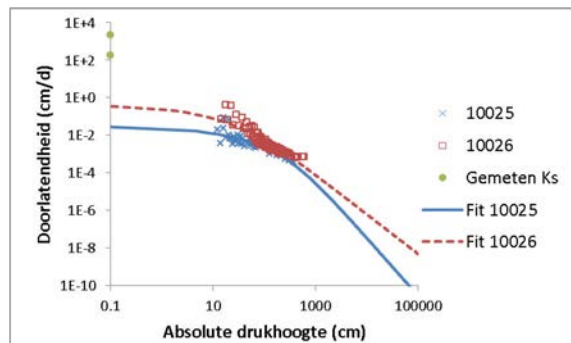
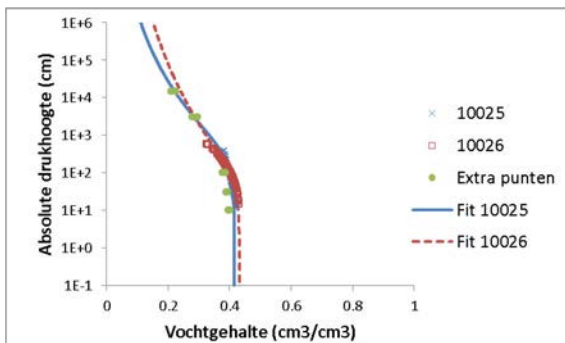
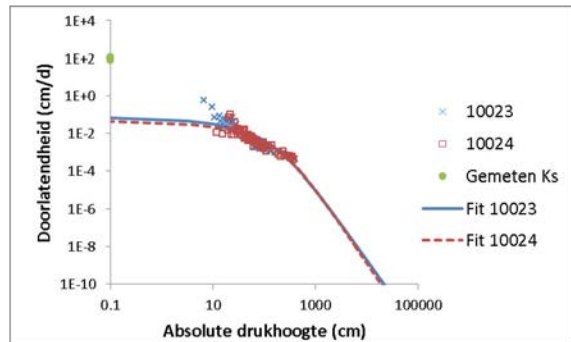
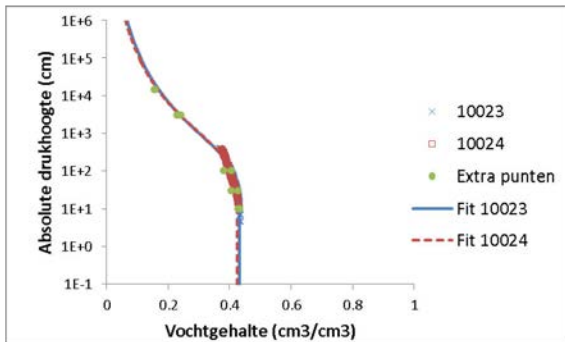
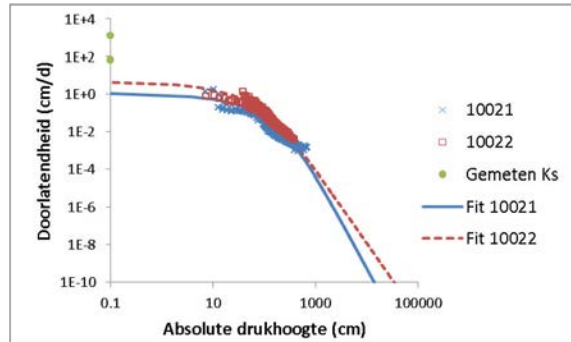
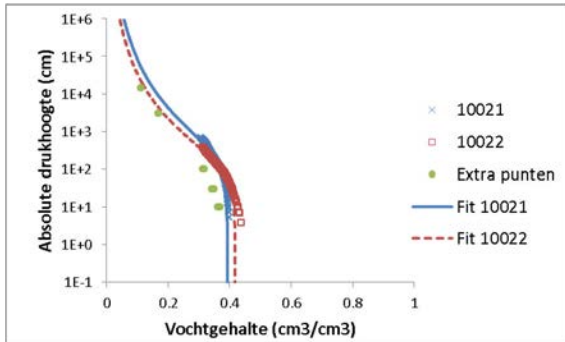
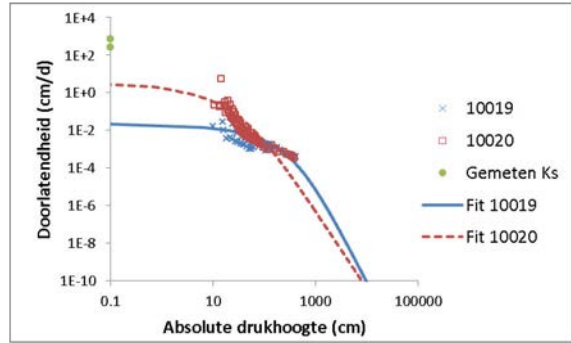
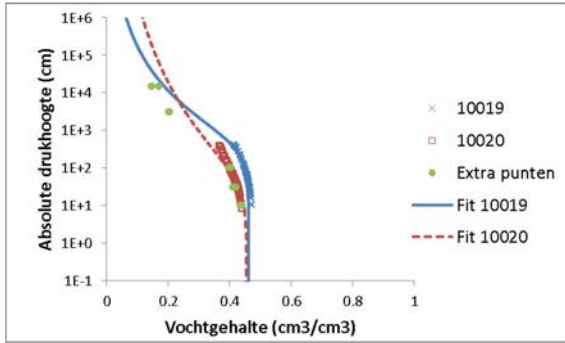
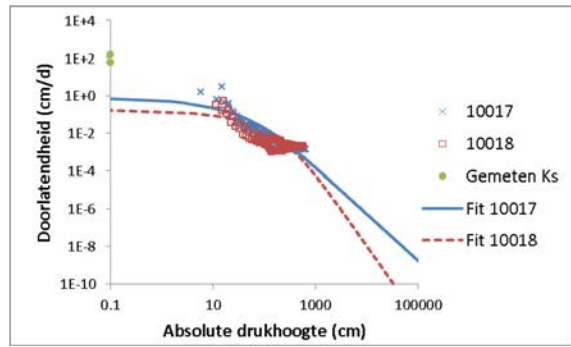
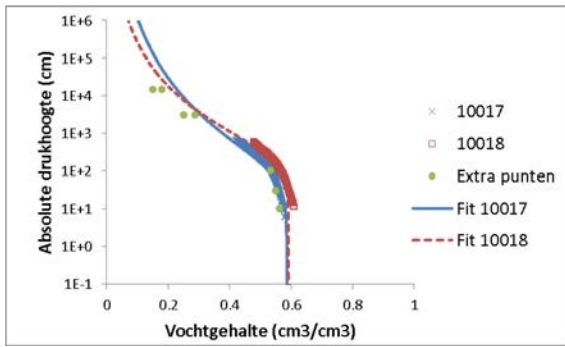
Figuur B.1.3 Screenshot van de 'Results'-tab van het Excel-programma. Links de retentie-karakteristiek, rechts de doorlatendheidskarakteristiek. Verder zijn de fit-parameters en enkele statistische gegevens weergegeven.

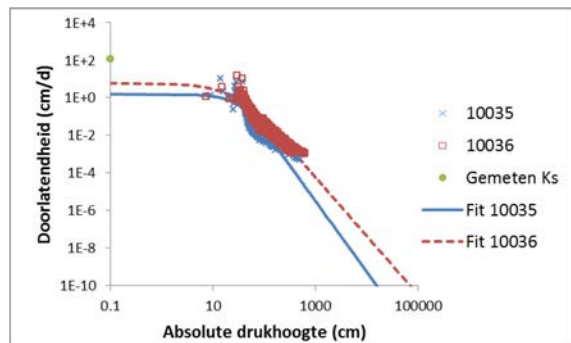
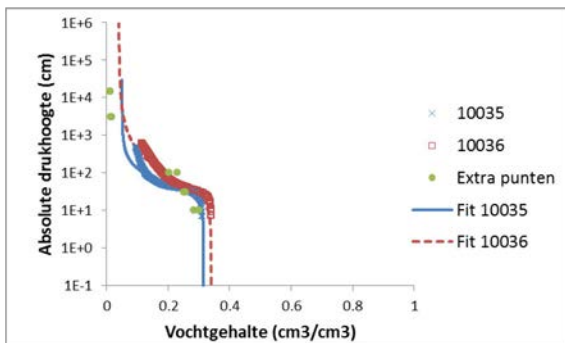
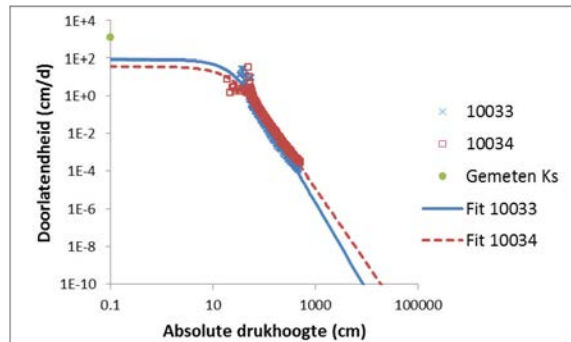
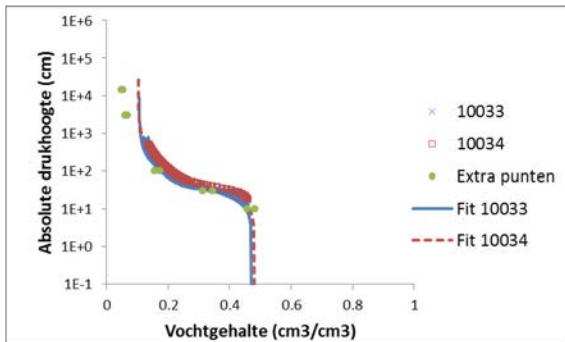
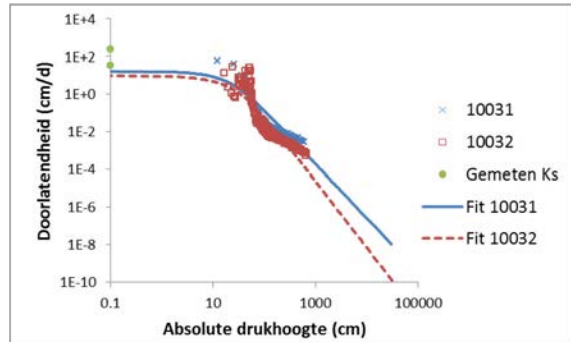
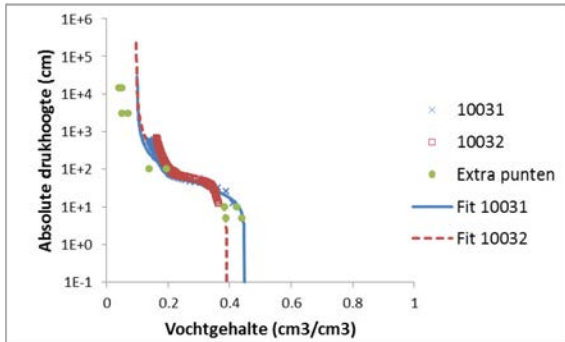
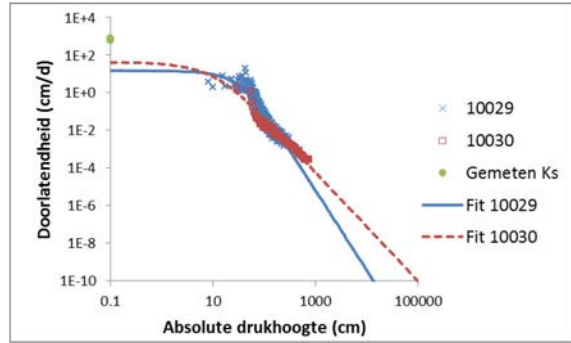
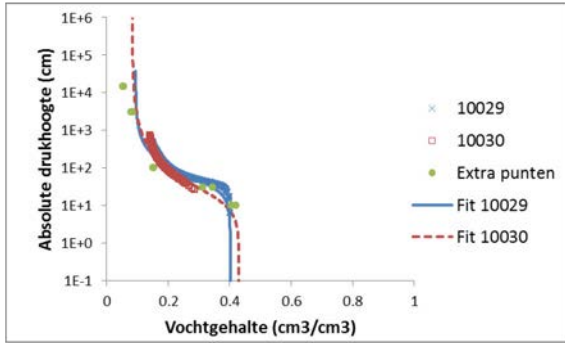
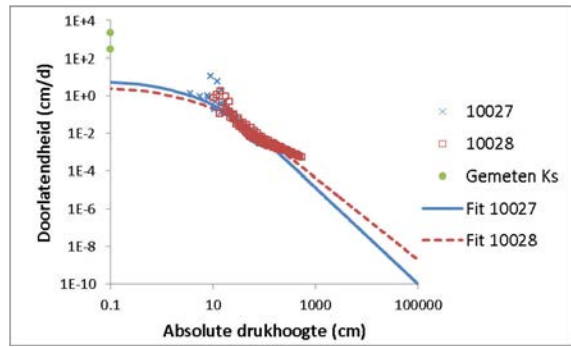
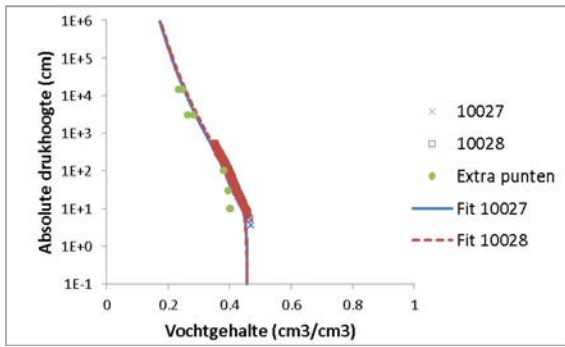
Bijlage 2 Grafieken van de nieuwe meetgegevens (2012-2014)

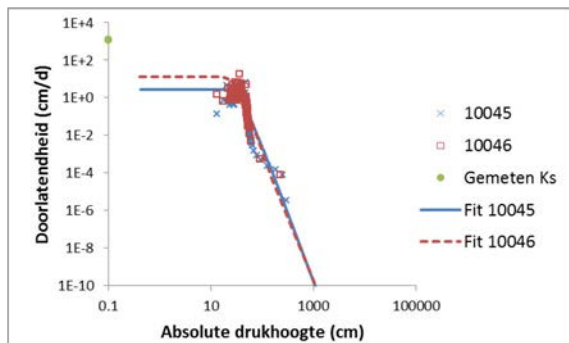
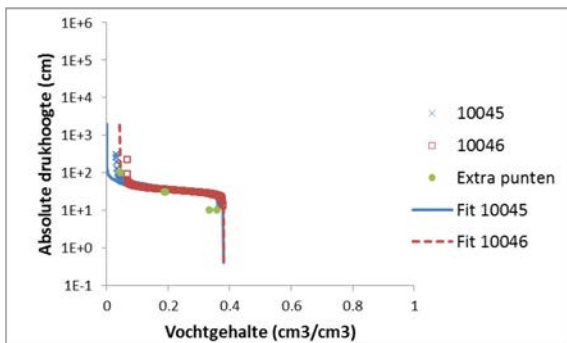
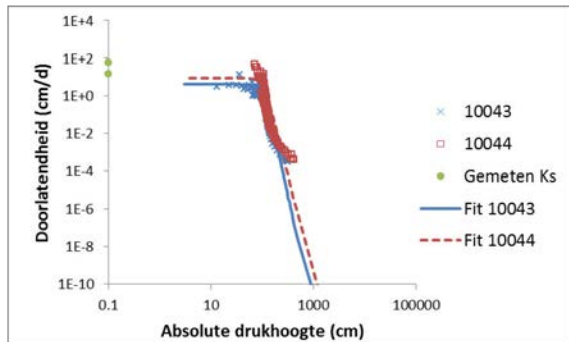
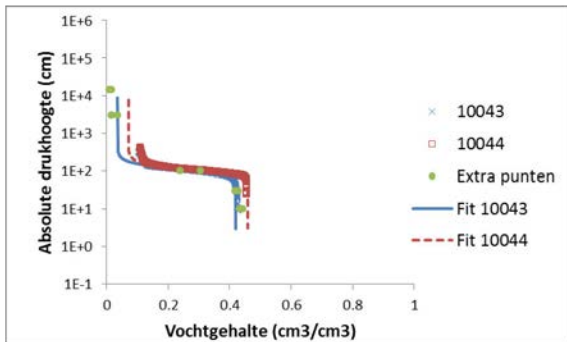
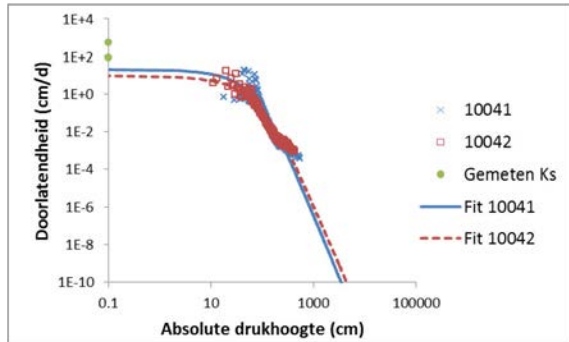
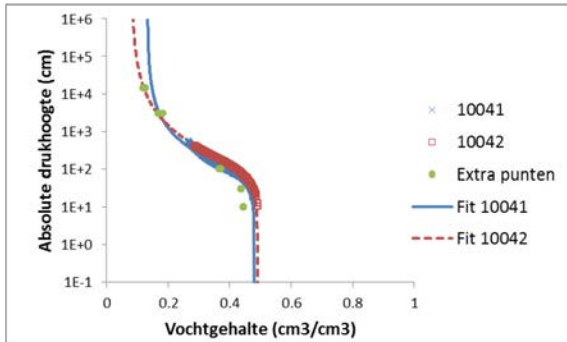
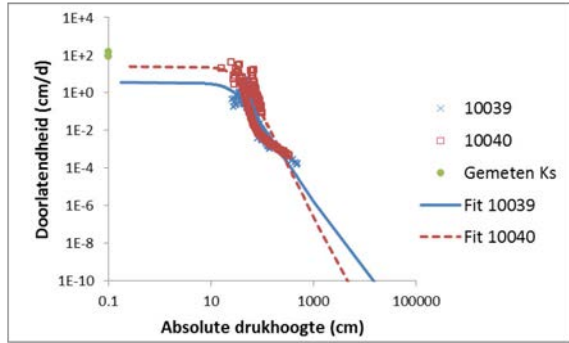
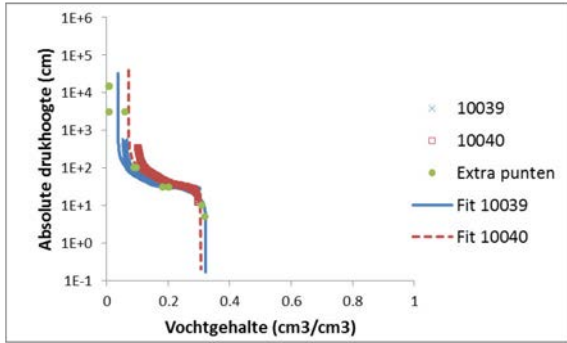
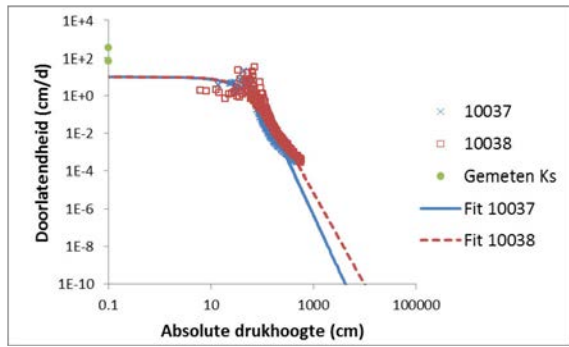
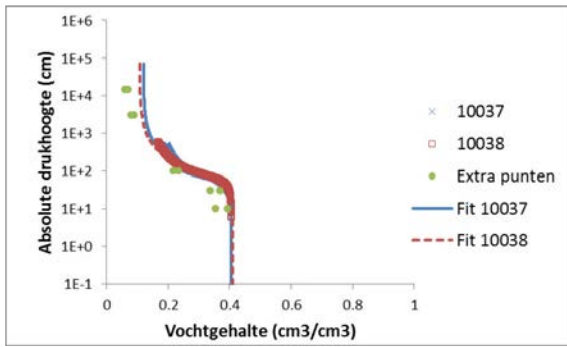
In de figuren van deze bijlage zijn links de retentie- en rechts de waterdoorlatendheidskarakteristieken gegeven van 2 duplomonsters. De puntenwolken (blauwe kruisjes en rode open vierkantjes) zijn afkomstig uit de prefit van de verdampingsmethode. Verder zijn in de retentie-karakteristiek nog extra meetpunten opgenomen vanuit de zandbak- en drukpanmethode (groene stippen). In de doorlatendheidskarakteristiek zijn 2 extra meetpunten opgenomen van de apart gemeten verzadigde waterdoorlatendheid (groene stippen). De retentie- en doorlatendheidskarakteristieken zijn gefit met een enkele Mualem-Van Genuchten-fit. Dat betekent dat soms concessies zijn gedaan in de retentiecure om de doorlatendheidscurve beter te kunnen fitten en vice versa.

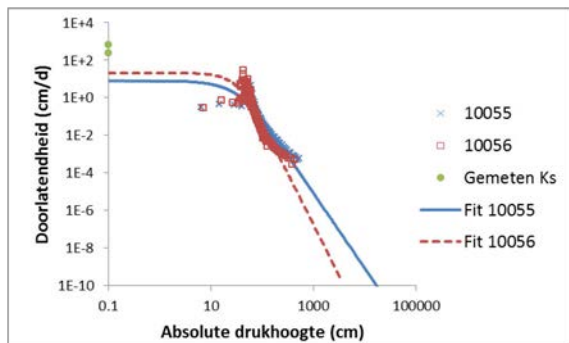
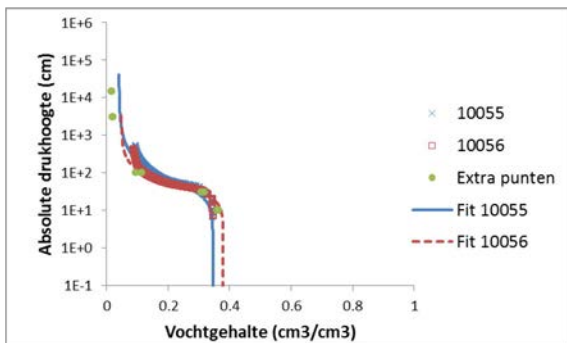
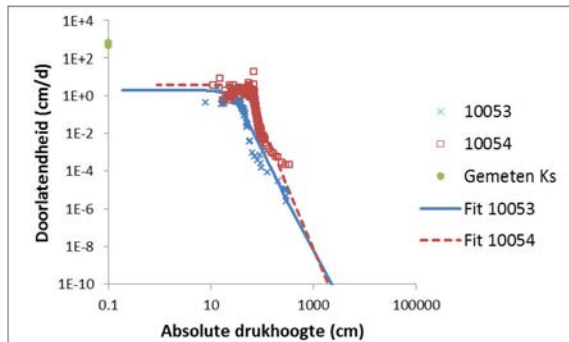
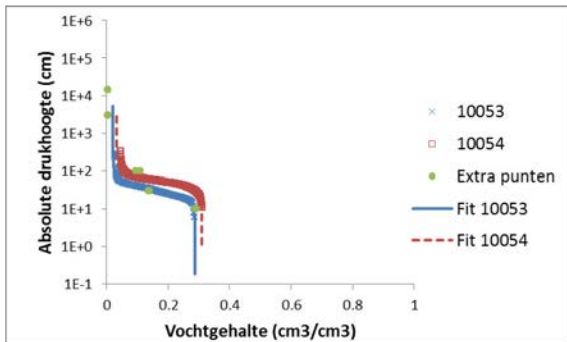
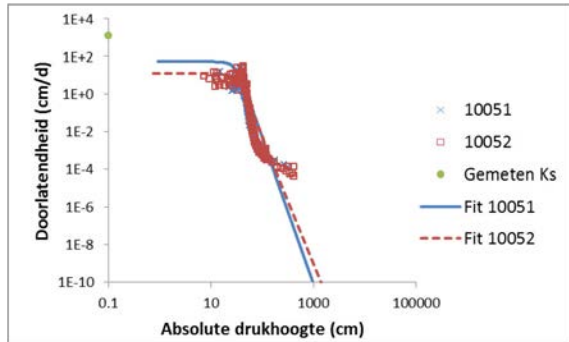
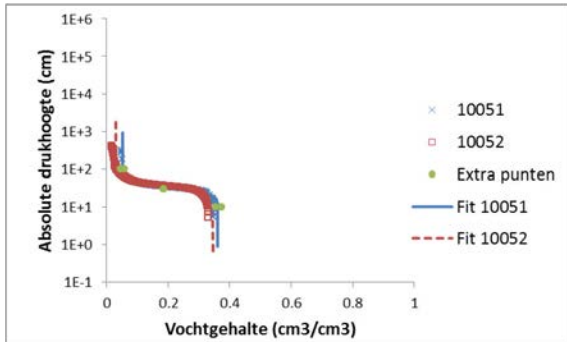
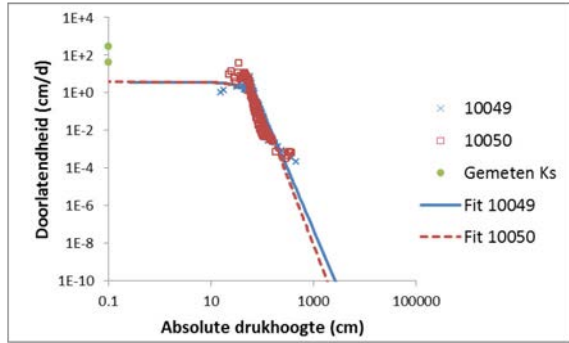
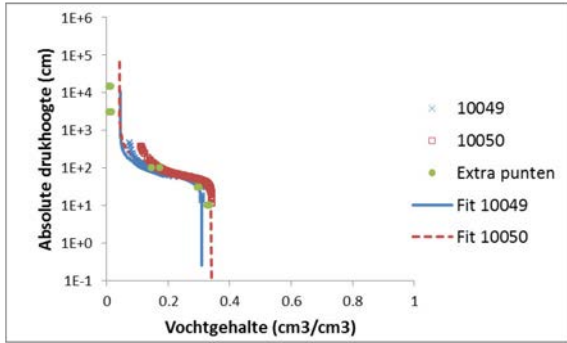
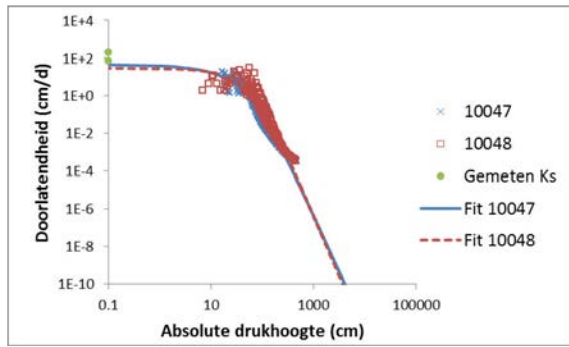
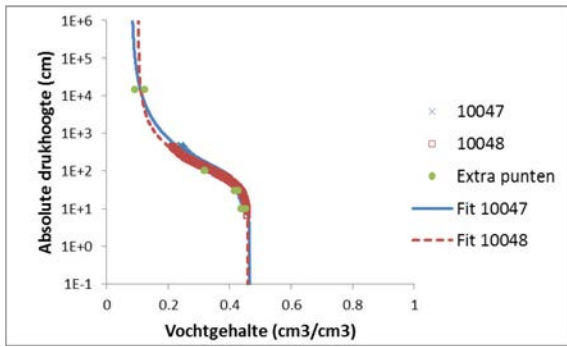


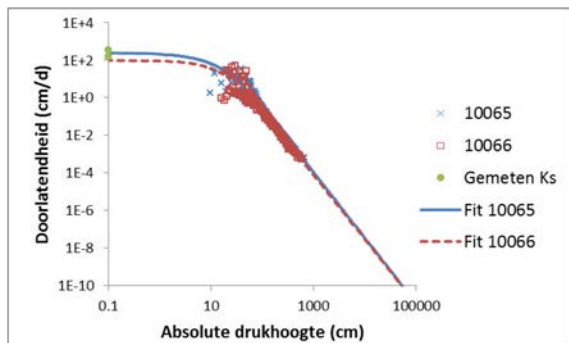
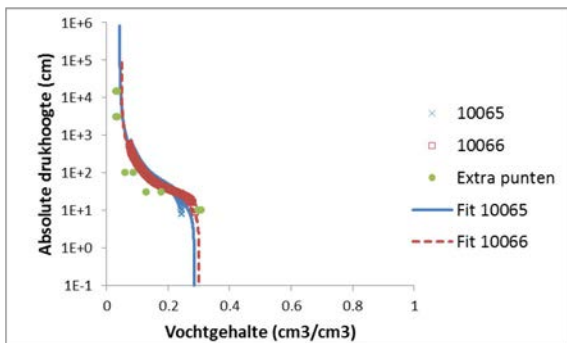
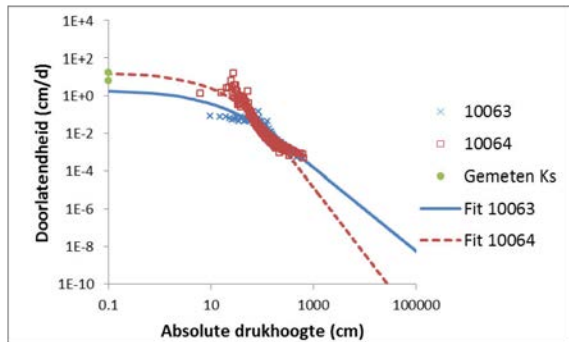
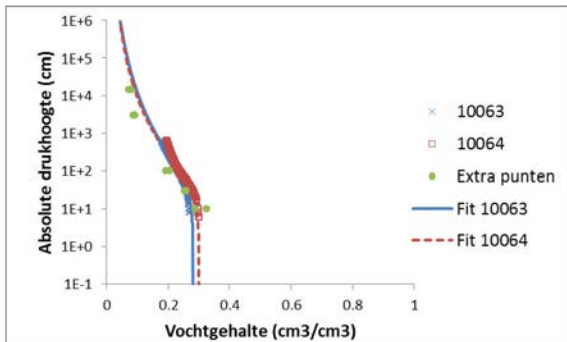
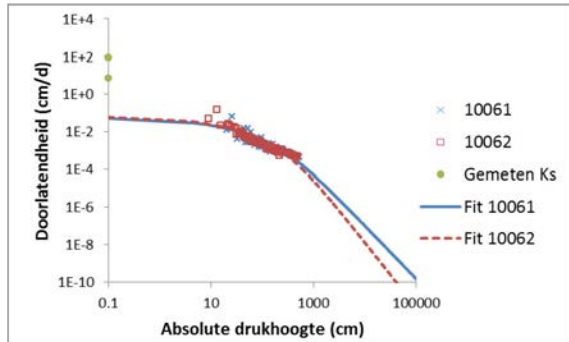
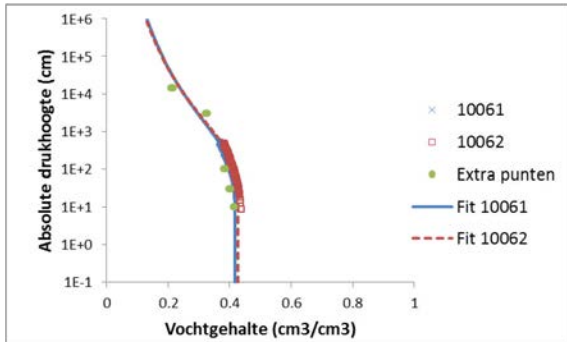
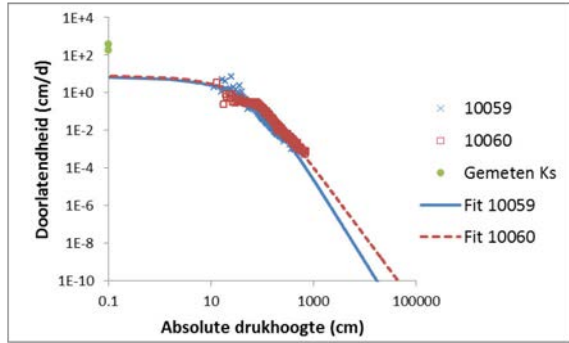
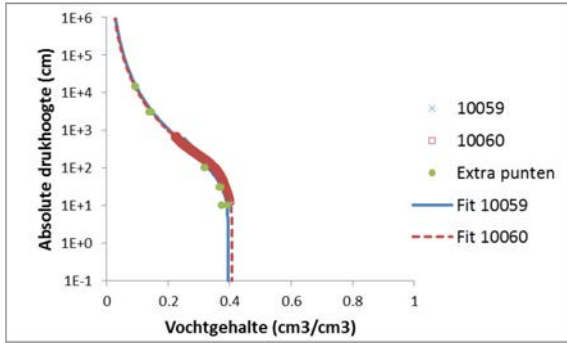
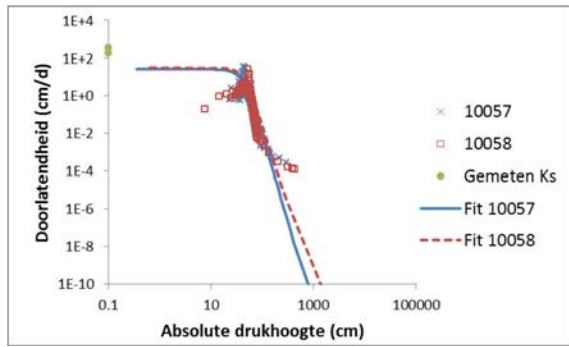
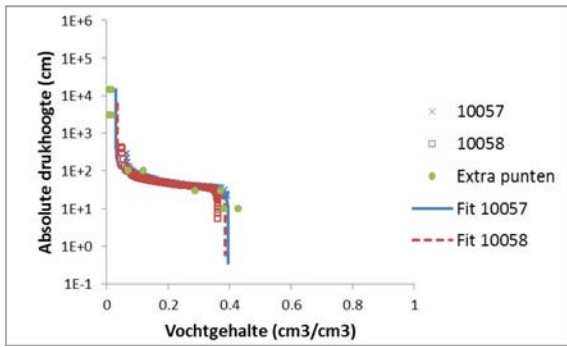


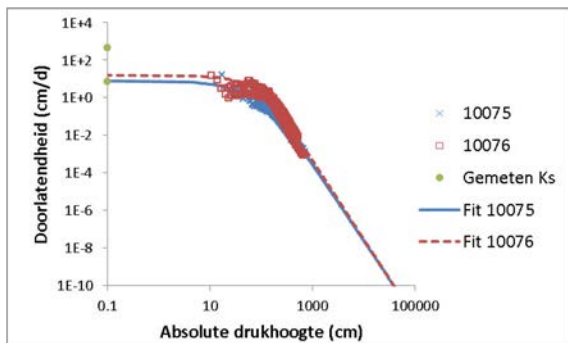
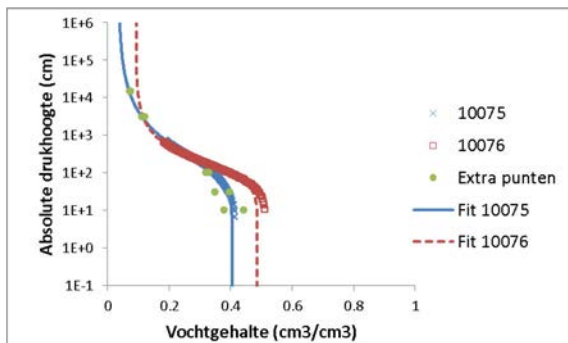
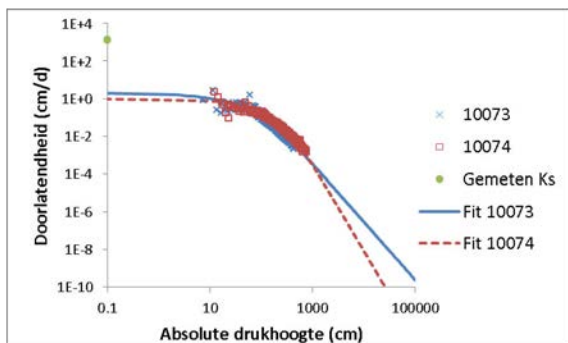
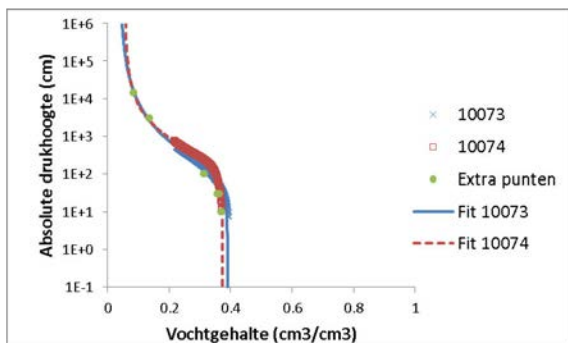
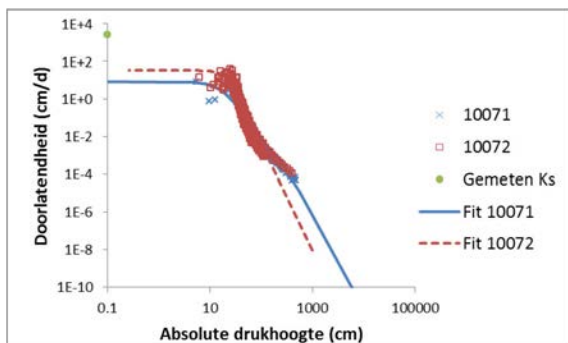
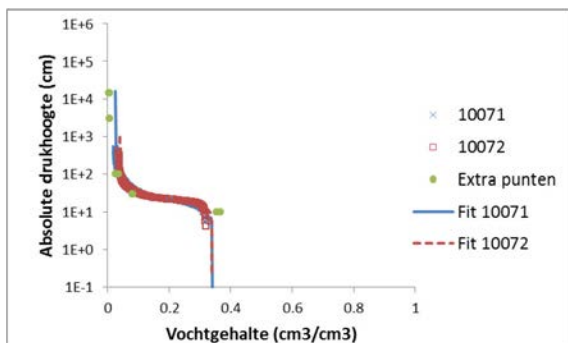
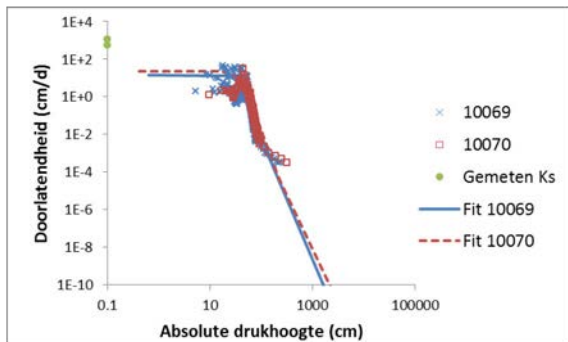
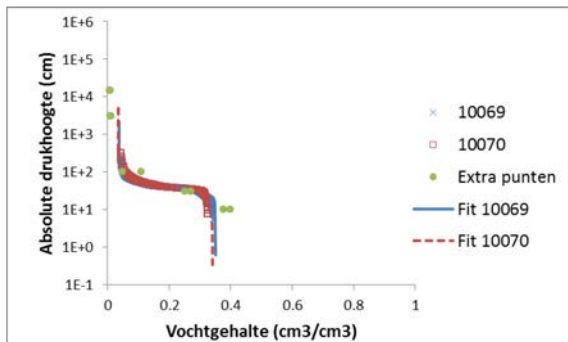
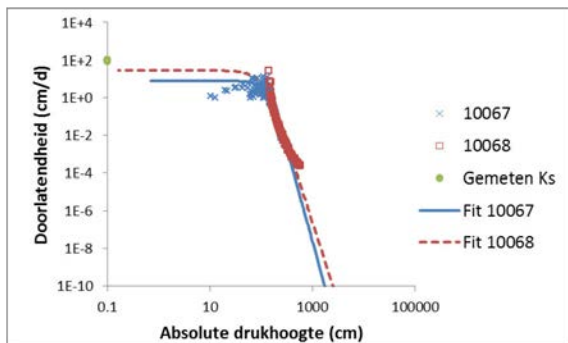
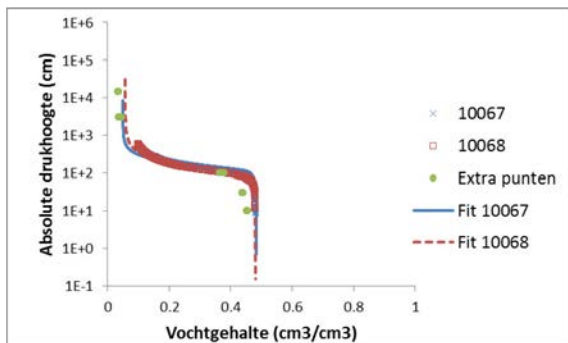


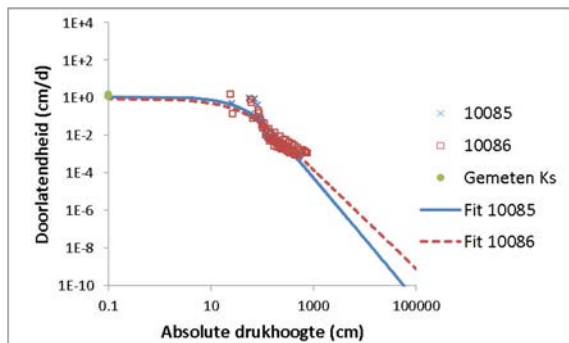
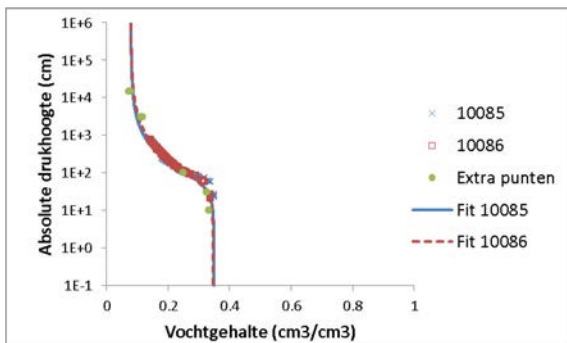
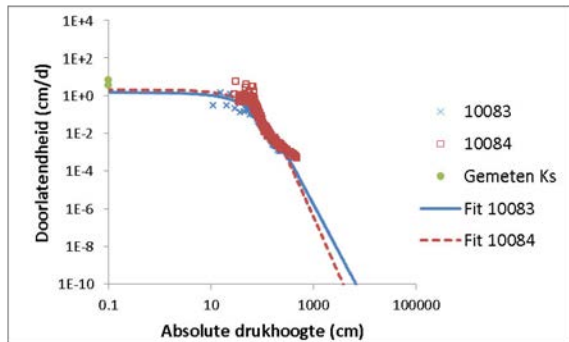
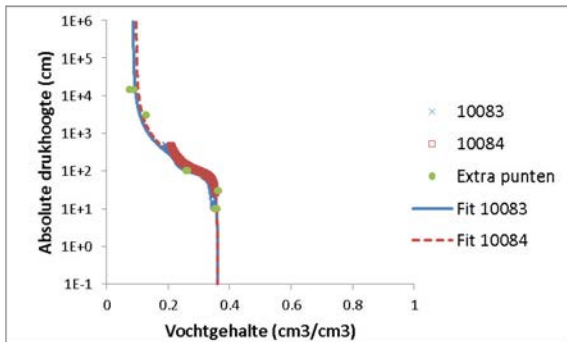
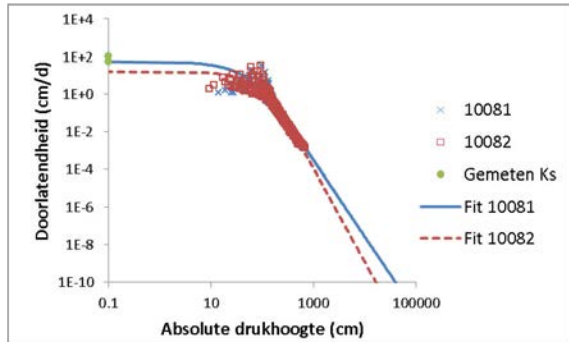
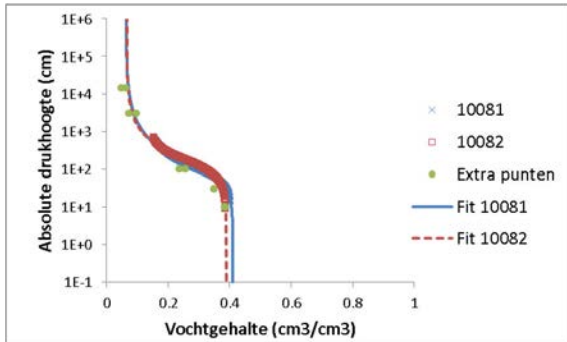
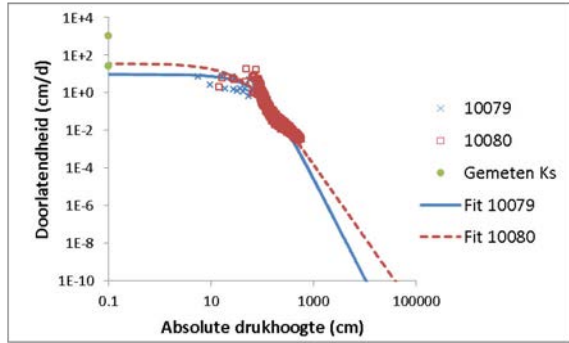
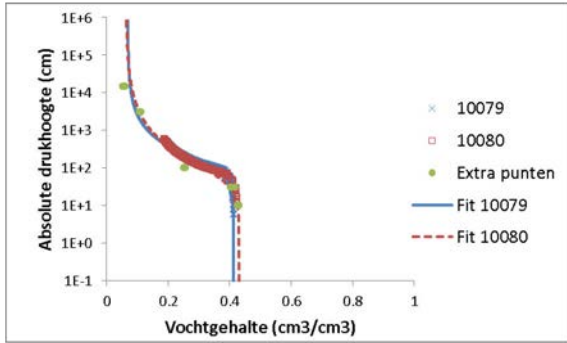
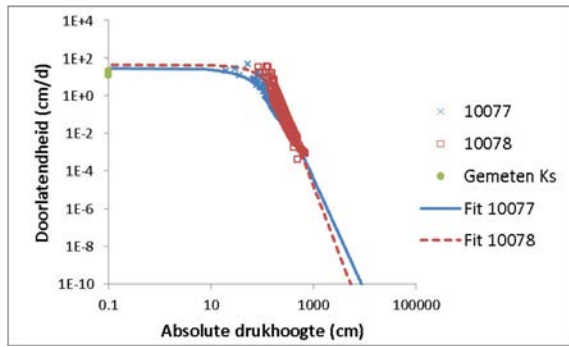
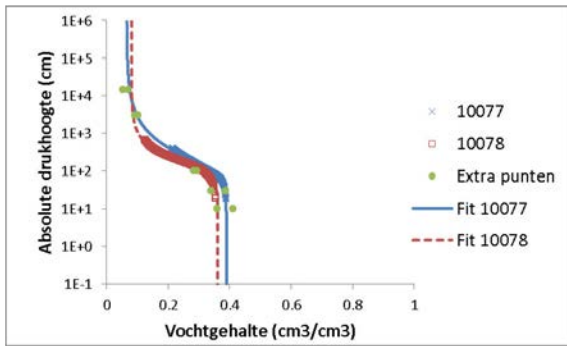


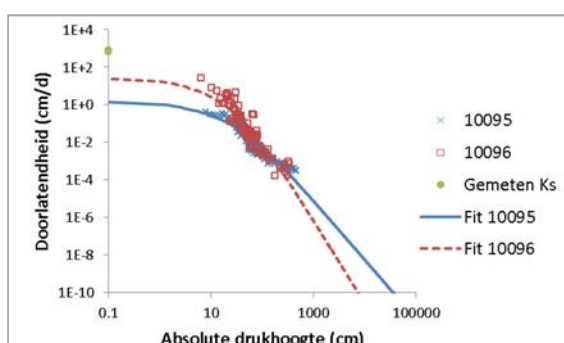
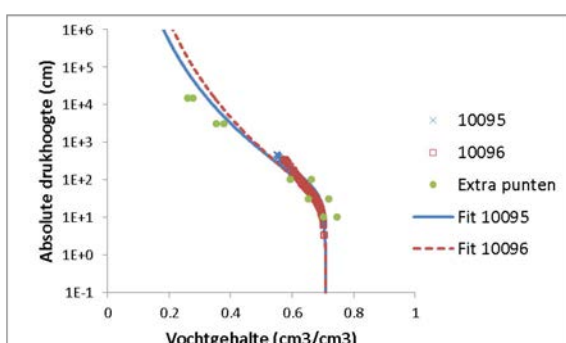
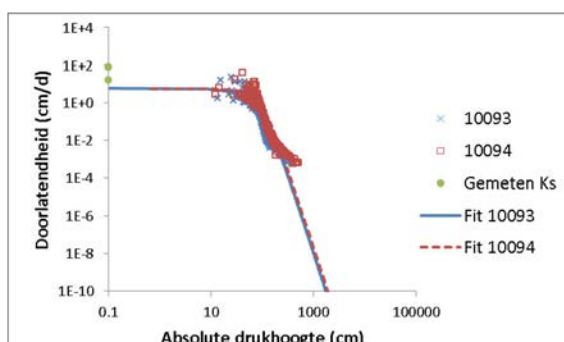
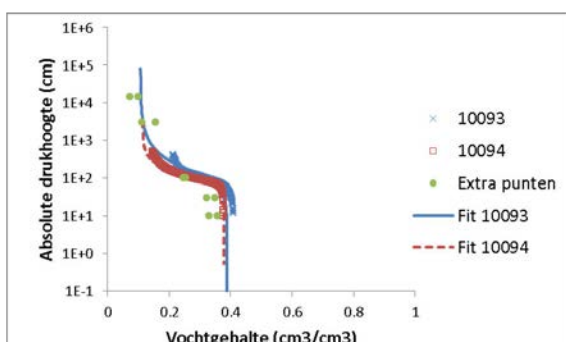
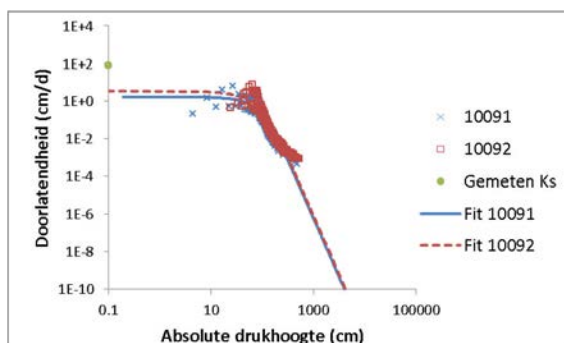
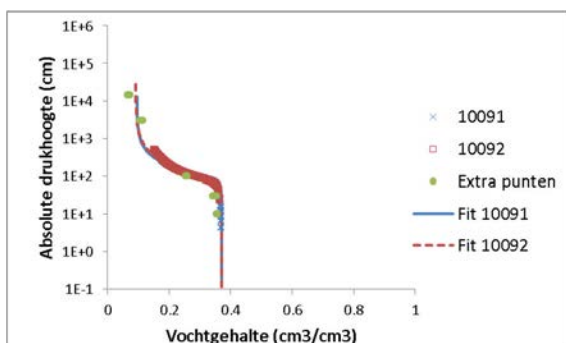
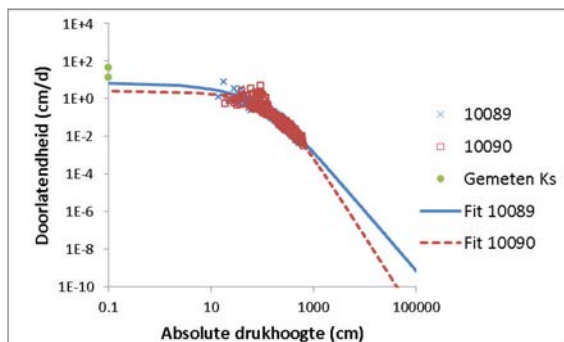
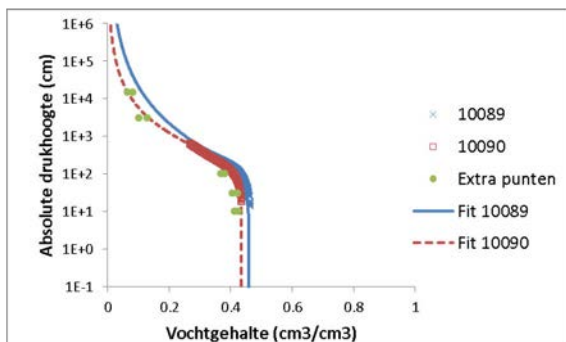
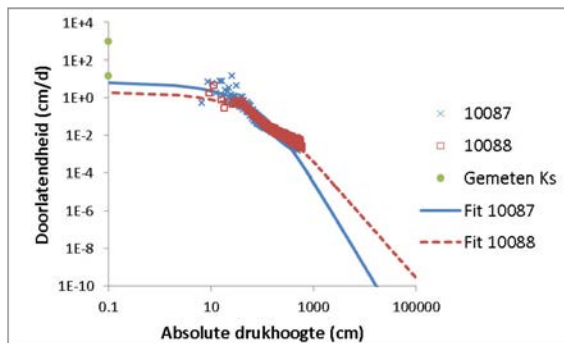
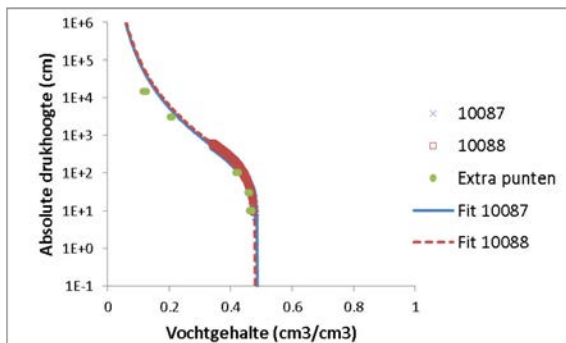


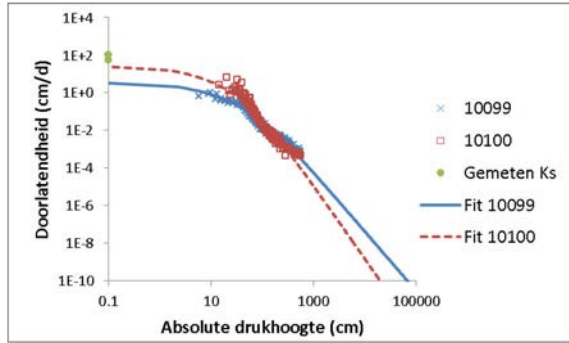
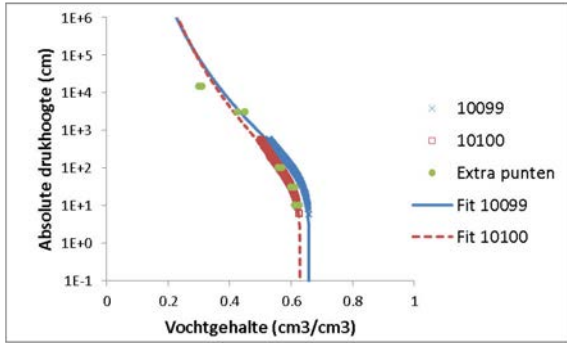
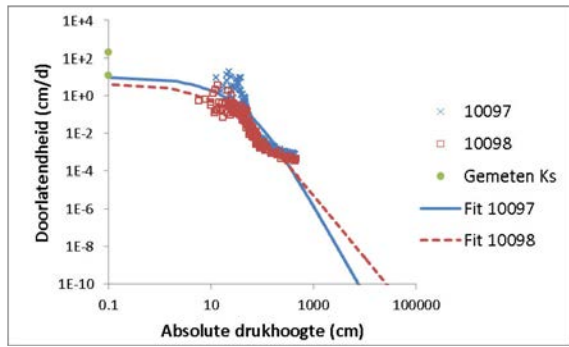
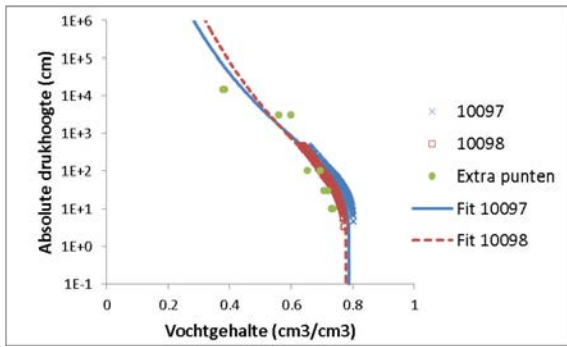












Bijlage 3 Geocodes

In 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). Deze code wordt vanaf 1984 verplicht aan de onderscheiden bodemhorizonten in bodemkarteringen toegekend. De geocodes zijn in onderstaande tabel weergegeven.

| Geocode | Beschrijving |
|------------|---|
| 0 | Onbekend |
| 100 | MOERIG MATERIAAL |
| 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. Gyttja |
| 170 | Strooisellaag |
| 171 | Strooisellaag van loofhout |
| 172 | Strooisellaag van naaldhout |
| 190 | Overige veensoorten (bv. Scheuchzeriaveen) |
| 200 | MARIENE AFZETTINGEN (holoceen) |
| 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) |
| 300 | FLUVIATIELE AFZETTINGEN |
| 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 fluviaatiele afzettingen (bv. Form. v. Enschede) |
| 400 | EOLISCHE EN FLUVIO-PERIGLACIALE AFZETTINGEN |
| 410 | Dekzand |
| 411 | Jong dekzand |
| 412 | Oud dekzand |
| 413 | Fluvio-periglaciaal |
| 420 | Loss |
| 421 | Loss; dekafzettingen |
| 422 | Loss in lokale depressies (bv. Brabants leem) |
| 430 | Kustduinzand |
| 431 | Jong kustduinzand |
| 432 | Oud kustduinzand |
| 440 | Rivierduinzand |
| 450 | Landduinzand (bv. stuifzand) |
| 490 | Overige afzettingen (bv. eolisch premorenaal zand) |
| 500 | GLACIALE EN FLUVIO-GLACIALE AFZETTINGEN |
| 510 | Keileem |
| 520 | Keizand |
| 530 | Smeltwaterafzettingen |
| 531 | Smeltwaterafzetting; zand |
| 532 | Smeltwaterafzetting; (warven)klei |

| Geocode | Beschrijving |
|------------|--|
| 533 | Smeltwaterafzetting; potklei |
| 600 | OVERIGE AFZETTINGEN |
| 610 | Hellingafzetting 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 |

Alterra Wageningen UR
Postbus 47
6700 AA Wageningen
T 0317 48 07 00
www.wageningenUR.nl/alterra

Alterra-rapport 2613
ISSN 1566-7197



Alterra Wageningen UR is hét 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.

De missie van Wageningen UR (University & Research centre) is 'To explore the potential of nature to improve the quality of life'. Binnen Wageningen UR bundelen 9 gespecialiseerde onderzoeksinstituten van stichting DLO en Wageningen University hun krachten om bij te dragen aan de oplossing van belangrijke vragen in het domein van gezonde voeding en leefomgeving. Met ongeveer 30 vestigingen, 6.000 medewerkers en 9.000 studenten behoort Wageningen UR wereldwijd tot de aansprekende kennisinstellingen binnen haar domein. De integrale benadering van de vraagstukken en de samenwerking tussen verschillende disciplines vormen het hart van de unieke Wageningen aanpak.

To explore
the potential
of nature to
improve the
quality of life



Alterra Wageningen UR
Postbus 47
6700 AA Wageningen
T 317 48 07 00
www.wageningenUR.nl/alterra

Alterra-rapport 2613
ISSN 1566-7197

Alterra Wageningen UR is hét 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.

De missie van Wageningen UR (University & Research centre) is 'To explore the potential of nature to improve the quality of life'. Binnen Wageningen UR bundelen 9 gespecialiseerde onderzoeksinstituten van stichting DLO en Wageningen University hun krachten om bij te dragen aan de oplossing van belangrijke vragen in het domein van gezonde voeding en leefomgeving. Met ongeveer 30 vestigingen, 6.000 medewerkers en 9.000 studenten behoort Wageningen UR wereldwijd tot de aansprekende kennisinstellingen binnen haar domein. De integrale benadering van de vraagstukken en de samenwerking tussen verschillende disciplines vormen het hart van de unieke Wageningen aanpak.

