

Waterretentie- en doorlatendheidskarakteristieken van boven- en ondergronden in  
Nederland: de Staringreeks



# **Waterretentie- en doorlatendheidskarakteristieken van boven- en ondergronden in Nederland: de Staringreeks**

**Vernieuwde uitgave 2001**

**J.H.M. Wösten  
G.J. Veerman  
W.J.M. de Groot  
J. Stolte**

**Alterra-rapport 153**

**Alterra, Research Instituut voor de Groene Ruimte, Wageningen, 2001**

## REFERAAT

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, Alterra, Research Instituut voor de Groene Ruimte. Alterra-rapport 153. 86 blz. 3 fig.; 10 tab.; 20 ref.

Het bij Alterra aanwezige bestand aan gemeten bodemfysische karakteristieken is de laatste jaren aanzienlijk uitgebreid. Deze uitbreiding heeft geleid tot een vernieuwing van de in 1994 uitgebrachte Staringreeks. De Staringreeks vermeldt de gemiddelde bodemfysische karakteristieken voor alle 36 van de in totaal onderscheiden 18 boven-en 18 ondergronden. De reeks geeft een complete landelijke dekking van alle op de Bodemkaart van Nederland 1 : 50 000 onderscheiden bodemeenheden. Om het gebruik van de bodemfysische karakteristieken in simulatiemodellen te vereenvoudigen zijn de karakteristieken beschreven met analytische vergelijkingen. Tevens is een programma beschikbaar waarmee de gebruiker aan de hand van de bodemkenmerken textuur, organische-stofgehalte, dichtheid, boven- of ondergrond met behulp van continue vertaalfuncties voorspellingen kan maken van de bodemfysische karakteristieken.

Trefwoorden: bodemfysische karakteristieken bouwstenen, simulatie, Staringreeks, vertaalfuncties.

ISSN 1566-7197

Dit rapport kunt u bestellen door NLG 40,00 over te maken op banknummer 36 70 54 612 ten name van Alterra, Wageningen, onder vermelding van Alterra-rapport 153. Dit bedrag is inclusief BTW en verzendkosten.

© 2001 Alterra, Research Instituut voor de Groene Ruimte,  
Postbus 47, NL-6700 AA Wageningen.  
Tel.: (0317) 474700; fax: (0317) 419000; e-mail: postkamer@alterra.wag-ur.nl

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

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

Alterra is de fusie tussen het Instituut voor Bos- en Natuuronderzoek (IBN) en het Staring Centrum, Instituut voor Onderzoek van het Landelijk Gebied (SC). De fusie is ingegaan op 1 januari 2000.

# Inhoud

Woord vooraf	7
Samenvatting	9
1 Inleiding	11
2 Werkwijze	13
3 Resultaten	17
3.1 Indeling van de onderscheiden bouwstenen	17
3.2 Klasse vertaalfuncties	22
3.3 Continue vertaalfuncties	29
4 Richtlijn voor gebruik	35
5 Discussie	39
5.1 Algemeen	39
5.2 Schaal	40
5.3 Profielopbouw	41
5.4 Modelconcept	42
5.5 Onzekerheid	43
Literatuur	45
<b><i>Aanhangsels</i></b>	
1 Bovengronden	47
2 Ondergronden	67



## **Woord vooraf**

Alterra heeft in de afgelopen jaren haar bestand aan gemeten bodemfysische karakteristieken aanzienlijk uitgebreid. Dit heeft er toe geleid dat een vernieuwde uitgave uitgebracht wordt van de in 1994 verschenen Staringreeks. Deze vernieuwde uitgave is gebaseerd op de karakteristieken verzameld door Wösten, Bannink en Beuving voor de Staringreeks van 1987, op de karakteristieken verzameld door Wösten, Veerman en Stolte voor de Staringreeks van 1994 en op de sindsdien aanvullend verzamelde karakteristieken. De vernieuwde Staringreeks geeft de huidige stand van zaken weer met betrekking tot de bodemfysische karakterisering van de Nederlandse gronden.





## Samenvatting

Het bij Alterra aanwezige bestand aan gemeten en beschikbare bodemfysische karakteristieken is gegroeid van 273 karakteristieken in 1987 via 620 in 1994 tot 832 nu. Deze laatste uitbreiding is voor het grootste gedeelte tot stand gekomen door een gerichte bemonstering van niet eerder bemonsterde bodemhorizonten en gedeeltelijk door analyse van nog in het archief aanwezige monsters die niet eerder werden geanalyseerd.

Deze toename heeft geleid tot deze vernieuwde uitgave van de in 1994 uitgebrachte Staringreeks. Hierbij is het indelingscriterium niet veranderd. De huidige Staringreeks vermeldt de gemiddelde bodemfysische karakteristieken voor alle 36 van de in totaal onderscheiden 18 boven- en 18 ondergronden. Aangezien er nu geen bouwstenen meer zijn waarvan de gemiddelde bodemfysische karakteristieken ontbreken, geeft de huidige reeks een complete landelijke dekking voor bodemhorizonten van alle op de Bodemkaart van Nederland 1 : 50 000 onderscheiden bodemeenheden. Om het gebruik van de bodemfysische karakteristieken in simulatiemodellen te vereenvoudigen zijn de karakteristieken behalve in tabelvorm ook beschreven met analytische vergelijkingen. Het inzicht in de praktische betekenis van de  $K-h$  relaties is vergroot door bij 13 waarden van de drukhoogte  $h$  de stijghoogtewaarden te vermelden bij fluxdichtheden van 0,1 en 0,2 cm per dag.

De huidige Staringreeks is een 'klasse vertaalfunctie' die voor iedere textuurklasse de gemiddelde bodemfysische karakteristieken vermeldt. In aanvulling hierop zijn ook continue vertaalfuncties ontwikkeld waarmee aan de hand van textuur, organische-stofgehalte, dichtheid en het kenmerk boven- of ondergrond voorspellingen kunnen worden gemaakt van de vormparameters in de analytische vergelijkingen. Deze continue vertaalfuncties zijn geprogrammeerd in het programma 'Staringreeks'. Belangstellenden kunnen het programma 'Staringreeks' gebruiken door het te downloaden van internet: [www.alterra.nl/fset-onderzoek.htm](http://www.alterra.nl/fset-onderzoek.htm) vervolgens door te klikken naar 'producten' en dan 'software'.

Om een juist gebruik van de Staringreeks te waarborgen worden tenslotte een aantal richtlijnen vermeld. Deze richtlijnen zijn bedoeld als hulpmiddel om te bepalen wanneer de reeks wel en wanneer deze niet toegepast zou moeten worden.



# 1 Inleiding

Voor het beheer en de monitoring van transport van water en opgeloste stoffen in bodems worden gedetailleerde modellen gebruikt die beschrijven hoe dit transport in en door bodems verloopt. Studies naar klimaatsveranderingen zijn afhankelijk van numerieke modellen die water en warmte uitwisseling aan het bodemoppervlak simuleren. Hydrologische modellen worden gebruikt om neerslag te verdelen over runoff en infiltratie en om evapotranspiratie te berekenen. Modellen zijn inmiddels onmisbare instrumenten in het onderzoek naar de kwantificering en integratie van de belangrijkste fysische-, chemische- en biologische processen werkzaam in de onverzadigde zone van de bodem. Tegelijkertijd leidt het gebruik van deze modellen tot het groeiend besef dat de toepassing en voorspellingskracht van modellen in belangrijke mate afhankelijk is van de beschikbaarheid van voldoende invoergegevens van goede kwaliteit. In dit verband zijn vooral de bodemfysische karakteristieken van de bodem sleutelgrootheden (Van Genuchten et al., 1997).

De Staringreeks, die de Stichting voor Bodemkartering (STIBOKA) en het Instituut voor Cultuurtechniek en Waterhuishouding (ICW) in 1987 voor het eerst uitbrachten, verschafte de gemiddelde bodemfysische karakteristieken voor 26 van de 36 belangrijkste Nederlandse textuurklassen (Wösten et al., 1987). In 1994 verscheen een vernieuwde uitgave van de Staringreeks waarin de gemiddelde bodemfysische karakteristieken worden gepresenteerd voor 30 van de 36 belangrijkste Nederlandse textuurklassen (Wösten et al., 1994). Sinds het uitbrengen van de vernieuwde uitgave van de Staringreeks in 1994 is het bestand aan gemeten bodemfysische karakteristieken aanzienlijk uitgebreid vooral door een gerichte bemonstering en analyse van tot op heden ontbrekende textuurklassen. Dit is de aanleiding om opnieuw een vernieuwde uitgave van de Staringreeks uit te brengen. De huidige reeks is gebaseerd op metingen aan 832 afzonderlijke bodemhorizonten. Voor alle 36 Nederlandse textuurklassen worden gemiddelde bodemfysische karakteristieken gepresenteerd waarbij deze gemiddelden zijn gebaseerd op metingen aan minimaal 6 afzonderlijke monsters van verschillende locaties met vergelijkbare bodemhorizonten. De afgelopen jaren is de Staringreeks veelvuldig toegepast in een grote verscheidenheid van simulatiestudies op regionale en nationale schaal. Om het zorgvuldig gebruik van de reeks te waarborgen, worden een aantal richtlijnen vermeld.



## 2 Werkwijze

Voor de bepaling van bodemfysische karakteristieken die ten grondslag liggen aan de Staringreeks uit 1987, werden soms voor dezelfde grondsoort en hetzelfde drukhoogtetraject door STIBOKA en ICW verschillende meetmethoden toegepast. Doordat zodoende voor dezelfde grondsoort verschillende resultaten werden verkregen, was sprake van een 'methode-effect'. Met het ontstaan van DLO-Staring Centrum (SC-DLO) in 1989 is de duidelijke keuze gemaakt om een beperkt aantal betrouwbare en accurate methoden te hanteren en deze tevens verder te ontwikkelen. Deze lijn is voortgezet met het ontstaan van Alterra in 2000 waarbij in het kader van de kwaliteitsborging, de nu bij Alterra operationeel zijnde meetmethoden zowel in NNI- (Nederlands Normalisatie Instituut) als in ISO- (International Standard Organization) verband worden genormaliseerd. Groeiende aandacht voor kwaliteitsborging van modellen en gegevensbestanden zal ertoe leiden dat de reeks op dit punt in de toekomst nog verbeterd zal worden. Een gedetailleerde gebruikershandleiding stelt ook niet-bodemfysici in staat de bepalingen zelfstandig uit te voeren (Stolte, 1997). Ontwikkelingen in de elektronica hebben er toe geleid dat de bepalingen nu worden verricht met geautomatiseerde, computergestuurde opstellingen. Hierdoor kunnen de bepalingen snel en tegen relatief lage kosten worden uitgevoerd. Het uitgangspunt bij de bepalingen is dat ze worden verricht aan niet-verstoorde monsters die met grote zorgvuldigheid in het veld zijn verzameld. Van de waterretentiekarakteristiek wordt tot op heden bijna uitsluitend de uitdrogings- en niet de bevochtigingscurve bepaald. Gezien de rol van hysteresis als veroorzaker van preferente waterstroming in gronden, is te verwachten dat in de toekomst zowel de uitdrogings- als de bevochtigingscurve bepaald gaat worden.

Bij deze vernieuwde uitgave van de Staringreeks is hetzelfde indelingscriterium gehanteerd als bij de reeksen die in 1987 en in 1994 zijn verschenen. Dit betekent dat is aangesloten bij de textuur-terminologie van De Bakker en Schelling (1989) zoals die onder meer wordt toegepast voor de landelijke Bodemkaart van Nederland schaal 1 : 50 000. Deze bodemkaart geeft een beeld van de regionale bodemkundige verschillen en vormt zodoende een relevante basis voor de regionale toepassing van de gegevens uit de Staringreeks. Door de koppeling van de Staringreeks met de bodemkaart kan bodemfysische informatie worden geëxtrapoleerd naar vergelijkbare horizonten van andere bodemeenheden. De bodemhorizonten fungeren op deze wijze als 'dragere' van bodemfysische informatie en zijn in feite bouwstenen waarmee bodemprofielen worden opgebouwd. Het gebruik van bodemhorizonten waarvan de verbreiding op kaarten is aangegeven, biedt de mogelijkheid om gegevens te extrapoleren van punt naar vlak.

Evenals in de Staringreeks van 1994 is nu ook weer een indeling gemaakt in 18 bouwstenen voor zowel boven- als ondergrond. Hierbij komen bovengronden overeen met de diepte tot waar de meeste planten kunnen wortelen en worden ze veelal gekenmerkt door een hoger organische-stofgehalte en een lagere dichtheid dan de ondergronden.

In navolging van de Staringreeks van 1994, worden de gemiddelde  $K-h$ -relaties gepresenteerd in de vorm van waarden voor de vormparameters in de analytische vergelijkingen waarmee de relaties worden beschreven. De waterretentiekarakteristiek wordt beschreven met de volgende door Van Genuchten (1980) opgestelde empirische vergelijking:

$$q(h) = q_r + \frac{q_s - q_r}{(1 + ah)^{1-1/n}}$$

De doorlatendheidskarakteristiek wordt beschreven met de volgende vergelijking (Van Genuchten, 1980):

$$K(h) = K_s \frac{((1 + ah^n)^{1-1/n} - ah^{n-1})^2}{(1 + ah^n)^{(1-1/n)(1+2)}}$$

Het subscript  $s$  heeft betrekking op de waarden van het vochtgehalte  $\theta$  en de doorlatendheid  $K$  bij verzadiging. Het subscript  $r$  heeft betrekking op de residuaire waarde van het vochtgehalte  $\theta_r$ . In de praktijk is  $\theta_r$  het vochtgehalte bij een grote negatieve waarde ( $-1 \times 10^6$  cm) van de drukhoogte  $h$ . De parameters  $a$ ,  $n$  en  $l$  bepalen de vorm van de curven. Zo komt parameter  $a$  ( $\text{cm}^{-1}$ ) ongeveer overeen met de inverse van de drukhoogte  $h$  bij het inflectiepunt waar  $d\theta/dh$  maximaal is. De dimensieloze parameter  $n$  bepaalt de snelheid waarmee de S-vormige waterretentiekarakteristiek tot de y-as nadert voor grote negatieve waarden van de drukhoogte  $h$ . De waarde van de parameter  $n$  is zodoende een maat voor de 'steilheid' van de waterretentiekarakteristiek. De dimensieloze parameter  $l$  tenslotte bepaalt het verloop van de  $K-h$  relatie bij meer negatieve waarden van  $h$ . In een aantal studies is aangetoond dat deze analytische vergelijkingen erg flexibel zijn waardoor ze de  $K-h$ -relaties van een grote verscheidenheid aan gronden goed kunnen beschrijven (Hopmans en Overmars, 1986; Wösten en Van Genuchten, 1988a). Voor de beschrijving van de gemiddelde  $K-h$ -relaties met de analytische vergelijkingen is gebruik gemaakt van het niet-lineair optimalisatieprogramma RETC (Van Genuchten et al., 1991). Met dit optimalisatieprogramma worden de onbekende parameters ( $\theta_r$ ,  $\theta_s$ ,  $K_s$ ,  $a$ ,  $l$  en  $n$ ) uit de analytische vergelijkingen geschat door tegelijkertijd de verschillen tussen gemeten en geschatte vochtgehalten en die tussen gemeten en geschatte doorlatendheden te minimaliseren. Op deze wijze kan de bodemfysische invoer in de meeste simulatiemodellen worden vereenvoudigd tot het invoeren van

de waarden voor de parameters uit de analytische vergelijkingen voor de betreffende bouwstenen. Daarnaast worden de gemiddelde bodemfysische karakteristieken in tabelvorm gepresenteerd als  $K$  en  $?$  waarden bij 13 waarden van  $h$ . Bij deze waarden van  $h$  zijn ook de berekende stijghoogtewaarden vermeld bij fluxdichtheden van 0,1 en 0,2 cm per dag.

De Staringreeks is een 'klasse vertaalfunctie' die voor iedere textuurklasse de gemiddelde bodemfysische karakteristieken vermeldt. In aanvulling hierop zijn nu ook continue vertaalfuncties ontwikkeld waarmee aan de hand van textuur, organische-stofgehalte, dichtheid en het kenmerk boven- of ondergrond voorspellingen worden gedaan van de vormparameters in de analytische vergelijkingen. Hiervoor zijn de bodemfysische karakteristieken van alle 832 bodemhorizonten beschreven met de bovenstaande vergelijkingen door toepassing van het RETC programma (Van Genuchten et al., 1991). Na deze beschrijving met de vergelijkingen is lineaire regressie toegepast om het verband vast te stellen tussen elke vormparameter en de bodemkenmerken; textuur, organische-stofgehalte, dichtheid en het kenmerk boven- of ondergrond.

Om aan een aantal fysische randvoorwaarden te voldoen worden in de regressie analyse de getransformeerde in plaats van de originele vormparameters gebruikt. Voor zandgronden zijn de randvoorwaarden:  $K_s > 0$ ,  $a > 0$ ,  $n > 1$  and  $-2 < l < +2$ . Voor zavel- en kleigronden is de laatste randvoorwaarde  $-10 < l < +10$ . Ten gevolge hiervan zijn de vormparameters getransformeerd tot:  $K_s^* = \ln(K_s)$ ,  $a^* = \ln(a)$ ,  $n^* = \ln(n-1)$ ; voor zandgronden  $l^* = \ln((l+2)/(2-l))$  en voor zavel- en kleigronden  $l^* = \ln((l+10)/(10-l))$ . Voor zandgronden zijn de regressievariabelen: percentage leem, percentage organische stof, M50, dichtheid en het kenmerk boven- of ondergrond.

Voor zavel- en kleigronden is percentage leem vervangen door percentage lutum. In de regressie analyse worden lineaire, reciproque en exponentiële verbanden van de variabelen gebruikt, terwijl ook hun onderlinge interactie wordt onderzocht. Het resultaat is een regressievergelijking oftewel continue vertaalfunctie bestaande uit verschillende variabelen en hun interacties met als kenmerk dat ze allemaal een significante bijdrage leveren aan de voorspelling van de getransformeerde vormparameter. Vervolgens kunnen de bodemfysische karakteristieken verkregen worden door terugtransformatie van de getransformeerde vormparameters.





## 3 Resultaten

### 3.1 Indeling van de onderscheiden bouwstenen

Terwijl er in 1994 620 gemeten bodemfysische karakteristieken beschikbaar waren is dit aantal nu gegroeid tot 832, een groei van 34 %. Deze toename is vooral bereikt door een gerichte bemonstering van horizonten uit tot op heden ontbrekende textuurklassen en gedeeltelijk door analyse van de nog in het archief aanwezige maar niet eerder geanalyseerde monsters.

Uitgaande van het bestand zijn de gemiddelde  $K-h$  relaties berekend voor alle 36 onderscheiden Nederlandse textuurklassen oftewel bouwstenen. Door de toename van het aantal gemeten bodemfysische karakteristieken zijn de gepresenteerde gemiddelde relaties nu gebaseerd op meer metingen. Het minimum aantal gemeten afzonderlijke bodemhorizonten bedraagt nu 6. De monsternamen locaties zijn niet regelmatig verspreid over Nederland, maar vooral geconcentreerd op locaties waar onderzoeksprojecten zijn uitgevoerd.

De gemiddelde  $K-h$  relatie per bouwsteen is berekend door het geometrisch gemiddelde te nemen van de afzonderlijke relaties per bouwsteen. Dit omdat de waarden niet normaal maar lognormaal verdeeld zijn (Wösten et al., 1987). Behalve de gemiddelde relatie zijn voor een 13-tal waarden van de drukhoogte  $h$  ook de  $K$  en  $K$  waarden berekend die gelijk zijn aan de gemiddelde waarden plus en min 1 standaard afwijking. Deze standaard afwijkingen geven inzicht in de mate van spreiding van de afzonderlijke relaties rond de gemiddelde relatie.

De figuren op de pagina's 49 t/m 86 tonen de waterretentie- en doorlatendheidskarakteristieken voor de onderscheiden bouwstenen. In de figuren is de geometrisch gemiddelde karakteristiek weergegeven als getrokken lijn. Bij een 13-tal waarden van de drukhoogte  $h$  zijn tevens de gemiddelde waarden plus en min 1 standaard afwijking weergegeven. De stippellijn in de figuren toont de beschrijving van de gemiddelde karakteristieken met de analytische vergelijkingen zoals uitgevoerd met het RETC programma. Over het algemeen stemmen deze goed met elkaar overeen. Alleen de verzadigde doorlatendheden,  $K_s$ , van zavel en klei zowel voor de boven- als ondergrond vormen hierop een uitzondering. De vooral in deze gronden aanwezige macro-poriën en scheuren resulteren in verzadigde doorlatendheden die met de analytische vergelijkingen worden onderschat.

In tabel 1 staat de indeling van de onderscheiden bouwstenen naar textuur, organische-stofgehalte en mediaan van de zandfractie volgens de textuur-terminologie van

het systeem van bodemclassificatie voor Nederland. Tevens staan in de tabel het aantal gemeten karakteristieken vermeld waarop het gemiddelde is gebaseerd.

Tabel 2 geeft per bouwsteen de grenswaarden van de textuur, organische-stofgehalte, mediaan van de zandfractie en dichtheid van de afzonderlijke monsters waaraan de karakteristieken zijn bepaald. Deze tabel geeft inzicht in de verdeling van de afzonderlijke monsters binnen de betreffende textuurklasse.

*Tabel 1 Indeling naar textuur (in % van de minerale delen), organische-stofgehalte (in % van de grond) en mediaan van de zandfractie (M50) van bouwstenen uit de Staringreeks volgens de textuur-terminologie van het systeem van bodemclassificatie voor Nederland en het aantal relaties per bouwsteen*

## BOVENGRONDEN

Bouwsteen	Leem (%)	Lutum (%)	Organische stof (%)	M50 (µm)	Aantal (-)
<i>Zand</i>					
B1 leemarm, zeer fijn tot matig fijn zand	0- 10		0- 15	105- 210	32
B2 zwak lemig, zeer fijn tot matig fijn zand	10- 18		0- 15	105- 210	27
B3 sterk lemig, zeer fijn tot matig fijn zand	18- 33		0- 15	105- 210	14
B4 zeer sterk lemig, zeer fijn tot matig fijn zand	33- 50		0- 15	105- 210	9
B5 grof zand			0- 15	210-2000	26
B6 keileem	0- 50		0- 15	50-2000	8
<i>Zavel</i>					
B7 zeer lichte zavel		8- 12	0- 15		6
B8 matig lichte zavel		12- 18	0- 15		43
B9 zware zavel		18- 25	0- 15		29
<i>Klei</i>					
B10 lichte klei		25- 35	0- 15		12
B11 matig zware klei		35- 50	0- 15		13
B12 zeer zware klei		50- 100	0- 15		9
<i>Leem</i>					
B13 zandige leem	50- 85		0- 15		10
B14 siltige leem	85- 100		0- 15		67
<i>Moerig</i>					
B15 weinig zand		0- 8	15- 25		15
B16 zandig veen en veen		0- 8	25- 100		20
B17 venige klei		8- 100	16- 45		25
B18 kleilig veen		8- 100	25- 70		20

Vervolg tabel 1

## ONDERGRONDEN

Bouwsteen	Leem (%)	Lutum (%)	Organische stof (%)	M50 (µm)	Aantal (-)
<i>Zand</i>					
01 leemarm, zeer fijn tot matig fijn zand	0- 10		0- 3	105- 210	109
02 zwak lemig, zeer fijn tot matig fijn zand	10- 18		0- 3	105- 210	14
03 sterk lemig, zeer fijn tot matig fijn zand	18- 33		0- 3	105- 210	23
04 zeer sterk lemig, zeer fijn tot matig fijn zand	33- 50		0- 3	105- 210	9
05 grof zand			0- 3	210-2000	17
06 keileem	0- 50		0- 3	50-2000	15
07 beekleem	33- 50		0- 3	50- 150	15
<i>Zavel</i>					
08 zeer lichte zavel		8- 12	0- 3		14
09 matig lichte zavel		12- 18	0- 3		30
010 zware zavel		18- 25	0- 3		25
<i>Klei</i>					
011 lichte klei		25- 35	0- 3		11
012 matig zware klei		35- 50	0- 3		25
013 zeer zware klei		50- 100	0- 3		19
<i>Leem</i>					
014 zandige leem	50- 85		0- 3		9
015 siltige leem	85- 100		0- 3		53
<i>Veen</i>					
016 oligotroof veen			35- 100		16
017 mesotroof en eutroof veen			35- 100		36
018 moerige tussenlaag			15- 35		7

Tabel 2 Uitersten in textuur (in % van de minerale delen), organische-stofgehalte (in % van de grond) en mediaan van de zandfractie (M50) van bouwstenen uit de Staringreeks volgens de textuur-terminologie van het systeem van bodemclassificatie voor Nederland en uitersten in dichtheid.

## BOVENGRONDEN

Bouwsteen	Leem (%)	Lutum (%)	Organische stof (%)	M50 (µm)	Dichtheid (g/cm <sup>3</sup> )
<i>Zand</i>					
B1 leemarm, zeer fijn tot matig fijn zand	4- 10		1- 4	140- 170	1,4-1,7
B2 zwak lemig, zeer fijn tot matig fijn zand	11- 18		1- 10	125- 175	1,2-1,6
B3 sterk lemig, zeer fijn tot matig fijn zand	18- 29		3- 13	105- 165	1,1-1,5
B4 zeer sterk lemig, zeer fijn tot matig fijn zand	37- 50		2- 5	118- 160	1,1-1,5
B5 grof zand			1- 3	350- 500	1,3-1,6
B6 keileem	5- 39		1- 8	150- 400	1,1-1,6
<i>Zavel</i>					
B7 zeer lichte zavel		10- 12	1- 6		1,2-1,8
B8 matig lichte zavel		12- 16	0- 4		1,2-1,6
B9 zware zavel		18- 25	1- 8		1,2-1,6
<i>Klei</i>					
B10 lichte klei		26- 35	1- 6		1,1-1,6
B11 matig zware klei		35- 50	3- 15		0,9-1,7
B12 zeer zware klei		51- 77	3- 5		0,9-1,3
<i>Leem</i>					
B13 zandige leem	60- 75		1- 8		1,0-1,6
B14 siltige leem	85- 95		0- 6		1,1-1,6
<i>Moerig</i>					
B15 weinig zand		2- 6	15- 22		1,0-1,3
B16 zandig veen en veen		1- 7	28- 80		0,2-1,0
B17 venige klei		30- 80	20- 30		0,9-1,2
B18 kleig veen		10- 80	30- 65		0,4-0,8

Vervolg tabel 2

## ONDERGRONDEN

Bouwsteen	Leem (%)	Lutum (%)	Organische stof (%)	M50 (µm)	Dichtheid (g/cm <sup>3</sup> )
<i>Zand</i>					
01 leemarm, zeer fijn tot matig fijn zand	1- 10		0- 3	105- 205	1,4-1,8
02 zwak lemig, zeer fijn tot matig fijn zand	10- 16		1- 3	105- 175	1,4-1,7
03 sterk lemig, zeer fijn tot matig fijn zand	20- 32		0- 2	114- 172	1,4-1,8
04 zeer sterk lemig, zeer fijn tot matig fijn zand	36- 47		0- 2	128- 170	1,4-1,7
05 grof zand			0- 2	220- 400	1,5-1,7
06 keileem	5- 40		1- 7	150- 400	1,1-1,6
07 beekleem	35- 45		1- 3	100- 140	1,0-1,7
<i>Zavel</i>					
08 zeer lichte zavel		8- 11	0- 2		1,4-1,6
09 matig lichte zavel		12- 17	0- 2		1,3-1,7
010 zware zavel		18- 22	0- 3		1,3-1,5
<i>Klei</i>					
011 lichte klei		28- 33	1- 3		1,3-1,6
012 matig zware klei		35- 48	0- 3		1,0-1,5
013 zeer zware klei		50- 77	0- 3		1,0-1,4
<i>Leem</i>					
014 zandige leem	60- 75		0- 2		1,0-1,6
015 siltige leem	85- 92		1- 3		1,1-1,6
<i>Veen</i>					
016 oligotroof veen			40- 96		0,1-0,7
017 mesotroof en eutroof veen			60- 80		0,1-0,6
018 moerige tussenlaag			15- 30		0,8-1,4

### 3.2 Klasse vertaalfuncties

Tabel 3 vermeldt per bouwsteen de geoptimaliseerde parameters  $\alpha$ ,  $\beta$ ,  $K_s$ ,  $a$ ,  $l$  en  $n$  uit de analytische vergelijkingen voor de gemiddelde karakteristiek. Deze gemiddelde karakteristieken voor de onderscheiden bouwstenen worden 'klasse vertaalfuncties' genoemd. De parameters vormen de makkelijk hanteerbare bodemfysische invoergegevens in simulatiemodellen.

In tabel 4 staan per bouwsteen de  $K$  en  $\alpha$  waarden in tabelvorm vermeld bij 13 waarden van de drukhoogte  $h$ . Deze waarden van  $K$  en  $\alpha$  zijn berekend uit de analytische vergelijkingen en geven inzicht in de concrete waarde van  $K$  en  $\alpha$  bij de vermelde drukhoogten. De gekozen 13 waarden van  $h$  zijn dezelfde als waarbij in de figuren op de pagina's 49 t/m 86 de standaardafwijking is aangegeven.

Om het inzicht in de praktische betekenis van de  $K$ - $h$  relaties te vergroten, zijn in tabel 4 bij de 13 waarden van  $h$  ook de stijghoogtewaarden vermeld behorende bij de veel gebruikte fluxdichtheden van 0,1 en 0,2 cm per dag. Deze waarde, de zogenaamde kritieke  $z$ -afstand, geeft aan tot welke hoogte boven de grondwaterstand water in een bodemhorizont kan opstijgen bij een bepaalde fluxdichtheid en een bepaalde drukhoogte  $h$  aan de bovenkant van die horizont.

Tabel 3 Waarden per bouwsteen van de geoptimaliseerde parameters uit de analytische vergelijkingen waarmee de gemiddelde bodemfysische karakteristieken zijn beschreven

**BOVENGRONDEN**

	$\theta_r$ (cm <sup>3</sup> /cm <sup>3</sup> )	$\theta_s$ (cm <sup>3</sup> /cm <sup>3</sup> )	K <sub>s</sub> (cm/d)	$\alpha$ (1/cm)	l (-)	n (-)
<i>Zand</i>						
B1	0,02	0,43	23,41	0,0234	0,000	1,801
B2	0,02	0,42	12,52	0,0276	-1,060	1,491
B3	0,02	0,46	15,42	0,0144	-0,215	1,534
B4	0,02	0,46	29,22	0,0156	0,000	1,406
B5	0,01	0,36	52,91	0,0452	-0,359	1,933
B6	0,01	0,38	100,69	0,0222	-1,747	1,238
<i>Zavel</i>						
B7	0,00	0,40	14,07	0,0194	-0,802	1,250
B8	0,01	0,43	2,36	0,0099	-2,244	1,288
B9	0,00	0,43	1,54	0,0065	-2,161	1,325
<i>Klei</i>						
B10	0,01	0,43	0,70	0,0064	-3,884	1,210
B11	0,01	0,59	4,53	0,0195	-5,901	1,109
B12	0,01	0,54	5,37	0,0239	-5,681	1,094
<i>Leem</i>						
B13	0,01	0,42	12,98	0,0084	-1,497	1,441
B14	0,01	0,42	0,80	0,0051	0,000	1,305
<i>Moerig</i>						
B15	0,01	0,53	81,28	0,0242	-1,476	1,280
B16	0,01	0,80	6,79	0,0176	-2,259	1,293
B17	0,00	0,72	4,46	0,0180	-0,350	1,140
B18	0,00	0,77	6,67	0,0197	-1,845	1,154

Vervolg tabel 3

**ONDERGRONDEN**

	$\theta_r$ (cm <sup>3</sup> /cm <sup>3</sup> )	$\theta_s$ (cm <sup>3</sup> /cm <sup>3</sup> )	Ks (cm/d)	$\alpha$ (1/cm)	l (-)	n (-)
<i>Zand</i>						
O1	0,01	0,36	15,22	0,0224	0,000	2,286
O2	0,02	0,38	12,68	0,0213	0,168	1,951
O3	0,01	0,34	10,87	0,0170	0,000	1,717
O4	0,01	0,35	9,86	0,0155	0,000	1,525
O5	0,01	0,32	25,00	0,0521	0,000	2,374
O6	0,01	0,33	33,92	0,0162	-1,330	1,311
O7	0,01	0,51	39,10	0,0123	-2,023	1,152
<i>Zavel</i>						
O8	0,00	0,47	9,08	0,0136	-0,803	1,342
O9	0,00	0,46	2,23	0,0094	-1,382	1,400
O10	0,01	0,48	2,12	0,0097	-1,879	1,257
<i>Klei</i>						
O11	0,00	0,42	13,79	0,0191	-1,384	1,152
O12	0,01	0,56	1,02	0,0095	-4,295	1,158
O13	0,01	0,57	4,37	0,0194	-5,955	1,089
<i>Leem</i>						
O14	0,01	0,38	1,51	0,0030	-0,292	1,728
O15	0,01	0,41	3,70	0,0071	0,912	1,298
<i>Veen</i>						
O16	0,00	0,89	1,07	0,0103	-1,411	1,376
O17	0,01	0,86	2,93	0,0123	-1,592	1,276
O18	0,01	0,57	34,45	0,0138	-1,204	1,323



Tabel 4 Waarden voor  $K$  (cm/d),  $\rho$  ( $\text{cm}^3/\text{cm}^3$ ), stijghoogte  $S1$  (cm) bij een flux van 0,1 cm/d en stijghoogte  $S2$  (cm) bij een flux van 0,2 cm/d bij 13 waarden van  $h$  (cm)

## BOVENGRONDEN

Boven-Gronden	h(cm) pf	1 0,0	10 1,0	20 1,3	31 1,5	50 1,7	100 2,0	250 2,4	500 2,7	1000 3,0	2500 3,4	5000 3,7	10000 4,0	16000 4,2
<i>Zand</i>														
B1	K	23,41	11,38	6,04	3,13	1,14	1,6E-1	7,5E-3	6,5E-4	5,4E-5	2,0E-6	1,6E-7	1,4E-8	2,6E-9
	?	0,430	0,417	0,391	0,356	0,302	0,210	0,118	0,077	0,053	0,036	0,029	0,025	0,024
	S1	0,0	9,9	19,8	30,6	48,5	87,4	124,5	130,3	131,3	132,0	132,0	132,0	132,0
	S2	0,0	9,9	19,6	30,1	47,2	79,4	102,0	105,0	105,6	106,0	106,0	106,0	106,0
B2	K	12,52	3,18	1,57	0,85	0,38	9,2E-2	1,1E-2	2,1E-3	3,8E-4	4,0E-5	7,3E-6	1,3E-6	4,2E-7
	?	0,420	0,402	0,377	0,350	0,311	0,248	0,172	0,130	0,098	0,070	0,056	0,045	0,040
	S1	0,0	9,8	19,4	29,4	45,5	76,9	111,3	122,8	127,3	129,2	129,9	130,0	130,0
	S2	0,0	9,6	18,8	28,1	42,0	65,2	85,2	91,2	93,4	94,3	95,0	95,0	95,0
B3	K	15,42	6,56	4,05	2,58	1,33	3,5E-1	3,6E-2	5,2E-3	6,9E-4	4,7E-5	6,1E-6	7,9E-7	2,0E-7
	?	0,460	0,452	0,439	0,423	0,393	0,329	0,232	0,171	0,125	0,085	0,065	0,051	0,044
	S1	0,0	9,9	19,7	30,4	48,3	91,2	164,1	194,3	204,0	207,0	207,3	207,9	208,0
	S2	0,0	9,8	19,4	29,7	46,8	84,5	134,7	151,0	155,9	157,3	158,0	158,0	158,0
B4	K	29,22	8,49	4,86	2,97	1,48	4,0E-1	4,4E-2	7,0E-3	1,0E-3	8,1E-5	1,2E-5	1,7E-6	4,4E-7
	?	0,460	0,451	0,438	0,423	0,397	0,345	0,263	0,208	0,163	0,119	0,095	0,077	0,067
	S1	0,0	9,9	19,8	30,5	48,6	92,1	170,9	208,0	221,3	225,8	226,6	227,0	227,0
	S2	0,0	9,9	19,5	30,0	47,2	86,0	141,5	161,8	168,6	171,0	171,2	171,6	172,0
B5	K	52,91	17,54	5,97	2,14	0,54	5,6E-2	2,3E-3	2,0E-4	1,8E-5	6,9E-7	6,0E-8	5,2E-9	1,0E-9
	?	0,360	0,329	0,272	0,219	0,159	0,094	0,046	0,029	0,020	0,014	0,012	0,011	0,011
	S1	0,0	10,0	19,9	30,5	47,7	77,4	93,7	95,5	96,0	96,0	96,1	96,2	96,3
	S2	0,0	9,9	19,7	30,1	45,8	67,7	76,7	77,7	78,0	78,0	78,0	78,0	78,0
B6	K	100,69	10,84	5,59	3,31	1,69	5,4E-1	9,9E-2	2,5E-2	6,2E-3	9,4E-4	2,3E-4	5,4E-5	2,1E-5
	?	0,380	0,370	0,358	0,347	0,330	0,298	0,251	0,217	0,186	0,152	0,131	0,112	0,101
	S1	0,0	10,0	19,8	30,6	48,8	93,5	192,8	273,0	327,5	362,7	374,3	379,9	381,9
	S2	0,0	9,9	19,6	30,1	47,6	88,2	163,7	212,3	241,3	259,2	265,0	267,7	268,8
<i>Zavel</i>														
B7	K	14,07	1,78	0,93	0,55	0,28	8,3E-2	1,3E-2	2,9E-3	6,0E-4	7,4E-5	1,5E-5	3,1E-6	1,0E-6
	?	0,400	0,390	0,379	0,367	0,350	0,315	0,263	0,224	0,190	0,151	0,127	0,107	0,095
	S1	0,0	9,7	19,0	28,6	43,6	72,8	108,0	122,4	129,0	132,1	133,0	133,3	133,7
	S2	0,0	9,4	18,0	26,6	39,0	59,9	80,4	87,8	91,1	92,7	93,1	93,3	93,6
B8	K	2,36	0,59	0,38	0,27	0,17	7,0E-2	1,7E-2	4,9E-3	1,4E-3	2,4E-4	6,3E-5	1,7E-5	6,7E-6
	?	0,430	0,425	0,419	0,412	0,399	0,370	0,314	0,268	0,225	0,176	0,146	0,122	0,108
	S1	0,0	9,1	17,3	25,6	38,5	63,9	100,5	121,1	133,7	142,3	145,3	147,0	147,5
	S2	0,0	8,3	15,3	22,0	31,7	48,9	70,1	80,8	87,2	91,5	93,1	94,0	94,1
B9	K	1,54	0,55	0,39	0,29	0,20	9,5E-2	2,6E-2	8,1E-3	2,3E-3	4,0E-4	1,0E-4	2,7E-5	1,1E-5
	?	0,430	0,427	0,423	0,418	0,409	0,385	0,331	0,280	0,229	0,173	0,138	0,111	0,095
	S1	0,0	8,9	17,1	25,5	38,9	67,3	114,7	145,7	166,1	180,2	185,2	187,8	188,8
	S2	0,0	8,0	15,0	21,8	32,1	52,1	80,6	97,2	107,7	114,8	117,2	118,5	119,1

Vervolg tabel 4

Boven-Gronden	h(cm) pf	1 0,0	10 1,0	20 1,3	31 1,5	50 1,7	100 2,0	250 2,4	500 2,7	1000 3,0	2500 3,4	5000 3,7	10000 4,0	16000 4,2
<i>Klei</i>														
B10	K	0,70	0,14	0,10	0,07	0,05	2,4E-2	7,8E-3	2,9E-3	1,0E-3	2,4E-4	8,1E-5	2,7E-5	1,3E-5
	?	0,430	0,427	0,424	0,420	0,414	0,398	0,362	0,327	0,289	0,243	0,212	0,185	0,169
	S1	0,0	7,2	12,5	17,5	24,5	37,1	54,4	65,6	73,8	80,9	84,3	86,6	87,7
	S2	0,0	5,7	9,3	12,6	16,9	24,1	33,3	39,0	43,2	46,7	48,4	49,6	50,1
B11	K	4,53	0,15	0,08	0,05	0,03	1,2E-2	3,3E-3	1,2E-3	4,0E-4	9,5E-5	3,2E-5	1,1E-5	5,2E-6
	?	0,590	0,581	0,573	0,565	0,553	0,529	0,490	0,459	0,428	0,389	0,362	0,336	0,320
	S1	0,0	8,1	13,2	17,4	22,7	30,4	39,0	43,8	47,2	50,0	51,3	52,2	52,8
	S2	0,0	7,0	10,4	13,0	16,1	20,3	24,7	27,1	28,8	30,2	31,0	31,4	31,8
B12	K	5,37	0,12	0,06	0,04	0,02	7,7E-3	1,9E-3	6,3E-4	2,0E-4	4,5E-5	1,4E-5	4,6E-6	2,1E-6
	?	0,540	0,531	0,523	0,516	0,505	0,485	0,453	0,427	0,402	0,370	0,348	0,327	0,313
	S1	0,0	7,9	12,4	16,0	20,1	25,5	30,8	33,4	35,2	36,6	37,2	37,7	38,0
	S2	0,0	6,7	9,6	11,8	14,1	17,0	19,6	21,0	22,0	22,6	23,0	23,1	23,3
<i>Leem</i>														
B13	K	12,98	5,86	4,13	3,05	1,98	8,4E-1	1,8E-1	4,5E-2	1,0E-2	1,4E-3	3,0E-4	6,4E-5	2,3E-5
	?	0,420	0,417	0,411	0,403	0,390	0,354	0,280	0,220	0,168	0,117	0,089	0,068	0,057
	S1	0,0	9,9	19,7	30,4	48,6	94,8	209,8	323,6	409,3	463,3	479,5	486,5	488,8
	S2	0,0	9,8	19,4	29,8	47,3	90,2	184,3	259,3	306,8	334,4	342,6	346,1	347,2
B14	K	0,80	0,29	0,21	0,16	0,11	5,0E-2	1,2E-2	2,7E-3	5,4E-4	5,4E-5	9,2E-6	1,5E-6	4,5E-7
	?	0,420	0,418	0,415	0,412	0,405	0,388	0,345	0,300	0,253	0,197	0,162	0,133	0,117
	S1	0,0	8,1	15,2	22,3	33,0	53,8	82,0	95,4	101,4	104,1	104,7	105,0	105,0
	S2	0,0	6,8	12,3	17,5	25,1	38,2	54,0	60,9	64,0	65,2	65,7	66,0	66,0
<i>Moerig</i>														
B15	K	81,28	10,43	5,26	3,04	1,50	4,5E-1	7,5E-2	1,8E-2	4,1E-3	5,8E-4	1,3E-4	3,0E-5	1,1E-5
	?	0,530	0,513	0,493	0,473	0,444	0,392	0,318	0,266	0,222	0,175	0,146	0,122	0,108
	S1	0,0	9,9	19,8	30,5	48,6	92,6	184,0	249,1	288,3	311,2	318,1	321,1	322,2
	S2	0,0	9,9	19,6	30,1	47,4	86,8	153,9	191,9	212,5	224,0	227,4	229,0	229,5
B16	K	6,79	1,22	0,69	0,44	0,24	8,8E-2	1,8E-2	5,1E-3	1,4E-3	2,4E-4	6,3E-5	1,7E-5	6,7E-6
	?	0,800	0,782	0,760	0,735	0,697	0,622	0,506	0,422	0,349	0,270	0,223	0,184	0,161
	S1	0,0	9,6	18,5	27,8	42,2	71,1	111,5	133,0	145,9	154,5	157,5	159,1	159,8
	S2	0,0	9,2	17,3	25,3	37,0	57,4	81,2	92,5	99,1	103,3	104,9	105,7	106,1
B17	K	4,46	0,23	0,12	0,07	0,04	1,1E-2	2,0E-3	4,6E-4	1,0E-4	1,4E-5	2,9E-6	6,2E-7	2,2E-7
	?	0,720	0,708	0,696	0,684	0,666	0,630	0,572	0,524	0,478	0,422	0,383	0,348	0,326
	S1	0,0	8,5	14,6	19,8	26,3	34,8	41,3	43,7	44,9	45,4	46,0	46,0	46,0
	S2	0,0	7,5	11,9	15,4	19,3	24,0	27,3	28,4	29,1	29,4	29,9	30,0	30,0
B18	K	6,67	0,38	0,20	0,12	0,06	2,1E-2	4,1E-3	1,1E-3	2,8E-4	4,4E-5	1,1E-5	2,7E-6	1,0E-6
	?	0,770	0,755	0,740	0,725	0,703	0,660	0,591	0,536	0,485	0,422	0,380	0,341	0,317
	S1	0,0	9,0	16,2	22,9	31,5	44,2	56,5	61,7	64,4	66,1	66,7	67,0	67,1
	S2	0,0	8,2	13,9	18,7	24,3	31,6	38,1	40,7	42,1	43,0	43,2	43,4	43,8

Vervolg tabel 4

**ONDERGRONDEN**

Boven-Gronden	h(cm) pF	1	10	20	31	50	100	250	500	1000	2500	5000	10000	16000
<i>Zand</i>														
01	K	15,22	11,17	6,88	3,64	1,15	9,6E-2	1,8E-3	7,6E-5	3,2E-6	5,0E-8	2,2E-9	1,2E-9	1,0E-9
	?	0,360	0,354	0,332	0,296	0,229	0,124	0,048	0,026	0,016	0,012	0,011	0,010	0,009
	S1	0,0	9,9	19,8	30,6	48,6	84,7	104,3	105,6	106,0	106,0	106,0	106,0	106,0
	S2	0,0	9,8	19,6	30,2	47,3	76,3	87,6	88,1	88,4	89,0	89,0	89,0	89,0
02	K	12,68	7,60	4,38	2,35	0,84	1,0E-1	3,2E-3	2,0E-4	1,2E-5	2,9E-7	1,7E-8	1,1E-9	1,0E-9
	?	0,380	0,372	0,351	0,321	0,269	0,179	0,092	0,058	0,040	0,028	0,024	0,022	0,021
	S1	0,0	9,9	19,7	30,4	48,0	83,2	107,0	109,1	109,8	110,0	110,0	110,0	110,0
	S2	0,0	9,8	19,4	29,8	46,2	74,0	87,8	89,0	89,0	89,1	89,3	89,7	90,0
03	K	10,87	5,71	3,48	2,10	0,96	1,9E-1	1,2E-2	1,2E-3	1,1E-4	4,8E-6	4,5E-7	4,2E-8	8,3E-9
	?	0,340	0,334	0,321	0,303	0,271	0,206	0,123	0,080	0,053	0,032	0,024	0,018	0,016
	S1	0,0	9,9	19,6	30,2	47,9	87,2	132,5	142,2	144,1	145,0	145,0	145,0	145,0
	S2	0,0	9,7	19,3	29,5	46,1	78,7	107,0	112,0	113,0	113,2	113,5	114,0	114,0
04	K	9,86	3,93	2,34	1,44	0,71	1,7E-1	1,6E-2	2,1E-3	2,7E-4	1,7E-5	2,0E-6	2,4E-7	5,8E-8
	?	0,350	0,343	0,332	0,318	0,295	0,244	0,170	0,124	0,090	0,060	0,045	0,034	0,029
	S1	0,0	9,8	19,5	29,9	47,1	84,8	132,8	146,9	150,8	152,0	152,1	152,2	152,3
	S2	0,0	9,6	19,0	28,9	44,7	75,2	105,1	112,3	114,3	115,0	115,0	115,1	115,2
05	K	25,00	10,08	2,43	0,55	0,08	3,2E-3	4,3E-5	1,6E-6	6,0E-8	8,3E-9	4,1E-9	1,2E-9	1,1E-9
	?	0,320	0,287	0,212	0,147	0,089	0,042	0,019	0,014	0,011	0,010	0,009	0,008	0,007
	S1	0,0	9,9	19,7	29,7	42,1	49,5	50,3	51,0	51,0	51,0	51,0	51,0	51,0
	S2	0,0	9,9	19,4	28,6	38,0	42,1	43,0	43,0	43,0	43,0	43,0	43,0	43,0
06	K	33,92	6,87	3,92	2,46	1,33	4,4E-1	7,6E-2	1,8E-2	4,0E-3	5,3E-4	1,2E-4	2,5E-5	8,9E-6
	?	0,330	0,323	0,315	0,305	0,290	0,259	0,210	0,175	0,144	0,111	0,092	0,076	0,067
	S1	0,0	9,9	19,7	30,4	48,3	92,0	183,3	248,7	287,6	309,3	315,6	318,3	319,2
	S2	0,0	9,8	19,4	29,8	46,8	85,7	152,8	191,0	211,3	222,3	225,4	226,8	227,2
07	K	39,10	3,16	1,83	1,19	0,69	2,6E-1	5,8E-2	1,6E-2	4,3E-3	7,2E-4	1,8E-4	4,6E-5	1,8E-5
	?	0,510	0,504	0,498	0,492	0,481	0,459	0,418	0,384	0,349	0,306	0,277	0,250	0,234
	S1	0,0	9,9	19,4	29,7	46,8	86,6	164,9	221,6	259,3	285,1	294,0	298,5	300,2
	S2	0,0	9,7	18,9	28,6	44,1	77,3	131,2	163,6	183,3	196,3	200,7	203,0	203,9
<i>Zavel</i>														
08	K	9,08	2,33	1,39	0,90	0,49	1,6E-1	2,6E-2	5,4E-3	1,1E-3	1,2E-4	2,3E-5	4,3E-6	1,4E-6
	?	0,470	0,462	0,451	0,438	0,417	0,372	0,296	0,239	0,191	0,140	0,111	0,088	0,075
	S1	0,0	9,7	19,2	29,3	45,7	81,7	136,8	163,0	175,0	180,5	182,0	182,4	182,8
	S2	0,0	9,5	18,5	27,8	42,2	70,5	105,3	119,2	125,3	128,1	129,0	129,1	129,1
09	K	2,23	0,86	0,58	0,41	0,26	1,0E-1	2,1E-2	5,1E-3	1,1E-3	1,5E-4	3,2E-5	6,7E-6	2,3E-6
	?	0,460	0,455	0,448	0,439	0,422	0,382	0,303	0,240	0,185	0,130	0,098	0,075	0,062
	S1	0,0	9,2	18,0	27,1	41,5	71,7	116,3	139,4	151,0	157,1	158,9	159,6	160,0
	S2	0,0	8,6	16,3	24,1	35,8	57,5	84,2	96,4	102,3	105,3	106,2	106,8	107,0
010	K	2,12	0,45	0,29	0,20	0,12	5,0E-2	1,2E-2	3,2E-3	8,4E-4	1,3E-4	3,3E-5	8,1E-6	3,1E-6
	?	0,480	0,475	0,469	0,461	0,449	0,419	0,363	0,315	0,269	0,216	0,183	0,155	0,138
	S1	0,0	8,8	16,6	24,4	35,8	57,1	85,3	99,7	107,7	112,6	114,2	115,1	115,3
	S2	0,0	8,0	14,3	20,3	28,5	42,1	57,9	65,3	69,3	71,8	72,6	73,1	73,2

Vervolg tabel 4

Boven-Gronden	h(cm) pF	1	10	20	31	50	100	250	500	1000	2500	5000	10000	16000
<i>Klei</i>														
011	K	13,79	0,79	0,41	0,25	0,13	4,2E-2	7,9E-3	2,0E-3	4,8E-4	7,3E-5	1,7E-5	4,0E-6	1,5E-6
	?	0,420	0,412	0,404	0,397	0,385	0,362	0,325	0,295	0,267	0,233	0,210	0,189	0,176
	S1	0,0	9,5	17,9	26,3	38,3	58,9	81,1	90,6	95,4	98,2	99,1	99,5	100,0
	S2	0,0	9,0	16,3	23,1	31,9	45,0	57,2	62,0	64,4	66,0	66,2	66,7	67,0
012	K	1,02	0,11	0,07	0,05	0,03	1,3E-2	3,8E-3	1,4E-3	4,6E-4	1,0E-4	3,4E-5	1,1E-5	5,1E-6
	?	0,560	0,555	0,550	0,544	0,534	0,512	0,470	0,431	0,392	0,342	0,308	0,278	0,259
	S1	0,0	7,1	11,7	15,7	21,0	29,0	38,5	44,0	48,0	51,1	52,5	53,4	54,0
	S2	0,0	5,6	8,6	11,1	14,2	18,5	23,4	26,2	28,2	29,8	30,5	31,1	31,2
013	K	4,37	0,10	0,05	0,03	0,02	7,6E-3	2,0E-3	6,6E-4	2,2E-4	4,8E-5	1,5E-5	5,0E-6	2,3E-6
	?	0,570	0,563	0,556	0,550	0,540	0,521	0,490	0,464	0,439	0,406	0,382	0,360	0,346
	S1	0,0	7,6	11,6	14,7	18,4	23,7	29,2	32,0	33,8	35,3	36,1	36,4	36,8
	S2	0,0	6,4	8,9	10,7	12,7	15,5	18,3	19,7	20,7	21,4	22,0	22,1	22,2
<i>Leem</i>														
014	K	1,51	1,28	1,15	1,03	0,86	5,6E-1	1,8E-1	4,2E-2	6,3E-3	3,7E-4	4,1E-5	4,3E-6	9,4E-7
	?	0,381	0,380	0,379	0,377	0,374	0,362	0,313	0,242	0,167	0,094	0,061	0,041	0,032
	S1	0,0	9,3	18,6	28,6	45,8	89,3	200,3	311,9	381,6	406,5	409,8	410,5	411,0
	S2	0,0	8,7	17,3	26,6	42,2	80,8	169,4	242,6	280,7	293,3	295,0	295,3	295,7
015	K	3,70	1,11	0,74	0,53	0,32	1,3E-1	2,1E-2	4,0E-3	6,3E-4	4,9E-5	6,9E-6	9,5E-7	2,5E-7
	?	0,410	0,407	0,403	0,398	0,389	0,367	0,318	0,273	0,229	0,179	0,148	0,122	0,108
	S1	0,0	9,4	18,4	27,9	43,1	76,0	124,3	145,3	153,3	156,1	156,7	157,0	157,0
	S2	0,0	9,0	17,1	25,4	38,1	62,7	92,4	103,4	107,4	109,0	109,1	109,2	109,3
<i>Veen</i>														
016	K	1,07	0,37	0,24	0,17	0,10	4,0E-2	7,9E-3	1,9E-3	4,3E-4	5,8E-5	1,3E-5	2,7E-6	9,5E-7
	?	0,890	0,880	0,864	0,845	0,812	0,732	0,584	0,468	0,366	0,262	0,202	0,156	0,131
	S1	0,0	8,5	15,9	23,2	33,9	52,7	74,4	83,7	88,2	90,5	91,2	91,7	92,0
	S2	0,0	7,3	13,3	18,8	26,2	37,9	49,7	54,4	56,7	58,0	58,2	58,6	59,0
017	K	2,93	0,60	0,36	0,24	0,14	5,2E-2	1,1E-2	2,7E-3	6,6E-4	9,8E-5	2,3E-5	5,3E-6	2,0E-6
	?	0,860	0,848	0,832	0,814	0,784	0,720	0,605	0,515	0,432	0,339	0,282	0,235	0,208
	S1	0,0	9,1	17,3	25,5	37,6	60,0	87,7	100,5	107,0	110,9	112,1	112,6	113,0
	S2	0,0	8,4	15,3	21,8	30,8	45,3	60,8	67,4	70,7	72,5	73,1	73,5	74,0
018	K	34,45	8,15	4,86	3,16	1,76	6,0E-1	1,1E-1	2,4E-2	5,3E-3	6,9E-4	1,4E-4	3,0E-5	1,1E-5
	?	0,570	0,560	0,548	0,533	0,508	0,456	0,369	0,305	0,248	0,188	0,153	0,124	0,108
	S1	0,0	9,9	19,8	30,5	48,7	93,8	196,4	278,2	328,3	356,7	364,5	367,8	369,0
	S2	0,0	9,9	19,5	30,0	47,5	88,7	167,9	217,7	244,4	258,7	262,6	264,2	265,0

### 3.3 Continue vertaalfuncties

Tabel 5 geeft de continue vertaalfuncties voor de getransformeerde vormparameters in de analytische vergelijkingen. Hierbij is een onderscheid gemaakt in functies voor zand enerzijds en zavel en klei anderzijds. Dit omdat voor zand gebruik gemaakt kan worden van de verklarende variabelen LEEM en M50 terwijl deze voor zavel en klei vervangen worden door LUTUM. De continue vertaalfuncties zijn geprogrammeerd in het programma 'Staringreeks'. Het programma is een aanpassing van het eerdere HERCULES programma (Stolte et al., 1996). Het programma 'Staringreeks' is te vinden en te downloaden van internet: [www.alterra.nl/fset-onderzoek.htm](http://www.alterra.nl/fset-onderzoek.htm) vervolgens doorklikken naar 'producten' en dan 'software'. Momenteel is versie 1.0 beschikbaar op het internet, als updates plaatsvinden dan worden deze op het internet geplaatst. Met het programma 'Staringreeks' kunnen gebruikers zelfstandig voorspellingen maken van de bodemfysische karakteristieken aan de hand van beschikbare bodemkenmerken.

Figuur 1 toont het invoerscherm voor 'Staringreeks', figuur 2 toont de voorspelde vormparameters en figuur 3 toont de voorspelde waterretentie- en doorlatendheidskarakteristiek. Indien extreme waarden worden ingevoerd voor de bodemkenmerken, bijvoorbeeld HUMUS is 0, dan is het niet mogelijk voorspellingen te maken met de continue vertaalfuncties omdat in dit geval bijvoorbeeld de waarde  $1/\text{HUMUS}$  niet bestaat. Het programma waarschuwt de gebruiker indien bodemkenmerken worden gebruikt die buiten het toepassingsgebied van de functies vallen.

Tabel 5. Continue vertaalfuncties voor de voorspelling van bodemfysische karakteristieken en bulkdichtheid van minerale gronden in Nederland.

Continue vertaalfunctie voor zandgronden:

$$\theta_s = -35,7 - 0,1843 * \text{DICHTHEID} - 0,03576 * \text{M50} + 0,0000261 * \text{M50}^2 - 0,0564 * \text{LEEM}^{-1} + 0,008 * \text{HUMUS}^{-1} + 496,0 * \text{M50}^{-1} + 0,02244 * \text{LN}(\text{HUMUS}) + 7,56 * \text{LN}(\text{M50}) \quad (R^2 = 72 \%)$$

$$K_s^* = 45,8 - 14,34 * \text{DICHTHEID} + 0,001481 * \text{LEEM}^2 - 27,5 * \text{DICHTHEID}^{-1} - 0,891 * \text{LN}(\text{LEEM}) - 0,34 * \text{LN}(\text{HUMUS}) \quad (R^2 = 32 \%)$$

$$a^* = 13,66 - 5,91 * \text{DICHTHEID} - 0,172 * \text{BOVENGROND} + 0,003248 * \text{M50} - 11,89 * \text{DICHTHEID}^{-1} - 2,121 * \text{LEEM}^{-1} - 0,3742 * \text{LN}(\text{LEEM}) \quad (R^2 = 56 \%)$$

$$l^* = -76,4 - 0,097 * \text{LEEM} + 59,6 * \text{DICHTHEID} + 0,0332 * \text{M50} - 13,45 * \text{DICHTHEID}^2 + 0,001127 * \text{LEEM}^2 + 0,00431 * \text{HUMUS}^2 - 0,0000399 * \text{M50}^2 + 40,8 * \text{DICHTHEID}^{-1} + 2,364 * \text{LEEM}^{-1} + 1,014 * \text{LN}(\text{LEEM}) \quad (R^2 = 41 \%)$$

$$n^* = -1,057 + 0,1003 * \text{HUMUS} + 1,119 * \text{DICHTHEID} + 0,000764 * \text{LEEM}^2 - 0,1397 * \text{HUMUS}^{-1} - 57,2 * \text{M50}^{-1} - 0,557 * \text{LN}(\text{HUMUS}) - 0,02997 * \text{DICHTHEID} * \text{LEEM} \quad (R^2 = 62 \%)$$

$$1/D = -7,58 + 0,01791 * \text{HUMUS} + 0,0326 * \text{BOVENGROND} - 0,00338 * \text{M50} + 0,00003937 * \text{LEEM}^2 + 157,7 * \text{M50}^{-1} + 1,522 * \text{LN}(\text{M50}) \quad (R^2 = 73 \%)$$

Vervolg tabel 5

Continue vertaalfuncties voor zavel- en kleigronden:

$$\theta_s = 0,6311 + 0,003383 * LUTUM - 0,09699 * DICHTHEID^2 - 0,00204 * DICHTHEID * LUTUM \quad (R^2 = 95 \%)$$

$$K_s^* = - 42,6 + 8,71 * HUMUS + 61,9 * DICHTHEID - 20,79 * DICHTHEID^2 - 0,2107 * HUMUS^2 - 0,01622 * LUTUM * HUMUS - 5,382 * DICHTHEID * HUMUS \quad (R^2 = 31 \%)$$

$$a^* = - 19,13 + 0,812 * HUMUS + 23,4 * DICHTHEID - 8,16 * DICHTHEID^2 + 0,423 * HUMUS^{-1} + 2,388 * LN(HUMUS) - 1,338 * DICHTHEID * HUMUS \quad (R^2 = 51 \%)$$

$$l^* = 0,102 + 0,0222 * LUTUM - 0,043 * DICHTHEID * LUTUM \quad (R^2 = 44 \%)$$

$$n^* = - 0,235 + 0,972 * DICHTHEID^{-1} - 0,7743 * LN(LUTUM) - 0,3154 * LN(HUMUS) + 0,0678 * DICHTHEID * HUMUS \quad (R^2 = 78 \%)$$

$$1/D = 0,6117 + 0,003601 * LUTUM + 0,002172 * HUMUS^2 + 0,01715 * LN(HUMUS) \quad (R^2 = 79 \%)$$

$\theta_s$ ,  $K_s^*$ ,  $a^*$ ,  $l^*$  en  $n^*$  zijn de getransformeerde modelparameters in de van Genuchten vergelijkingen;

LUTUM is percentage klei (i.e. percentage < 2  $\mu\text{m}$ );

LEEM is percentage leem (i.e. percentage < 50  $\mu\text{m}$ );

HUMUS is percentage organische stof;

D is bulk dichtheid;

M50 is de mediaan van de zandfractie;

BOVENGROND en ONDERGROND zijn kwalitatieve variabelen met waarden 1 of 0 en

LN is de natuurlijke logaritme

Vertaalfuncties voor bodemfysische karakteristieken. Versie 1.0

File Help

Textuur Van Genuchten Tabel Grafieken

*Textuur van de bodemeenheid*

Naam bodemeenheid

Organische stof percentage

Lutum percentage (deeltjes < 2 um)

Leem percentage (deeltjes < 50 um)

Mediaan zandfractie (um)

Bodem type

Bovengrond

Ondergrond

*Figuur 1 Invoergegevens voor het programma 'Staringreeks' om met behulp van continue vertaalfuncties de bodemfysische karakteristieken te voorspellen*



**Vertaalfuncties voor bodemfysische karakteristieken. Versie 1.0**

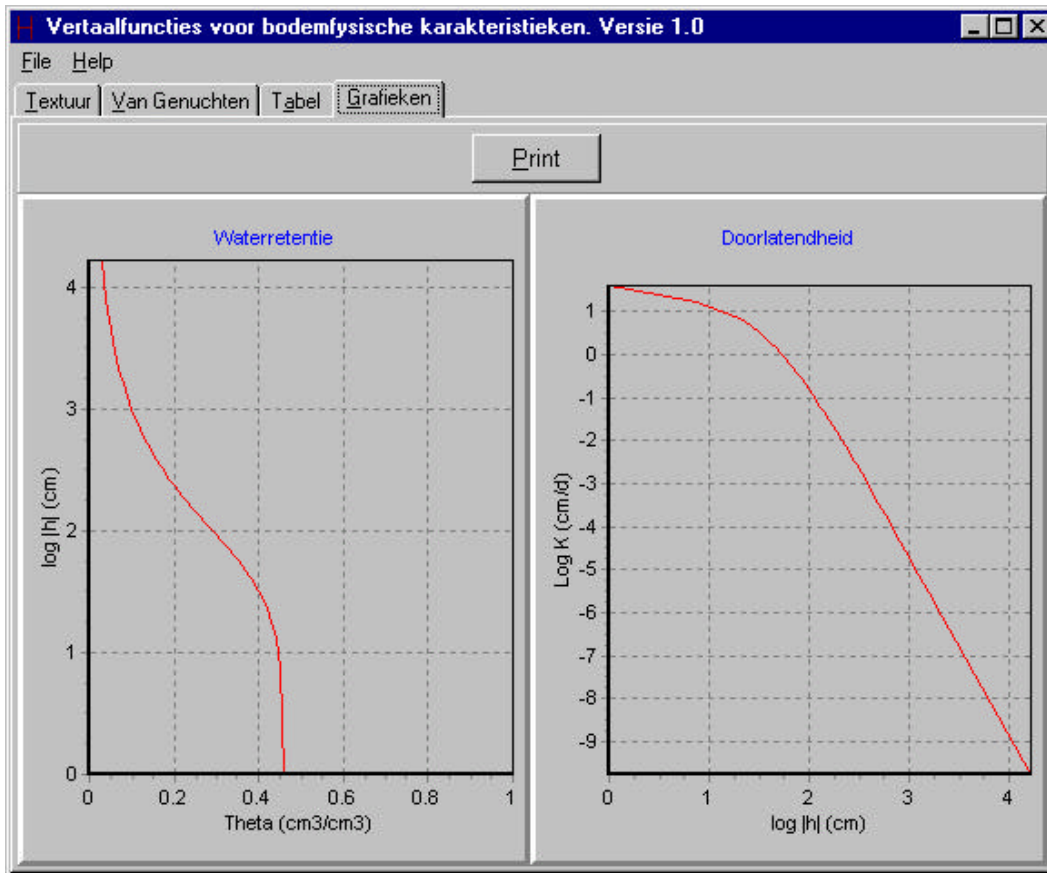
File Help

Textuur Van Genuchten Tabel Grafieken

De parameters van de Mualem - Van Genuchten vergelijking voor bodem Test bodem

Residuaire vochtgehalte :	0.010 (cm <sup>3</sup> /cm <sup>3</sup> )
Verzadigd vochtgehalte :	0.458 (cm <sup>3</sup> /cm <sup>3</sup> )
Verzadigde doorlatendheid :	39.78 (cm/d)
alpha :	0.0196 (1/cm)
n :	1.536
l :	2.000
Dichtheid :	1.539 (g/cm <sup>3</sup> )

Figuur 2 Voorspelde vormparameters



Figuur 3 Voorspelde waterretentie- en doorlatendheidskarakteristiek

## 4 Richtlijn voor gebruik

Om het correcte gebruik van de Staringreeks te bevorderen, worden in deze paragraaf een aantal globale richtlijnen geformuleerd. Als ingangspunt hierbij wordt gekeken naar 3 verschillende aspecten: de soort studie, het detailniveau waarop de studie plaats vindt en hoe omgegaan wordt met onzekerheid. Het is niet mogelijk en ook niet wenselijk om voor iedere studie een exact richtlijn te geven voor een correct gebruik van de Staringreeks in de studie. Het is echter wel mogelijk een aantal opties aan te geven wat voor een bepaalde studie de beste manier van gebruik van de Staringreeks is.

Er zijn globaal twee typen onderzoek te onderscheiden waarvoor de Staringreeks gebruikt wordt: modelstudies en interpretatiestudies. In het eerste geval wordt de reeks gebruikt om de bodemfysische invoer te leveren voor simulatieberekeningen. In dit geval zijn de bodemfysische karakteristieken één van de invoergegevens voor de modelberekeningen. In het tweede geval worden op grond van de karakteristieken zelf of daarvan afgeleide grootheden zoals de stijghoogte, praktische interpretaties gemaakt. Tabel 6 geeft een overzicht van de twee typen onderzoek en het bijbehorende detailniveau waarop dit onderzoek veelal wordt uitgevoerd.

*Tabel 6 Voorbeelden van toepassingen van de Staringreeks*

Model	Toepassing	Kaartschaal
SWAP/ANIMO	Vernattingseffecten	< 1: 10000
	Nutriëntenbelasting	1: 25 000
WATBAL/ANIMO	Effecten grondwaterontrekking	1: 10 000
SIMGRO/ANIMO	Effecten waterbeheer op nutriëntenstromen	1: 50 000
Diversen	Grondwaterstandsverloop	1: 10 000
	Slootpeilbeheer	1: 25 000
	Computergestuurd waterbeheer	1: 250 000
<b>Interpretatie</b>		
TCGB-tabellen	Droogteschade	1: 10 000
WIB-C, WIB-D	Bodemgeschiktheid	< 1: 10 000
CAPSEV, BODEGA	Vochtleverend vermogen	1: 10 000
Diversen	Gewenste grondwatersituatie	1: 50 000

De Staringreeks is toepasbaar in beide typen van onderzoek waarbij men in modelstudies de beschikking dient te hebben over de complete waterretentie- en doorlatendheidskarakteristiek terwijl in een interpretatiestudie meestal kan worden volstaan met een beperkte set bodemfysische waarden zoals bijvoorbeeld de verzadigde doorlatendheid, verzadigd vochtgehalte of stijghoogte.

Tabel 7 geeft een overzicht van veel gehanteerde methoden met de voor- en nadelen van gebruik van de Staringreeks bij model- en interpretatiestudies.

Tabel 7 Veel gehanteerde methode van toepassen van de Staringreeks en de bijbehorende voor- en nadelen

Toepassing	Methode	Voordeel	Nadeel	Oplossing	Voorbeeld
Model	Klasse vertaalfunctie	Efficiënt, gemiddelde voor textuurklasse	Beperkt modelconcept	Aanpassing modelconcept: 2-D, meenemen hysterese, zwel en krimp etc.	Knotters en Van Walsum, 1997
	Continue vertaalfunctie	Efficiënt, voorspelling voor een punt	Textuur en bulkdichtheid nodig, parameters zijn gecorrleerd	Extra bepaling, meenemen correlatie in de onzekerheids- analyse	Finke et al., 1996; Hack-ten Broeke et al., 1999
Interpretatie	Tabellen	Overzichtelijk	Beperkt modelconcept	Vertaalfuncties voor bv. Zwel en krimp	Bouwmans, 1990
	Continue vertaalfunctie	Voorspelling voor een punt	Textuur en bulkdichtheid nodig	Extra bepaling	

Behalve een onderscheid naar het type onderzoek is het ook mogelijk een onderscheid te maken naar het detailniveau van de studie. In tabel 8 wordt een globale richtlijn gegeven voor gebruik van de reeks op verschillende detailniveaus. De Staringreeks is in principe bedoeld voor gebruik bij de Bodemkaart van Nederland, kaartschaal 1: 50 000. Toch wordt de Staringreeks ook op kleinere en grotere kaartschaal toegepast. Indien bijvoorbeeld op een schaal 1 : 100 000 gewerkt wordt dan is teveel informatie beschikbaar die daarom op een verantwoorde manier moet worden gegeneraliseerd. Bij een dergelijke generalisatie worden criteria gehanteerd met betrekking tot verwantschap in bodemkundige en bodemfysische kenmerken van de samen te voegen onderdelen. Een voorbeeld hiervan is de bodemfysische-eenhedenkaart van Nederland op schaal 1 : 1 000 000 (Wösten e. a., 1988b). Bij deze schematisatie zijn de bodemeenheden van de bodemkaart 1 : 250 000 gegeneraliseerd tot 21 bodemfysische eenheden. Indien bijvoorbeeld op een kaartschaal 1 : 25 000 gewerkt wordt dan is de beschikbare informatie onvoldoende gedetailleerd en dient nieuwe informatie te worden ingewonnen. Door bijvoorbeeld sub-sets uit de Staringreeks te selecteren is het mogelijk regio specifieke vertaalfuncties te genereren. Een voorwaarde hierbij is natuurlijk wel dat er voor de regio voldoende metingen beschikbaar moeten zijn. Is dit niet het geval dan zijn extra metingen van de bodemfysische karakteristieken nodig.

*Tabel 8 Richtlijn voor gebruik van de Staringreeks op verschillende kaartschalen*

Toepassing	Voordeel	Nadeel	Oplossing	Voorbeeld
Schaal 1: 50 000	Aansluiting bij indeling Bodemkaart van Nederland	Geen	Geen aanpassing nodig	Wösten et al., 1988c
Kleinere schaal (bijv. 1:100 000)	Gebruik bestaande informatie	Te gedetailleerd, teveel rekenwerk	Generalisatie	Wösten et al., 1988b
Grotere schaal (bijv. 1:25 000)	Gebruik bestaande informatie	Onvoldoende detail	Extra metingen, regionale reeks, gebruik individuele curven, modelconcept aanpassen aan detailniveau	Hack-ten Broeke en Hegmans, 1996

Een andere belangrijke overweging om voor een bepaalde methode van gebruik van de Staringreeks te kiezen, is of al dan niet inzicht gewenst is in de onzekerheid die gepaard gaat met het gebruik van de reeks. Tabel 9 geeft hiervoor een globale richtlijn. Zowel de klasse- als de continue vertaalfunctie bieden de mogelijkheid om de onzekerheid in bodemfysische karakteristieken te kwantificeren waarmee dus ook nagegaan kan worden wat het effect is van deze onzekerheid op de variabiliteit van de uiteindelijke berekeningsresultaten. Behalve door onzekerheid in bodemfysische invoergegevens wordt de variabiliteit van de berekeningsresultaten natuurlijk ook bepaald door onzekerheid in andere invoergegevens. Inzicht in de effecten van onzekerheid in de verschillende invoergegevens is een belangrijk hulpmiddel om te bepalen welk invoergegeven nader gepreciseerd moet worden om een maximaal rendement te behalen.

*Tabel 9 Richtlijn voor het omgaan met onzekerheid*

Toepassing	Nadeel	Oplossing
Inzicht in onzekerheid van klasse vertaalfunctie	De klasse vertaalfunctie geeft gemiddelde karakteristiek voor textuurklasse	Behalve gemiddelde karakteristiek ook gebruik van gelote of extreme karakteristieken
Inzicht in onzekerheid van continue vertaalfunctie	De continue vertaalfunctie geeft als beste voorspelling de gemiddelde karakteristiek	Naast gemiddelde karakteristiek ook gebruik van karakteristieken die onzekerheid kwantificeren
Inzicht in heterogeniteit van kaartvlak	Het representatieve profiel voor een kaartvlak is vertaald in een bodemfysisch profiel	Naast het representatieve profiel ook afzonderlijke profielbeschrijvingen gebruiken
Inzicht in heterogeniteit van profielopbouw	Beperkte gedetailleerdheid van profielbeschrijving	Loting uit lagen op basis van verwacht voorkomen van gelaagdheid, extra metingen



## 5 Discussie

### 5.1 Algemeen

De klasse- en continue vertaalfuncties uit de Staringreeks worden in vele gevallen juist en met succes toegepast voor de voorspelling van de bodemfysische karakteristieken. Omdat het gebruik makkelijk en goedkoop is, worden zodoende vele gecompliceerde en dure metingen bespaard. De vertaalfuncties zijn verkregen door analyse van het bestand aan gemeten bodemfysische karakteristieken. Dit betekent dat de kwaliteit van dit bestand van grote invloed zal zijn op de kwaliteit van de afgeleide vertaalfuncties. Dit houdt ook in dat de vertaalfuncties periodiek moeten worden bijgesteld als het bestand aan metingen wordt uitgebreid. Alhoewel het aantal beschikbare metingen fors is toegenomen in de periode 1994 - 2001, is het goed zich te realiseren dat de werkwijze en het indelingscriterium om tot deze hernieuwde uitgave te komen, niet is gewijzigd. Dit betekent dat een aantal richtlijnen gelden met betrekking tot het oordeelkundig gebruik van de reeks.

De Staringreeks is in drie verschillende vormen beschikbaar:

- Tabelwaarden ingedeeld naar textuurklasse
- Berekende parameters van de Van Genuchten vergelijkingen per textuurklasse
- Berekende Van Genuchten parameters waarbij gebruik gemaakt wordt van een continue vertaalfunctie

Voor interpretatiestudies wordt regelmatig gebruik gemaakt van de tabellen met per bouwsteen bij 13 drukhoogten waarden voor vochtgehalte en doorlatendheid (tabel 4). Het voordeel hiervan is dat snel concreet inzicht wordt gegeven in de waarden van het vochtgehalte en de doorlatendheid bij een bepaalde drukhoogte. Van de tabelwaarden zijn andere waarden afgeleid die inzicht geven in kritieke z-afstand of verzadigingstekort bij verschillende capillaire stijghoogten (tabel 4). Het voordeel van deze laatste waarden is dat snel duidelijk wordt wat het effect is van een andere textuurklasse op het hydraulisch gedrag.

Het gebruik van waarden in tabelvorm is bij gebruik van numerieke modellen omslachtig en inefficiënt. Voor modelstudies wordt daarom aanbevolen gebruik te maken van de parameterwaarden in de Van Genuchten vergelijkingen (tabel 3). Voor deze toepassing zijn geen interpolatietechnieken nodig om tussenliggende waarden te schatten. Wanneer men beschikt over profielbeschrijvingen met gemeten of nauwkeurig geschatte textuur- en organische-stofgehalten is het te overwegen gebruik te maken van de continue vertaalfuncties voor elk van de zes parameters van de Van Genuchten vergelijkingen. Daarbij is ook een juiste inschatting van de bulkdichtheid nodig. Met het programma 'Staringreeks' is het mogelijk deze vormparameters te voorspellen.

Per textuurklasse oftewel bodemfysische bouwsteen is een bestand karakteristieken beschikbaar dat is verkregen door verschillende meetmethoden te gebruiken. Dit leidt tot een zogenaamd 'methode-effect' op de bepalingen. De sinds een aantal jaren geleden doorgevoerde uniformering in methoden zorgt er daarbij wel voor dat dit effect nu minder in de berekende gemiddelde karakteristieken doorwerkt dan in 1987. Per bodemfysische bouwsteen verschilt het aantal beschikbare bodemfysische karakteristieken sterk. Zo zijn de gemiddelde karakteristieken voor bouwsteen B7 gebaseerd op slechts 6 bepalingen terwijl de gemiddelde karakteristiek voor bouwsteen O1 gebaseerd is op 109 bepalingen. Deze verschillen in aantallen hebben gevolgen voor de representativiteit van de gepresenteerde gemiddelde karakteristieken als zijnde de gemiddelde karakteristieken voor die textuurklasse.

De klasse vertaalfuncties zoals weergegeven in de tabellen 3 en 4 vermelden de gemiddelde bodemfysische karakteristieken voor textuurklassen met een vrij ruime spreiding in bodemkenmerken. De continue vertaalfuncties zoals weergegeven in tabel 5 gebruiken meetwaarden voor de bodemkenmerken: dichtheid, mediaan van de zandfractie en de percentages leem, klei en organische stof, om aan de hand hiervan voorspellingen te doen van de bodemfysische karakteristieken. Deze werkwijze is specifiek dan de voorspelling van een gemiddelde voor een textuurklasse en zal daarom ook nauwkeuriger zijn indien het gaat om toepassing op punt niveau.

Uit een vergelijking van de waarden voor textuur, organische-stofgehalte en mediaan van de zandfractie in de tabellen 1 en 2, blijkt dat de uiterste waarden van de monsters waaraan metingen zijn verricht (tabel 2) vallen binnen de uiterste waarden die zijn gehanteerd om de textuurklasse te typeren (tabel 1). Dit kan tot gevolg hebben dat de gemiddelde karakteristieken niet geldig zijn voor monsters die buiten de uiterste waarden van de gemeten monsters vallen. Door de toename van het aantal gemeten karakteristieken per bouwsteen zijn de berekende gemiddelde karakteristieken enigszins verschillend van de gemiddelde karakteristieken uit de Staringreeks van 1994. Uit een vergelijking van de berekende stijghoogtewaarden bij zowel 0,1 als 0,2 cm per dag blijkt echter dat deze waarden onderling niet significant verschillen. Dit resultaat is evenwel niet zondermeer geldig voor de vergelijking van alle andere afgeleide grootheden.

## **5.2 Schaal**

De Staringreeks kan door zijn aansluiting bij de indeling van de Bodemkaart van Nederland schaal 1: 50 000 landsdekkend gebruikt worden. Het is echter bekend dat er regionale verschillen zijn, zoals bijvoorbeeld tussen de podzolgronden in Drenthe en in Noord-Brabant. In het noorden van het land zijn, mede door klimaatverschillen, de bovengronden vaak humeuzer dan in het zuiden. Wanneer er extra data zijn verzameld in een bepaald gebied dan verdient het aanbeveling om juist die te gebruiken om op gedetailleerde schaal onderzoek te doen. Ook is het mogelijk om als er voldoende metingen zijn, uit de basisgegevens van de Staringreeks regionale reeksen te genereren.



De Staringreeks verschaft de mogelijkheid om bodemfysische karakteristieken toe te kennen aan Nederlandse gronden die qua textuur overeenkomen met de gronden waaraan de karakteristieken zijn bepaald. Het moet echter worden afgeraden om de Staringreeks te gebruiken voor het toekennen van karakteristieken aan gronden buiten de landsgrenzen. In het eerste geval vindt een geoorloofde vorm van interpolatie van gegevens plaats terwijl in het tweede geval een erg riskante vorm van gegevensextrapolatie wordt toegepast.

De Staringreeks is geschikt voor kaartschaal 1: 50 000. Bij gedetailleerder studies is men geïnteresseerd in differentiatie van de gegevens. Voorbeelden van gewenste differentiaties zijn het onderscheid tussen verschillende veensoorten, verschil tussen zeer fijn en matig fijn zand en regionale aanpassing als gevolg van geologische verschillen in sediment en klimaat. Verdere differentiatie wordt mogelijk als meer gegevens beschikbaar komen. Een eerste aanzet kan zijn om de huidige monsters opnieuw te groeperen en te onderzoeken of de nieuwe indeling duidelijke onderlinge verschillen laat zien. Naarmate men verder verfijnd zullen ook andere verschijnselen zoals krimp en zwel, preferente stroming en hydrofobie belangrijker worden. Berekeningen aan afzonderlijke profielbeschrijvingen in combinatie met aangepaste modelconcepten biedt dan mogelijk een goed perspectief. Het heeft ook weinig zin onderscheid aan te brengen in aspecten die niet tegen redelijke kosten inventariseerbaar zijn. Nieuw onderzoek zal antwoord moeten geven op de vraag wanneer de nadruk moet liggen op verbetering van de schematisatie en wanneer op aangepaste modelconcepten. Naar verwachting zal het antwoord per onderzoeksvraag verschillen.

### **5.3 Profielopbouw**

De indeling in bouwstenen is gebaseerd op de textuur van de bodemhorizonten waaraan de metingen zijn verricht. Dit betekent dat verschillen in geologische afzetting en dichtheid, die beiden tot afwijkend bodemfysisch gedrag kunnen leiden, niet worden gehonoreerd. Eenheden op elke bodemkaart bevatten onzuiverheden. Hierdoor zal de bouwsteen die wordt gekozen op grond van de textuur van de eenheid niet van toepassing zijn op alle locaties binnen die eenheid.

Het vertalen van de profielopbouw naar bouwstenen van de Staringreeks dient met zorgvuldigheid te worden uitgevoerd. Uit studies naar bijvoorbeeld droogteschade is bekend dat het belangrijk is om alert te zijn op dunne lagen die de capillaire opstijging kunnen verstoren zoals bijvoorbeeld dunne lagen grof zand of veen. Tabel 10 laat bijvoorbeeld zien dat een laag grof zand van meer dan 10 cm direct onder de wortelzone, de kritieke z-afstand bijna halveert van 80 naar 42 cm.

Tabel 10 Effect op de kritieke z-afstand van het voorkomen van grof zand in een ondergrond die verder geheel uit sterk lemig zand bestaat

Begin diepte grof zandlaag t.o.v. wortelzone (cm)	Dikte grof zandlaag (cm)						
	1	2	5	10	20	50	
0	80	72	51	46	42	42	
5	82	78	56	51	47	47	
10	82	81	61	56	52	52	
20	93	92	71	66	61	61	
50	122	115	101	96	90	90	

Indien kleine verstoringen of discontinuïteiten in de profielopbouw niet worden vertaald in andere bodemfysische bouwstenen, wordt een heterogeen profiel als homogeen beschouwd en zal de capillaire nalevering worden overschat en te geringe vochttekorten worden berekend. Dit is een reële situatie die veelvuldig in de praktijk voorkomt. De oplossing is om een nauwkeurige profielbeschrijving te maken waarbij ook kleine discontinuïteiten worden vertaald in afwijkende bodemfysische bouwstenen. Het alternatief om grote monsters te nemen waarbij de heterogeniteit in het monster zit, is niet praktisch uitvoerbaar en zou bovendien afbreuk doen aan de extrapoleerbaarheid van bodemfysische karakteristieken gekoppeld aan homogene textuurklassen.

## 5.4 Modelconcept

Voor de beschrijving van transportprocessen in scheurende gronden zijn inmiddels modellen beschikbaar waarin het zwel- en krimpgedrag van de bodem is verdisconteerd. Om deze modellen te kunnen toepassen zijn behalve de  $K-h$ -relaties ook krimpkarakteristieken van de bodem als invoer vereist. Ook voor de beschrijving van de effecten van hysteresis zijn nu modellen beschikbaar. Omdat de gepresenteerde waterretentiekarakteristieken alle uitdrogingscurven zijn, is voor de toepassing van deze modellen additionele informatie vereist in de vorm van bevochtigingscurven. Omdat hysteresis een belangrijke veroorzaker is van preferente stroming in gronden is een uitbreiding van de reeks met bevochtigingscurven aan te bevelen.

In de praktijk blijkt dat met de Staringreeks soms modelresultaten worden verkregen die niet waren verwacht. Voor deze discrepantie tussen verwachting en resultaat kunnen mogelijke oorzaken worden aangewezen. Het kan zijn dat de gemeten bodemfysische karakteristieken niet de werkelijke bodemfysische karakteristieken weergeven. De gebruikte meetmethoden zijn echter in diverse vergelijkende studies getest en het gemiddelde is bovendien in de loop der tijd op steeds meer individuele metingen gebaseerd. Op zich geeft dit vertrouwen dat de gemiddelde karakteristieken reële waarden zijn voor de bodemfysische materiaalconstanten van de betreffende textuurklasse. Zoals in de vorige paragraaf is beschreven, kan het zijn dat de profielopbouw niet homogeen, maar in wezen heterogeen is. Tenslotte is het ook mogelijk dat bepaalde bodemfysische processen niet in het modelconcept zijn meegenomen. Hierbij valt te denken aan hysteresis, preferente stroming en zwel en

krimp gedrag. Indien deze processen worden genegeerd in het modelconcept, kan niet worden verwacht dat resultaten worden berekend die overeenstemmen met de waarnemingen. In een dergelijk geval dient allereerst het gebruikte model te worden aangepast. Gelukkig komen in toenemende mate modellen beschikbaar waarin deze processen zijn verdisconteerd. Als voorbeeld kan de berekening dienen van fluctuaties in grondwaterstanden. Hierbij blijkt vaak dat de berekende fluctuaties veel geringer zijn dan de waargenomen fluctuaties. Een plausibele verklaring hiervoor is dat door hydrofoob gedrag van de bodem of door de zeer trage herbevochtiging van een droge bodem de effectieve berging van een grond geringer is dan op grond van de waterretentiekarakteristiek uit de Staringreeks wordt berekend. Mogelijk bereikt het vochtgehalte in de praktijk nooit de waarde van het verzadigd vochtgehalte zoals in het laboratorium is bepaald. De remedie in dit geval is om een modelconcept te hanteren waarbij hydrofobie en langzame herbevochtiging is opgenomen. Een voorlopige aanpak zou kunnen zijn om het verzadigd vochtgehalte te reduceren. Met name bij studies naar voorspellingen van de dynamiek in grondwaterstanden is deze reductie met succes toegepast.

## **5.5 Onzekerheid**

Indien men geïnteresseerd is in het effect van onzekerheid in bodemfysische karakteristieken dan kan men in principe in plaats van de gemiddelde karakteristieken de oorspronkelijke, individuele karakteristieken gebruiken. Een statistisch verantwoorde werkwijze daarbij is loting uit de beschikbare, individuele karakteristieken. Het is ook mogelijk om de meest extreme karakteristieken te gebruiken om een range aan berekende uitkomsten te verkrijgen.

Een aantrekkelijke eigenschap van continue vertaalfuncties is dat de mate van onzekerheid in de voorspellingen gekwantificeerd kan worden. Finke et al. (1996) gebruikten de variantie-covariantie matrix van de vormparameters om naast de gemiddelde bodemfysische karakteristieken ook nog 20 andere karakteristieken te voorspellen om zodoende inzicht te geven in de onzekerheid van de voorspellingen. Vervolgens gebruikten zij de 20 karakteristieken in een Monte Carlo procedure om een aantal praktische bodemaspecten te berekenen zoals draagkracht, aeratie en doorbraak van opgeloste stoffen. Op deze manier konden zij duidelijk maken in welke praktische gevallen onzekerheid in de voorspelling van bodemfysische karakteristieken belangrijk is en wanneer niet. Deze informatie is vervolgens uiterst relevant om te beslissen welk invoergegeven met inzet van menskracht en geld nader gepreciseerd dient te worden.



## Literatuur

- Bakker, H. de en J. Schelling, 1989. *Systeem van bodemclassificatie voor Nederland; de hogere niveaus. Tweede, gewijzigde druk.* Wageningen, Pudoc.
- Bouwmans, J.M.M., 1990. *Achtergrond en toepassing van de TCGB-tabel.* Rapport TCGB, Utrecht.
- Finke, P.A., J.H.M. Wösten and M.J.W. Jansen. 1996. *Effects of uncertainty in major input variables on simulated functional soil behaviour.* Hydrological Processes 10: 661-669.
- 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.
- Genuchten, M.Th. van, F.J. Leij and L. Wu. 1997. *Proceedings of the International Workshop on Characterization and Measurement of the Hydraulic Properties of Unsaturated Porous Media.* Riverside, California, 22-24 October 1997.
- Hack- ten Broeke, M.J.D. en J.H.B.M. Hegmans. 1996. *Use of soil physical characteristics from laboratory measurements or standard series for modelling unsaturated water flow.* Agricultural Water Management 29: 201-213.
- Hack-ten Broeke, M.J.D., A.G.T. Schut and J. Bouma. 1999. *Effects on nitrate leaching and yield potential of implementing newly developed sustainable land use systems for dairy farming on sandy soils in the Netherlands.* Geoderma 91: 217-235.
- Hopmans, J.W. and B. Overmars. 1986. *Predicting and application of an analytical model to describe soil hydraulic properties.* J. Hydrol. 87: 135-143.
- Knotters, M. and P.E.V. van Walsum. 1997. *Estimating fluctuation quantities from time series of water-table depths using models with a stochastic component.* J. of Hydrology, 197: 25-46.
- Kroes, J.G., C.W.J. Roest, P.E. Rijkema en L.J. Locht. 1990. *De invloed van enige bemestingsscenario's op de afvoer van stikstof en fosfor naar het oppervlaktewater in Nederland.* Rapport 55, Staring Centrum, Wageningen.
- Stolte, J., J.G. Wesseling and J.H.M. Wösten. 1996. *Pedotransferfunctions for hydraulic and thermal properties of soil and the tool HERCULES.* Staring Centre, Report 126, Wageningen

Stolte, J. (ed.). 1997. *Manual for soil physical measurements, version 3*. Wageningen, DLO Winand Staring Centre. Technical Document 37.

Wösten, J.H.M., M.H. Bannink en J. Beuving. 1987. *Waterretentie- en doorlatendheidskarakteristieken van boven- en ondergronden in Nederland: de Staringreeks*. Wageningen, STIBOKA (Rapport 1932), ICW (Rapport 18).

Wösten, J.H.M. and M.Th. van Genuchten. 1988a. *Using texture and other soil properties to predict the unsaturated soil hydraulic conductivity*. Soil Sci. Soc. Am. J. 52: 1762-1770.

Wösten, J.H.M., F. de Vries, J. Denneboom en A.F. van Holst. 1988b. *Generalisatie en bodemfysische vertaling van de bodemkaart van Nederland, 1 : 250 000, ten behoeve van de PAWN-studie*. STIBOKA, Rapport 2055.

Wösten, J.H.M., J. Denneboom en A.F. van Holst. 1988c. *Bodemkundige en bodemfysische inventarisatie van de provincie Friesland ten behoeve van het provinciaal plan voor de waterhuishouding en het grondwaterplan*. STIBOKA, Rapport 1990.

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, SC-DLO, Technisch Document 18.

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

Wösten, J.H.M., Ya. A. Pachepsky and W.J. Rawls. 2001. *Pedotransfer functions: bridging the gap between available basic soil data and missing soil hydraulic data: their development, uncertainty and practical use in modelling*. Submitted to J. of Hydrology.

## **Aanhangsel 1 Bovengronden**

Van pagina 49 t/m 66 is telkens per bouwsteen de waterretentiekarakteristiek (bovenste grafiek) en de doorlatendheidskarakteristiek (onderste grafiek) gegeven.

De getrokken lijn (—) geeft de berekende geometrisch gemiddelde karakteristieken weer.

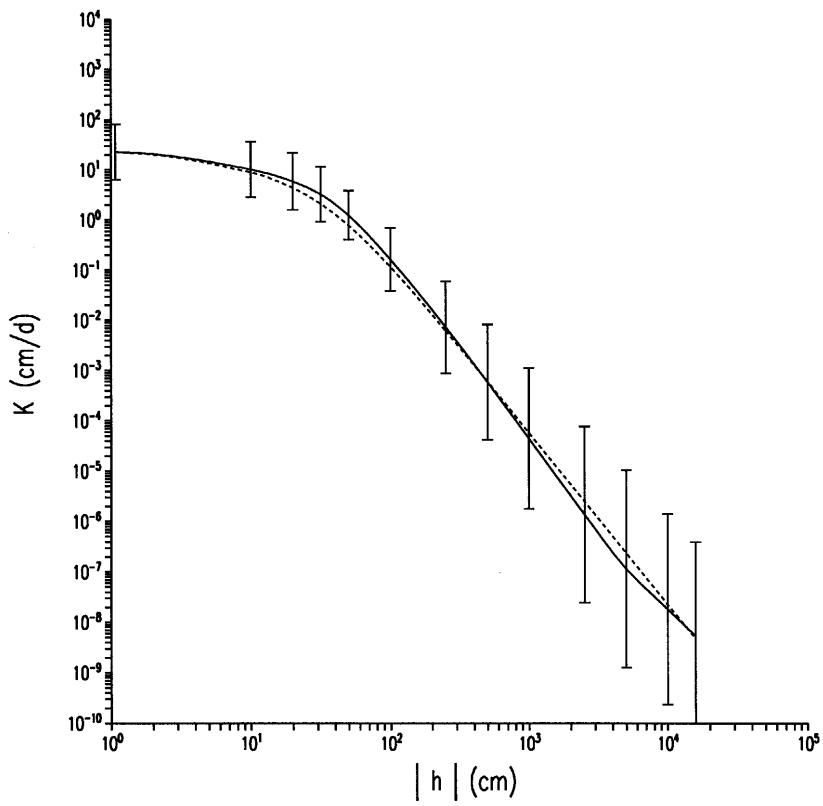
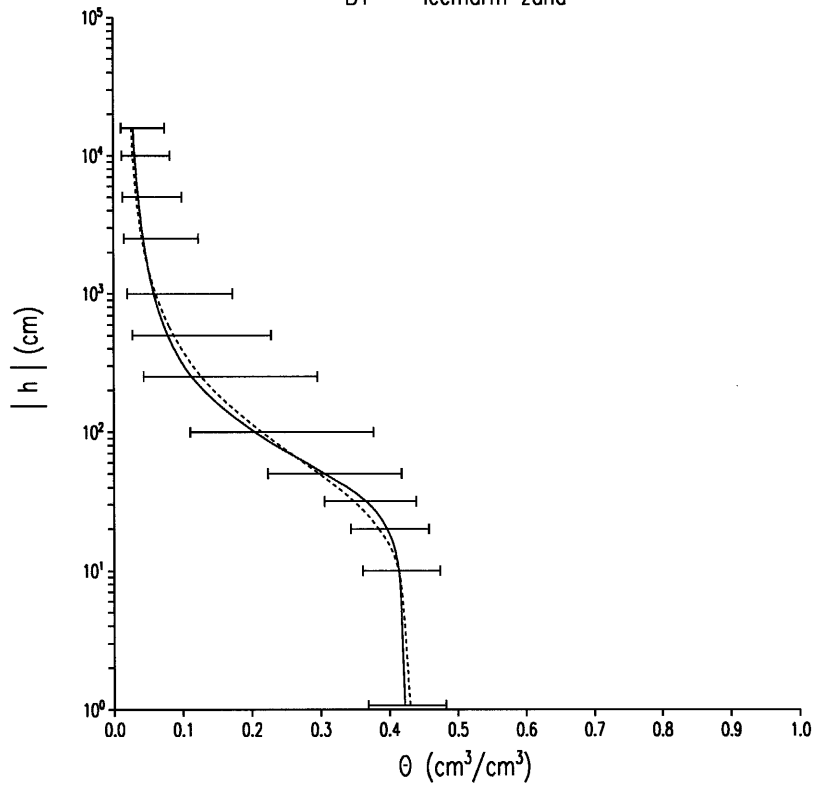
De stippellijn (- - -) geeft de beschrijving weer van de berekende geometrisch gemiddelde karakteristieken met twee analytische vergelijkingen.

De in het geval van de waterretentie horizontale- en in het geval van de doorlatendheid verticale balken geven de standaardafwijking aan.

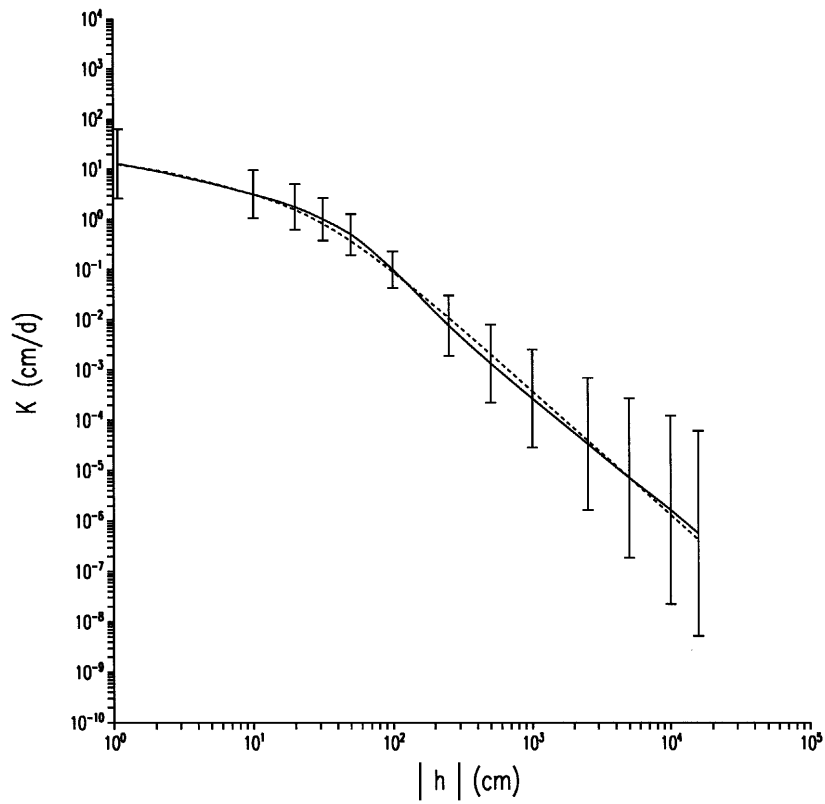
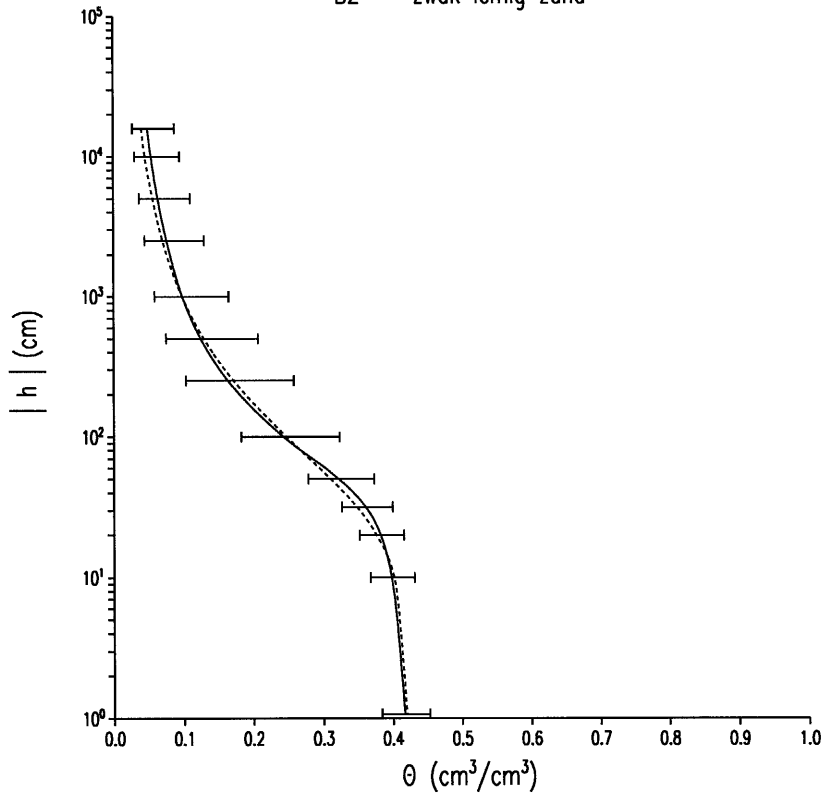




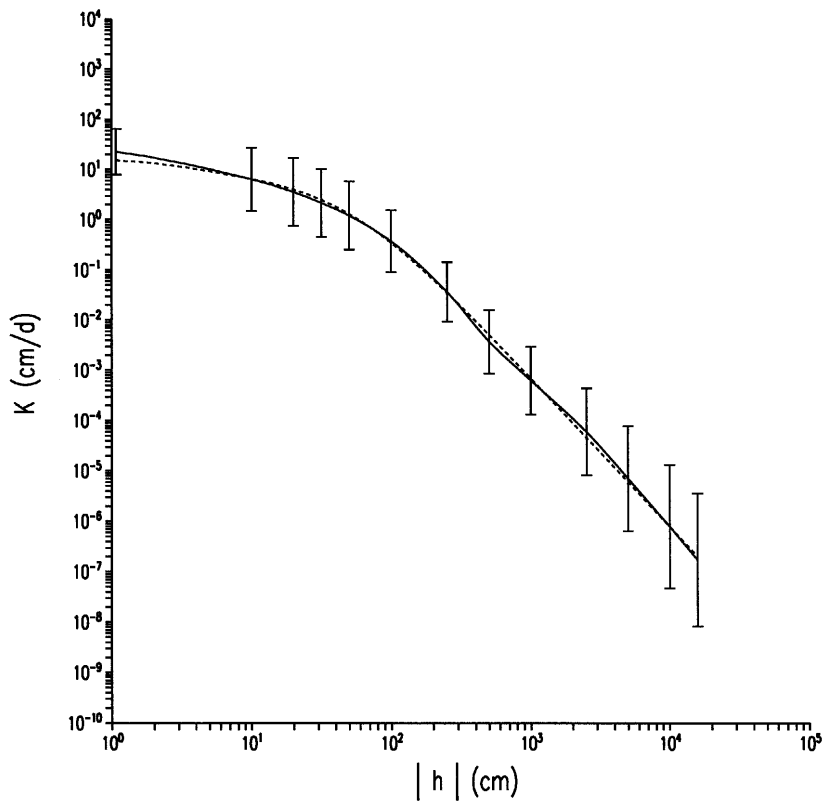
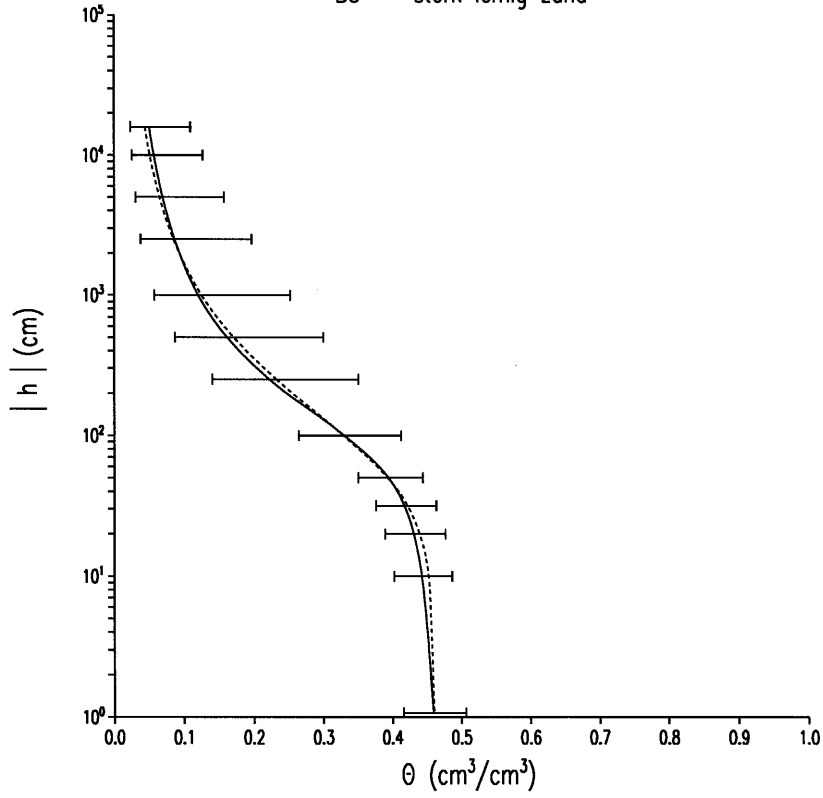
B1 leemarm zand



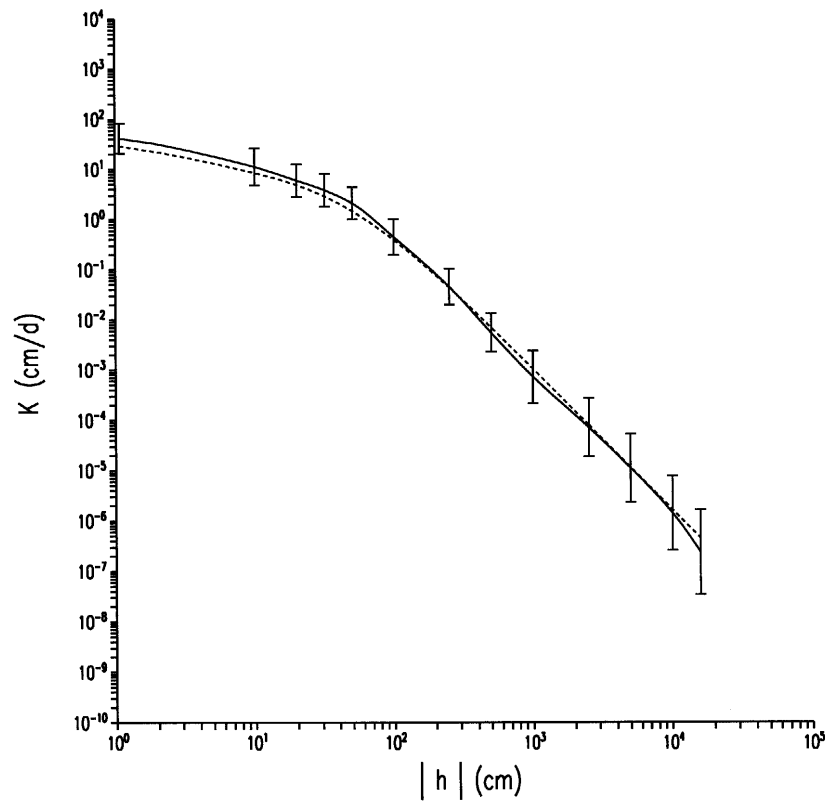
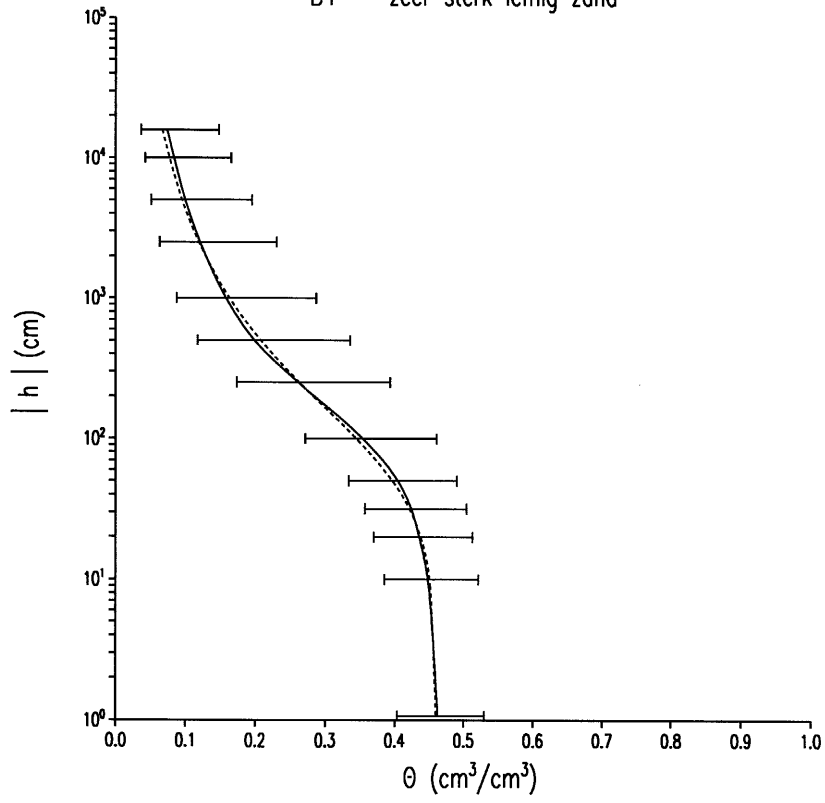
B2 zwak lemig zand



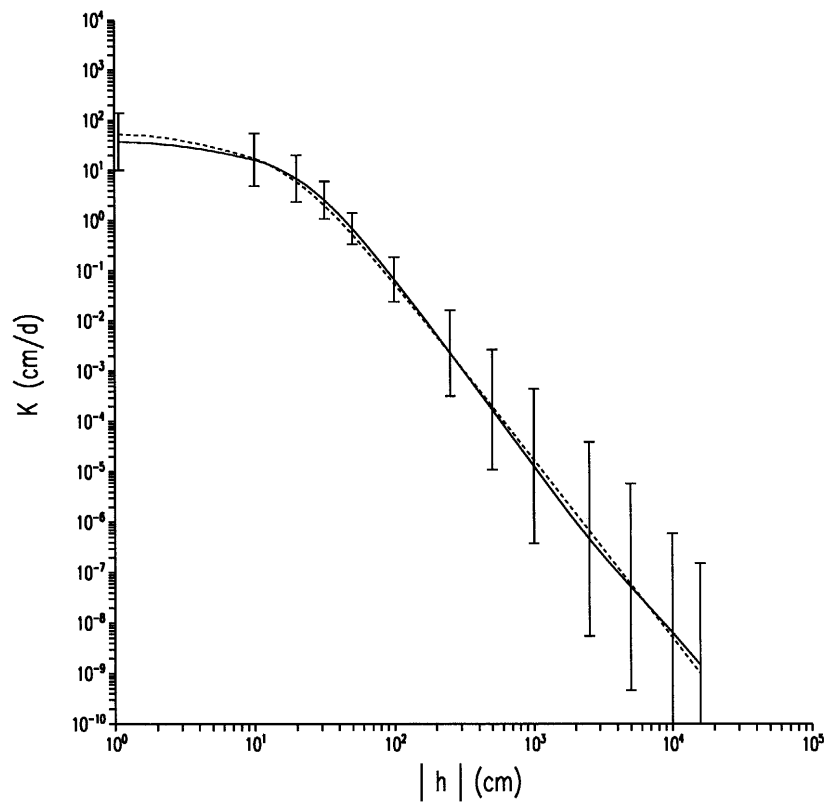
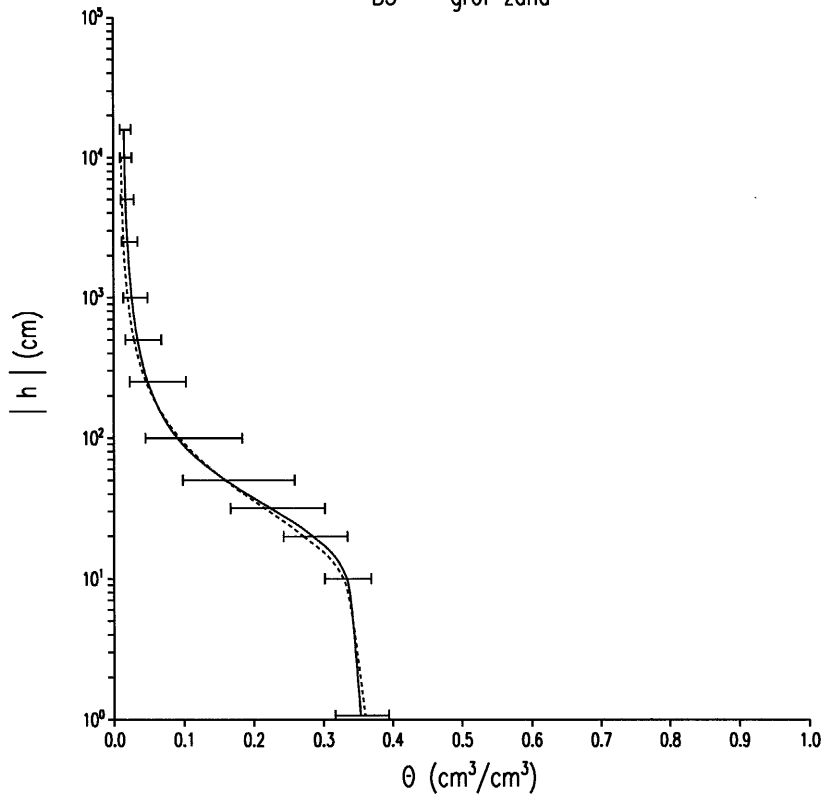
B3 sterk lemig zand

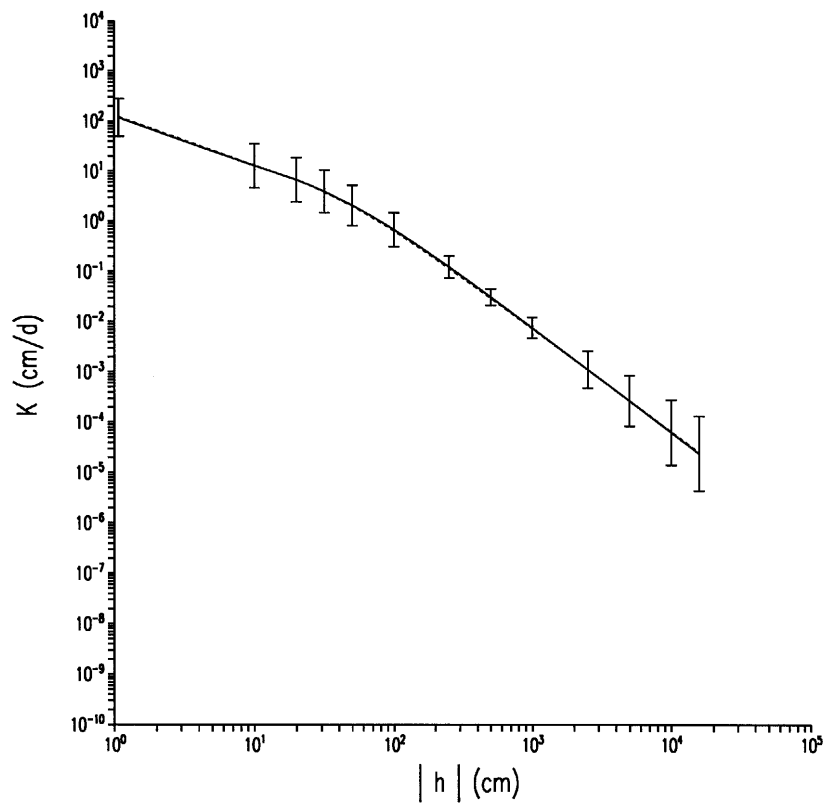
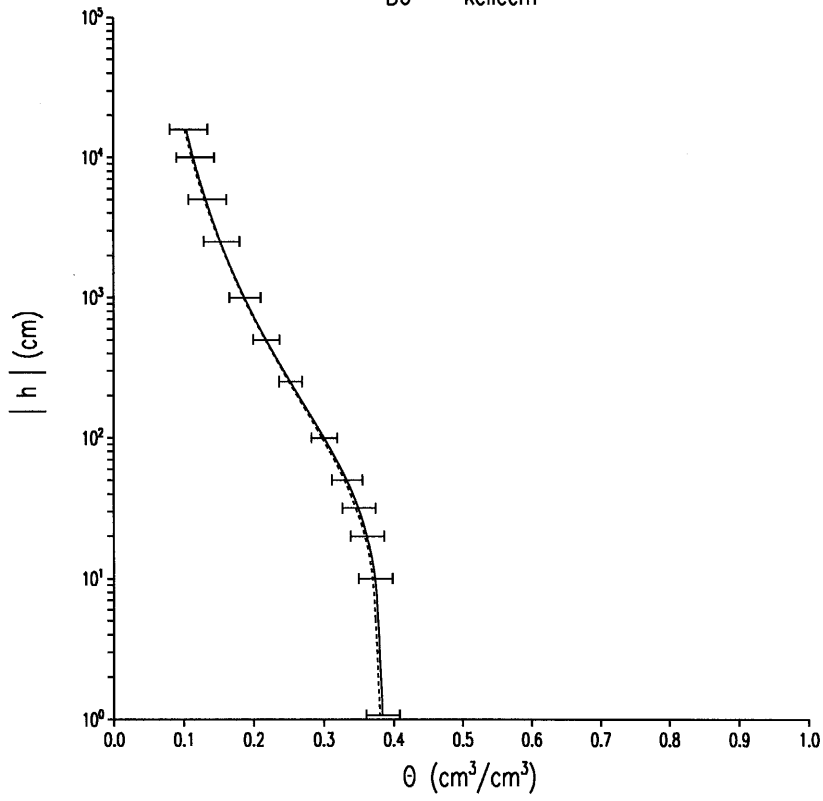


B4 zeer sterk leemig zand

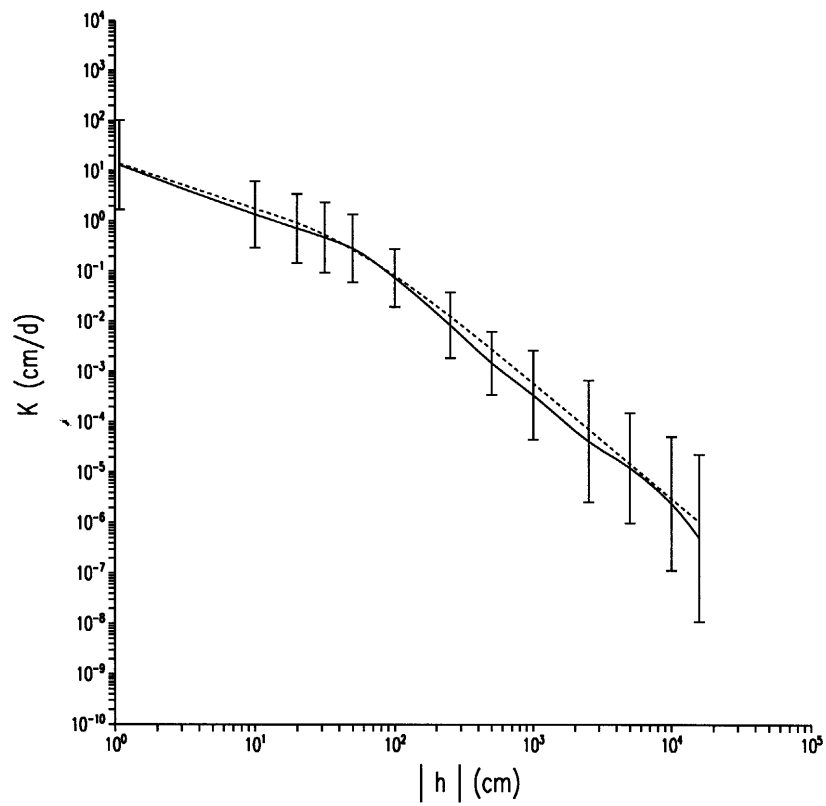
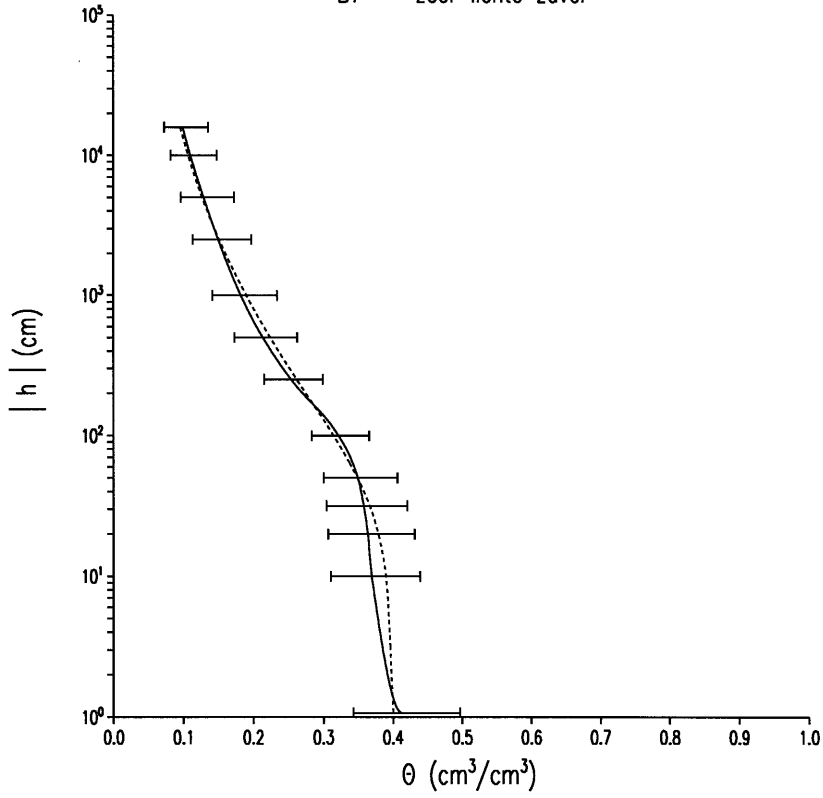


B5 grof zand

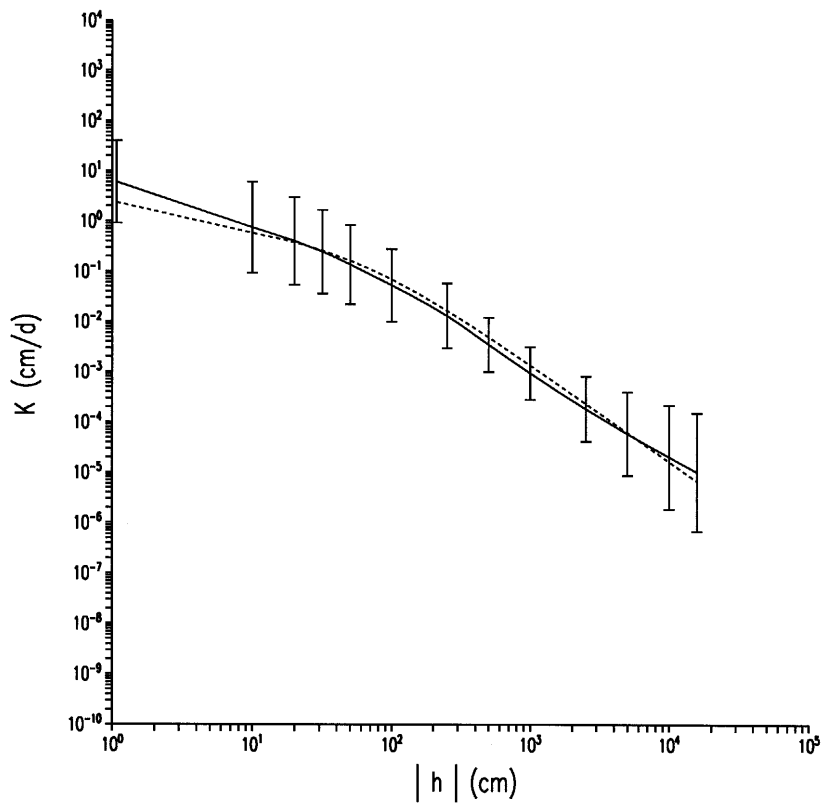
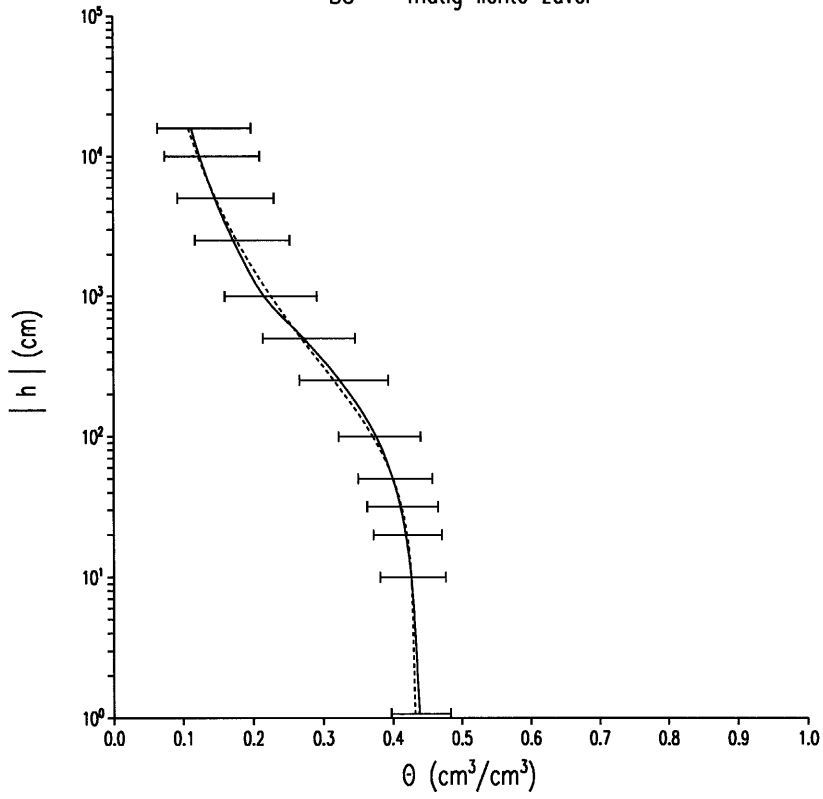




B7 zeer lichte zavel

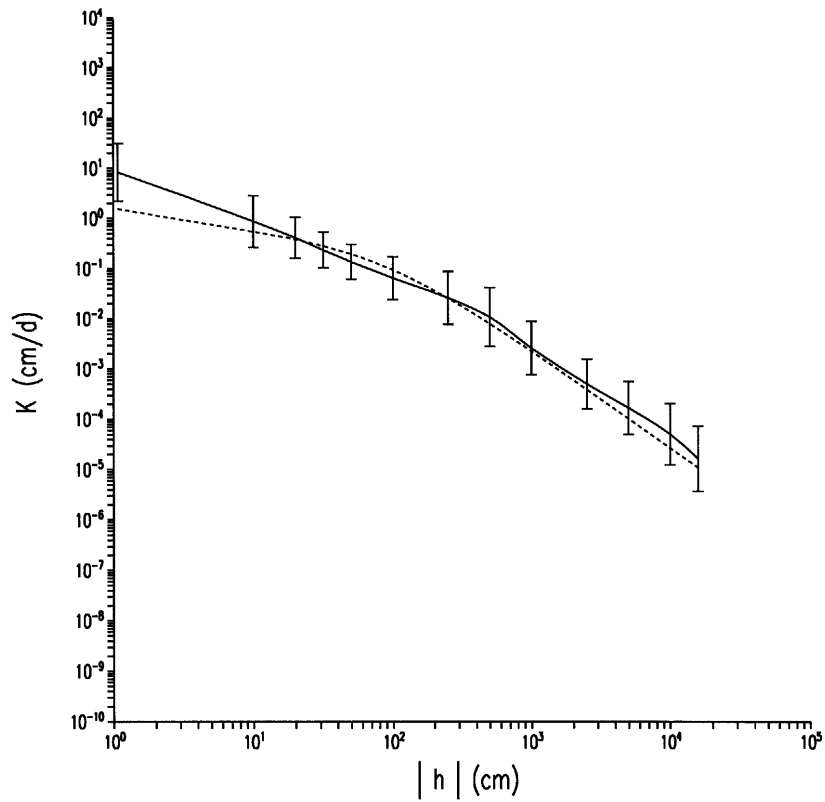
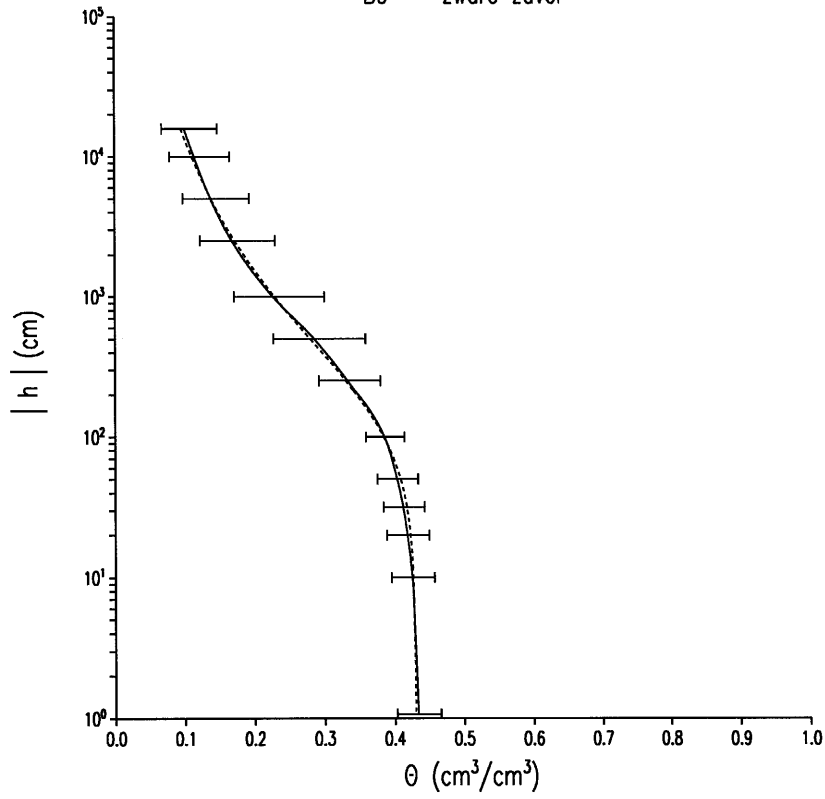


B8 matig lichte zavel

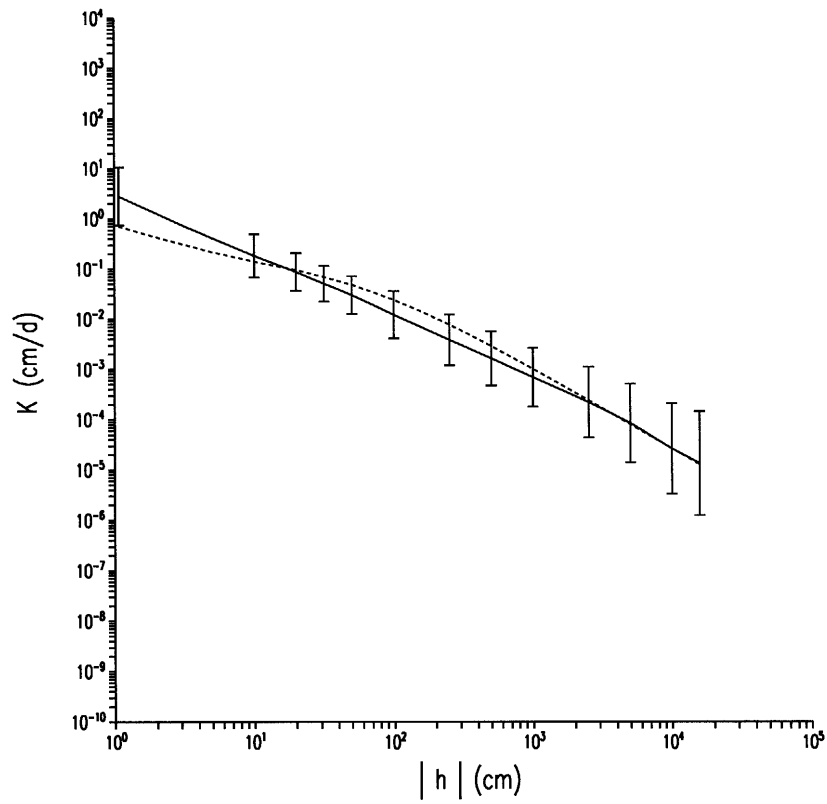
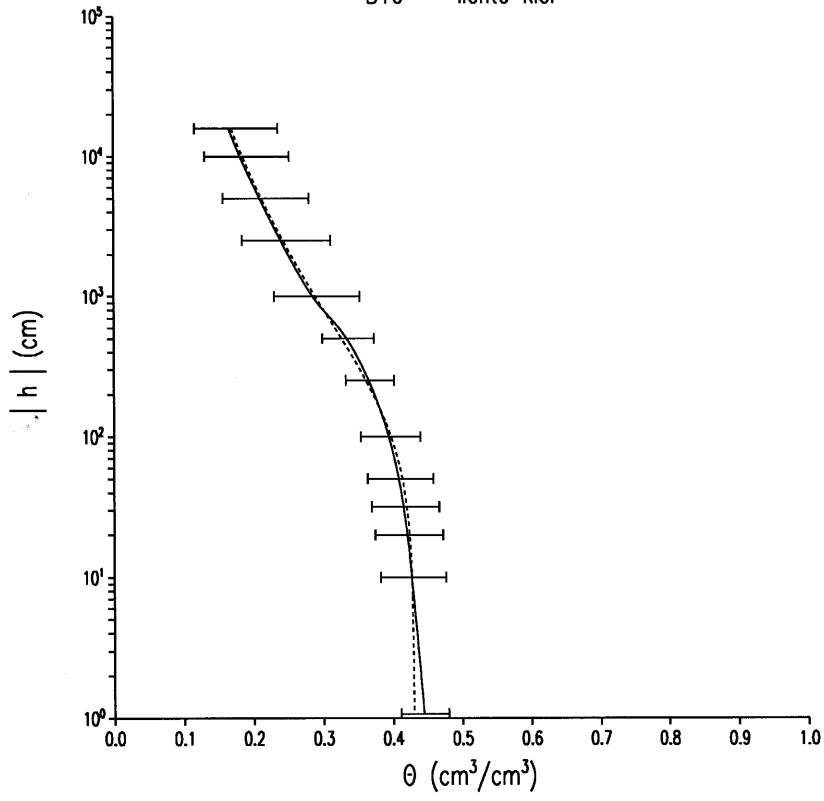




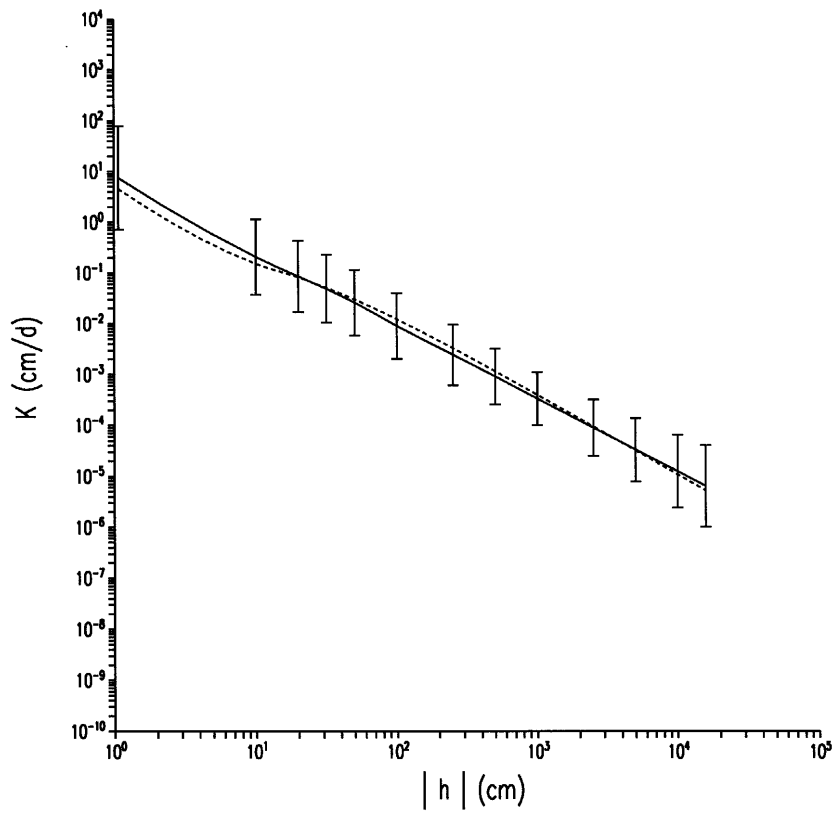
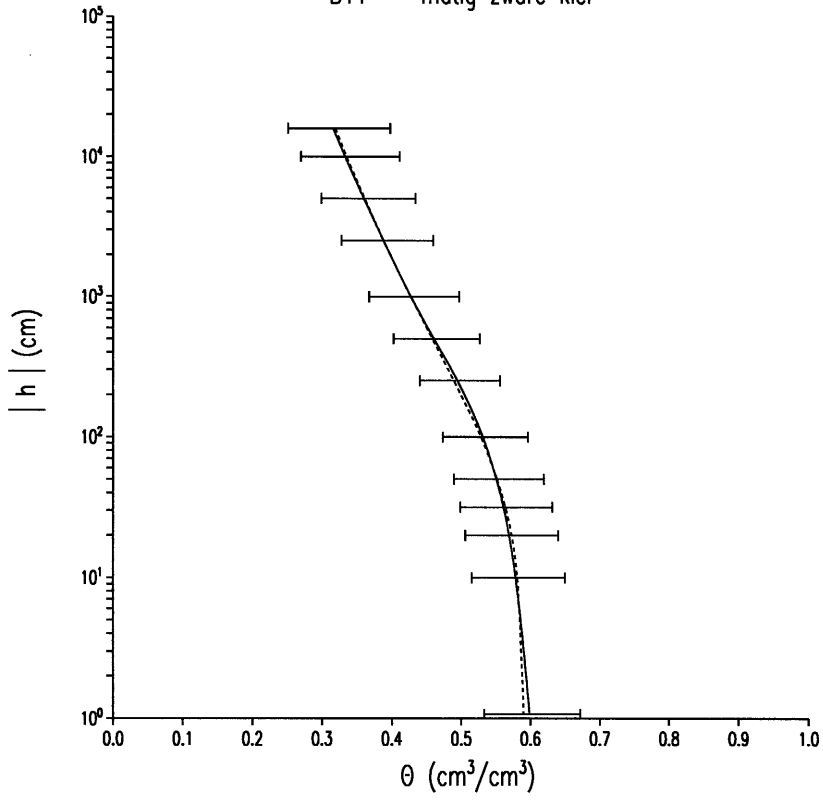
B9 zware zavel



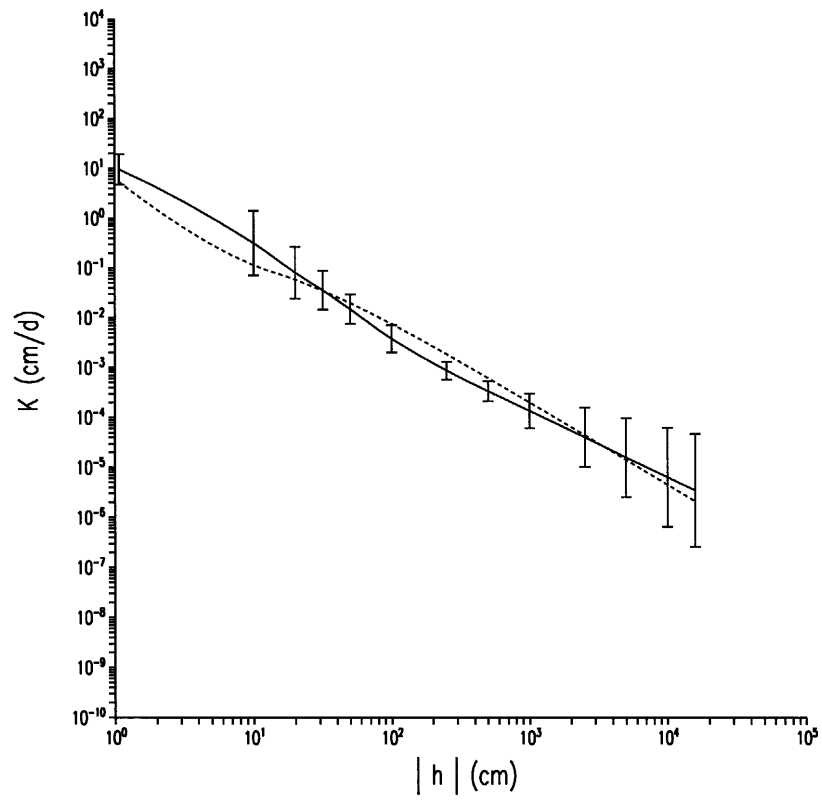
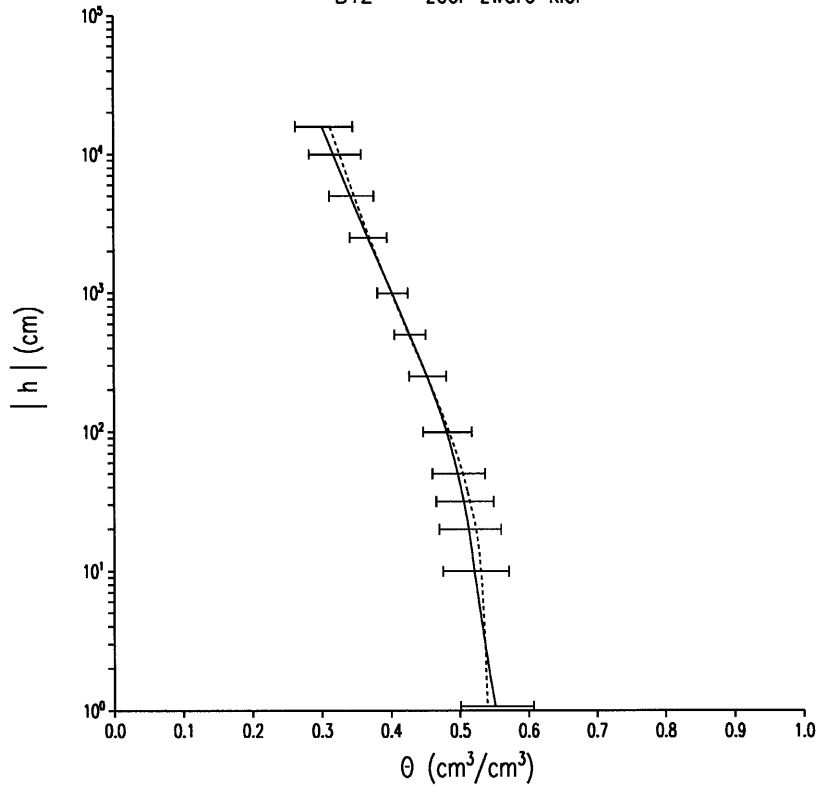
B10 lichte klei



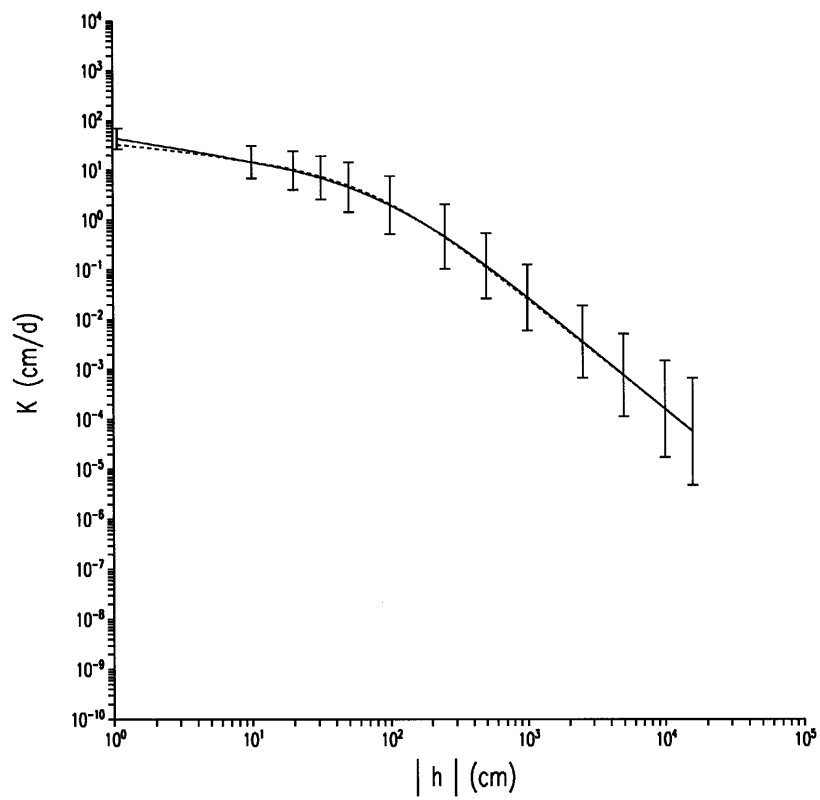
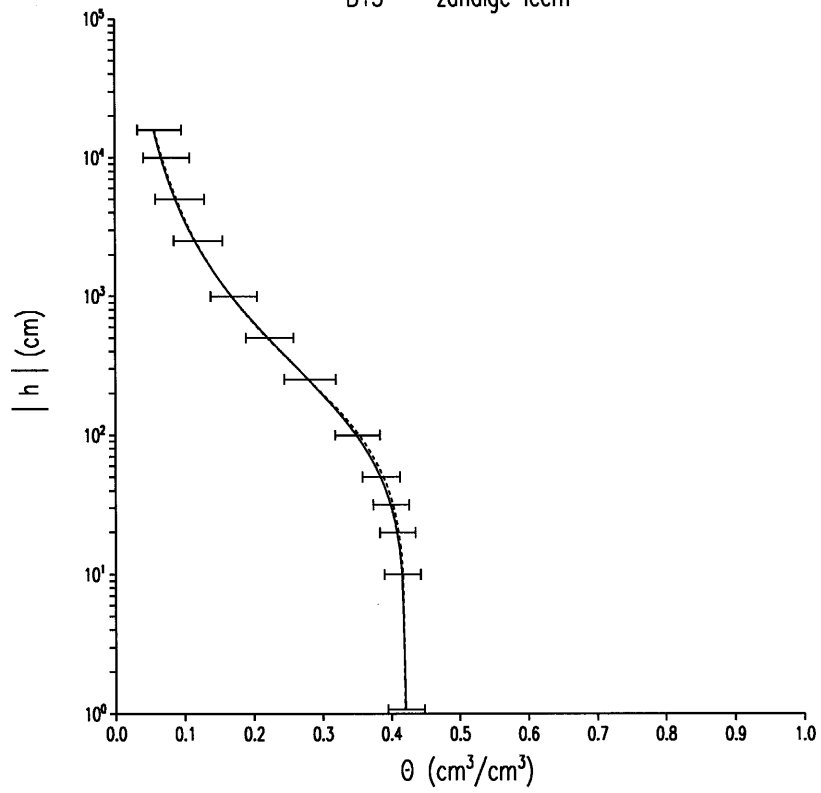
B11 motig zware klei



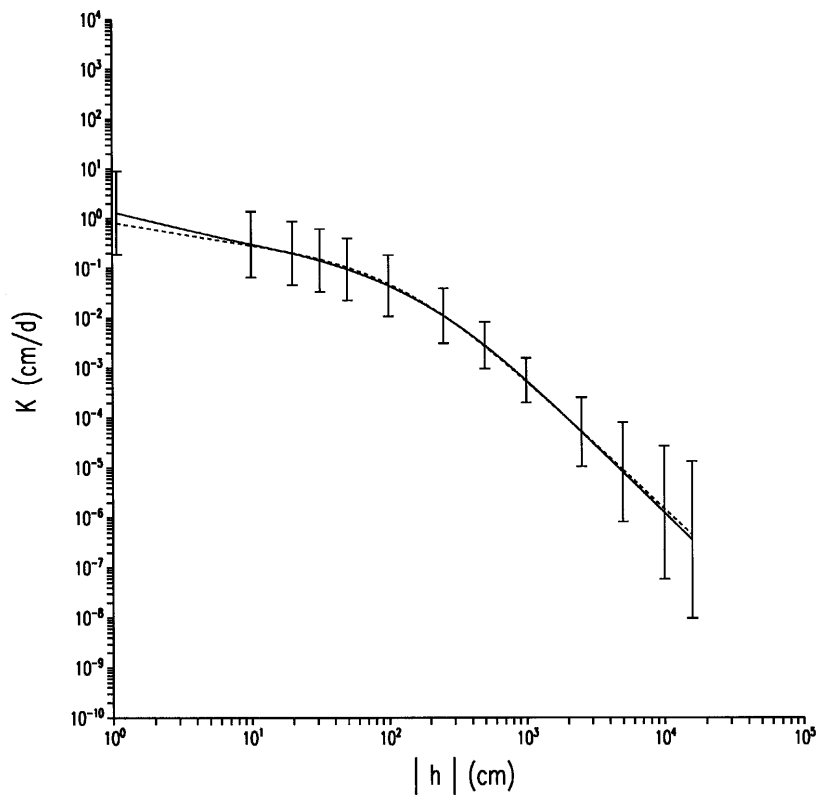
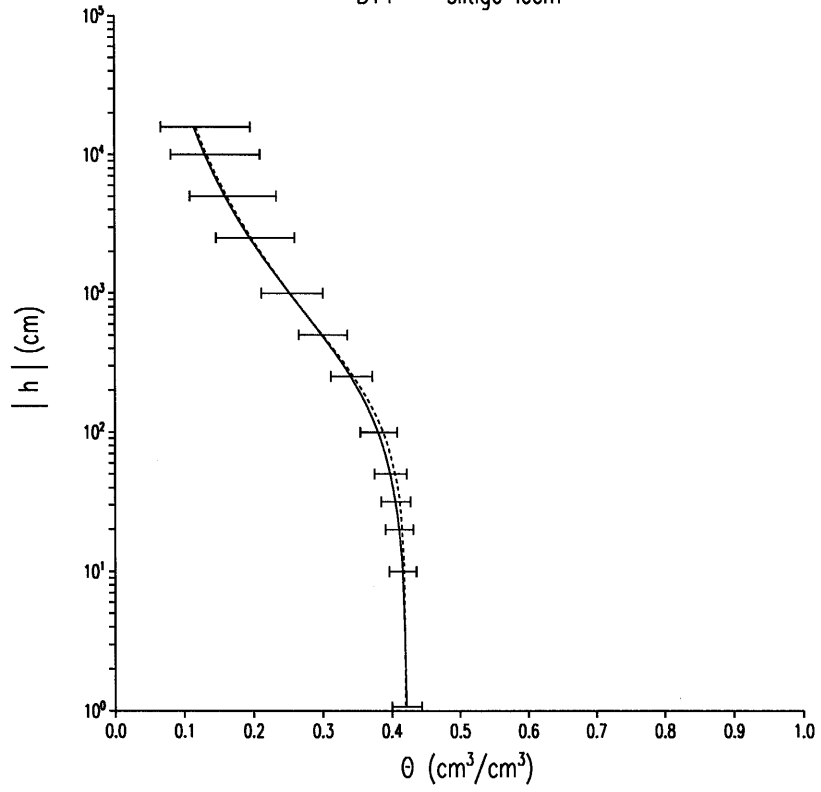
B12 zeer zware klei



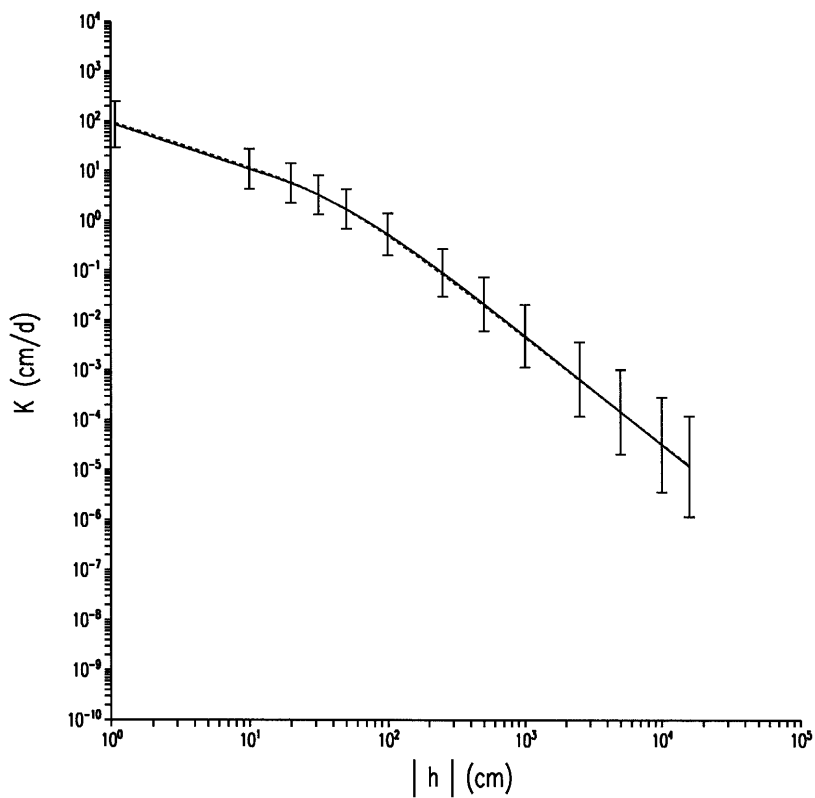
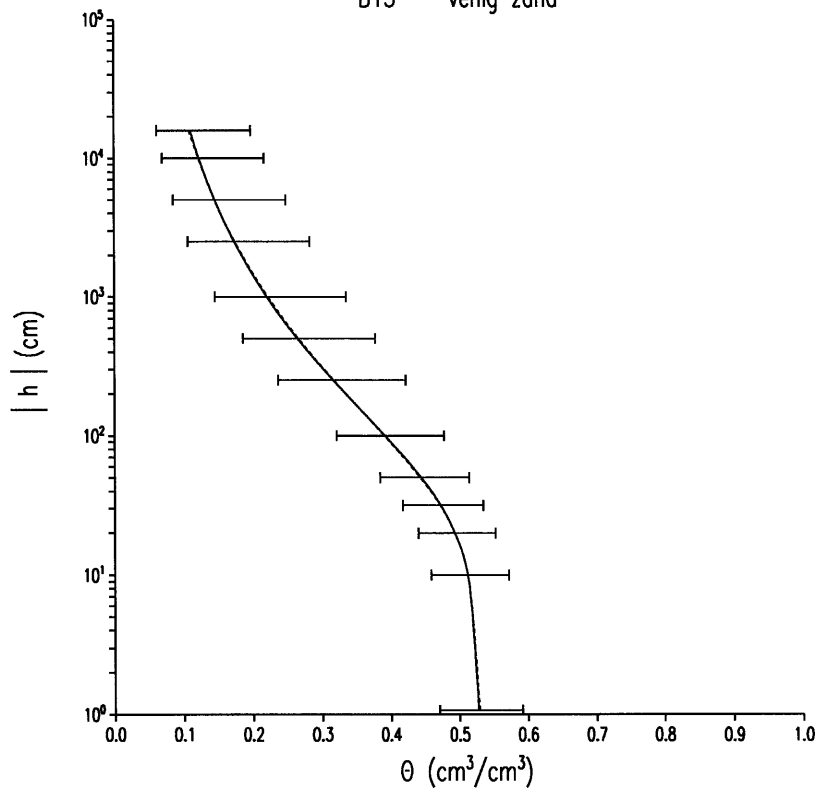
B13 zandige leem



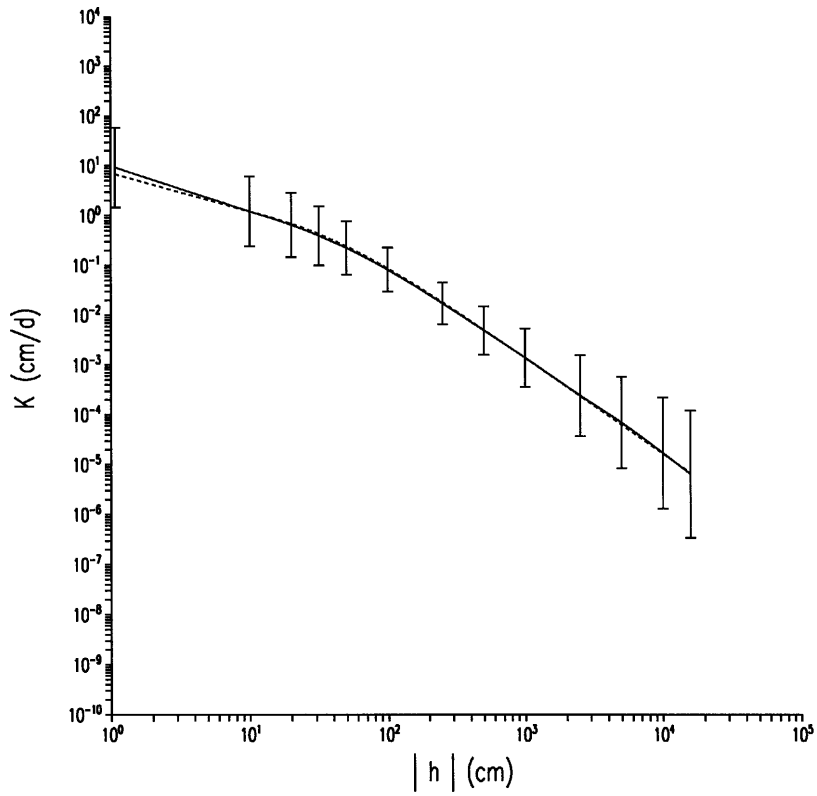
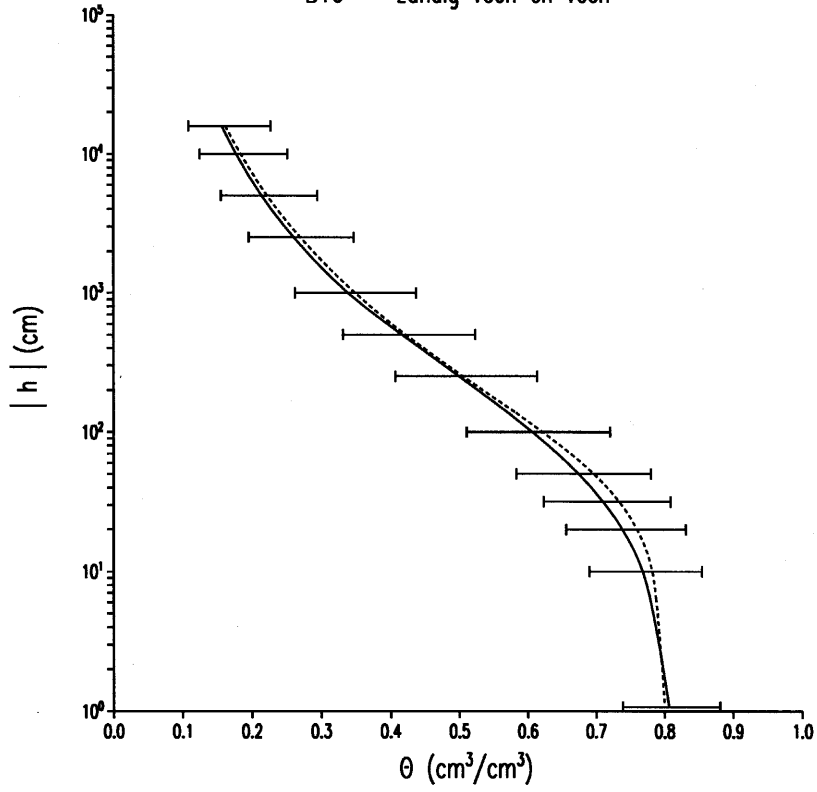
B14 siltige leem



B15    weinig zand

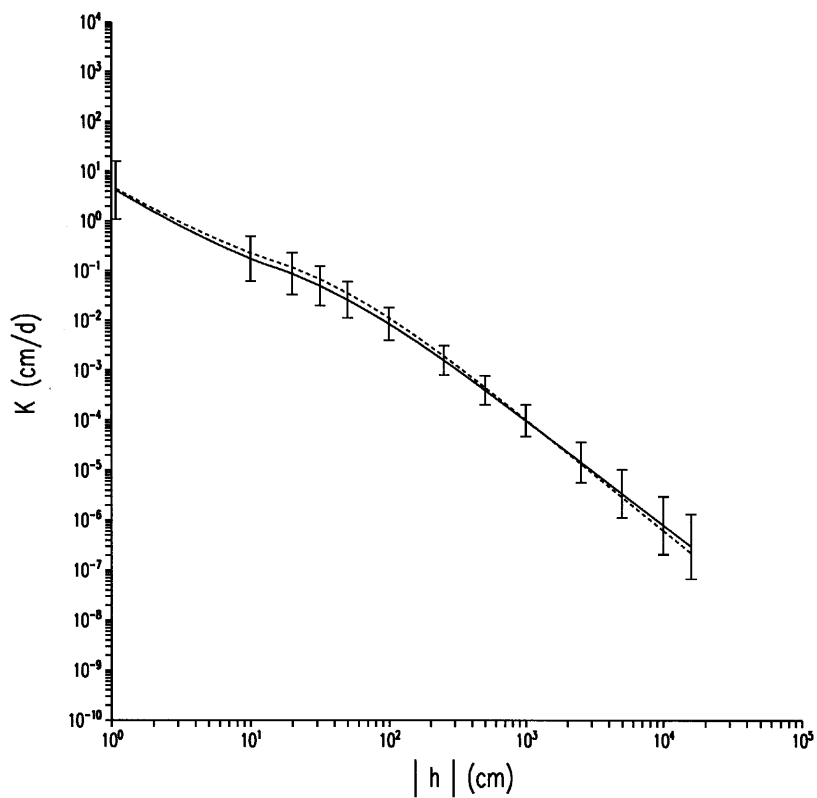
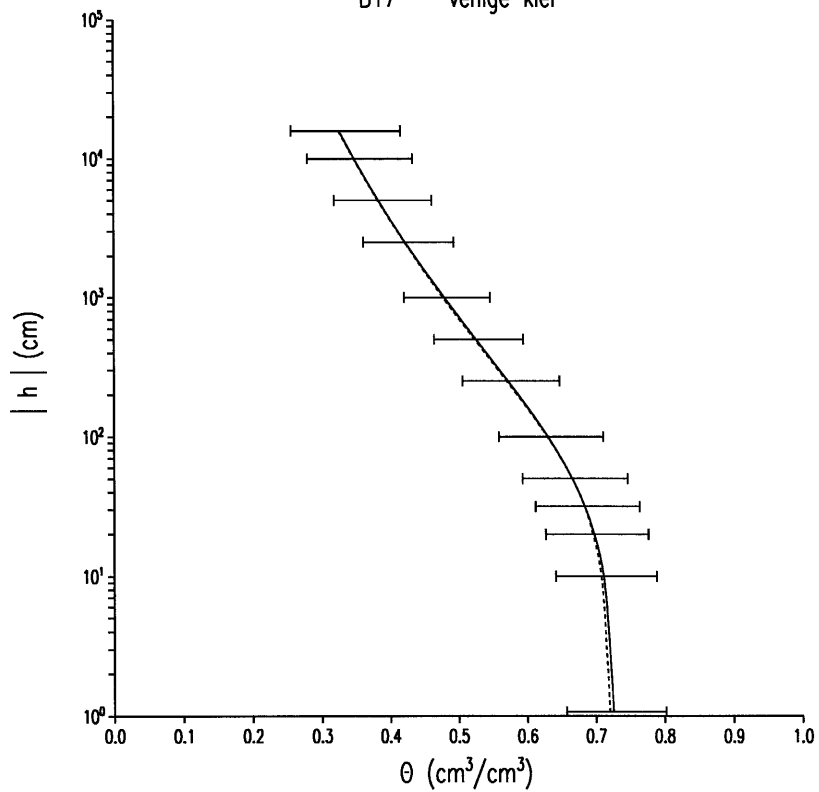


B16 zandig veen en veen

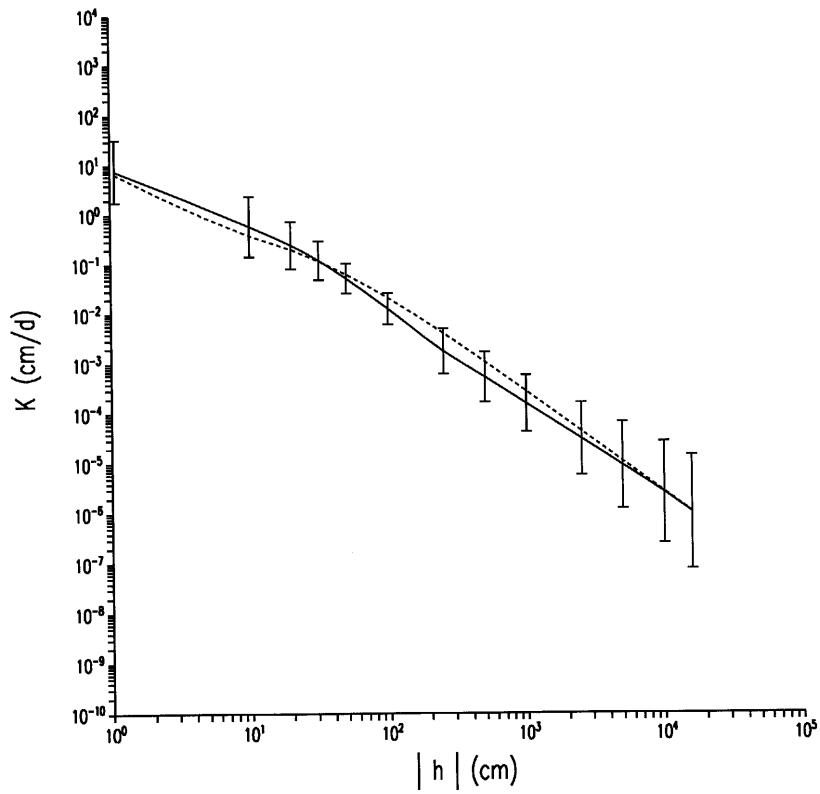
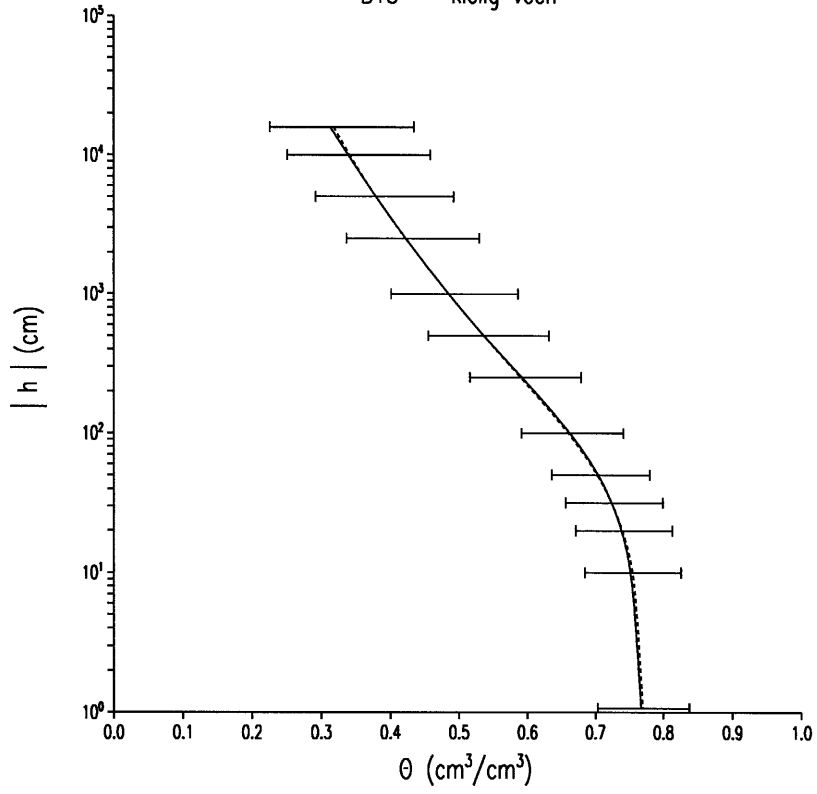




B17 venige klei



B18 kleiig veen



## **Aanhangsel 2 Ondergronden**

Van pagina 69 t/m 86 is telkens per bouwsteen de waterretentiekarakteristiek (bovenste grafiek) en de doorlatendheidskarakteristiek (onderste grafiek) gegeven.

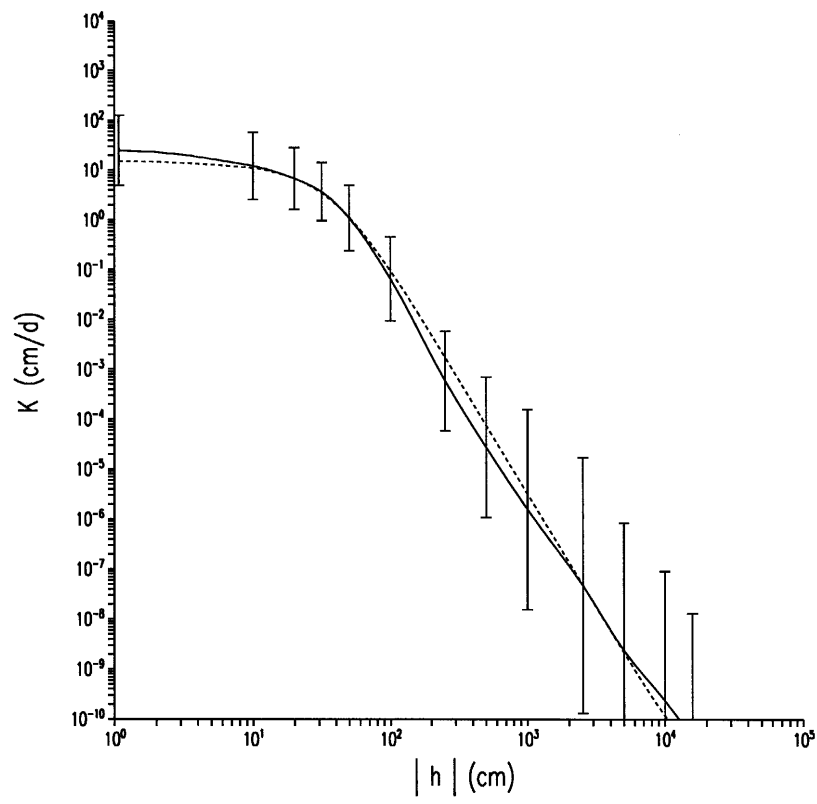
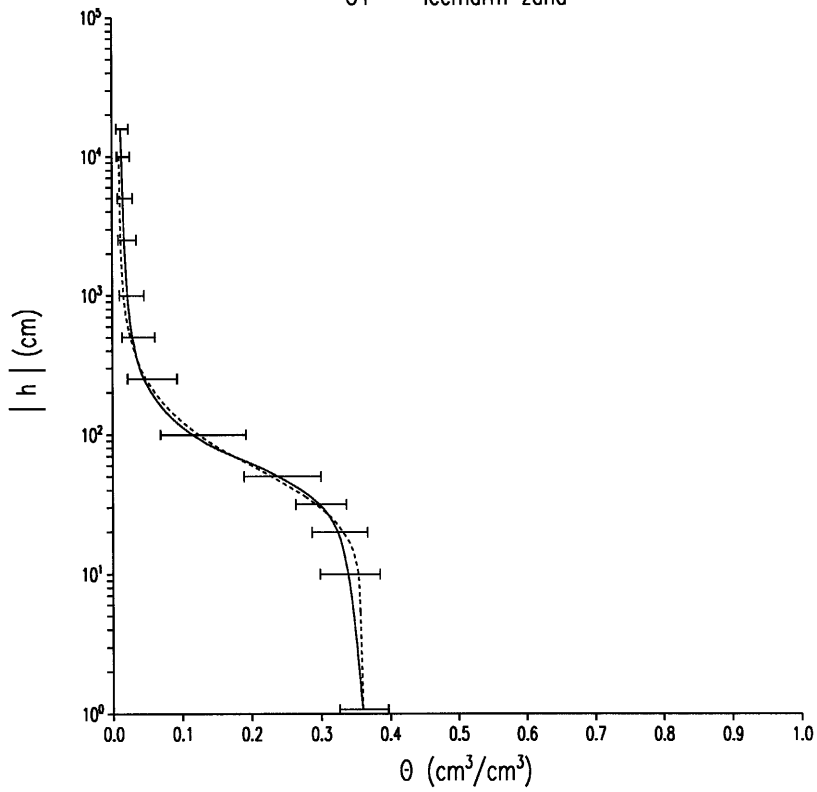
De getrokken lijn (—) geeft de berekende geometrisch gemiddelde karakteristieken weer.

De stippellijn (- - -) geeft de beschrijving weer van de berekende geometrisch gemiddelde karakteristieken met twee analytische vergelijkingen.

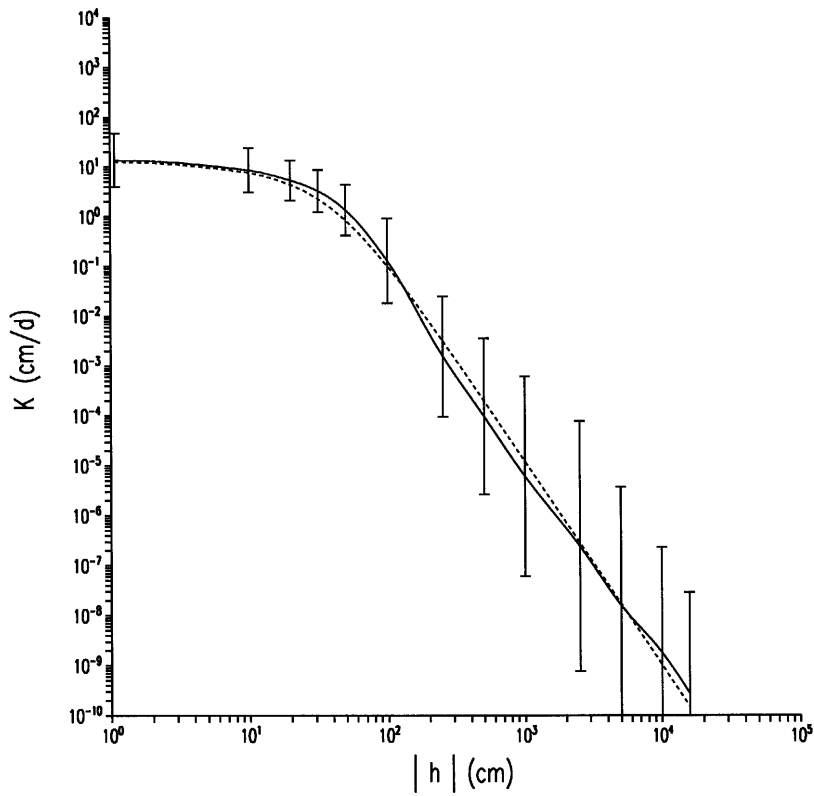
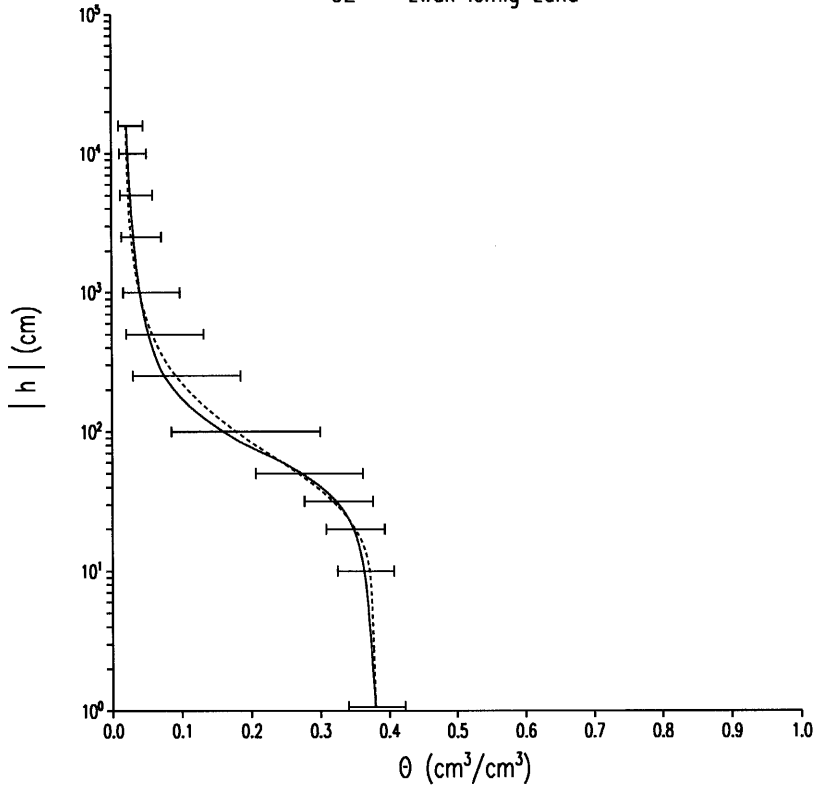
De in het geval van de waterretentie horizontale- en in het geval van de doorlatendheid verticale balken geven de standaardafwijking aan.



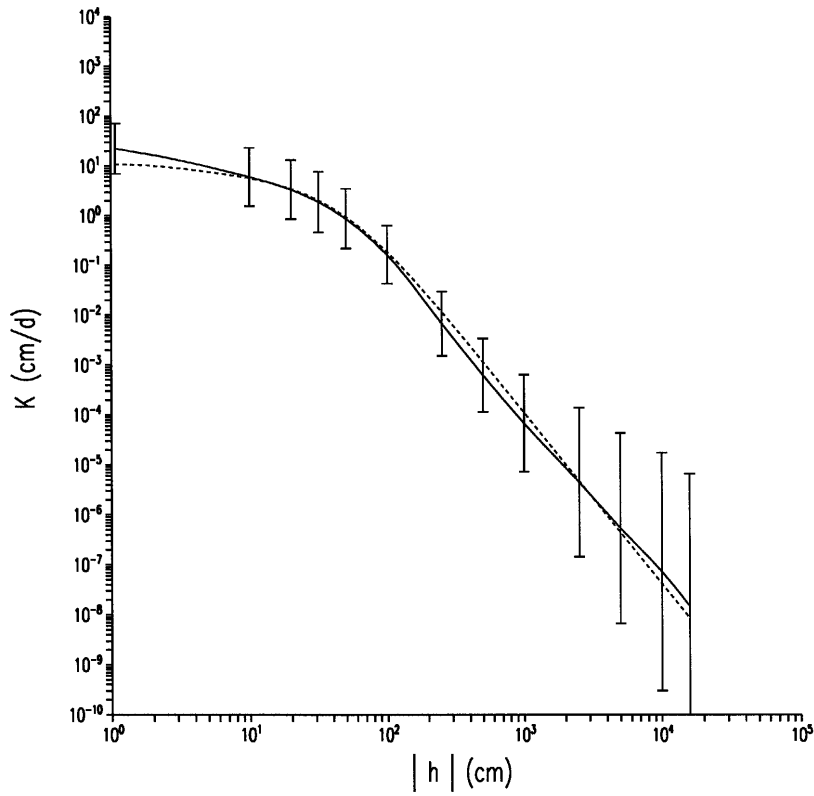
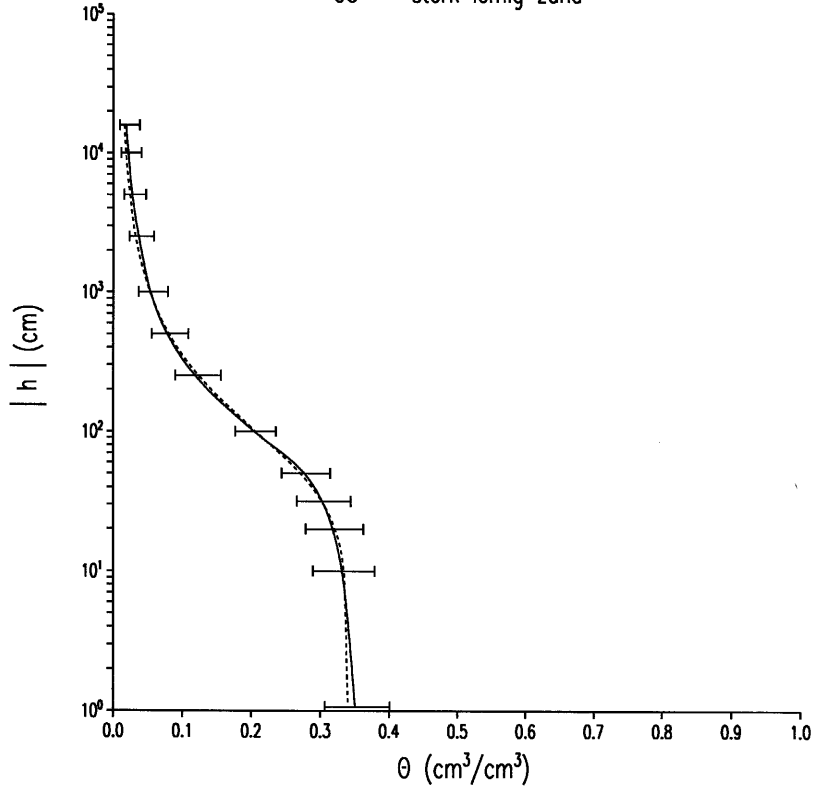
01 leemarm zand



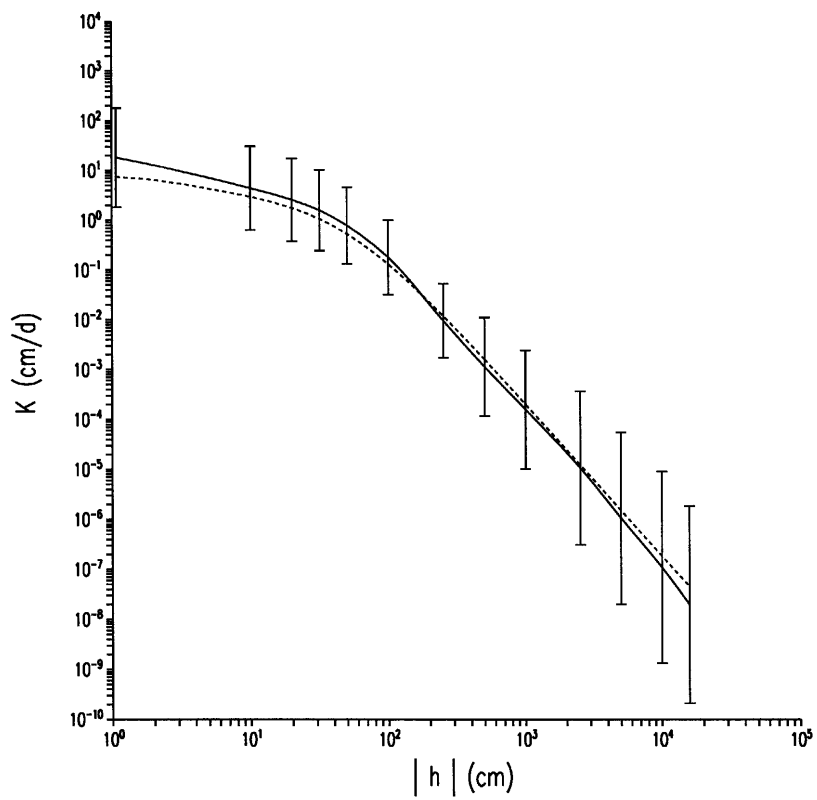
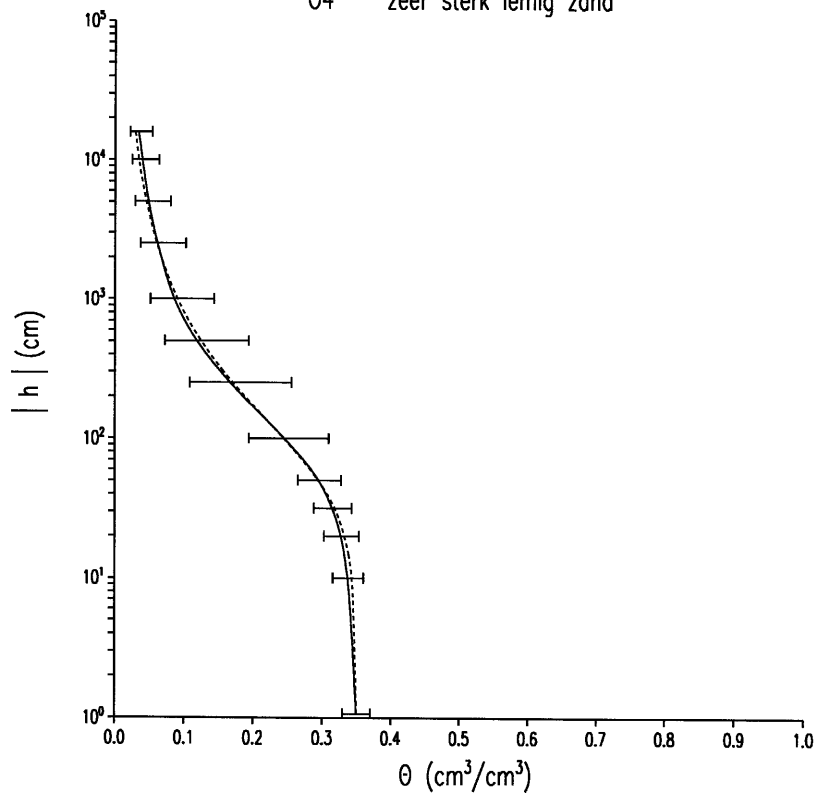
02 zwak lemig zand



03 sterk lemig zand

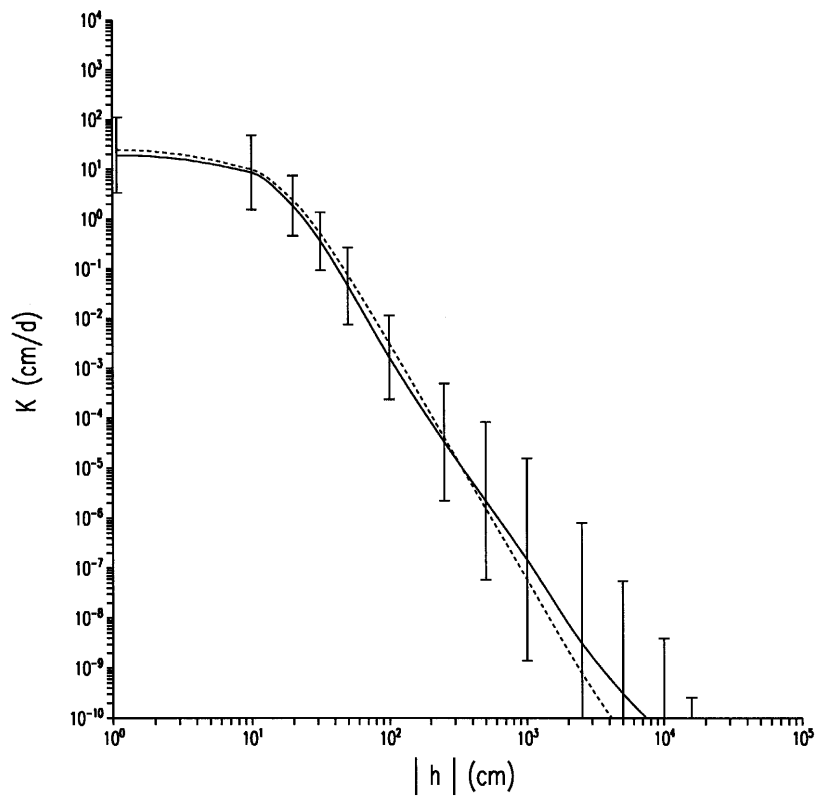
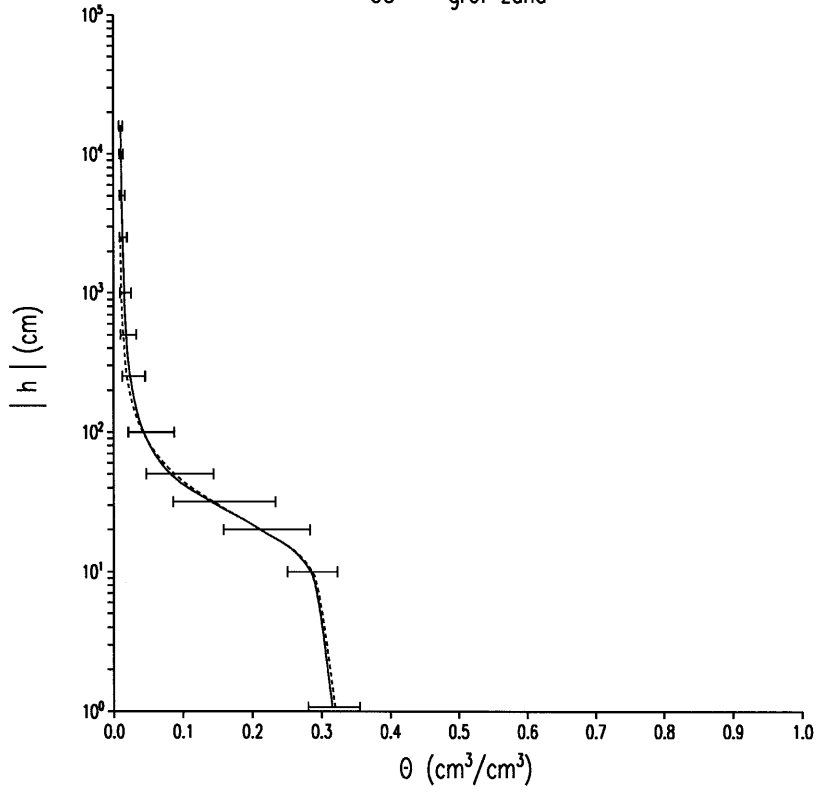


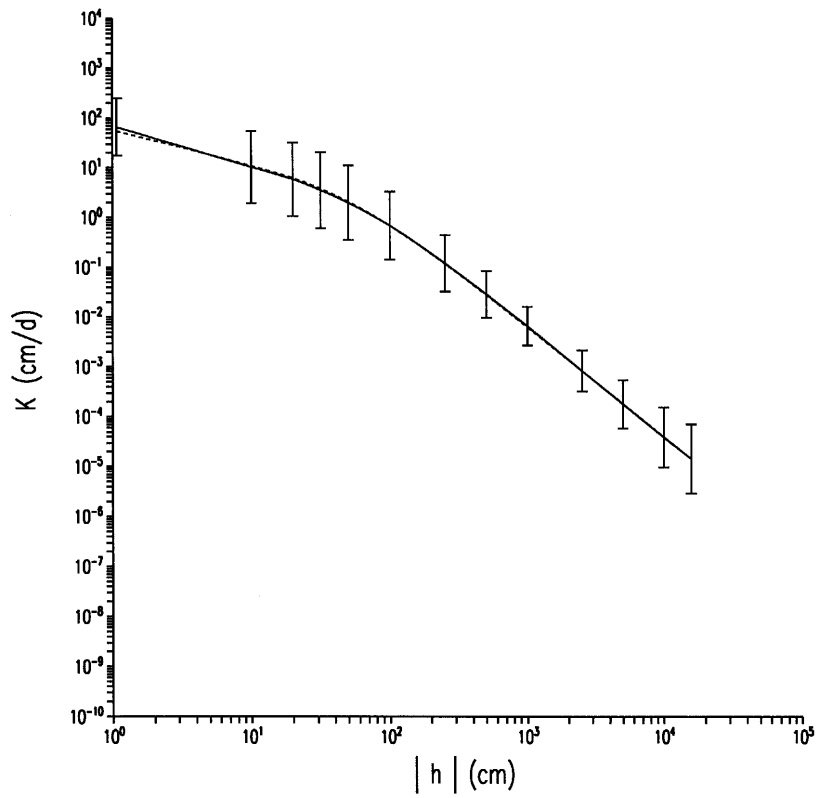
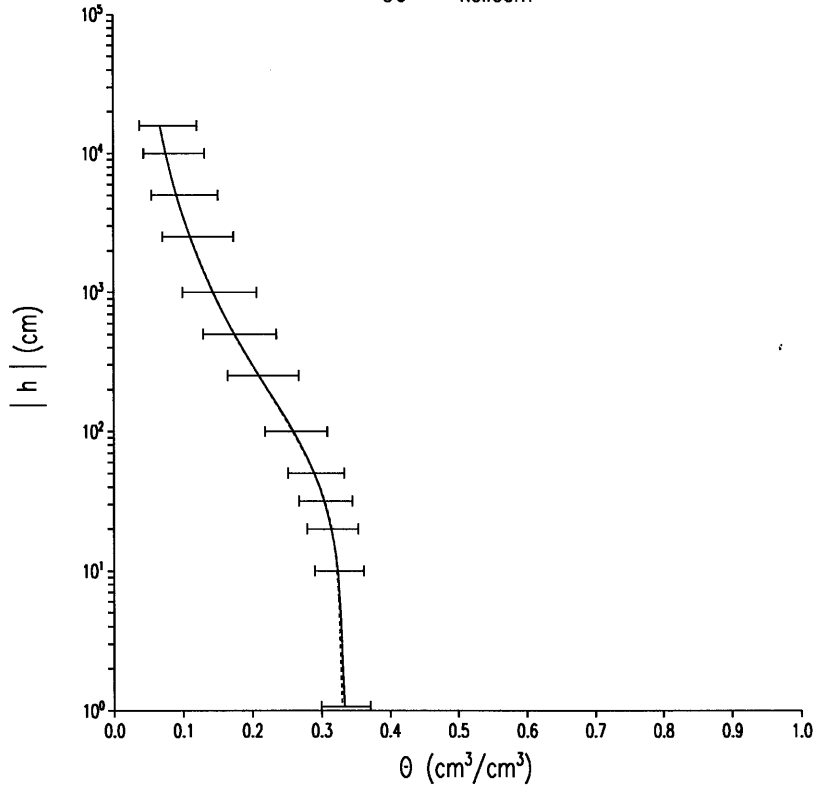
04 zeer sterk leemig zand

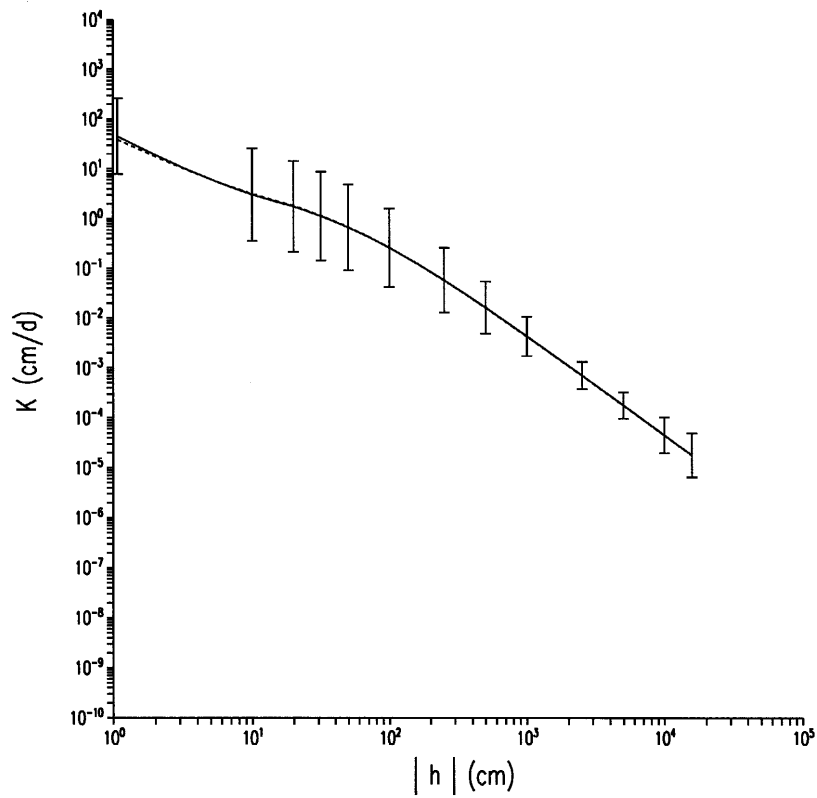
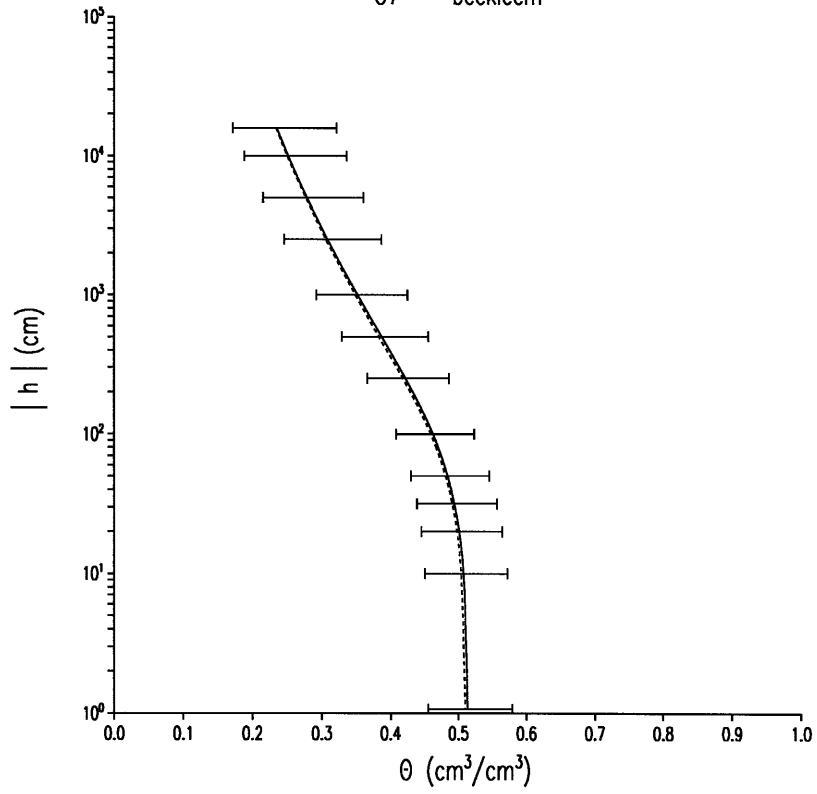




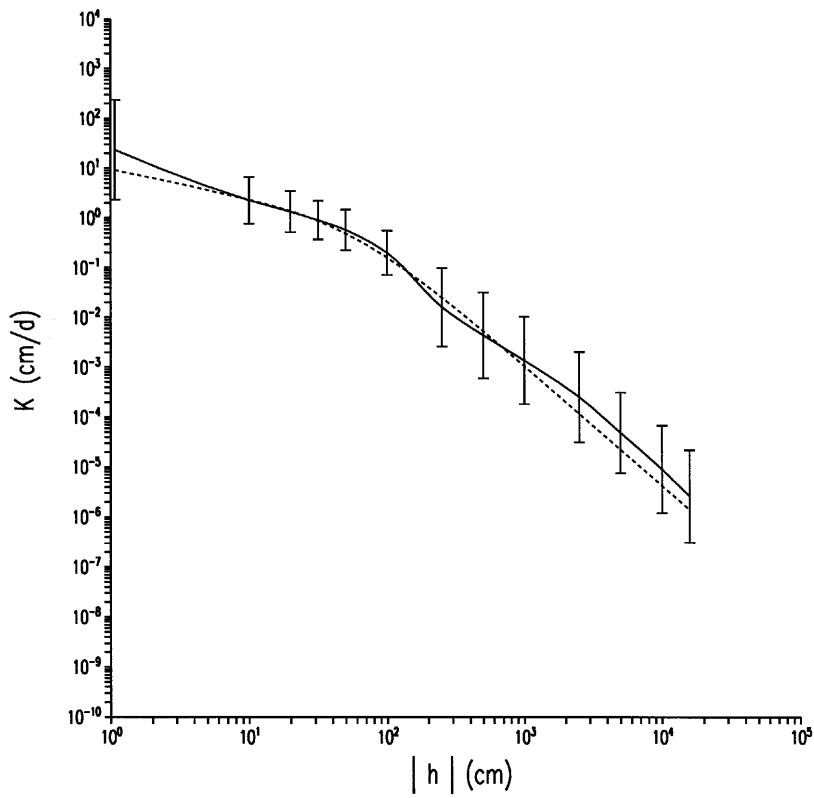
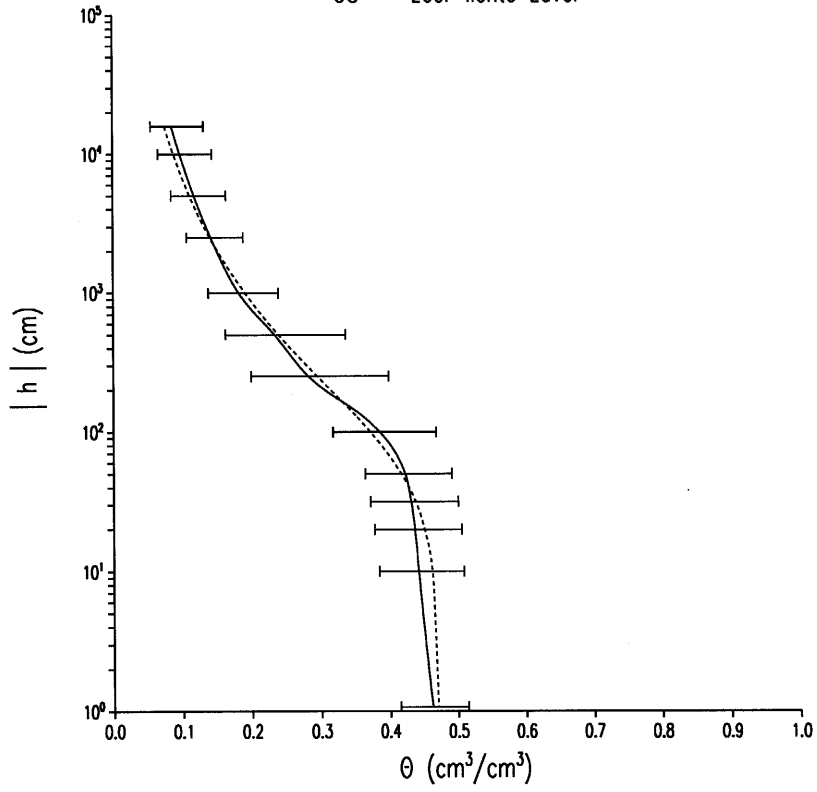
05 grof zand



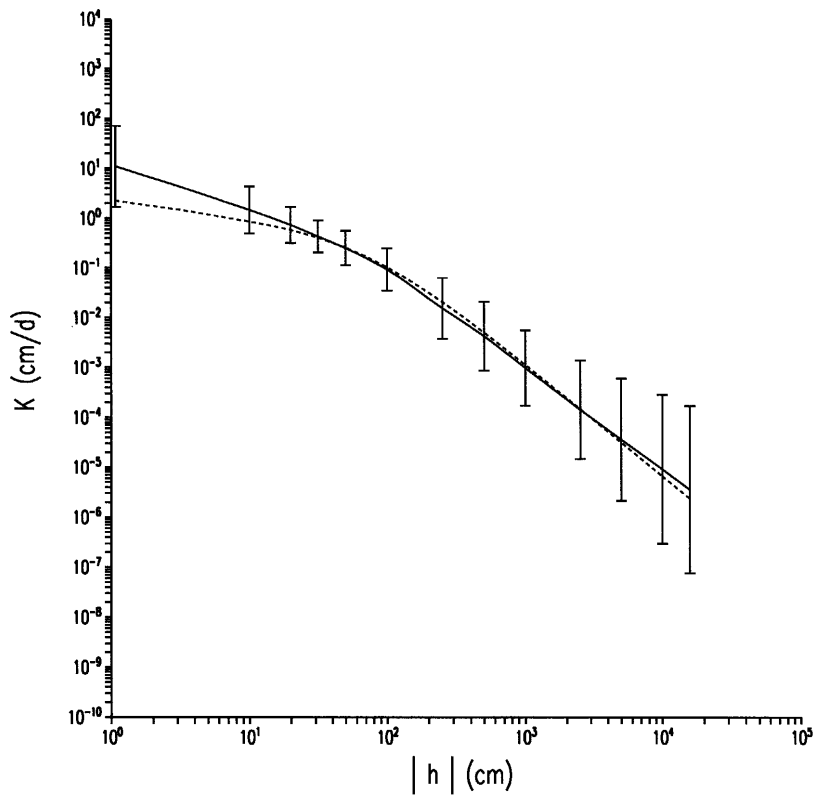
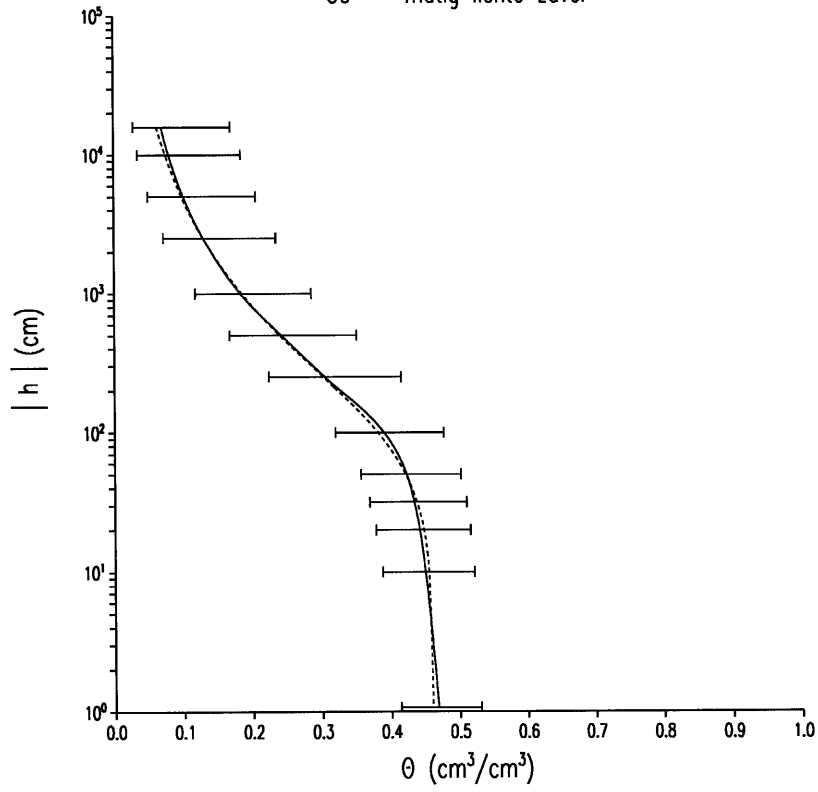




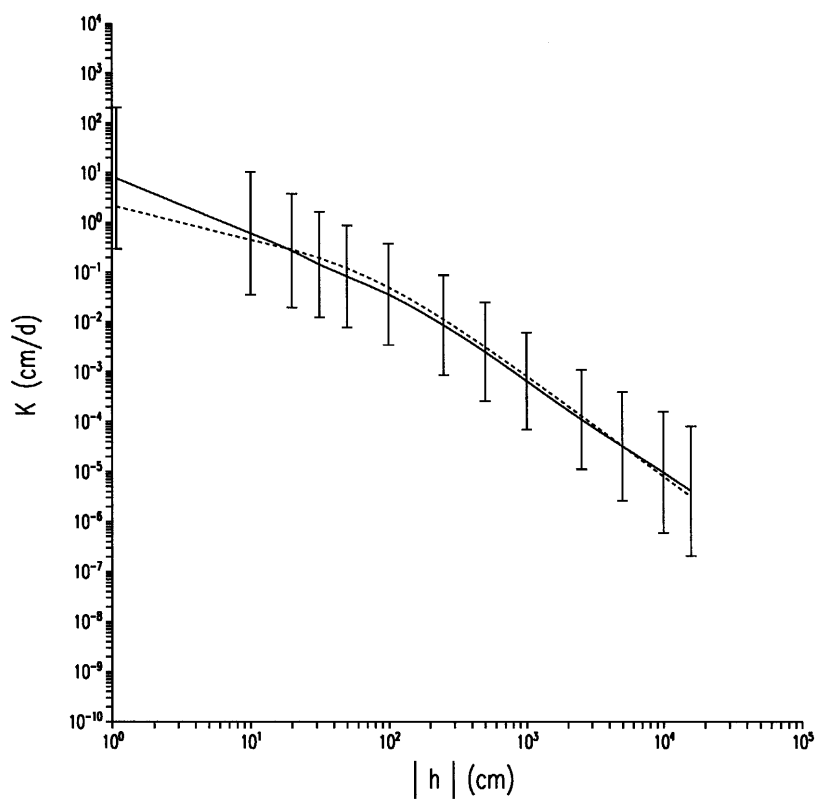
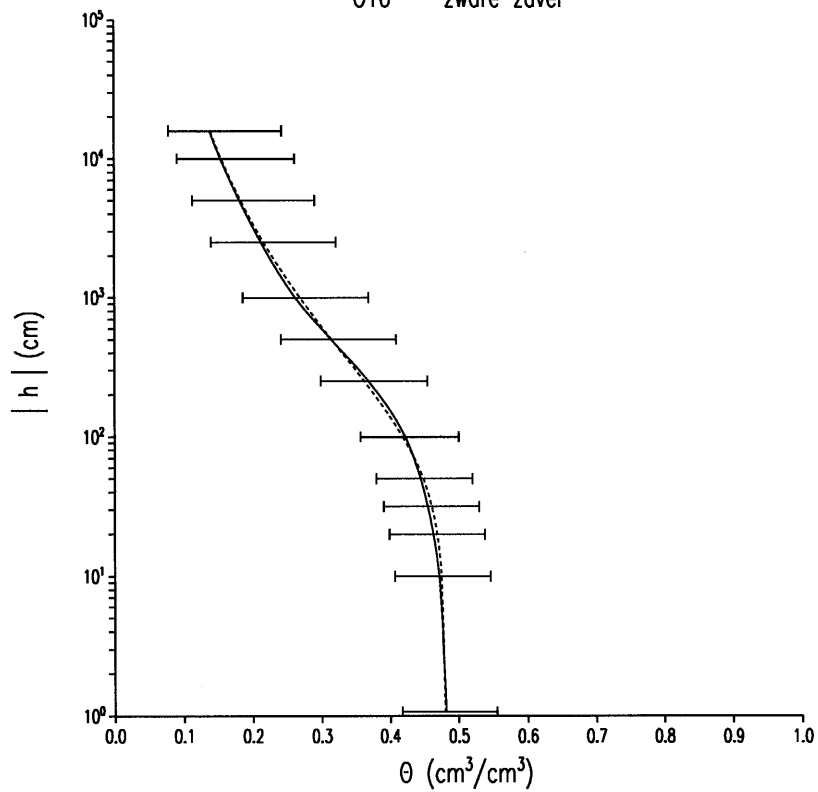
08 zeer lichte zavel



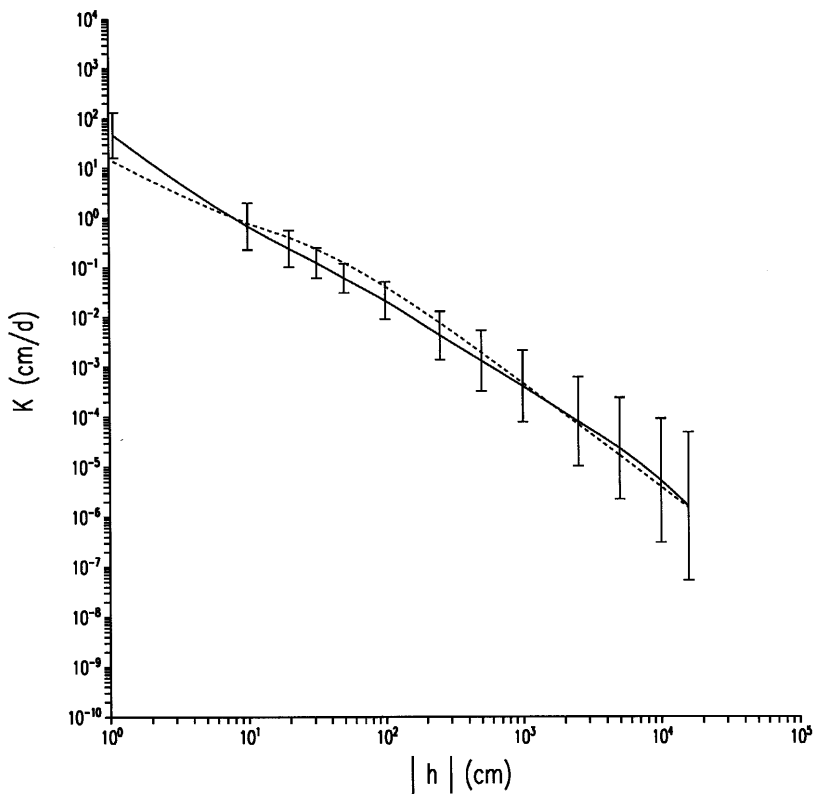
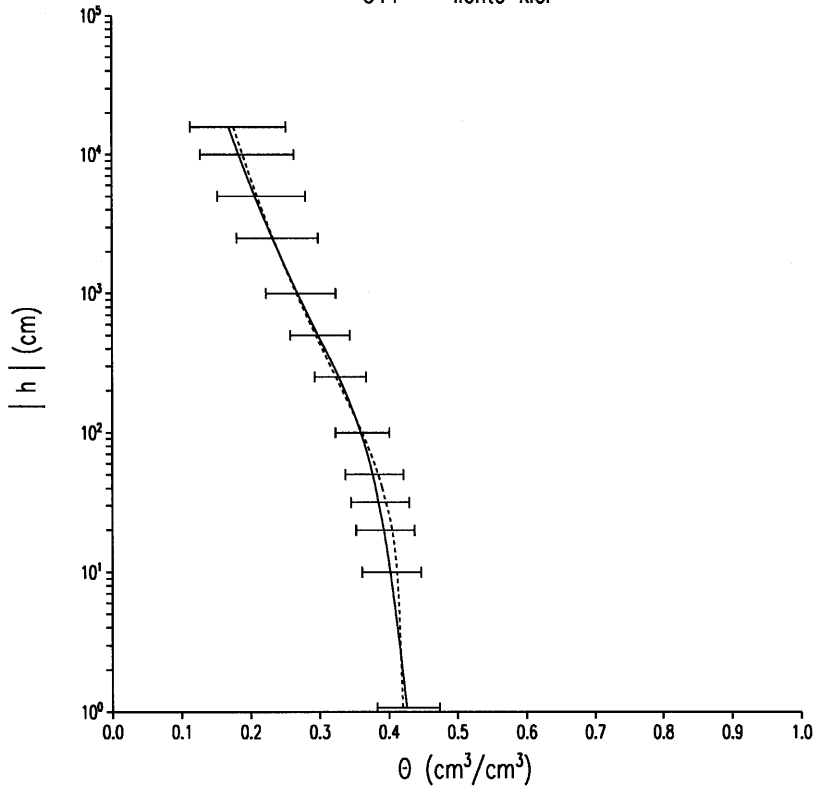
09 matig lichte zavel



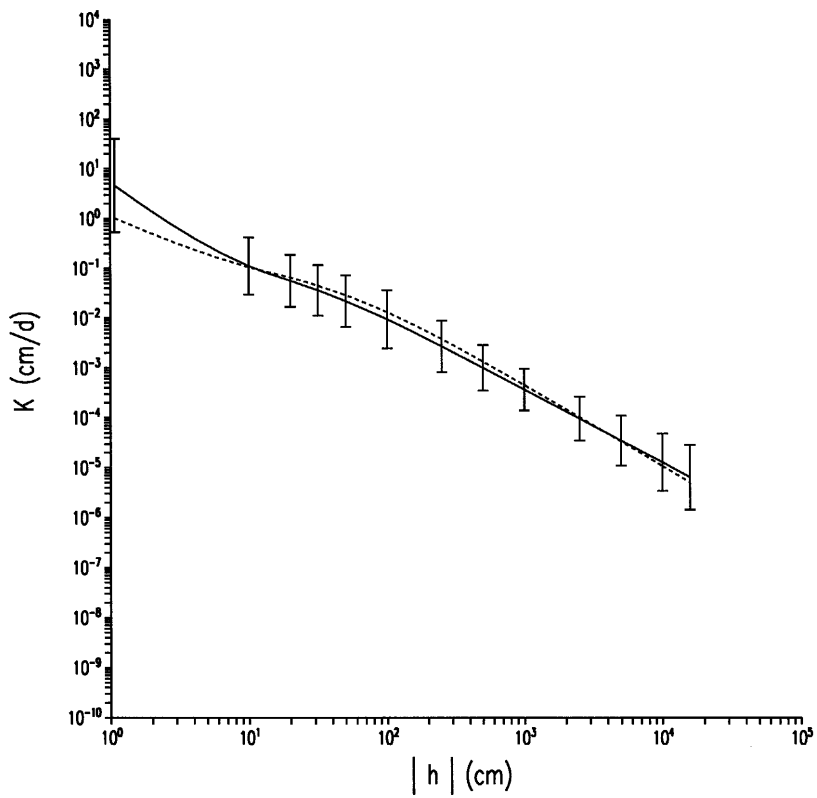
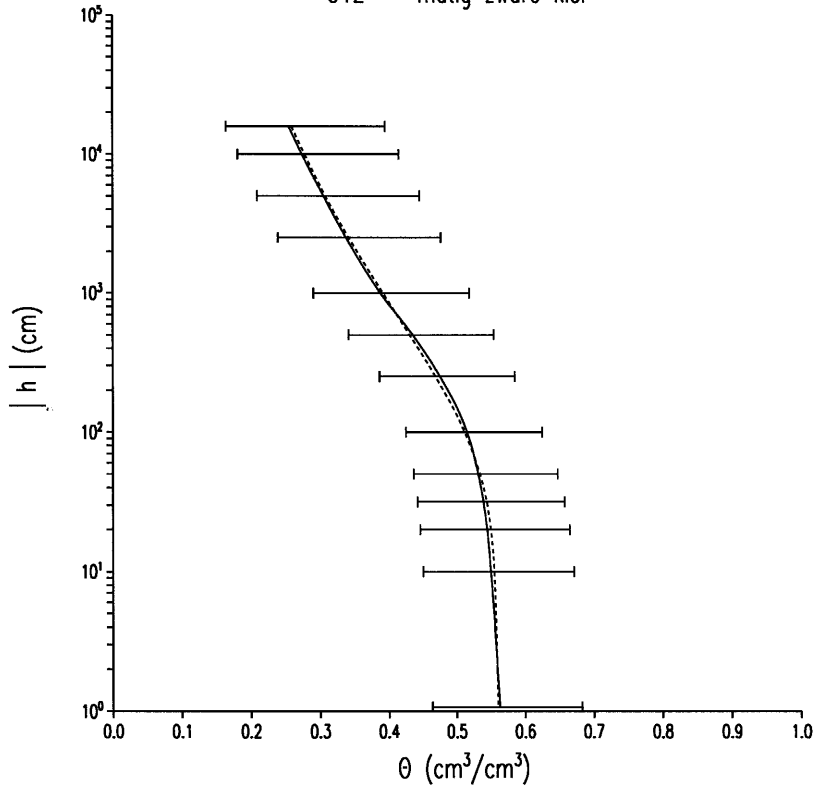
010 zware zavel



011 lichte klei

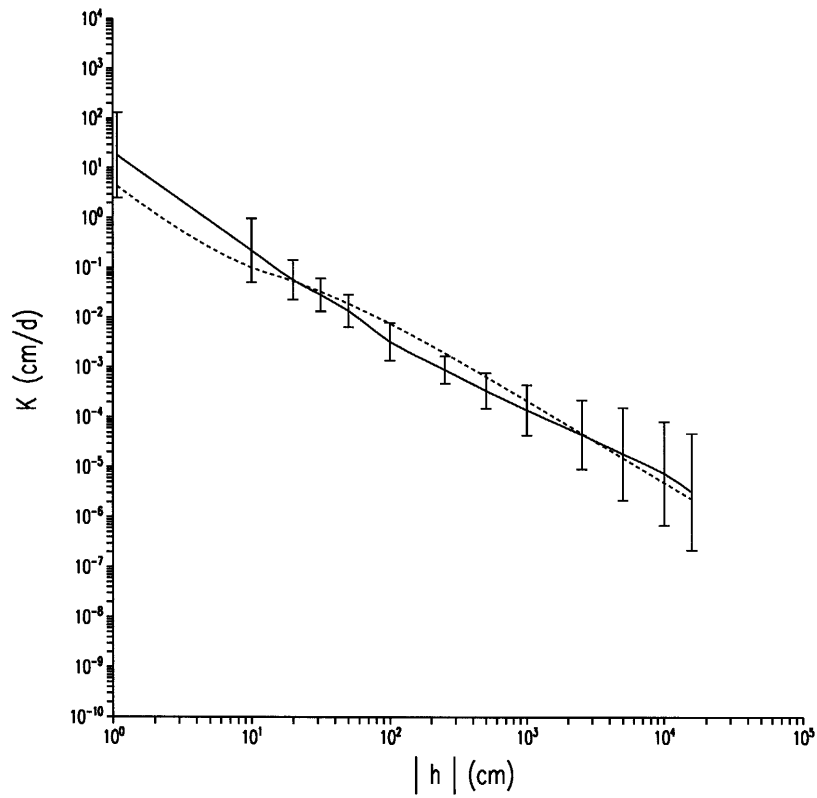
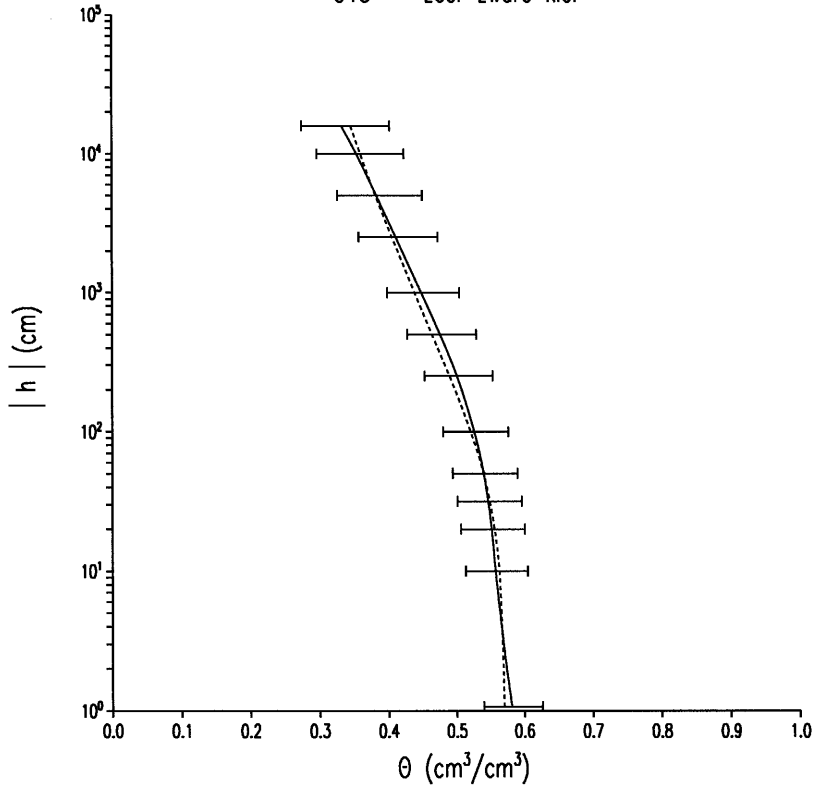


012 matig zware klei



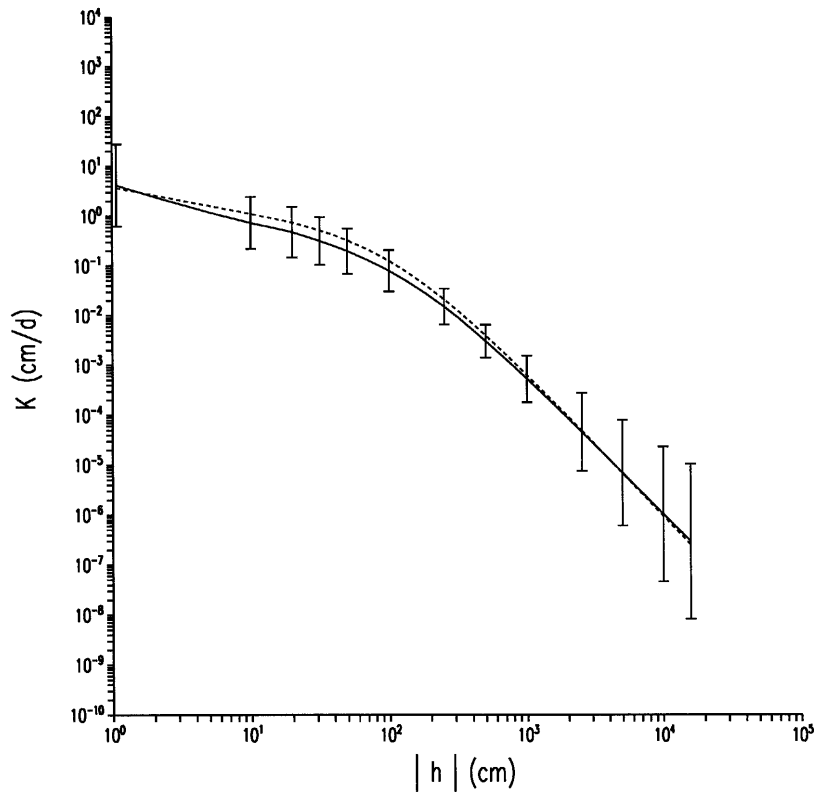
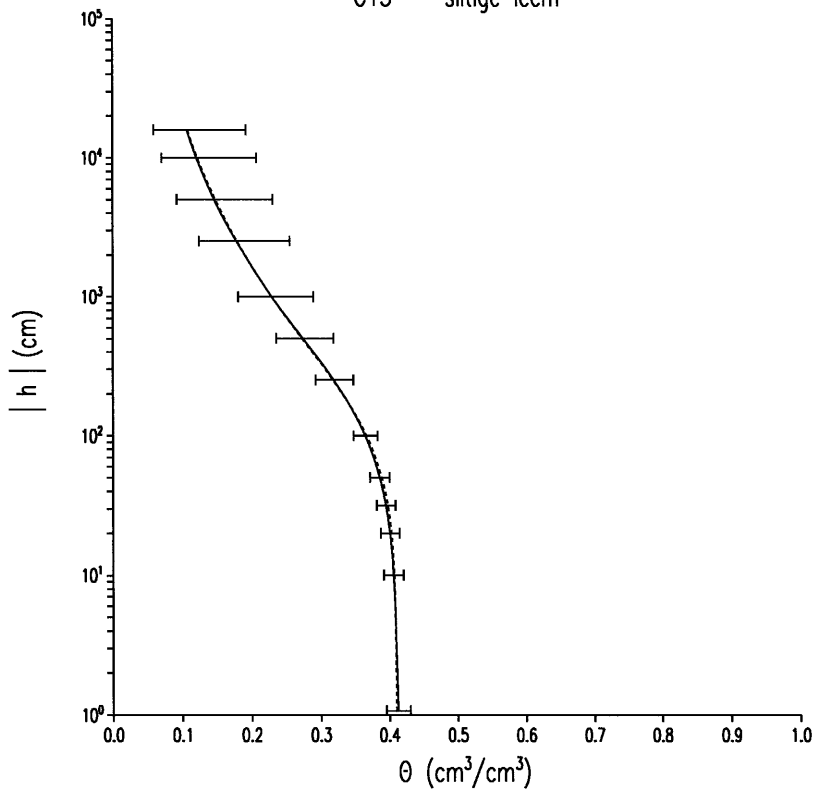


013 zeer zware klei

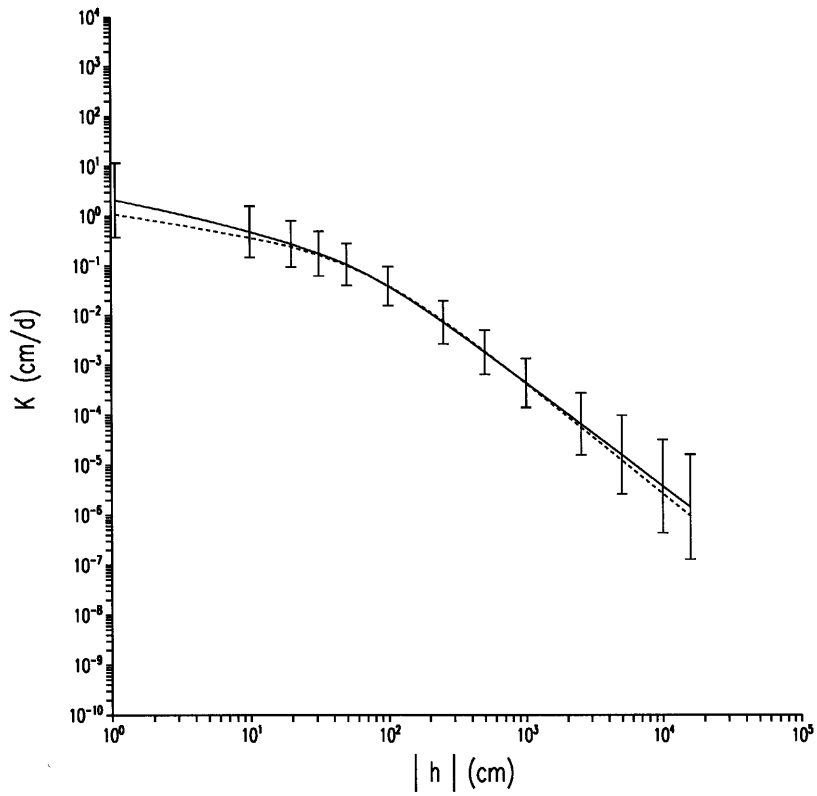
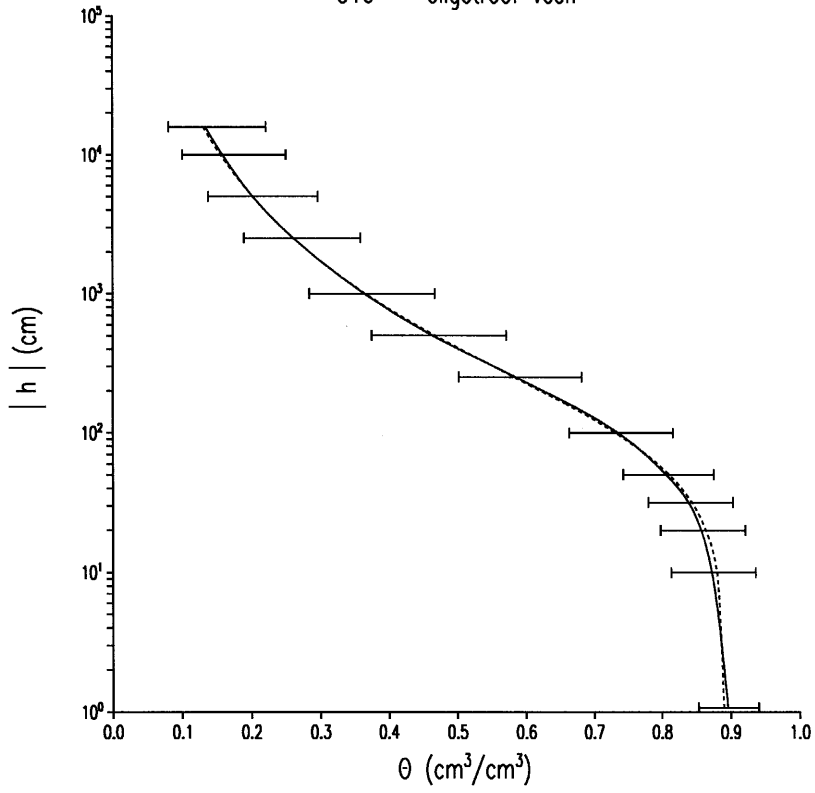




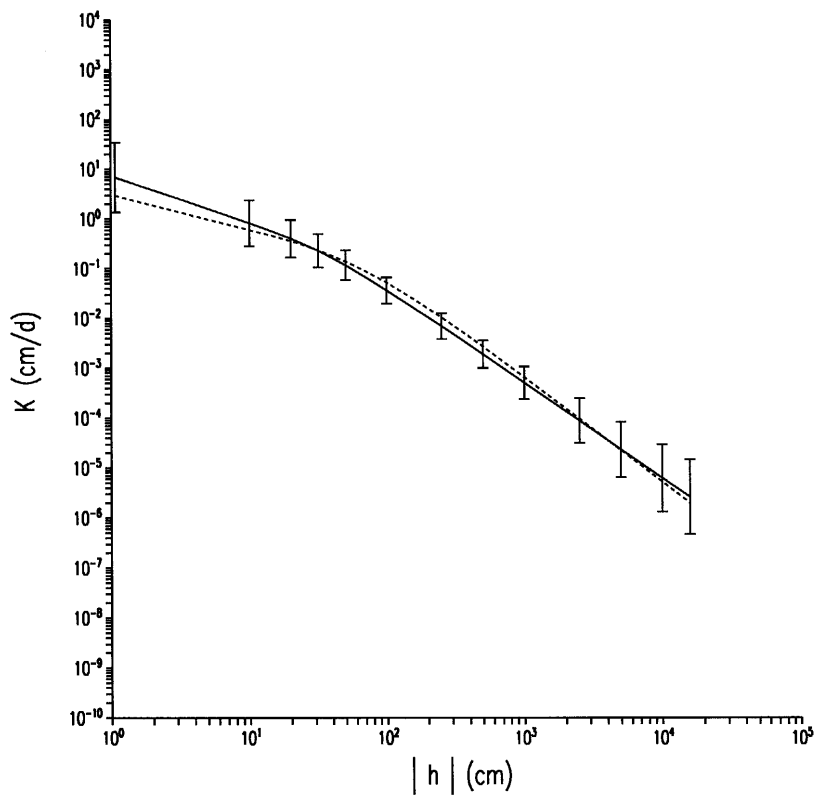
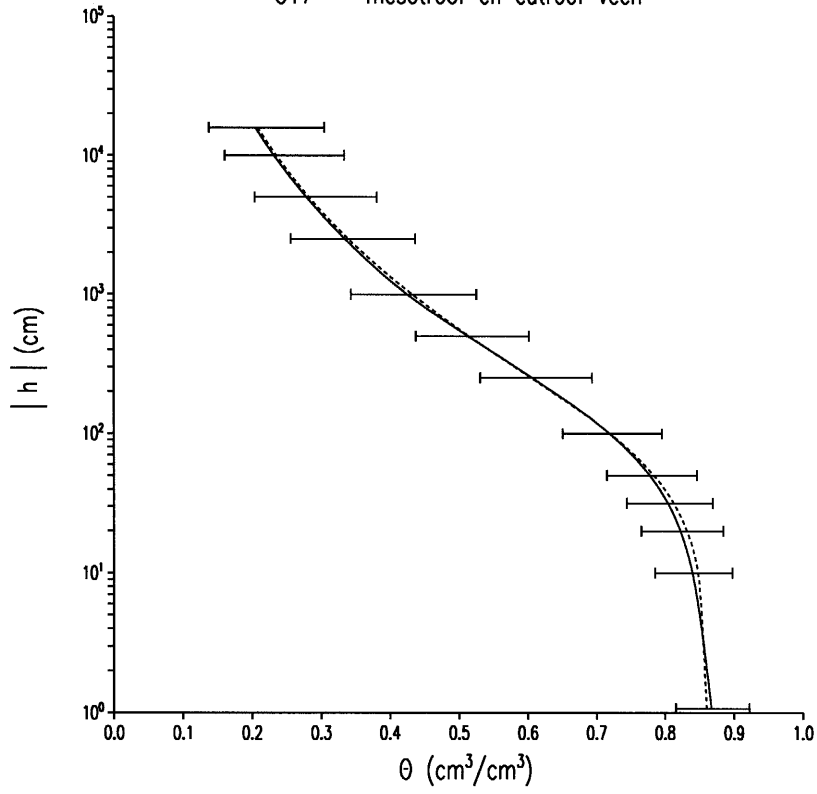
015 siltige leem



016 oligotroof veen



017 mesotroof en eutroof veen



018 moerige tussenlaag

