



ALTERRA

WAGENINGEN UR

# Stijghoogteverschillen en verdichting: een eerste Twentse verkenning in de praktijk

J.J.H. van den Akker  
W.J.M. de Groot  
H.R.J. Vroon  
F.J.E van der Bolt  
A.J. van Kekem



Alterra-rapport 1735, ISSN 1566-7197





Stijghoogteverschillen en verdichting: een eerste Twentse verkenning in de praktijk



# Stijghoogteverschillen en verdichting: een eerste Twentse verkenning in de praktijk

J.J.H. van den Akker

W.J.M. de Groot

H.R.J. Vroon

F.J.E. van der Bolt

A.J. van Kekem

Alterra-rapport 1735

Alterra, Wageningen, 2009

## REFERAAT

Akker, J.J.H. van den, W.J.M. de Groot, H.R.J. Vroon, F.J.E. van den Bolt, A.J. van Kekem 2009. *Stijghoogteverschillen en verdichting: een eerste Twente verkenning in de praktijk*. Wageningen, Alterra, Alterra-rapport 1735. 86 blz.; 15 fig.; 16 tab.; 23 ref.

Op vier bedrijven in Twente op zandgronden met percelen met plekken met en zonder plasvorming zijn stijghoogten op verschillende diepten gedurende vijf wintermaanden gevolgd. Bij twee bedrijven is daarna de bodemverdichting en de fysieke bodemkwaliteit nader onderzocht. Anisotropie in de bodem door aanwezigheid van weerstandbiedende lagen leidt tot stagnatie van waterstromen in het bodemprofiel met stijghoogteverschillen tot gevolg. Regelmatig kunnen plassen aan maaiveld ontstaan, in extreme gevallen kunnen schijnwaterspiegels ontstaan. Weerstandbiedende lagen komen van nature voor en kunnen daarnaast worden veroorzaakt of versterkt door antropogene verdichting. Antropogene verdichting ontstaat met name op de overgang van de bovengrond naar de ondergrond en ontstaat vooral wanneer de grond mechanisch gemengd is. Stijghoogteverschillen worden gemeten op zowel locaties met wateroverlast als op locaties zonder wateroverlast. Deze stijghoogteverschillen kunnen aanzienlijk zijn. De filterstelling van de peilbuizen heeft invloed op de gemeten stijghoogten. De stijghoogtemetingen bevestigen de ervaring en beleving van de grondgebruikers die op de percelen te kampen hebben met aanzienlijke wateroverlastproblemen. Gebruik van de ondiep gemeten stijghoogten leidt tot aanzienlijk grotere met de HELP-tabellen berekende natschade dan gebruik van dieper gemeten stijghoogten.

Trefwoorden: Anisotropie, bodemverdichting, fysieke bodemkwaliteit grondwater, HELP-methode, infiltratie, leemlaag, ondergrondverdichting, opbrengstdepressie, plasvorming, schijnwaterspiegel, stijghoogteverschil, verzadigde waterdoorlatendheid, weerstandbiedende laag, zandgrond

ISSN 1566-7197

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

© 2009 Alterra

Postbus 47; 6700 AA Wageningen; Nederland

Tel.: (0317) 474700; fax: (0317) 419000; e-mail: [info.alterra@wur.nl](mailto:info.alterra@wur.nl)

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

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

# Inhoud

Woord vooraf	7
Samenvatting	9
1 Inleiding	13
2 Werkwijze	15
2.1 Selectie locaties	15
2.2 Onderzoek naar stijghoogteverschillen	16
2.3 Onderzoek rol ondergrondverdichting	16
3 Resultaten	19
3.1 Meetlocaties	19
3.2 Stijghoogteverschillen	22
3.3 Ondergrondverdichting	30
3.3.1 Indringweerstand	31
3.3.2 Verzadigde doorlatendheid	34
3.3.3 Luchtgehalten bij lage drukhoogten	36
3.3.4 Dichtheid en poriënvolume	37
3.3.5 Profielbeschrijvingen	38
4 Synthese en discussie	43
4.1 Implicaties voor de HELP-methode	43
4.2 Monitoren van stijghoogten	45
4.3 Fysische bodemkwaliteit op de locaties Scholten en Meijer-Dreteler	46
4.4 Een nadere beschouwing van de laag beginnende op 25 à 30 cm diepte	49
4.5 Antropogene verdichting en slecht doorlatende lagen	52
4.6 Verdichtingsgevoelige gronden in Twente	54
5 Conclusies en aanbevelingen	57
Literatuur	59
Bijlage 1 Locaties waar het onderzoek is uitgevoerd	61





## Woord vooraf

In dit onderzoek is samengewerkt met medewerkers van het Waterschap Regge en Dinkel en met de Algemeen Bestuursleden die in de Commissie Watersysteem zitting hebben. De opdrachtgever bij het Waterschap Regge en Dinkel was ir. Bas Worm. Met name met hem en met Alex Kist van het waterschap is samengewerkt om het onderzoek goed te laten verlopen.

Onze bijzondere waardering gaat uit naar de agrariërs van de geselecteerde bedrijven Brummelhuis, Scholten, Bolscher en Meijer-Dreteler, die niet alleen de proefplekken op hun percelen ter beschikking stelden, maar ook behulpzaam waren in de nadere selectie van de plekken en het doen van grondwaterstandmetingen en het bijhouden van neerslaggegevens.



## Samenvatting

Het onderzoek naar stijghoogteverschillen als gevolg van weerstandbiedende lagen in het bodemprofiel en de rol van antropogene verdichting hierin is in Twente geïnitieerd naar aanleiding van discussie binnen het Waterschap Regge en Dinkel op zowel ambtelijk als bestuurlijk niveau over verschillen tussen de hydrologische situatie en de hydrologische modelberekeningen met de doorvertaling naar natschade en de interpretatie van grondgebruikers. Een mogelijke verklaring voor die verschillen is het optreden van stijghoogteverschillen tussen grondwaterstanden gemeten op enkele meters diepte en het freatisch vlak gemeten met ondiepe grondwaterstandbuizen. Deze stijghoogteverschillen ontstaan meestal door anisotropie als gevolg van de aanwezigheid van weerstandbiedende lagen (bijvoorbeeld lemlagen). Stijghoogteverschillen kunnen ook worden veroorzaakt of versterkt door antropogene verdichting met een daardoor verslechterde doorlatendheid.

De doelstelling van het project is het in beeld brengen van weerstandbiedende lagen in het bodemprofiel waardoor stijghoogteverschillen en in extreme gevallen schijnwaterspiegels ontstaan en de eventuele rol van antropogene bodemverdichting daarin te bepalen. Er dient te worden verkend of in Twente het verschil in praktijk en theorie wat betreft hydrologie en de resulterende natschade hiermee kan worden verklaard.

Op vier bedrijven op zandgronden zijn percelen geselecteerd met plekken met veel plasvorming. Na vooronderzoek naar de profielopbouw zijn peilbuizen met filters op verschillende diepten geplaatst, waarbij met het plaatsen van de filters rekening is gehouden met aanwezige weerstandbiedende lagen. Daarnaast is per opstelling een volledig geperforeerde grondwaterstandbuis geplaatst. Per bedrijf is eenzelfde opstelling geplaatst op een plek zonder problemen met wateroverlast. Vanaf eind 2007 tot in april 2008 zijn de grondwaterstanden gemeten. Eind april en de eerste helft van mei 2008 zijn op alle vier bedrijven bij plekken met en zonder problemen de indringweerstand gemeten. Aan de hand van de resultaten zijn twee bedrijven geselecteerd voor een nader grondonderzoek. Op betreffende meetplekken zijn profielkuilen gegraven, is het profiel beschreven en zijn aanvullende bodemonsters genomen.

Op de meeste meetplekken blijken stijghoogteverschillen voor te komen wanneer gemeten wordt in verschillende peilfilters met een filterstelling die is afgestemd op de horizonten die in de bodem aanwezig zijn. Op alle probleemplekken met wateroverlast zijn stijghoogteverschillen waargenomen die regelmatig tot dicht aan of zelfs boven het maaiveld komen. Ook op een deel van de niet-probleemplekken zijn stijghoogteverschillen geconstateerd. De waargenomen stijghoogteverschillen kunnen aanzienlijk zijn en kunnen zelfs oplopen tot meer dan één meter. In de meeste gevallen is het gemeten stijghoogteverschil toe te schrijven aan het voorkomen van weerstandbiedende lagen in de ondergrond. De filterstelling van de peilbuizen in een anisotroop bodemprofiel heeft onmiskenbaar invloed op de hoogte van de gemeten

stijghoogten. In de praktijk zal een grondgebruiker hierdoor een landbouwperceel eerder als nat ervaren dan metingen in grondwaterstandbuizen met te diep geplaatste filters doen vermoeden.

De stijghoogtemetingen bevestigen de ervaring en beleving van de grondgebruikers die op de percelen te kampen hebben met aanzienlijke wateroverlastproblemen. Het verschil tussen beleving en in peilbuizen gemeten grondwaterstanden en de resulterende natschade in Twente worden door de stijghoogtemetingen op verschillende dieptes verklaard.

De stijghoogteverschillen die door weerstandbiedende lagen in het bodemprofiel worden veroorzaakt komen van nature veel voor en kunnen door antropogene verdichting verder worden versterkt. Wat betreft verdichting gaat het daarbij met name om de overgang tussen boven- en ondergrond en de ondergrond direct onder de bovengrond. Zeker als deze lagen los zijn gemaakt, gedeeltelijk zijn gemengd en vervolgens onvermijdelijk herverdicht worden ontstaat een laag met slechtdoorlatende eigenschappen. Dit hangt ook samen met de textuurverdeling en de aard en samenstelling van het moedermateriaal dat daar direct onder is gelegen (bv. een lössleemlaag).

Uit het bodemonderzoek dat bij twee van de vier locaties plaatsvond, bleek dat bij zowel de probleemplekken als de niet-probleemplekken de overgang tussen boven en ondergrond en de laag direct onder de bovengrond een hoge volumedichtheid heeft. Bij de probleemplekken zijn bodemfysische eigenschappen zoals verzadigde waterdoorlatendheid en luchtgehalte in natte omstandigheden slechter dan bij de niet-probleemplekken. Bij Scholten A is de versmeerde lemige laag cruciaal, bij Meijer de zeer sterk lemige laag. Dit stemt overeen met de resultaten van de stijghoogtemetingen boven en onder de onderzochte lagen. Bij de probleemplekken werd een stijghoogteverschil van ca 50 cm over de beschouwde laag gemeten en bij de niet-probleemplekken was het stijghoogteverschil in het ene geval 20 cm en in het ander geval nihil. Bij de niet-probleemplekken zijn grote doorlopende poriën aangetroffen, die kunnen verklaren waarom daar de doorlatendheid beter is dan bij de probleemplekken.

Bij de twee locaties waar geen nader bodemonderzoek heeft plaatsgehad is het beeld divers wat betreft het stijghoogteverschil over de laag beginnende op een diepte van 25 à 30 cm. Bij één probleemplek was het stijghoogteverschil 30 - 40 cm en bij de andere nihil, ondanks een hoog leemgehalte in deze laag. Omgekeerd is bij de niet-probleemplekken bij één plek het stijghoogteverschil nihil, maar bij de andere 40 cm. Nader onderzoek is noodzakelijk om deze verschillen te verklaren.

Van alle locaties en plekken zijn de grondwatertrappen in het veld geschat en de aanwezigheid van weerstandbiedende lagen vastgelegd. Hiermee zijn voor alle plekken met behulp van de HELP-tabellen opbrengstdepressies door natschade bepaald. Voor de probleemplekken worden opbrengstdepressies bepaald die 11 tot 19% groter zijn dan voor de niet-probleemplekken. Ook zijn per plek globaal de GHG's geschat op basis van de stijghoogten gemeten in het diepste filter. De met

deze geschatte GHG's en de HELP-tabellen bepaalde opbrengstdepressie door natschade bedraagt 0 tot 3%, behalve bij één plek waar door een sterke kwelsituatie de GHG op tien cm werd geschat en de opbrengstdepressie op 15%. De verschillen tussen de opbrengstdepressies op basis van de bodemkartering en op basis van de met stijghoogten van diep geplaatste filters geschatte GHG lopen op tot 19%.

Bij weerstandbiedende lagen ondiep in het profiel zijn peilbuisgegevens van buizen met een diep filter niet representatief voor de freatische grondwaterstand en moeten aanvullende veldgegevens worden verzameld. Hoe hoger de weerstandbiedende lagen zich in het profiel bevinden, des te meer plasvorming en natschade mag worden verwacht. Daarnaast beïnvloeden weerstandbiedende lagen in het bodemprofiel de effectiviteit van ontwatering via sloten of buisdrainage negatief.

Het losmaken van slechte lagen bovenin het profiel levert in eerste instantie misschien een grotere doorlatendheid en infiltratievermogen op, maar de eenmaal herverdichte lagen hebben veelal lage doorlatendheden. Of de oorspronkelijke natuurlijke laag net zo dicht en net zulke slechte fysische eigenschappen had als die van de herverdichte laag, is niet na te gaan. Bij delen van percelen waar de ondergrond door de aanwezigheid van doorgaande grote poriën een zekere doorlatendheid heeft kan door woelen en herverdichting de situatie juist verslechteren.

De hoofdconclusie is dat het verschil in praktijk en theorie wat betreft hydrologie en natschade in Twente door anisotropie in het bodemprofiel kan worden verklaard. De anisotropie wordt veroorzaakt door van nature aanwezige weerstandsbiedende bodemhorizonten en kan daarnaast worden veroorzaakt of versterkt door antropogene verdichting.



# 1 Inleiding

De belangrijkste aanleiding voor dit onderzoek is dat er een verschil bestaat tussen de hydrologische situatie en de hydrologische modelberekeningen met de doorvertaling naar nat- en droogteschade en de interpretatie van grondgebruikers. In de pilotstudie GGOR 'Toepassing van Waterlood in Midden-Twente' (Van der Scheer et al., 2006) zijn op basis van schadeberekeningen met de HELP-tabellen maatregelen in grond- en oppervlaktewatersfeer bedacht. Het beeld voor Twente is dat men doorgeschoten is met de bestrijding van natschade en daarmee een aanzienlijke droogteschade in de landbouw heeft geïntroduceerd die slechts voor een deel nog 'systeemeigen' (natuurlijk) genoemd mag worden. Tijdens die studie is ook al aandacht geschonken aan schijngrondwaterspiegels (nader toegelicht in bijlage 4 van die studie) als mogelijke verklaring voor verschillen tussen modellen, karteringen en de ervaringen van grondgebruikers/eigenaren, maar onbekend is in hoeverre de schijnspiegels verklarend zijn. Van een schijngrondwaterspiegel is sprake indien een freatisch vlak van een grondwaterlichaam is gelegen op een slecht doorlatende laag, waaronder weer een onverzadigde zone voorkomt (Commissie voor Hydrologisch Onderzoek TNO, 1986). Een derde aanleiding voor dit onderzoek betreft recente publicaties door Van der Gaast et al. (2006a, 2006b, 2007) die o.a. ook zijn gebaseerd op gegevens die vergaard zijn bij de Gt-actualisatie voor het beheergebied van waterschap Regge en Dinkel (WRD). Van der Gaast et al. geven een theoretische verklaring voor verschillen die optreden tussen modellen, karteringen en ervaringen van eigenaren.

Door anisotropie veroorzaakt door weerstandbiedende lagen hoog in het bodemprofiel kunnen verschillen ontstaan tussen stijghoogten gemeten in diepere peilbuizen en stijghoogten gemeten in ondiepe grondwaterstandbuizen (Van der Gaast et al., 2006a, 2006b en 2007). In meer extreme situaties kunnen schijngrondwaterspiegels worden geconstateerd, die bijvoorbeeld worden veroorzaakt door afwijkende lagen (o.a. lössleem, beekleem of waterhardlagen) in het bodemprofiel. Stijghoogteverschillen en de soms daaruit voortkomende schijnwaterspiegels zouden de oorzaak kunnen zijn van het verschil tussen de situatie zoals de praktijk ze ervaart en de situatie zoals WRD deze bepaalt op basis van informatie afgeleid uit peilbuizen. De vraag is of stijghoogteverschillen ook kunnen worden veroorzaakt door antropogene ondergrondverdichting als resultaat van grondbewerking met de daardoor veroorzaakte verslechterde doorlatendheid.

Antropogene ondergrondverdichting is vooral bij zandgronden en lichte zavelgronden een cumulatief proces dat door zware machines en tijdens ploegen (door rijden in de open voor op de ondergrond) wordt veroorzaakt (Van den Akker and Schjøning, 2004, Van den Akker et al., 2006). Emissiearm uitrijden van mest, waarbij in soms natte perioden het perceel intensief wordt bereiden met hoge wiellasten, is daarbij mogelijk een van de belangrijkste oorzaken van ondergrondverdichting. Vaak wordt gesteld dat met lagedrukbanden wordt gereden, echter de wiellasten zijn soms meer dan tien ton en vaak zo hoog dat bandspanningen tegen

de 200 kPa (2 bar) moeten zijn om deze wiellasten te kunnen dragen. Om ondergrondverdichting te voorkomen is door het voormalige IMAG gesteld dat bandspanningen niet groter mogen zijn dan 80 kPa (0,8 bar) (Vermeulen en Perdok, 1994).

De doelstelling van het project is het in beeld brengen van de omvang en de aanwezigheid van weerstandbiedende lagen bovenin het profiel waardoor stijghoogteverschillen en in extreme gevallen schijnwaterspiegels ontstaan en de eventuele rol van antropogene bodemverdichting daarin te bepalen. Er dient te worden verkend of in Twente het verschil in praktijk en theorie wat betreft hydrologie en de resulterende natschade hiermee kan worden verklaard.



## 2 Werkwijze

Deze verkennende studie is opgezet in nauwe samenspraak met en is mede uitgevoerd door waterschap Regge en Dinkel. Door het waterschap is een voorselectie gemaakt van mogelijke melkveebedrijven met percelen met wateroverlast en vervolgens zijn daaruit door Alterra vier bedrijven geselecteerd voor de uiteindelijke metingen. De stijghoogten zijn door de betreffende melkveehouders gemeten.

De primaire doelstelling van het onderzoek is het vaststellen van stijghoogteverschillen veroorzaakt door weerstandbiedende lagen in de ondergrond of waarbij door ondergrondverdichting de doorlatendheid zodanig is verslechterd dat hierdoor stijghoogteverschillen ontstaan dan wel worden versterkt. Dit laatste heeft vooral betrekking op de ondergrond direct onder de toplaag. Dit wordt onderzocht door stijgbuizen te plaatsen met het filter boven of onder de te onderzoeken laag. Een slechtdoorlatende laag direct onder de toplaag kan in natte perioden al direct leiden tot vernatting van de toplaag waardoor al snel plasvorming, oppervlakte en oppervlakkige afstroming plaatsvindt. Daarom is deze laag verder onderzocht om te bepalen of verdichting hierin een rol speelt. Voor het meten van de eventuele verdichting van de ondergrond direct onder de toplaag zijn standaard methoden gebruikt (Van den Akker en De Groot, 2008). Daarbij worden de verzadigde doorlatendheden gemeten met dezelfde apparatuur en methode als in de Staringreeks (Wösten et al., 2001). Aanvullend zijn in deze studie de stijghoogten boven en onder de (ver)dichte laag gemeten. Doordat ook de stijghoogten boven en onder de laag direct onder de toplaag zijn gevolgd, kan worden bepaald in hoeverre de doorlatendheden, bepaald met de standaardmethode, zich verhouden tot wat in de praktijk optreedt.

### 2.1 Selectie locaties

Op vier bedrijven op zandgronden zijn percelen geselecteerd met plekken met veel plasvorming waar een duidelijk verschil wordt geconstateerd tussen de praktijk zoals de agrariër deze waarneemt en ervaart en de hydrologische situatie zoals deze door het waterschap is ingeschat. Door het waterschap is besloten om het onderzoek bij bestuursleden met een agrarisch bedrijf uit te voeren, omdat deze geïnteresseerd en gemotiveerd waren om het onderzoek uit te voeren. Een enquête met vragen naar plekken met wateroverlast is samengesteld en opgestuurd naar de agrarische bestuursleden en in juni tot augustus 2007 zijn door het waterschap huis- en veldbezoeken uitgevoerd bij een aantal bestuursleden. Op kaartjes met de percelen is aangegeven waar natte plekken en problemen voorkomen. Alle bestuursleden hebben aangegeven mee te willen werken aan het vervolg. Vervolgens is door Alterra aan de hand van de kaartjes en beschrijvingen van de problemen een selectie gemaakt van bedrijven waar zowel het wel als het niet optreden van schijnspiegels en/of stijghoogteverschillen kansrijk wordt geacht. Geselecteerd zijn percelen van Jos

Brummelhuis, Henk Scholten, Jan Bolscher en Hermien Meijer-Dreteler. De vier bedrijven zijn door Alterra bezocht en in samenspraak met de betreffende agrariërs zijn de proeflocaties vastgesteld. De metingen zijn binnen het perceel verricht op een plek met een probleem (A-plek) en een plek zonder probleem (B-plek). Alle locaties liggen in graslandpercelen. Van de proefplekken is aan de hand van boorprofielen de opbouw van de bodem vastgesteld.

## **2.2 Onderzoek naar stijghoogteverschillen**

Op de geselecteerde percelen zijn bij de plekken met (A) en zonder (B) probleem peilbuizen met een filter van verschillende lengte op verschillende diepten aangebracht. De lengten van de buizen, de lengte van het filter en de diepten waarop het filter is geplaatst zijn vastgesteld op basis van het ter plaatse gekarteerde aanwezige bodemprofiel. In elke situatie is een buis met filter in de bovengrond (ondieper dan 30 cm) geplaatst en is een buis met een filter direct onder de eventueel aanwezige ploegzool geplaatst. Om stroming van water langs de filterbuizen boven het filter te voorkomen zijn deze rondom afgedicht met bentoniet. Naast de buizen met de filters op verschillende dieptes is ook een grondwaterstandbuis die over de volle lengte geperforeerd is aangebracht. Op ieder bedrijf is een eenvoudige regenmeter geplaatst. Door de gebruiker van het perceel zijn de waterstanden in de buizen opgenomen en is de regenmeter uitgelezen. Gevraagd is om in nattere perioden de buizen frequenter te bemeten. In een aantal grondwaterstandbuizen en filterbuizen zijn door het waterschap divers geïnstalleerd, waarmee dagelijks (om acht uur 's ochtends) is gemeten. De coördinaten van de meetplekken en de hoogten van de buizen en de maaiveldhoogten zijn door landmeters ingemeten. De meetseries zijn eind oktober 2007 gestart en zijn eind april 2008 beëindigd.

## **2.3 Onderzoek rol ondergrondverdichting**

Op 28 april 2008 zijn op de acht proefplekken van de vier locaties op grasland de indringweerstand gemeten met een penetrometer (conus 1 cm<sup>2</sup>, tophoek 60°). Bij elke proefplek zijn vijf metingen (met ieder vijf herhalingen) bij en tussen de verschillende buizen verricht.

Op basis van de resultaten van de monitoring van de stijghoogten, van de gemeten indringweerstand en van de in het bodemprofiel visueel vastgestelde dichte laag die op enkele plekken voorkomt op de overgang van de bouwvoor (A-horizont) naar de ondergrond (C-horizont) zijn de bedrijven Meijer-Dreteler en Scholten geselecteerd om de bodemverdichting nader te onderzoeken

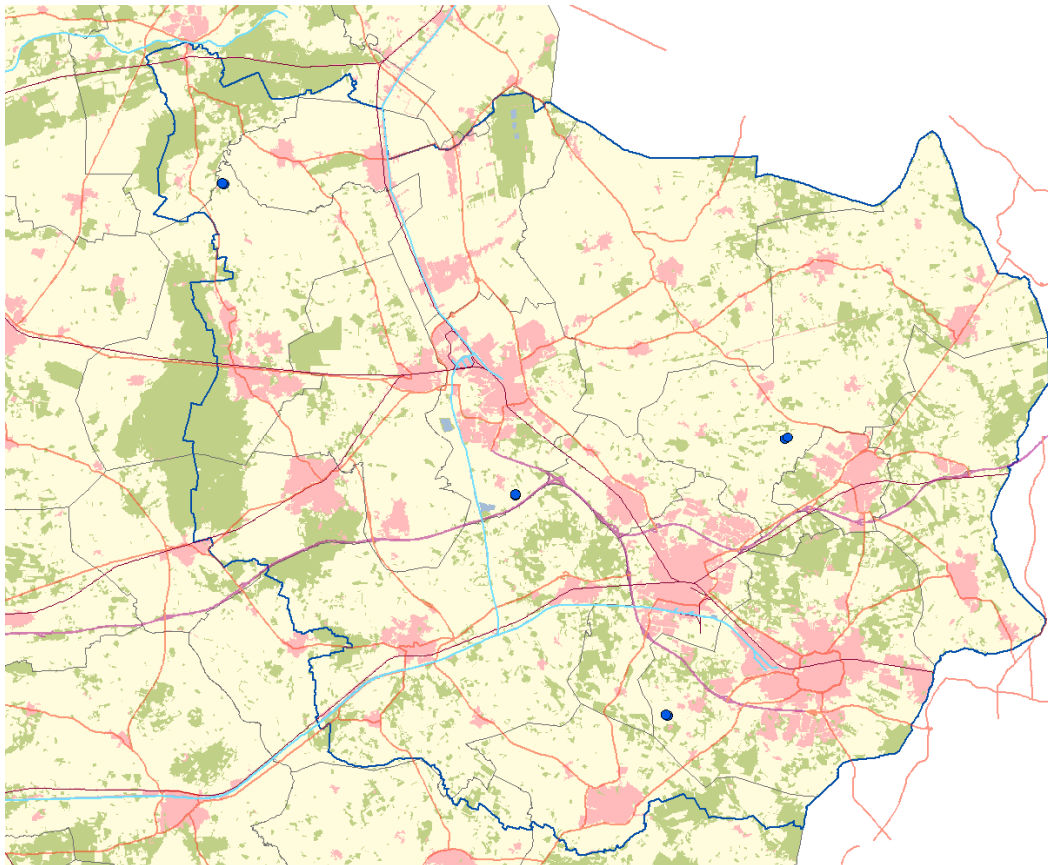
Op 5, 7 en 14 mei zijn op de vier proefplekken bij de bedrijven van Meijer-Dreteler en Scholten profielkuilen gegraven. Deze profielkuilen zijn steeds centraal tussen de buislocaties van de betreffende plek gelegd. In de profielkuilen zijn op drie diepten steeds twee pvc-ringen van 20 cm doorsnede en vijf ringmonsters van 7,5 cm doorsnede genomen. De pvc-ringen zijn gebruikt om in het laboratorium de

verzadigde doorlatendheid te bepalen. De kleine ringen zijn bedoeld voor bepaling van de dichtheid, het poriënvolume en luchtgehalten bij lage drukhoogten. De bemonsteringsdiepten zijn steeds vastgesteld op basis van de visuele waarnemingen aan lagen en de eerder vastgestelde profielbeschrijvingen. Er is steeds voor gekozen om een laag in de wortelzone, een laag van de eventuele ploegzool en een laag onder de ploegzool te bemonsteren. Bij de grote ringen van 20 cm doorsnede (en 10 cm hoogte) sloten de bemonsterde lagen op elkaar aan. De kleine ringen zijn maar vijf cm hoog, waardoor alleen het bovenste deel overeen komt met de grote ringen. Tevens is van de profielwand een beschrijving gemaakt van lagen, beworteling en structuur.



### 3 Resultaten

Voordat de resultaten worden beschreven worden de meetlocaties gekarakteriseerd. Daarna worden de gemeten stijghoogten gerapporteerd en tenslotte worden verschillende indicatoren voor het bestaan van (ver)dichte lagen toegelicht.



*Figuur 1. Ligging van de vier bedrijven / onderzoekslocaties: linksboven - Scholten, rechtsboven - Brummelhuis, midden - Bolscher, onderaan - Meijer-Dreteler*

#### 3.1 Meetlocaties

Op basis van het vooronderzoek zijn percelen van de bedrijven Bolscher, Brummelhuis, Scholten en Meijer-Dreteler geselecteerd (figuur 1). Per locatie is een plek A geselecteerd waar wateroverlast is geconstateerd en waar mogelijk het voorkomen van dichte lagen een rol speelt. Daarnaast is een plek B geselecteerd zonder problemen en waar de dichte lagen waarschijnlijk minder relevant zijn. De onderlinge afstand tussen de plekken A en B bedraagt, afhankelijk van het bedrijf 60 tot 150 meter. In bijlage 1 is de ligging van de onderzoekslocaties weergegeven en zijn per locatie op een kaartje en een luchtfoto de percelen en meetplekken aangegeven. Verder is per locatie en meetplek het boorprofiel en op een schets de

situering en diepte van de peilbuizen gegeven. Het bodemgebruik is op alle monsterplekken grasland en de peilbuizen staan minimaal op een afstand van tien meter van een watergang.

#### *Locatie 1. Bolscher*

Plek A betreft een ijzerrijke matig fijnzandige, sterk lemige, matig dikke bruine beekerdgrond met leem in de ondergrond. De bovengrond heeft een dikte van 35 cm en is zeer humeus (8 tot 9% organische stof). De laag van 25 tot 35 cm is iets verdicht en versmeerd. Tussen 35 en 65 cm bevindt zich zwak lemig zand. Op een diepte tussen 65 en 90 cm bevindt zich een lössleemlaag (35% leem). De laag onder 120 cm diepte is slecht doorlatend. Er zijn zes buizen geplaatst, waarvan buis A5 totaal geperforeerd is. De filterdiepten zijn aangegeven in tabel 1. Met filterdiepte wordt de onderkant van het filter bedoeld. Filterlengten zijn gegeven in bijlage 1.

*Tabel 1. Filterdiepten (onderkant filter) in cm van peilbuizen op Locatie 1 Bolscher Plek A. Buis A5 is volledig geperforeerd. Filterlengten zie bijlage 1*

Benaming	A1	A2	A3	A4	A5	A6
Filterdiepte	20	42	203	67	196	49

Plek B betreft een matig fijnzandige, sterk lemige bruine beekerdgrond met lemig zand in de ondergrond. De bovengrond is matig humeus tot matig humusarm (4 tot 5% organische stof) en heeft een dikte van 35 cm waarvan de laag 30 tot 35 cm een overgang is van bovengrond naar ondergrond. Tussen 35 en 50 cm bevindt zich leemarm zand (12% leem) wat overgaat in sterk lemig zand (18 - 22% leem) op een diepte van 50 tot 85 centimeter minus maaiveld. Tussen 85 en 115 cm bevindt zich leemarm zand. Op een diepte van 115 tot 125 cm bevindt zich een lössleemlaag (40% leem). Er zijn zes buizen geplaatst, waarvan buis B5 totaal geperforeerd is. De filterdiepten (onderkant filter) zijn aangegeven in tabel 2.

*Tabel 2. Filterdiepten in cm van peilbuizen op Locatie 1 Bolscher Plek B. Buis B5 is volledig geperforeerd*

Benaming	B1	B2	B3	B4	B5	B6
Filterdiepte	27	35	187	76	190	64

#### *Locatie 2. Brummelhuis*

Plek A betreft een zeer fijnzandige, sterk lemige, zwarte beekerdgrond met leem in de ondergrond. Circa twee jaar geleden is de storende leemlaag onder de bouwvoor deels gebroken. De bovengrond is matig humeus tot matig humusarm (5% organische stof) en heeft een dikte van 35 cm waarvan de laag 30 tot 35 cm een overgang is van bovengrond naar ondergrond. Beide bovenlagen zijn iets verdicht. Direct onder de bovengrond bevindt zich op een diepte tussen 35 en 50 cm een deels plastische, roestige beekleemlaag (50% leem). Tussen 55 en 75 cm zit zwak lemig zand en tussen 75 en 135 cm zit leemarm zand. Vanaf 135 tot 230 cm diepte zitten lössleemlagen (50% leem). Er zijn vijf buizen geplaatst, waarvan buis A4 totaal geperforeerd is. De filterdiepten zijn aangegeven in tabel 3

*Tabel 3. Filterdiepten in cm van peilbuizen op Locatie 2 Brummelhuis Plek A. Buis A4 is volledig geperforeerd*

Benaming	A1	A2	A3	A4	A5
Filterdiepte	27	135	243	246	132

Plek B betreft een zeer fijnzandige, sterk lemige veldpodzolgrond met leem in de ondergrond. De bovengrond is matig humeus (5% organische stof) en heeft een dikte van 30 cm met daaronder een inspoelingshorizont van 30 tot 35 cm diepte. Van 45 tot 75 cm diepte is het profiel zwak lemig en van 75 tot 100 cm leemarm. Op een diepte van 100 tot 130 cm bevindt zich een lössleemlaag (35% leem). Daaronder bevindt zich op een diepte van 230 tot 280 cm nog een deels plastische lössleemlaag (50% leem). Direct daaronder zit een goed doorlatende leemarme zandlaag. Er zijn zes buizen geplaatst, waarvan buis B4 totaal geperforeerd is. De filterdiepten zijn aangegeven in tabel 4.

*Tabel 4. Filterdiepten in cm van peilbuizen op Locatie 2 Brummelhuis Plek B. Buis B4 is volledig geperforeerd*

Benaming	B1	B2	B3	B4	B5	B6
Filterdiepte	303	85	25	295	232	80

### *Locatie 3. Scholten*

Plek A betreft een ijzerrijke, matig fijnzandige, sterk lemige bruine beekerdgrond. De bovengrond is matig humusarm (3% organische stof met 22% leem) en heeft een dikte van 30 cm met daaronder een matig humeuze (6% organische stof) overgangslaag van 30 tot 35 cm naar de ondergrond. Deze laag heeft 30% leem, is antropogeen verdicht en versmeerd, hetgeen resulteert in anaerobe omstandigheden. Dit laatste werd tijdens de bemonstering visueel vastgesteld. De ondergrond bestaat uit zwak lemig zand, die van 60 tot 120 cm diepte slecht doorlatend is door een dichte pakking. In de laag van 120 tot 150 cm diepte zitten houtresten. Er zijn vijf buizen geplaatst, waarvan buis A4 totaal geperforeerd is. De filterdiepten zijn aangegeven in tabel 5.

*Tabel 5. Filterdiepten in cm van peilbuizen op Locatie 3 Scholten Plek A. Buis A4 is volledig geperforeerd*

Benaming	A1	A2	A3	A4	A5
Filterdiepte	13	54	160	150	61

Plek B betreft een ijzerrijke, matig fijnzandige sterk lemige bruine beekerdgrond zonder direct aan antropogene verdichting toe te wijzen dichte lagen in het profiel. De bovengrond is matig humusarm (3% organische stof) en heeft een dikte van 30 cm. In de zwak lemige ondergrond bevinden zich tot de boordiepte (150 cm) geen leemlagen. De laag van 110 tot 150 cm is goed doorlatend leemarm zand. Er zijn vijf buizen geplaatst, waarvan buis B4 totaal geperforeerd is. De filterdiepten zijn aangegeven in tabel 6.

*Tabel 6. Filterdiepten in cm van peilbuizen op Locatie 3 Scholten Plek B. Buis B4 is volledig geperforeerd*

Benaming	B1	B2	B3	B4	B5
Filterdiepte	17	59	141	139	59

#### *Locatie 4. Meijer-Dreteler*

Plek A betreft een verwerkte, matig fijnzandige, zwak lemige veldpodzol. De bovengrond heeft een dikte van 15 cm en is zeer humeus (8% organische stof) en iets verdicht. Circa 1,5 jaar geleden is volgens de eigenaar een storende laag tot 40 cm diepte deels gebroken. Tot 40 cm is de grond verwerkt en is matig humusarm (3% organische stof). Van 30 tot 40 cm diepte is de grond zeer sterk lemig (35% leem). De laag 30 tot 35 cm is verdicht. In de leemarme ondergrond bevinden zich tot de boordiepte (150 cm) geen leemlagen. Er zijn zes buizen geplaatst, waarvan buis A3 totaal geperforeerd is. De filterdiepten zijn aangegeven in tabel 7.

*Tabel 7. Filterdiepten in cm van peilbuizen op Locatie 4 Meijer-Dreteler Plek A. Buis A3 is volledig geperforeerd*

Benaming	A1	A2	A3
Filterdiepte	110	27	104

Plek B betreft een matig fijnzandige, zwak lemige veldpodzolgrond. De heterogene bovengrond is matig humusarm (3% organische stof) en heeft een dikte van 30 cm. In de leemarme ondergrond bevinden zich tot de boordiepte (150 cm) geen leemlagen. De laag tussen 55 en 60 cm bevat meer leem (15%) dan erboven en eronder (8-9%). Er zijn drie buizen geplaatst, waarvan buis B1 totaal geperforeerd is. De filterdiepten zijn aangegeven in tabel 8.

*Tabel 8. Filterdiepten in cm van peilbuizen op Locatie 4 Meijer-Dreteler Plek B. Buis B1 is volledig geperforeerd*

Benaming	B1	B2	B3
Filterdiepte	124	31	140

### **3.2 Stijghoogteverschillen**

Om in de ondiepe ondergrond de invloed van het afwisselend voorkomen van meer of minder weerstandbiedende laagjes (anisotropie) op metingen in grondwaterstandbuizen nader te kunnen onderzoeken zijn op de geselecteerde plekken meerdere peilbuizen geplaatst. Het aantal peilbuizen en de filterstelling (zowel filterlengte als filterdiepte) is hierbij afgestemd op de laagopbouw in de bodem.

#### *Locatie 1. Bolscher*

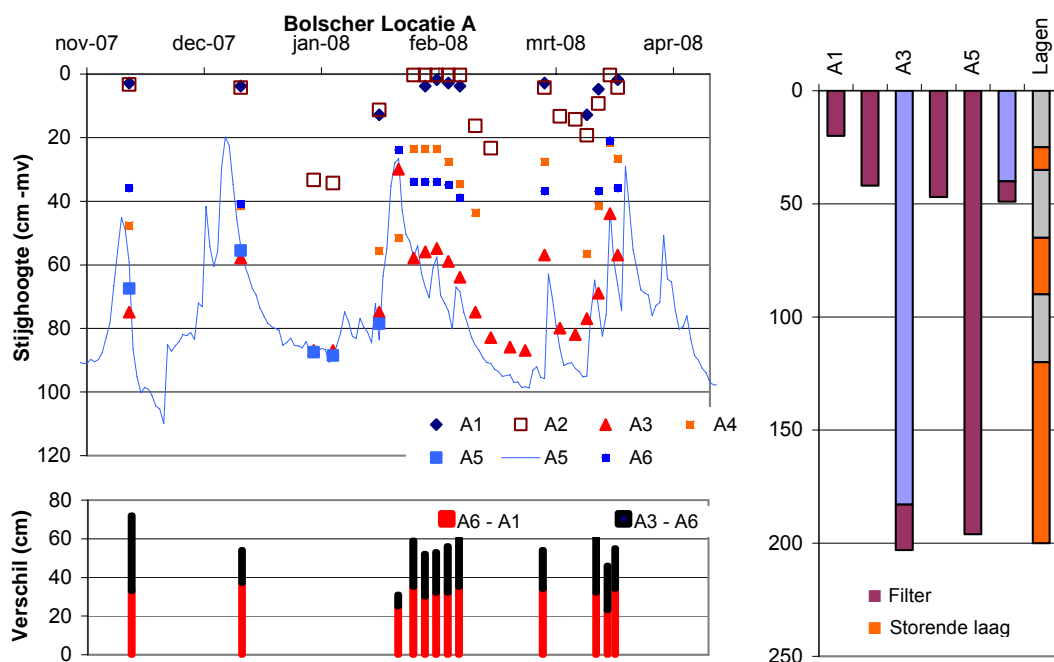
De twee meetplekken A en B bij Bolscher hebben een onderlinge afstand van ongeveer 60 meter. Beide plekken hebben een afstand van 10 tot 20 meter tot een grotere waterloop welke in het beheer is bij het waterschap. Locatie A geeft een grote verscheidenheid aan stijghoogten te zien (figuur 2). In deze figuur zijn de resultaten van de continue meting met een drukopnemer weergegeven in de vorm van een doorgetrokken lijn. De drukopnemer is geplaatst in de buis met het totaal geperforeerde filter. In de figuur is te zien dat ook het ondiepe filter met een filterdiepte van 20 cm (A1) regelmatig water heeft. Hierdoor kunnen de stijghoogteverschillen oplopen tot bijna 80 cm indien het ondiepste filter (20 cm) met het diepste filter op een diepte van 140 tot 200 cm (A3) met elkaar worden vergeleken. Daarnaast kan worden geconstateerd dat in natte perioden met uitzondering van de twee ondiepe peilfilters alle peilfilters als gevolg van de laagopbouw een andere stijghoogte hebben.



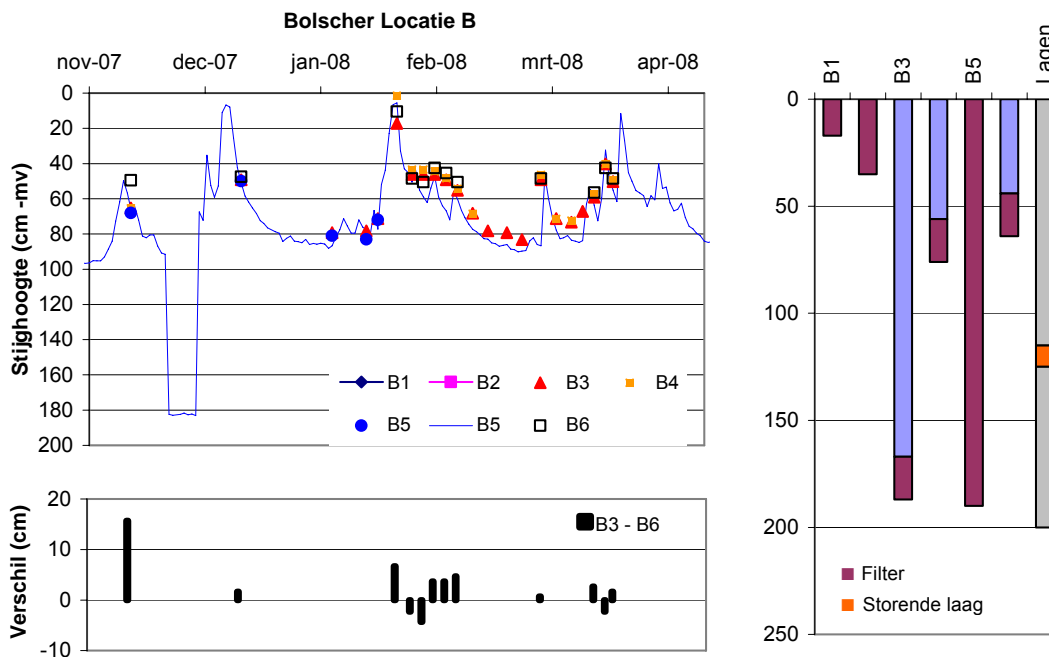
Indien peilfilter A6 vergeleken wordt met peilfilter A3 kan het effect van de aanwezige lössleemlaag op 65 - 90 cm diepte en de op 120 cm diepte beginnende slecht doorlatende laag op het stijghoogteverschil worden bekeken. In natte perioden bedraagt dit stijghoogteverschil ongeveer 20 tot 30 cm. Aangezien in natte perioden beide stijghoogten boven het niveau van de lössleemlaag liggen gaat het om een situatie waarin het hele profiel verzadigd is en kan er voor het merendeel van de tijd niet worden gesproken over een schijngrondwaterspiegel.

Indien peilfilter A1 en A6 worden vergeleken kan het effect van de iets verdichte en versmeerde lemige tussenlagen van 20 - 40 cm diepte op de stijghoogten worden bekeken. Dit stijghoogteverschil bedraagt ongeveer 30 tot 40 cm. Voor deze tussenlaag is het niet eenduidig vast te stellen of het voor het merendeel een verzadigde situatie betreft of een situatie met een onverzadigde zone onder de tussenlaag, waardoor men kan spreken van een mogelijke schijngrondwaterspiegel. Het onderzoek hiernaar, of er naast de geconstateerde stijghoogteverschillen ook daadwerkelijk sprake is van een schijngrondwaterstand, valt buiten het kader van het onderhavige onderzoek.

Op een nabijgelegen (ca. 60 m) plek (plek B) waar minder wateroverlast problemen mogen worden verwacht zijn eveneens een aantal peilfilters geplaatst. De filterstelling komt ongeveer overeen met de probleemplek (plek A). Op plek B worden nauwelijks stijghoogteverschillen gemeten (figuur 3). Het merendeel van de tijd staan de ondiep geplaatste peilfilters droog en komen meetbare stijghoogteverschillen van 10 tot 20 cm alleen kortstondig onder meer relatief nattere situaties voor. De lössleemlaag komt op deze plek wel voor maar deze is veel dieper gelegen (rond de 120 cm–mv) en heeft een dikte van slechts tien cm. Bovendien is dit profiel minder gelaagd. Daarnaast heeft het lössleemlaagje een niveau dat ongeveer overeenkomt met het ontwateringniveau in de nabijgelegen waterloop. Deze factoren hebben tot gevolg dat de invloed van het lössleemlaagje op de gemeten stijghoogte klein is.



Figuur 2. Gemeten stijghoogten Bolscher Plek A. Filterdiepten: A1 op 20, A2 op 42, A3 op 203, A4 op 67, A5 op 196 en A6 op 49 cm diepte. Buis A5 is volledig geperforeerd. A3 is tot 140 cm en A6 tot 40 cm diepte rondom afgedicht met bentoniet. Een lemige laag op 25 - 35 cm diepte is iets verdicht en versmeerd. Daaronder zit van 35- 45 cm diepte een laag met een leemgehalte van 30%. Op 65 - 90 cm diepte bevindt zich een lössleemlaag. De laag 120 - 200 cm is slecht doorlatend

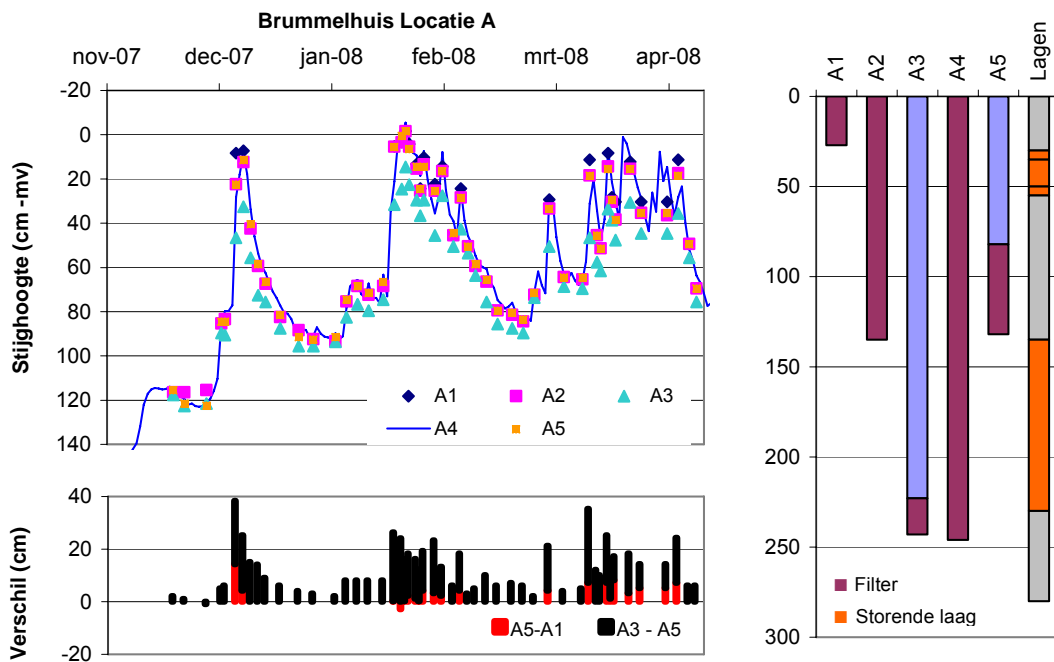


Figuur 3. Gemeten stijghoogten Bolscher Plek B. Filterdiepten: B1 op 27, B2 op 35, B3 op 187, B4 op 76, B5 op 190 en B6 op 64 cm diepte. Buis B5 is volledig geperforeerd. B3 is tot 140 cm en B6 tot 40 cm diepte rondom afgedicht met bentoniet. Op 115- 125 cm diepte bevindt zich een lössleemlaag

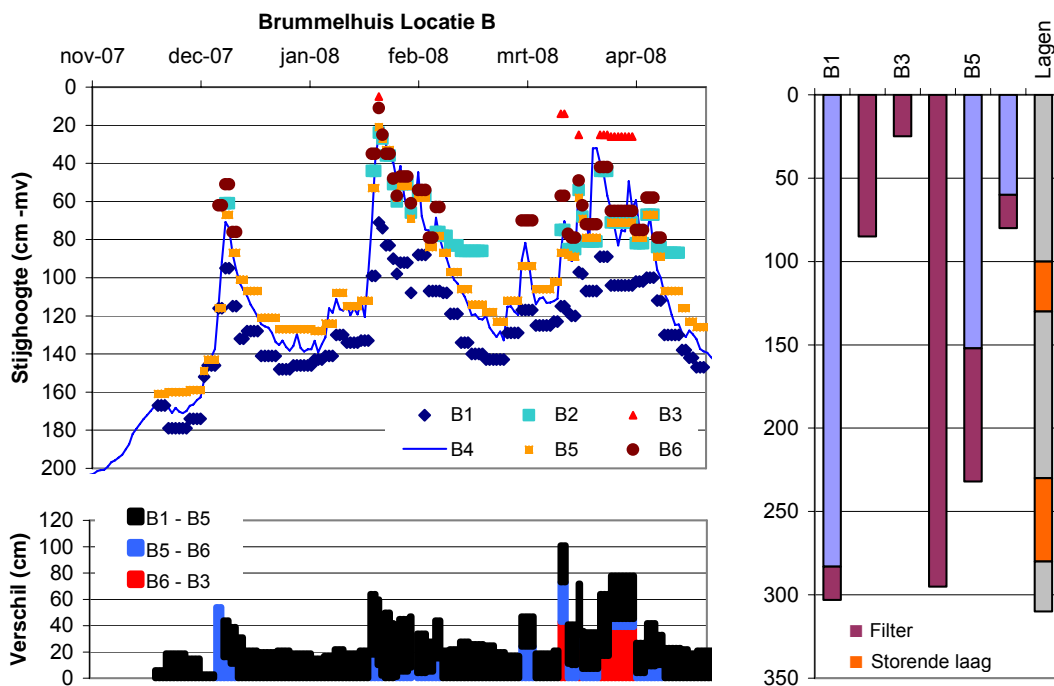
*Locatie 2. Brummelhuis.*

De probleemplek (plek A) heeft een iets verdichte bouwvoor en verschillende lössleem of beekleemlagen. De gemeten stijghoogteverschillen tussen het diepste (A3) en hoogste filter (A1) kunnen oplopen tot ongeveer 40 cm. Het stijghoogteverschil tussen het filter op 132 cm (A5) en het hoogste filter (A1) is beperkt (5-10 cm). De bovenste lössleemlaag op 30 - 55 cm diepte lijkt de infiltratie niet erg te beperken. Het diepste peilfilter geeft de diepste stijghoogte. Het stijghoogteverschil tussen het diepste filter (A3) en de andere filters bedraagt in natte perioden al snel 10 tot 20 cm. In drogere perioden neemt het stijghoogteverschil af naar enkele centimeters.

Plek B waar minder wateroverlast problemen te verwachten zijn is ongeveer 150 meter verwijderd van de probleemplek A. Ook op plek B komen enkele lössleemlagen voor. De lössleemlagen zijn echter wel dieper gelegen. Op plek B is de grondwaterstand in het algemeen dieper, waardoor er minder wateroverlastproblemen voorkomen. De verschillen in de gemeten stijghoogten kunnen echter aanzienlijk zijn en oplopen tot een meter. Het diepst gelegen filter (B1) heeft in de gemeten periode altijd de diepste stijghoogte. Het ondiepste filter (B3) met een filter tot 25 cm–mv heeft in natte perioden ook water terwijl het diepe filter (B1) in natte periode een stijghoogte van 80 tot 100 cm–mv heeft. Indien het stijghoogteverschil tussen de peilfilters B1 en B5 wordt bekeken is het stijghoogteverschil veelal in de orde van 20 cm. Dit is het stijghoogteverschil dat wordt veroorzaakt door de lössleemlaag die voorkomt op een diepte van 230 tot 280 cm–mv. Aangezien de lössleemlaag onder beide stijghoogten gelegen is, is hier geen sprake van een schijnspiegel. Op een diepte van 100 tot 130 cm komt nog een lössleemlaagje voor die eveneens een stijghoogteverschil tot gevolg heeft (verschil tussen peilfilters B5 en B6). Dit stijghoogteverschil is niet permanent aanwezig en is eveneens in de meeste gevallen geen schijngrondwaterstand. In natte perioden kan de gemeten stijghoogte in het ondiepe filter B3 wel betrekking hebben op een schijngrondwaterstand. Het stijghoogteverschil tussen het ondiepe filter B3 en het filter op 80 cm diepte (B6) kan onder meer extreme omstandigheden kortstondig oplopen tot ca 40 cm. Het totaal geperforeerde filter (B4) geeft, zoals verwacht mag worden, een gemiddelde stijghoogte weer.



Figuur 4. Gemeten stijghoogten Brummelhuis Plek A. Filterdiepten: A1 op 27, A2 op 135, A3 op 243, A4 op 246 en A5 op 132 cm diepte. Buis A4 is volledig geperforeerd. A3 is tot 220 cm en A5 tot 75 cm diepte rondom afgedicht met bentoniet. Op 30- 55 cm en 135- 230 cm diepte bevinden zich diverse lösslemlagen



Figuur 5. Gemeten stijghoogten Brummelhuis Plek B. Filterdiepten: B1 op 303, B2 op 85, B3 op 25, B4 op 295, B5 op 232 en B6 op 80 cm diepte. Buis B4 is volledig geperforeerd. B1 is tot 280 cm, B5 tot 157 cm en B6 tot 58 cm diepte rondom afgedicht met bentoniet. Op 100 -130 cm en 230 - 280 cm diepte bevindt zich een lösslemlaag. Onder 280 cm bevindt zich een goed doorlatende laag

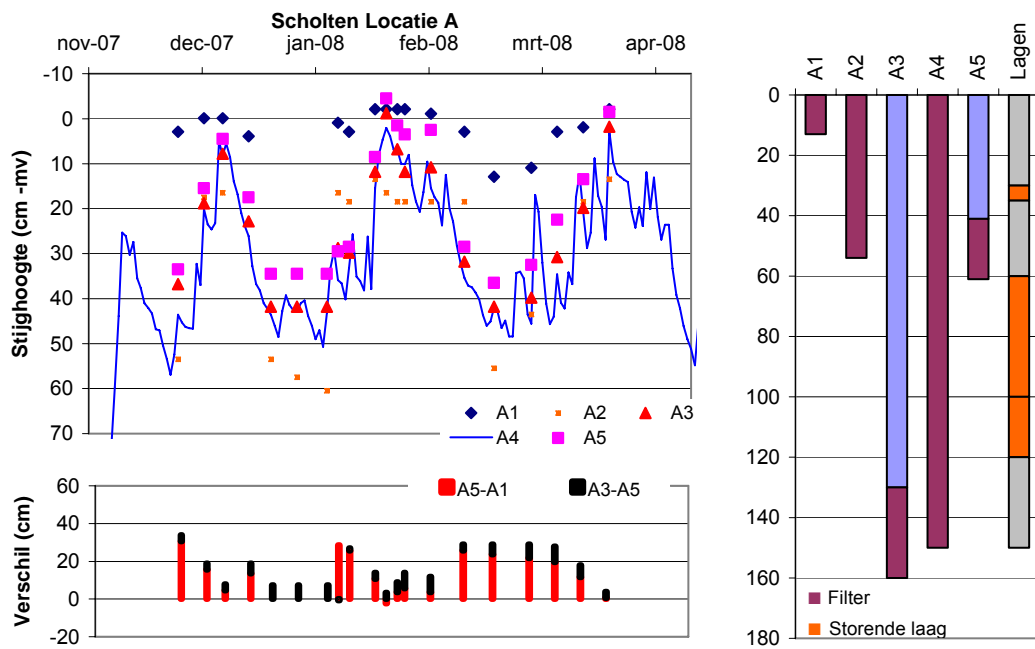
### *Locatie 3. Scholten.*

De probleemplek A bij Scholten heeft betrekking op een plek waar in de natte winterperiode langdurig water op het land staat. Het ondiepste peilfilter (A1) geeft ook aan dat er over langere perioden een plasdras situatie voorkomt (figuur 6). Daarbij moet worden bedacht dat het maaiveld, zoals aangegeven in figuur 6, de maaiveldhoogte is bij de hoogst gelegen peilbuis. Bij de buizen met een lagere maaiveldhoogte kan dus vaker plasvorming optreden dan uit de figuur volgt. Over de gehele meetperiode zijn de stijghoogten niet onder de 60 cm–mv weggezakt. Daarbij zijn stijghoogteverschillen van 20 tot 30 cm geen uitzondering. In het diepste peilfilter (A3) worden lang niet altijd de laagste stijghoogten gemeten.

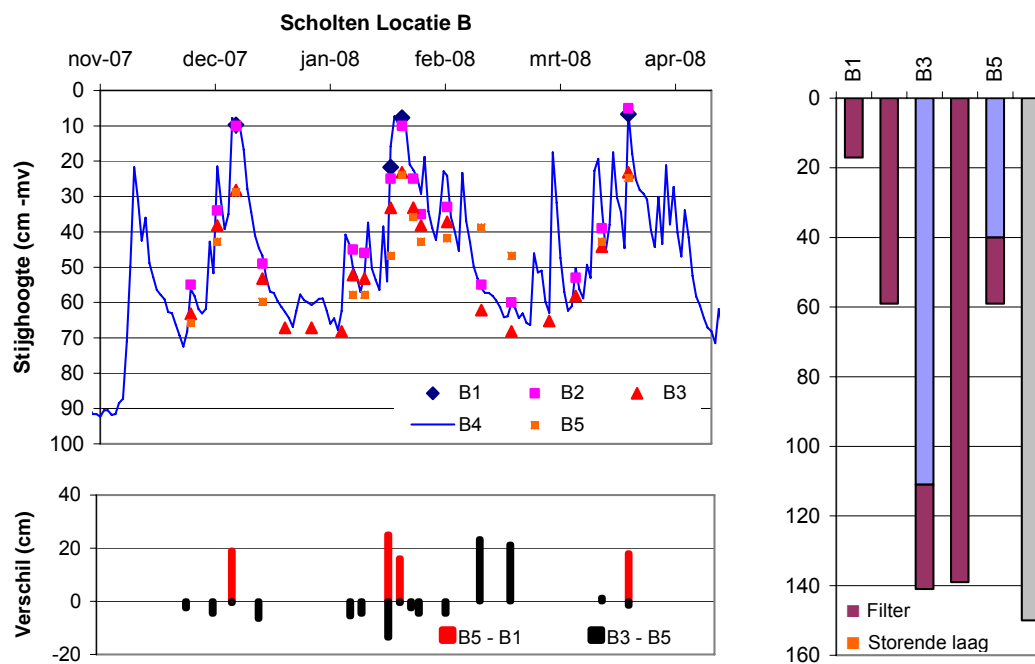
In peilfilter A2, dat tot 54 cm volledig is geperforeerd, worden zowel diepere als (soms) ondiepere stijghoogten gemeten dan in buis A5 (filter tussen 41 en 61 cm–mv). De verschillen kunnen groot zijn. De buizen staan enkele meters uit elkaar, dat maakt dat door ruimtelijke variatie de meetresultaten niet zonder meer kunnen worden vergeleken. Aangezien deze locatie gelegen is in het beekdal van de Regge kan laterale stroming in de iets grovere tussenlaag (45-60 cm) een mogelijke verklaring zijn maar ook kan de locatie worden beïnvloed door zowel regionale kwel als door lokale kwel afkomstig van een aantal kleine dekzandruggen in de nabijheid van de locatie. Ook kan het verschil in berging tussen de bodem en de ‘lege’ peilbuis een rol spelen. Door luchtinsluiting in de bodem kan dit bergingsverschil nog toenemen. Deze bergingsverschillen kunnen tot gevolg hebben dat er een na-ijleffect wordt gemeten.

In het totaal geperforeerde filter A4 worden stijghoogten gemeten die vaak vergelijkbaar zijn met de stijghoogten die in buis A3 onder de dikke slecht doorlatende laag van 60 tot 120 cm–mv worden gemeten. Een enkele keer worden in buis A3 zo'n 5 cm hogere stijghoogten gemeten. De totaal geperforeerde buizen leveren meetwaarden die door waterstromen in meer bodemlagen kunnen worden beïnvloed en die daardoor moeilijk zijn te interpreteren. De stijghoogteverschillen tussen de buizen A5 en A3 met filters respectievelijk boven en onder de diepere lemige laag geven vrijwel altijd iets hogere waarden voor de ondiepe buis: deze laag heeft een iets slechtere doorlatendheid. Het stijghoogteverschil tussen de ondiepe buis A1 en buis A5 (filter tussen 41 en 61 cm diepte) is veelal in de orde van 20 cm en kan oplopen tot 30 cm. Dit duidt op een slechte doorlatendheid van de verdichte en versmeerde lemige laag op 30 - 35 cm diepte.

Plek B is ongeveer 100 meter verwijderd van de probleemplek A. De grondwaterstand zit hier op een iets dieper niveau ten opzichte van maaiveld en de gemeten stijghoogteverschillen zijn veel geringer en zijn in de orde van 10 - 20 cm (figuur 7). Deze verschillen zijn niet direct toe te schrijven aan het voorkomen van een bij de boring herkende en beschreven storende laag. Tussen het ondiepe filter (B1) en het filter op 59 cm diepte (B5) zijn onder natte omstandigheden stijghoogteverschillen gemeten tot ca. 20 cm.



Figuur 6. Gemeten stijghoogten Scholten Plek A. Filterdiepten: A1 op 13, A2 op 54, A3 op 160, A4 op 150 en A5 op 61 cm diepte. Buis A4 is volledig geperforeerd. A3 is tot 130 cm en A5 tot 40 cm diepte rondom afgedicht met bentoniet. Op 60 - 120 cm diepte bevinden zich slecht doorlatende lagen met een dichte pakking. Op 30 - 35 cm diepte bevindt zich een antropogeen verdichte en versmeerde laag (anaeroob) met een hoog leemgehalte



Figuur 7. Gemeten stijghoogten Scholten Plek B. Filterdiepten: B1 op 17, B2 op 59, B3 op 141, B4 op 139 en B5 op 59 cm diepte. Buis B4 is volledig geperforeerd. B3 is tot 110 cm en B5 tot 40 cm diepte rondom afgedicht met bentoniet. Op 110 - 150 cm bevindt zich een goed doorlatende laag

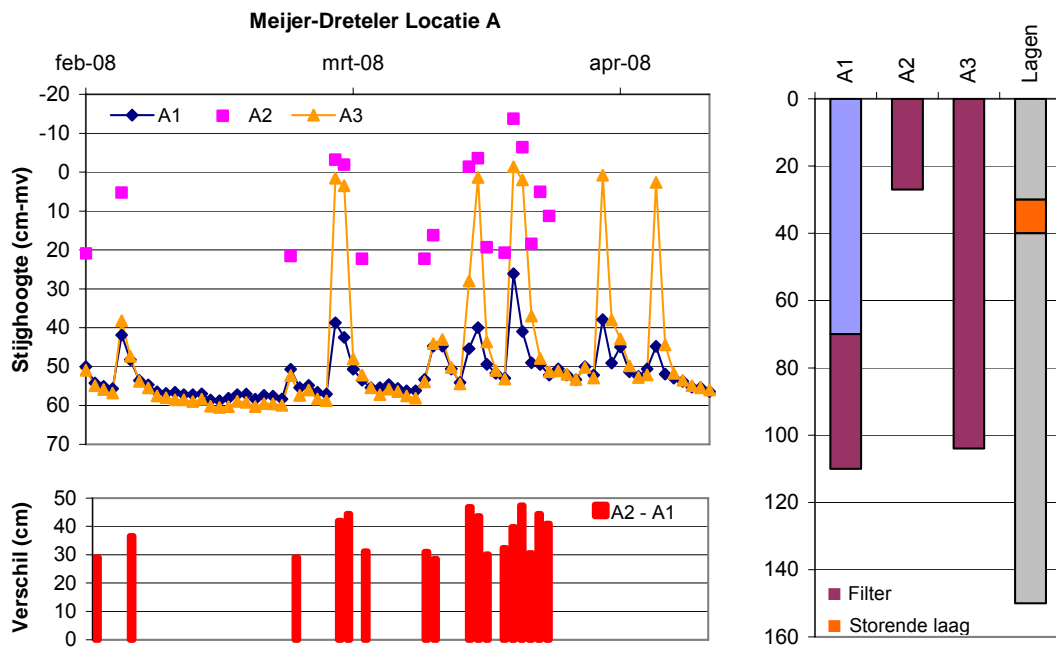
#### *Locatie 4. Meijer-Dreteleer*

Locatie 4 is een gedraineerd perceel. In tegenstelling tot de overige locaties zijn alle metingen uitgevoerd met drukopnemers. De probleemplek (plek A) heeft een zeer sterk lemige laag van 5 tot 10 cm dikte op een diepte van 30 - 40 cm. Deze laag is door een diepe grondbewerking deels gebroken. Uit de met de drukopnemers gemeten stijghoogten blijkt dat deze laag na een extremere neerslaggebeurtenis een stijghoogteverschil van ongeveer 40 cm tot gevolg kan hebben (figuur 8).

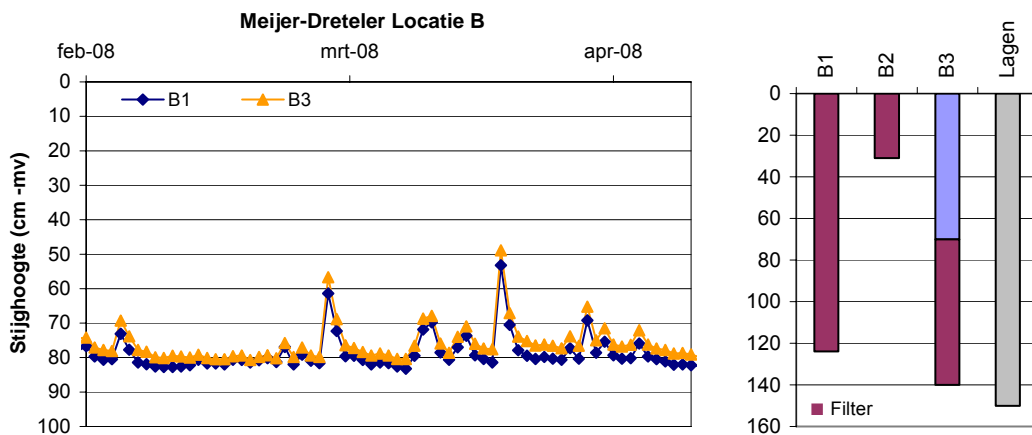
De stijging van de stijghoogte is in alle drie de peilbuizen waarneembaar. In het diepst geplaatste filter (A1) is de stijging echter veel geringer ten opzichte van het totaal geperforeerde peilfilter (A3). De stijghoogte in het totaal geperforeerde peilfilter komt in extreem natte periode in de buurt van het ondiep geplaatste peilfilter (A2). Het ondiep geplaatste peilfilter staat voor het merendeel van de tijd droog hetgeen in de figuur tot uiting komt in de vorm van de min of meer horizontale lijn op het niveau rond de 23 cm–mv. Vanaf eind maart 2008 zijn de resultaten van de drukopnemer van het ondiepe peilfilter niet meer betrouwbaar aangezien er standen worden gegeven onder het niveau van het peilfilter, hetgeen niet mogelijk is. Aangezien er geen gebruik is gemaakt van tensiometers is niet vast te stellen of er sprake is van schijngrondwaterspiegels. De gemeten stijghoogte in de diepere peilbuis (A1) stijgt na een neerslagperiode kortstondig tot ongeveer het niveau van de iets heterogene, zeer sterk leemhoudende antropogeen verdichte laag.

De niet-probleemplek is gelegen in hetzelfde perceel als de probleemplek op een afstand van ongeveer 70 meter.

In tegenstelling tot de probleemplek is er ook na een extreme neerslaggebeurtenis geen stijghoogte in het ondiepe peilfilter waarneembaar (figuur 9). Na een extreme neerslagpiek kan de stijghoogte in zowel het diep geplaatste filter als het totaal geperforeerde filter kortstondig 20 tot 30 cm stijgen, maar heeft de extreme neerslag nagenoeg geen stijghoogteverschillen tot gevolg. In het algemeen zijn de grondwaterstanden hier dieper dan op plek A.



Figuur 8. Gemeten stijghoogten Meijer-Dreteler Plek A. Filterdiepten: A1 op 110, A2 op 27 en A3 op 104 cm diepte. Buis A3 is volledig geperforeerd. A1 is tot 70 cm diepte rondom afgedicht met bentoniet. Op 30 - 40 cm diepte bevindt zich een iets heterogene, lemige laag waarvan de bovenste 5 cm verdicht is. N.B. A2 staat in veel gevallen droog, deze waarden zijn niet weergegeven. Na 23 maart 2008 bleken verschillende meetwaarden van A2 een lagere stijghoogte aan te geven dan de filterdiepte. De verder onbetrouwbare meetwaarden zijn niet weergegeven



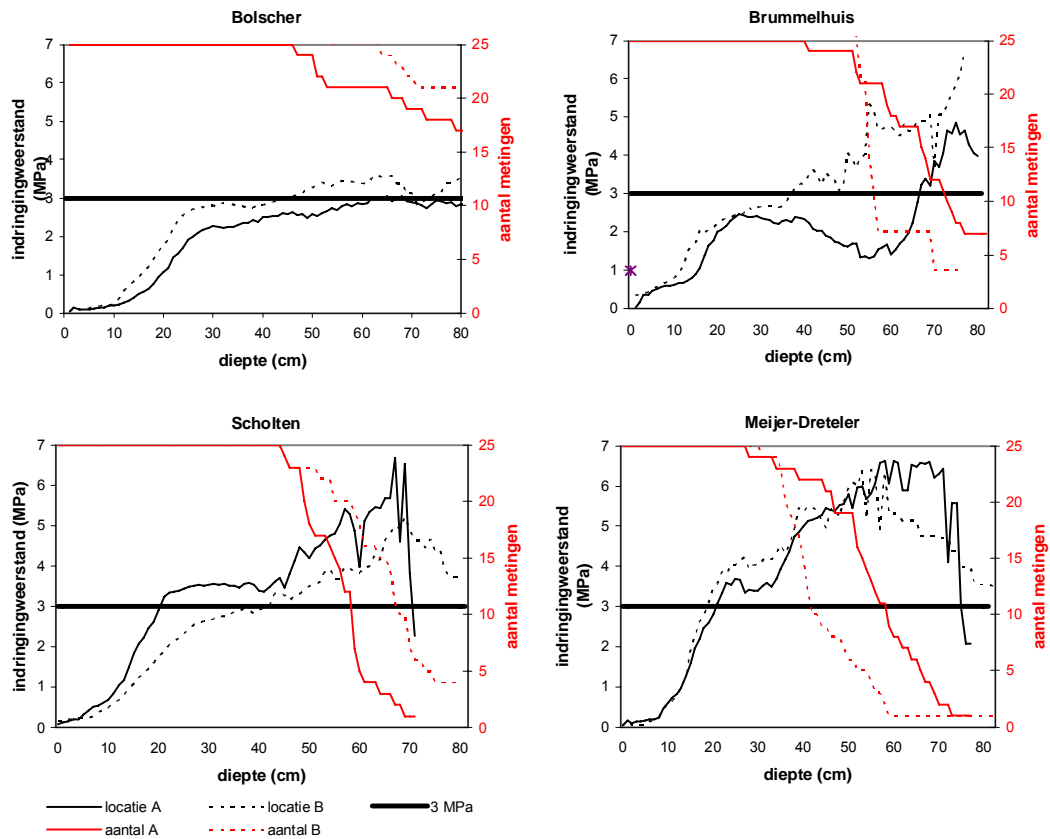
Figuur 9. Gemeten stijghoogten Meijer-Dreteler Plek B. Filterdiepten: B1 op 124, B2 op 31 en B3 op 140 cm diepte. Buis B1 is volledig geperforeerd. B3 is tot 70 cm diepte rondom afgedicht met bentoniet. In de figuur is B2 weggelaten omdat er geen grondwaterstanden werden gemeten doordat deze lager bleven dan de filterdiepte van B2.

### 3.3 Ondergrondverdichting

Op alle vier locaties zijn bij de plekken A en B de indringweerstand gemeten met een penetrometer. Op basis van deze gemeten indringweerstand, het boorprofiel en de monitoring van de stijghoogten zijn vervolgens de locaties Scholten en Meijer-



Dreteler geselecteerd om nader te onderzoeken welke rol de verdichting speelt in de vorming van stijghoogteverschillen en schijnwaterspiegels.



Figuur 10. De gemiddelde indringweerstand (MPa) van 25 metingen en het aantal indringweerstandsmetingen in relatie tot de diepte. De gemiddelden zijn aangegeven in zwart en de aantallen in rood

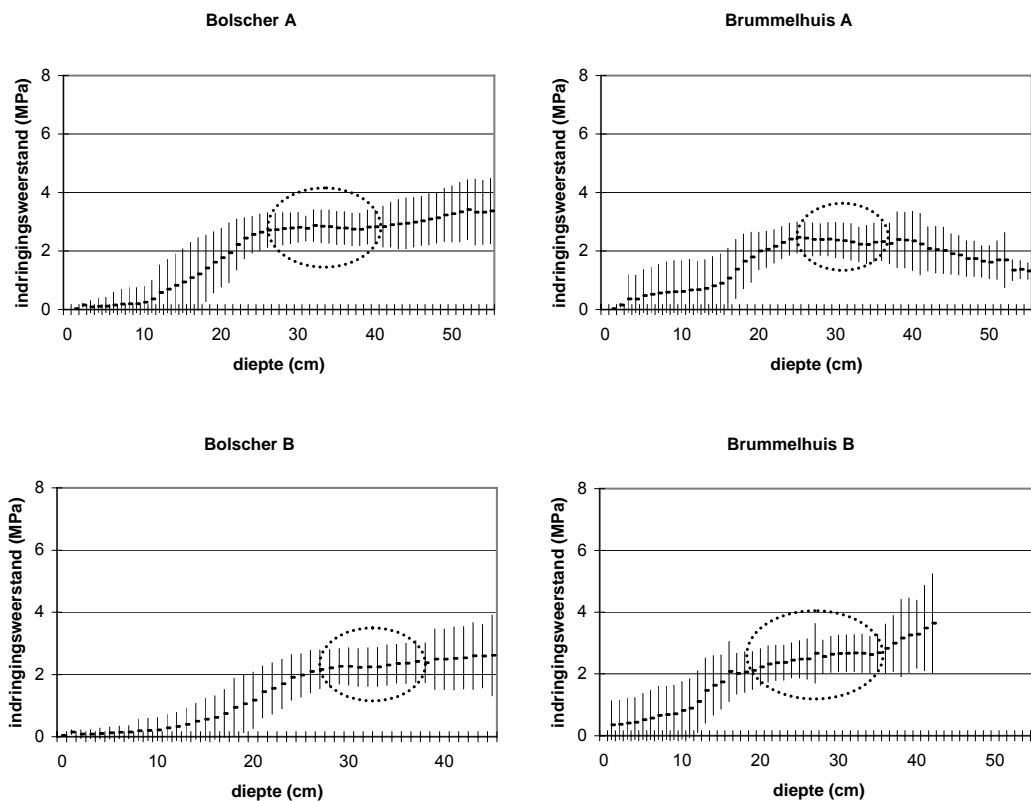
### 3.3.1 Indringweerstand

In figuur 10 zijn gemiddelde indringweerstand van de vier locaties zoals gemeten op 28 april 2008 weergegeven. Niet elke meting van de indringweerstand bereikte de maximale diepte van 80 cm omdat soms de weerstand te hoog was om de conus dieper te krijgen (figuur 10). De indringweerstand van de bodem wordt beïnvloed door verschillende factoren. Eén van die factoren is het bodemvochtgehalte. Hoe hoger het bodemvochtgehalte, hoe lager de indringweerstand en andersom hoe droger de grond hoe hoger de indringweerstand. De indringweerstand is vaak een limiterende factor voor beworteling. Bij ernstige ondergrondverdichting is eerst de ondergrond te nat voor beworteling (zuurstoftekort) en bij uitdrogen direct daarna te hard (te hoge indringweerstand) voor beworteling. De kritische grens voor beworteling ligt bij een indringweerstand van 2,5 - 3,0 MPa. Indien een stelsel van voldoende grote verticale poriën aanwezig is, verschuift de kritische grens naar hogere waarden; voor veel zandgronden ligt deze tussen de 3 en 5 MPa (Houben, 1979; Werkgroep HELP-tabel, 1987).

Hoge indringweerstanden hoeven niet veroorzaakt te zijn door (antropogene) verdichting door berijden. Veel zandondergronden (C-horizont) hebben van nature al een hoge indringweerstand door een hoge dichtheid en/of verkitting.

Wanneer men indringweerstanden van verschillende plekken of perioden met elkaar wil vergelijken, is het van belang dat de bodemvochtomstandigheden tijdens die metingen vergelijkbaar zijn. Aangezien er binnen het onderzoek gebruik is gemaakt van een relatief natte plek met naar verwachting wateroverlastproblemen en een relatief droge plek kan men verwachten dat de vochttoestand van de bodem tussen beide plekken op hetzelfde moment veelal verschillend is. Vaker meten en daarbij ook de vochttoestand meten om zo bij vergelijkbare vochtomstandigheden te vergelijken was in verband met de kosten niet mogelijk.

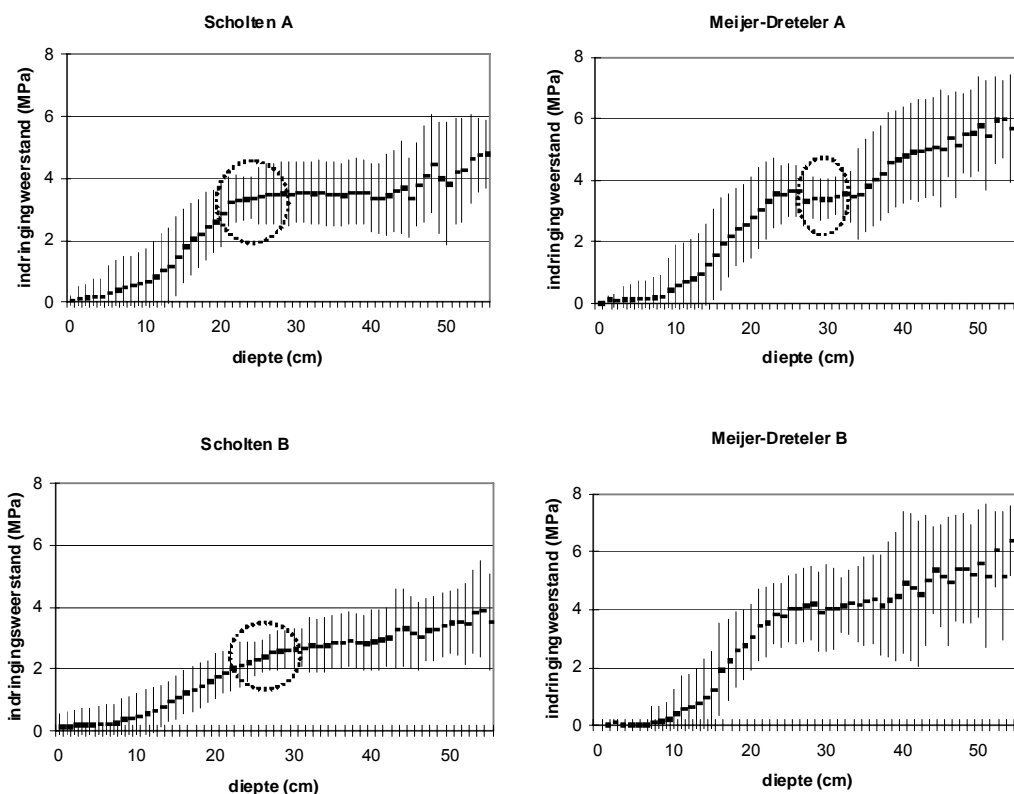
Het meten van de indringweerstand met behulp van een penetrometer heeft ook zijn beperkingen, want de conus van de penetrometer is veel groter dan een wortel en ondervindt dus een hogere weerstand dan de wortel. De wortel kan gemakkelijk in poriën dringen waar de conus van de penetrometer niet in past. Als er een stelsel van verticale poriën aanwezig is die voldoende groot zijn voor wortelgroei, kan een met de penetrometer gevonden hoge weerstand misleidend zijn (Locher en De Bakker, 1987). Penetrometerwaarden hebben dan ook alleen een indicatief karakter. Ondanks deze beperking en de handicap dat indringweerstanden vaak moeilijk onderling te vergelijken zijn, blijven metingen van indringweerstanden zinvol, omdat snel op veel plekken in het veld dichtere lagen kunnen worden opgespoord. Verder kan voor het moment van meten globaal worden vastgesteld of de indringweerstand voor beworteling mogelijk limiterend is.



*Figuur 11a. Gemiddelde en gemiddelde spreiding van de indringweerstand (MPa) bij Locatie 1 Bolscher plekken A en B en Locatie 2 Brummelhuis plekken A en B. Gebieden met geringe spreiding duidend op verdichting zijn aangegeven*

Bij de meeste bedrijven is de indringweerstand op plek B hoger dan op plek A.. Een uitzondering vormt het bedrijf Scholten. De verwachting was dat de A-plekken door verdichting juist hogere indringweerstand zouden geven. Omdat de indringweerstand van een grond in sterke mate door zowel dichtheid als vochttoestand wordt bepaald, kan het zo zijn dat zoals eerder beschreven door de nattere situatie van de A-plekken (dat was immers het probleem!) de indringweerstand daar lager zijn dan bij de op hetzelfde moment bemeeten drogere B-plekken. Zoals boven uitgelegd zijn de penetrometermetingen daardoor niet bruikbaar om de plekken onderling te vergelijken maar wel om de dichte lagen op de verschillende meetplekken in beeld te brengen. Het aantal waarnemingen in het traject tot 50 cm-mv is voor alle plekken groter dan 20 (figuur 10). Omdat voor alle plekken dit verschijnsel rond de 30 cm-mv optreedt duidt dat op antropogene invloeden.

De indringweerstand kunnen tussen de metingen op een plek sterk uiteenlopen. In de figuren 11a en 11b zijn de spreidingen voor plek Brummelhuis B aangegeven. Vooral bij de diepere metingen is de spreiding in de indringweerstand groot. Een geringe spreiding van te hoge indringweerstand kan een aanwijzing zijn voor een dichte laag. Deze kan natuurlijk of antropogeen zijn.



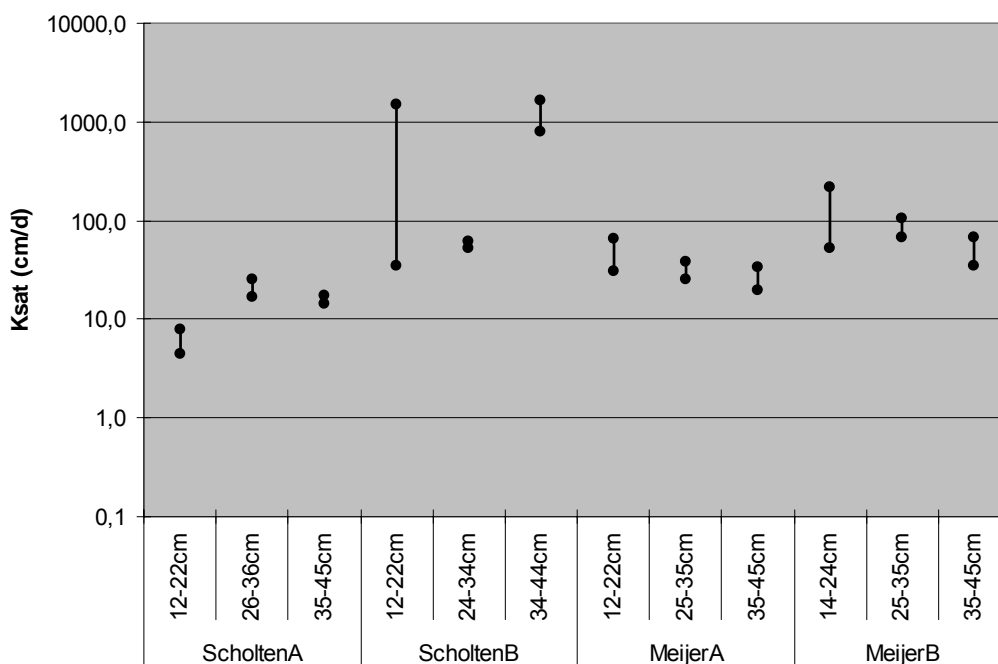
Figuur 11b. Gemiddelde en gemiddelde spreiding van de indringweerstand (MPa) bij Locatie 3 Scholten plekken A en B en Locatie 4 Meijer-Dreteler plekken A en B. Gebieden met geringe spreiding duidend op verdichting zijn aangegeven

### 3.3.2 Verzadigde doorlatendheid

In tabel 9 en figuur 12 zijn de gemeten verzadigde doorlatendheden weergegeven van de geselecteerde Locatie 3 Scholten en Locatie 4 Meijer-Dreteler. Bij elke plek A en B zijn twee metingen op drie diepten uitgevoerd. Doorlatendheden lager dan 10 cm per dag worden beoordeeld als slecht en doorlatendheden lager dan 50 cm per dag worden geoordeeld als matig (Werkgroep Herziening Cultuurtechnisch Vademecum, 1988; Van den Akker en De Groot, 2008). Uit tabel 9 en figuur 12 volgt dat de doorlatendheden bij de A-plekken matig tot slecht zijn en bij de B-plekken vrij goed zijn (meer dan 50 cm per dag). Lage meetwaarden binnen dit onderzoek zijn de slechte verzadigde doorlatendheid van 6,2 cm per dag bij Scholten-A (12-22cm) en de hoge verzadigde doorlatendheid van 1218 cm/dag bij Scholten-B (34-44cm). Uit een onderzoek naar de verdichting van Nederlandse zandgronden (Van den Akker en De Groot, 2008) kwam naar voren dat er zandgronden voor kunnen komen met meetwaarden tussen 2-6 cm/dag. Dit betroffen toen lagen op 25-35cm diepte op kopakkers. Ook de hoge doorlatendheid van 1218 cm/dag vormde bij dat onderzoek geen uitzondering. Met name in zandgronden met lagen met grote poriën worden zulke waarden vaker gemeten.

Tabel 9. Gemeten verzadigde doorlatendheden in cm per dag in duplo bij Locatie 3 Scholten en Locatie 4 Meijer-Dreteler op de plekken A en B. Slecht doorlatend is met rood aangegeven (< 10 cm/d). Matig doorlatend met oranje (< 50 cm/d)

Locatie en plek	Diepte (cm)	Ksat (cm/dag)	Ksat (cm/dag)	Locatie en plek	Diepte (cm)	Ksat (cm/dag)	Ksat (cm/dag)
		Maximum	Minimum			maximum	minimum
Scholten-A	12-22cm	7,9	4,5	Meijer-A	12-22cm	65,2	30,6
	26-36cm	25,0	16,9		25-35cm	37,7	25,6
	35-45cm	17,5	14,6		35-45cm	34,2	19,9
Scholten-B	12-22cm	1513,4	35,1	Meijer-B	14-24cm	218,8	52,0
	24-34cm	60,8	52,9		25-35cm	104,0	68,6
	34-44cm	1651,0	785,1		35-45cm	67,0	34,6



Figuur 12 Gemeten verzadigde doorlatendheid Ksat in cm/dag in duplo op drie diepten. De y-as is een log-schaal, omdat de doorlatendheid lognormaal verdeeld is

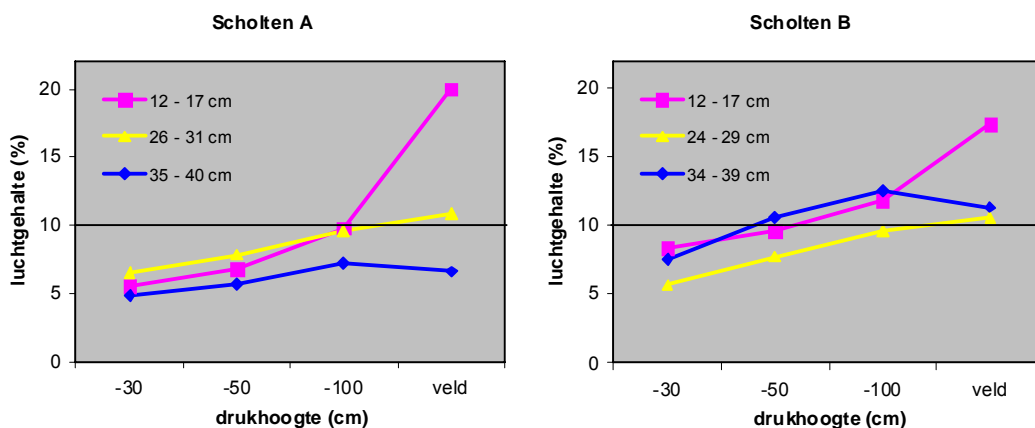
Bij de beschouwing van de verzadigde doorlatendheid dient wel te worden bedacht dat deze zijn bepaald aan monsters met een diameter van 20 cm. Vroeger werden doorlatendheden vaak bepaald aan monsters met een diameter van 5 cm. De criteria voor een slechte verzadigde doorlatendheid (< 10 cm/dag) en een matige verzadigde doorlatendheid (> 10 maar < 50 cm/dag) zijn daarom hoogstwaarschijnlijk gebaseerd op metingen op grondmonsters met een diameter van 5 cm. Echter, een doorgaande porie of een deel van de grond met een grotere doorlatendheid heeft een onevenredig grote invloed op de verzadigde doorlatendheid van een monster. Bij een grondmonster met een diameter van 20 cm is de kans dat een deel goed doorlatend is veel groter dan bij een monster met een diameter van 5 cm. Doorlatendheden gemeten in monsters met een diameter van 20 cm zijn daarom in het algemeen (veel) groter dan doorlatendheden gemeten in monsters met een diameter van 5 cm.

Een in het laboratorium voor een monster met een diameter van 20 cm gemeten matige verzadigde doorlatendheid kan in de praktijk toch nog tot problemen met de infiltratie van water leiden. Vroon (1988) en Dekker (1990) hebben beschreven hoe de doorlatendheden bij dichte en/of sterk gelaagde bodemlagen idealiter zouden moeten worden gemeten. Op deze manier in situ gemeten doorlatendheden kunnen aanzienlijk kleiner zijn dan de in deze studie gemeten kleine verzadigde doorlatendheden van 2-6 cm/dag..

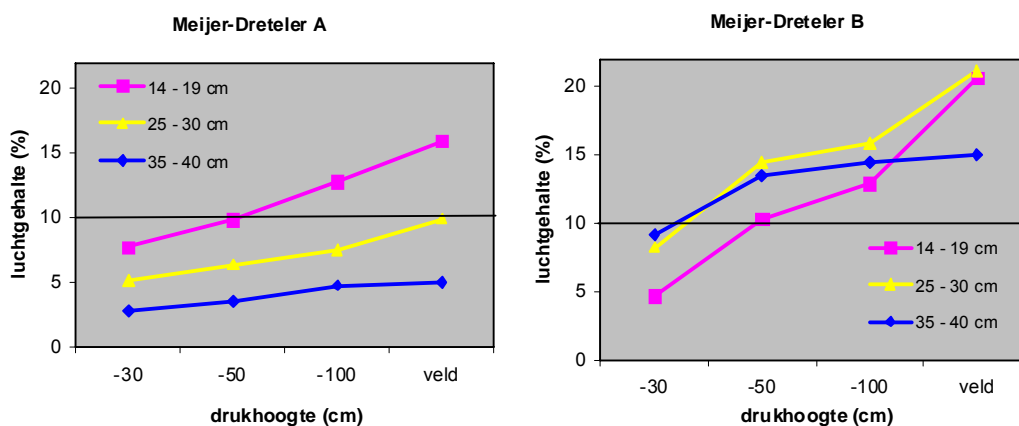
### 3.3.3 Luchtgehalten bij lage drukhoogten

In de figuren 13 en 14 zijn voor elk van de onderzochte locaties de gemeten luchtgehalten bij lage drukhoogten (of vochtspanning) weergegeven. Een luchtgehalte van 10% bij veldcapaciteit is een minimum om zuurstofgebrek van plantenwortels te voorkomen (Houben, 1979, Van Soesbergen et al., 1986, Van den Akker en De Groot, 2008). Wanneer de bodem natter is dan veldcapaciteit zal de plant eveneens geen schade ondervinden wanneer de luchtgehalten voldoen aan dit criterium bij veldcapaciteit. Daarnaast is de situatie in het veld aangegeven, waarbij moet worden opgemerkt dat deze per locatie en per plek duidelijk kan verschillen doordat het tijdstip van bemonsteren en of in de periode daarvoor het weer droog of nat was. Zo is met name Scholten A in een drogere periode bemonsterd dan de andere plekken.

Bij beschouwing van de luchtgehalten in de meetserie met vochtspanningen van 30, 50 en 100 cm drukhoogte blijkt dat bij de plekken Scholten A en B en Meijer A het luchtgehalte van één of beide diepere lagen onder de vereiste 10% blijft. Wat betreft luchtgehalte zijn bij Locatie 3 Scholten beide plekken slecht, hoewel plek B beter is dan plek A. Bij Locatie 4 Meijer-Dreteler is de zuurstofvoorziening bij plek B duidelijk beter dan bij plek A.



Figuur 13. Luchtgehalten bij een aantal lage drukhoogten op drie diepten van Locatie 3 Scholten. NB de bemonstering van Scholten A was op 13 mei 2008 onder wat drogere veldomstandigheden dan Scholten B op 7 mei 2008. Een minimum luchtgehalte van 10% is nodig om zuurstofgebrek bij plantenwortels te voorkomen



Figuur 14. Luchtgehalten bij een aantal lage drukhoogten en in het veld op 5 mei 2008 op drie diepten van Locatie 4 Meijer-Dreteler. Een minimum luchtgehalte van 10% is nodig om zuurstofgebrek bij plantenvortels te voorkomen

### 3.3.4 Dichtheid en poriënvolume

In tabel 10 zijn de gemeten poriënvolumes en dichtheden weergegeven van de vier plekken. Bij elke plek zijn vijf metingen op drie diepten uitgevoerd. De criteria voor een te dichte grond zijn een dichtheid groter dan  $1,6 \text{ g/cm}^3$  of een poriënvolume kleiner dan 40% (Houben, 1979, Van Soesbergen et al. 1986, Van den Akker en De Groot, 2008). De gemeten dichtheid is meestal hoog ( $> 1,6 \text{ g/cm}^3$ ) tot zeer hoog en het daaruit volgende poriënvolume is meestal erg laag ( $< 40\%$ ) tot zeer laag. Een uitzondering is de dichtheid en het poriënvolume van de bovengrond bij Meijer-A (12-17 cm). De dichtheid neemt meestal toe met de diepte. Bij Scholten is de grootste dichtheid al eerder bereikt namelijk respectievelijk op 24 cm (Scholten-B) en 12 cm (Scholten-A) diepte. De dichtheid is daar ondiep al hoog.

Tabel 10. Poriënvolume en dichtheid (gemiddeld en gemiddelde spreiding) op vier plekken en drie gemeten diepten. Dichtheden  $> 1,6 \text{ g/cm}^3$  zijn doorgaans te hoog; poriënvolumina  $< 40\%$  zijn doorgaans te laag

Locatie en plek	Diepte (cm)	Poriënvolume (%)	Dichtheid ( $\text{g/cm}^3$ )	
			gemiddeld	standaarddeviatie
Scholten-A	12-17cm	36.7	1.65	0.04
	26-31cm	37.3	1.64	0.08
	35-40cm	37.8	1.64	0.07
Scholten-B	12-17cm	42.6	1.5	0.06
	24-29cm	35.2	1.7	0.02
	34-39cm	37.9	1.63	0.06
Meijer-A	12-17cm	48.7	1.31	0.06
	25-30cm	38.9	1.6	0.07
	35-40cm	40.5	1.57	0.07
Meijer-B	14-19cm	41.3	1.51	0.06
	25-30cm	38.0	1.62	0.05
	35-40cm	33.7	1.75	0.06

### 3.3.5 Profielbeschrijvingen

In tabellen 11a t/m 11d staan de profielbeschrijvingen aangevuld met relevante informatie van de profielkuilbemonstering. Deze tabellen bevatten relevante gegevens over beworteling, structuur en textuur.

Tabel 11a Profielbeschrijving van Locatie 3 Scholten-A

Profielkuil		X	y							
Sch-A		227155	496457							
Profielbeschrijving		Grondwaterstand		90 cm-mv.						
fbtZg55	IIIa	grasland	Datum	13/5/'08	bewortelingsdiepte 30cm					
Ring Ø 20 cm	Ring Ø 7,5 cm	horizont	Diepte	humus	lutum	leem	M50	Opmerkingen	Dichtheid	Structuur
cm	cm		cm	%	%	%				
12-22	12-17	1Ap/Cg	0-31	3		22	160	ijzeroer	hoog	
26-36	26-31									
	35-40	1Ab	31-40	6		30	160	begraven A, stinkt		
35-45		1Cgc	40-45			12	175	mangaan-vlekken		
		1Cg1	45-60			10	155		hoog	
		1Cg2	60-100			12	145			
		1Cr1	100-120			12	140			
		1Cr2	120-150			12	145			

Tabel 11b Profielbeschrijving van Locatie 3 Scholten-B

Profielkuil		X	y							
Sch-B		227061	496498							
Profielbeschrijving		grondwaterstand								
fbtZg55	IIIb	grasland	Datum	7/5/'08	bewortelingsdiepte 50cm					
Ring Ø 20 cm	Ring Ø 7,5 cm	horizont	Diepte	humus	lutum	leem	M50	Opmerkingen	Dichtheid	Structuur
cm	cm		cm	%	%	%				
12-22	12-17	1Ap/Cg	0-28	3		20	160			
24-34	24-29	1Cgc	28-34			15	160	sterk beworteld		grote poriën
34-44	34-39	1Cg1	34-50			10	180	veel ijzerconcreties, grover zand		
		1Cg2	50-75			13	155	Cementkleur oranje gevlekt	hoog	
		1Cg3	75-110			15	160	iets heterogeen		
		1Cr	110-150			6	185	goede doorlatendheid		



Tabel 11c Profielbeschrijving van Locatie 4 Meijer-Dreteler-A

Profielkuil		X		y						
Meij-A		250076		468901						
Profielbeschrijving		grondwaterstand		60cm						
Hn53F	IIIa	grasland	Datum	5/5/'08	bewortelingsdiepte 35cm					
Ring Ø 20 cm	Ring Ø 7,5 cm	horizont	Diepte cm	humus %	lutum %	leem %	M50	Opmer- kingen	Dicht- heid	Struc- tuur
12-	12-	1Ap	0-15	8		14	170			
22	17	1A/B/C	15-30	3		11	170	iets verdicht	hoog	
25-	25-30							idem	idem	
35-	35-	1A/B/2Ce	30-37	3		35	150	iets hetero- geen	zeer hoog	scherpe blokken
	45	40	3Ce2	37-45		12	155		hoog	
			3Ce3	45-80		6	170			
			3Cr	80-85		5	190			
				85-150		5	180			

Tabel 11d Profielbeschrijving van Locatie 4 Meijer-Dreteler-B

Profielkuil		X		y						
Meij-B		250018		468943						
Profielbeschrijving		grondwaterstand		> 60cm						
Hn53	IVu	grasland	Datum	5/5/'08	bewortelingsdiepte 35cm					
Ring Ø 20 cm	Ring Ø 7,5 cm	horizont	Diepte cm	humus %	lutum %	leem %	M50	Opmer- kingen	Dicht- heid	Struc- tuur
14-24	14-19	1A/B	0-25	3		12	170	verwerkt		Weinig oude wortel- gangen,
25-35	25-30	1Ce1	25-40	3		11	170	geel met roest rond wortelgangen		verwerkt
35-45	35-40							idem		Idem via oude wortel- gangen,
		1Ce2	40-55	1		9	165	grijs, grindlaagje op 46 cm		enkele wortels tot 55 cm
		1Ce3	55-60			15	155			
		1Ce4	60-115			8	170			
		1Cer	115-125			8	170			
		1Cr	125-150			8	155			

#### Textuur

Van de doorlatendheidsmonsters zijn na de doorlatendheidmetingen een aantal monsters genomen waaraan de textuur is bepaald (tabel 12). De textuur is bepaald met Laser Diffraction door een Particle Density Analyzer. Deze methode wordt

steeds meer de standaardmethode omdat deze sneller en goedkoper is en betere reproduceerbare waarden geeft.

Uit ervaring van veldbodemkundigen van Alterra blijkt dat met deze methode meestal een wat grovere textuur wordt bepaald dan met de traditionele apparatuur en dan wordt ingeschat door ervaren bodemkarterders. In dit rapport is gebruik gemaakt van de ingeschatte textuur, omdat deze gecorreleerd is met bijvoorbeeld de naamgeving (bijvoorbeeld lemig zand, leemlaag, etc.).

Tabel 12. Textuur op een aantal diepten

Textuur	Diepte	OS	CaCO <sub>3</sub>	Lutum	Silt	Zand	Afslib- baar	Leem	M50
Plek	cm	% grond	% grond	% min. d.	% min. d.	% min. d.	% min. d.	% min. d.	Zand
Scholten A	12-22	3.8	0.2	6.7	12.9	80.4	11.4	19.6	205
Scholten A	35-45	1.2	0.2	3.2	11.9	84.9	6.7	15.1	220
Scholten B	24-34	2.4	0.3	7.1	12.9	79.9	12.0	20.1	210
Scholten B	34-44	2.0	0.3	3.7	10.0	86.3	7.1	13.7	238
Meijer A	25-35	2.6	0.1	1.0	2.5	96.5	1.8	3.5	223
Meijer A	35-45	0.8	0.1	1.1	1.8	97.2	1.8	2.8	214
Meijer B	14-24	6.6	0.3	1.6	3.6	94.8	2.7	5.2	203
Meijer B	35-45	0.8	0.2	0.5	0.1	99.4	0.5	0.6	243

#### *Profielbeschrijving Locatie 3 Scholten*

Bij Scholten A heeft de grond tot 60 cm diepte een hogere dichtheid dan de grenswaarde van 1.6. Dit volgt niet alleen uit de profielbeschrijving in tabel 11a, maar ook uit de gemeten dichtheden in tabel 10. Op een diepte van 31-40 ligt een begraven, anaerobe laag bovengrond met een vrij hoog humusgehalte. In het boorprofiel (zie bijlage 1) is deze laag gevonden als een verdichte en versmeerde laag op 30-35 cm diepte. De bewortelingsdiepte is beperkt tot 30 cm.

Bij Scholten B is de situatie veel beter. De laag 28-34 heeft weliswaar een hoge dichtheid (1.7 g/cm<sup>3</sup>), maar heeft grote poriën en is sterk beworteld. De beworteling ging tot 50 cm diepte. Op die diepte van 50 cm begint een laag met een van nature hoge pakking.

#### *Profielbeschrijving Locatie 4 Meijer-Dreteler*

Uit tabel 11c volgt dat bij Meijer-Dreteler A de grond tot 45 cm diepte een hoge dichtheid heeft, met een zeer dichte laag op 30-37 cm diepte. Dit komt niet helemaal overeen met de dichtheden en poriënvolumina zoals deze in tabel 10 zijn gegeven, want in tabel 10 is alleen de laag van 25 - 30 cm diepte boven de gehanteerde grenswaarden. Het komt wel overeen met het eerdere boorprofiel (zie bijlage 1), waarin is aangegeven dat de laag 30-35 cm verdicht is en een hoog leemgehalte heeft. De bewortelingsdiepte is 35 cm.

Bij Meijer-Dreteler B worden bij de profielbeoordelingen gebaseerd op de profielkuil (tabel 11d) en het boorprofiel (zie bijlage 1) geen bijzonder dichte lagen gevonden. Dit in tegenstelling tot de dichtheden die zijn gepresenteerd in tabel 10, waar op een diepte van 35-40 cm een zeer hoge dichtheid van  $1.75 \text{ g/cm}^3$  wordt gevonden. In het profiel zijn oude wortelgangen aanwezig, waarvan enkele wortels tot op een diepte van 55 cm gebruik van maken. De bewortelingsdiepte is verder wel op 35 cm ingeschat.



## 4 Synthese en discussie

### 4.1 Implicaties voor de HELP-methode

De HELP-methode (Werkgroep HELP-tabel, 1987) is een methode om landbouwkundige opbrengsten van een aantal gewassen te kunnen bepalen. Binnen deze methode wordt de relatieve opbrengst voornamelijk bepaald op basis van het bodemtype en de grondwaterstandfluctuatie in de vorm van de GHG en GLG. De HELP-methode is zodanig opgezet dat deze aansluit bij de karteringsmethode, zoals die destijds door de Stichting voor Bodemkartering (Stiboka) is ontwikkeld, waarbij zowel de bodem als ook de Gt in kaart wordt gebracht. Hierdoor wordt in de HELP-methode tot op zekere hoogte rekening gehouden met het voorkomen van storende lagen in de bodem, aangezien dergelijke lagen tot gevolg hebben dat men tijdens het schatten van de Gt in het veld aan dergelijke gronden een nattere Gt zal toekennen dan wanneer deze lagen niet in het bodemprofiel voorkomen. Let wel, dat dit alleen betrekking heeft op Gt's die zijn geschat in het veld. Voorts wordt in de HELP-methode voor zandgronden, eerdgronden en vaaggronden en bij de aanwezigheid van ondiepe lemige of lutumrijke tussenlagen met een extra opbrengstdepressie van 3 à 4% gerekend voor Gt's II tot en met III. Voor Gt's IIIb tot en met Vb wordt gerekend met een extra opbrengstdepressie van 1 à 2%. Bij een keileemlaag beginnende binnen 80 cm diepte wordt een extra opbrengstdepressie door wateroverlast van ca 3% genomen voor de Gt's II tot en met III en 1 à 2% voor de Gt's IIIb tot en met Vb. Voor podzolen leidt een verkitte inspoellaag tot opbrengstdepressies door wateroverlast van 2 à 3% voor de Gt's II tot en met Vb. Bij een keileemlaag beginnende binnen 80 cm diepte wordt een extra opbrengstdepressie door wateroverlast van ca 3% genomen voor de Gt's II tot en met III en 1 à 2% voor de Gt's IIIb tot en met Vb. Verder heeft men ook een bij een aantal veen- en moerige gronden rekening gehouden met een storende laag hoog in het bodemprofiel door uit te gaan van hogere wateroverlastpercentages bij deze bodemtypen.

In tabel 13 is nader ingegaan op de opbrengstdepressies die bij de onderzochte plekken A en B zijn te verwachten. Daartoe zijn eerst de met de HELP-tabellen ingeschatte opbrengstdepressies tussen de plekken met (A) en zonder (B) plasvorming op basis van de profielbeschrijving bepaald waarbij ook is gecorrigeerd voor het ondiep voorkomen van storende lagen. Daarna is met behulp van de in het diepste filter gemeten stijghoogte een GHG ingeschat (daarbij moet worden bedacht dat er slechts een korte periode in het najaar van 2007 en het voorjaar van 2008 is gemeten en dat de daaruit bepaalde GHG's niet meer zijn dan een ruwe schatting). Met deze op de metingen '07/'08 berustende GHG's zijn de opbrengstdepressies met behulp van de HELP-tabellen bepaald. De diepste filters zijn gebruikt omdat dit overeen stemt met de huidige praktijk van meten van grondwaterstanden en met het gebruik van deze data (en op basis van deze data gebiedsdekkend gemaakte grondwaterstandkaarten) als invoer voor de HELP-tabellen.

Uit de tabel blijkt dat het verschil in oogstdepressie tussen de A en B plekken op basis van de bodem/Gt-beschrijving 11 tot 19% is. Het effect van slecht doorlatende lagen in de ondergrond op de oogst opbrengst is op deze manier berekend dus aanzienlijk. Op basis van de voor 2007/2008 benaderde GHG worden zowel sterk gelijkende als sterk afwijkende opbrengstdepressies berekend. De verschillen tussen de opbrengstdepressies bij vergelijking van de GHG volgens de bodemkartering en de GHG's geschat met peilbuisgegevens van de diepste peilbuizen, blijken erg klein en erg groot te kunnen zijn (van 0 tot 19%). Bij Scholten A zorgt de kwelsituatie ervoor dat GHG bepaald uit de stijghoogte van de diepste buis iets hoger ligt dan de GHG bepaald in het veld.

*Tabel 13. Nadere beschouwing van de Gt's, GHG's en opbrengstdepressies door natschade bepaald met de HELP-methode bij de plekken A en B (zie tekst). De plekken A en B zijn onderling vergeleken en met een theoretische situatie waarbij de GHG's worden geschat aan de hand van de meetwaarden van de diepste stijgbuis in de winter van 2007/2008*

Plek	Code bodem	Zandgrofheid	Lemigheid	Grondwatertrap bepaald in het veld	GHG (cm)	Depressie (%)	Correctie i.v.m. storende laag (%)	Depressie totaal (%)	Vershil (A – B) (%)	“GHG” (cm) diepste buis 2007/2008	Depressie '07/'08 (%)	Vershil reël – diep (%)
<b>Bolscher A</b>	fbczg55t	fijn	sterk	IIIa	10	15	4	19	14	60	0	19
<b>Bolscher B</b>	btzg55	fijn	sterk	IIIb	30	5		5		55	0	5
<b>Brummelhuis A</b>	tZg35tg	fijn	sterk	Vao	25	7	4	11	11	35	3	8
<b>Brummelhuis B</b>	Hn35t	fijn	sterk	VIId	50	0		0		85	0	0
<b>Scholten A</b>	fbtZg55	fijn	sterk	IIIa	5	20	4	24	19	10	15	9
<b>Scholten B</b>	fbtZg55	fijn	sterk	IIIb	30	5		5		35	3	2
<b>Meijer-Dreteler A</b>	Hn53F	fijn	zwak	IIIa	15	10	3	13	13	40	0	13
<b>Meijer-Dreteler B</b>	Hn53	fijn	zwak	IVu	60	0		0		70	0	0

In toenemende mate wordt gebruik gemaakt van hydrologische modellen om de Gt te bepalen of te updaten. De modelinvoer is echter in hoge mate bepalend voor de rekenresultaten. Het niet-correct schematiseren en parameteriseren van de bodemfysische eigenschappen of het niet meenemen van weerstandbiedende lagen kan tot gevolg hebben dat de rekenresultaten niet aansluiten bij de werkelijke situatie. Toepassing van de HELP-methode zal dan uiteraard ook kunnen leiden tot resultaten die niet aansluiten op de werkelijke situatie. Het onderzoek laat zien dat bij percelen met storende lagen in het profiel vrij gedetailleerde veldinformatie noodzakelijk is om juiste opbrengstdepressies te kunnen bepalen.

Uit het onderzoek volgen geen specifieke implicaties voor de HELP-methode. Dat grondgebruikers de ervaring hebben dat er wel natschade optreedt en dat uit een HELP-berekening die is gebaseerd op diepe grondwaterstanden volgt dat er geen of

weinig natschade optreedt is niet een falen van de HELP-methode, maar is het gevolg van het gebruiken van verkeerde invoer bij toepassen van de HELP-tabellen.

## 4.2 Monitoren van stijghoogten

Op de meeste meetplekken komen in meer of mindere mate stijghoogteverschillen voor indien gemeten wordt in verschillende peilfilters met een filterstelling die is afgestemd op de horizonten die in de bodem aanwezig zijn. Op alle probleemplekken met wateroverlast (A plekken) zijn stijghoogteverschillen waargenomen waarbij in natte periodes stijghoogten tot vlak bij of boven het maaiveld zijn gemeten. Ook op een deel van de niet-probleem plekken (B plekken) zijn stijghoogteverschillen geconstateerd waarbij slechts incidenteel en voor korte tijd stijghoogten tot aan het maaiveld zijn gemeten. Op plek Meijer B ligt de hoogst gemeten stijghoogte rond de 50 cm–mv. Op deze plek bedragen de stijghoogteverschillen slechts enkele centimeters. De waargenomen stijghoogteverschillen op andere plekken kunnen aanzienlijk zijn en bijvoorbeeld op een niet-probleem plek incidenteel oplopen tot 1 meter (Brummelhuis Plek B). In de meeste gevallen is het gemeten stijghoogteverschil toe te schrijven aan het voorkomen van weerstandbiedende lagen in de ondergrond. Dit kunnen lagen zijn met een hoge natuurlijke pakkingsgraad (relatief hoge dichtheid) terwijl bovenin het bodemprofiel ook antropogene verdichting een rol kan spelen. Uit de boorprofielen (bijlage 1) blijkt dat bij Bolscher A de laag van 25 tot 35 cm diepte verdicht en versmeerd is. Bij Brummelhuis A is de laag van 30 tot 35 cm diepte iets verdicht. Uit de boorprofielen en het verdichtingsonderzoek blijkt dat de bij de plekken Meijer A en Scholten A de laag direct onder bovengrond losgemaakt is en vervolgens antropogeen is herverdicht, met als resultaat een slecht doorlatende laag. Op basis van de waarneming en ervaring van de agrariërs zijn de probleemplekken geselecteerd. De metingen bevestigen dat hier inderdaad wateroverlastproblemen voorkomen.

Een groot deel van de gemeten stijghoogteverschillen vindt onder een verzadigde situatie plaats. In deze situaties mag men niet spreken van een schijngrondwaterspiegel. Alleen onder nattere omstandigheden, indien er een freatisch vlak voorkomt dat is gelegen op een slecht doorlatende laag, waaronder een onverzadigde zone onder deze laag voorkomt mag men spreken van een schijnspiegel. Uit de stijghoogtemetingen volgt dat bij Bolscher A en Scholten A mogelijk wel regelmatig schijngrondwaterspiegels zouden kunnen optreden, waarbij de grondwaterspiegel enkele centimeters onder de dichte laag direct onder de bovengrond blijft. Om zo'n verschil van slechts enkele centimeters vast te kunnen stellen zijn echter nauwkeurigere waarnemingen met tensiometers noodzakelijk. Bij Meijer-Dreteler A staat de stijghoogte periodiek ongeveer 10 cm onder de verdichte laag, terwijl boven de verdichte laag grondwaterstanden zijn gemeten. Hier kan wel duidelijk gesproken worden van een schijnspiegel.

Het meten van de freatische grondwaterstand is niet eenvoudig. Indien weerstandsbiedende lagen aanwezig zijn moet eigenlijk gebruik worden gemaakt van meerdere peilfilters. Het gebruik van een totaal geperforeerd peilfilter geeft

afhankelijk van de situatie een gemiddelde stijghoogte, de diepe stijghoogte of de freatische grondwaterstand weer. Volledig geperforeerde buizen vormen dus geen correcte meetmethode. Nader onderzoek naar goede meetmethoden voor het meten van de correcte freatische grondwaterstand is wenselijk. Voor de hand liggend is daarbij bijvoorbeeld het plaatsen van filters waarbij de filterstelling is afgestemd op de laagopbouw in de bodem, zoals dat in het onderhavige onderzoek is gebeurd. Daarnaast dient er ook van elke peilbuislocatie een bodemkundige profielbeschrijving te worden gemaakt, om het effect van de weerstandbiedende lagen op de grondwaterstand op een correcte manier te kunnen kwantificeren.

De gemeten stijghoogteverschillen geven aan dat peilbuisgegevens in veel situaties niet overeenkomen met de freatische grondwaterstand. Indien verkeerd geplaatste (meestal te diep geplaatste) peilbuizen worden gebruikt om de freatische grondwaterstand te bepalen kan dit gevolgen hebben voor hiervan afgeleide informatie. Indien deze informatie wordt gebruikt bij het vlakdekkend in beeld brengen van grondwaterstandinformatie via bijvoorbeeld modelberekeningen zal het kaartbeeld veelal te droog uitvallen. Hierdoor kunnen ook gemakkelijk verschillen ontstaan tussen de waarneming en ervaring van grondgebruikers en de meer theoretisch verkregen grondwaterstandinformatie. Deze verschillen kunnen ook tot uiting komen bij het gebruik van de HELP-tabellen om landbouwschades te bepalen. In dergelijke gevallen moeten modelresultaten altijd geverifieerd en gecorrigeerd worden aan de hand van veldgegevens.

#### **4.3 Fysische bodemkwaliteit op de locaties Scholten en Meijer-Dreteler**

De tabellen 14 en 15 geven een overzicht van de resultaten van het verdichtingonderzoek. Bij de beschouwing van deze resultaten moet worden bedacht dat het er in dit onderzoek vooral om de infiltratiecapaciteit c.q. de waterdoorlatendheid gaat en hoe vast het water wordt vastgehouden. Een laag die door zijn fijne poriënstructuur het water sterk vasthoudt, staat het water slecht af aan onderliggende lagen met een grovere poriënstructuur. Van minst tot meest belangrijke indicator is de volgorde: indringweerstand - dichtheid - poriënvolume - luchtgehalten bij 50 en 100 cm vochtspanning - verzadigde waterdoorlatendheid:

- De indringweerstand geeft een indicatie van de dichtheid.
- Uit de dichtheid kan samen met het organisch stofgehalte het poriënvolume worden berekend. Hoge dichtheden en lage poriëngehalten resulteren vaak in lagere doorlatendheden en lage gehalten luchtgevulde poriën.
- De luchtgehalten bij vochtspanningen van 50 en 100 cm geven een indicatie van de poriënverdeling, of het water door de laag sterk wordt vastgehouden en of er veel macroporiën aanwezig zijn.
- De verzadigde waterdoorlatendheid geeft aan of er wel of niet doorgaande macroporiën aanwezig zijn.



Tabel 14. Fysische bodemkwaliteit van de laag 0-25 cm. Aangegeven wordt of de meetwaarden beter (+ en groen), rondom (0 en oranje) of slechter (- en rood) zijn dan de respectievelijke drempelwaarden. Een matige verzadigde doorlatendheid (10 - 50 cm/dag) is aangegeven als 0 en oranje. Bij aanwezigheid van grote poriën wordt de indringweerstand minder kritisch genomen (rood en - worden oranje en 0)

Lokatie	Dichtheid	Poriënvolume	Luchtgehalte (-50 cm H <sub>2</sub> O)	Luchtgehalte (-100 cm H <sub>2</sub> O)	Verzadigde waterdoorlatendheid	Indringweerstand
Scholten A	-	-	-	0	-	0
Scholten B	+	+	0	+	+	+
Meijer-Dreteler A	+	+	0	+	0	0
Meijer-Dreteler B	+	+	+	+	+	0

Tabel 15. Fysische bodemkwaliteit van de laag 25-40 cm. Aangegeven wordt of de meetwaarden beter (+ en groen), rondom (0 en oranje) of slechter (- en rood) zijn dan de respectievelijke drempelwaarden. Een matige verzadigde doorlatendheid (10 - 50 cm/dag) is aangegeven als 0 en oranje. Bij aanwezigheid van grote poriën wordt de indringweerstand minder kritisch genomen (rood en - worden oranje en 0).

Lokatie	Dichtheid	Poriënvolume	Luchtgehalte (-50 cm H <sub>2</sub> O)	Luchtgehalte (-100 cm H <sub>2</sub> O)	Verzadigde waterdoorlatendheid	Indringweerstand
Scholten A	-	-	-	-	0	-
Scholten B	-	-	-	+	+	+
Meijer-Dreteler A	0	-	-	-	0	-
Meijer-Dreteler B	-	-	+	+	+	0

De kosten van de bepalingen cq indicatoren hebben dezelfde volgorde als het belang en eenduidigheid van de indicatoren, dat wil zeggen dat de globale indicatoren de laagste kosten hebben en dat de specifieke indicatoren de hoogste kosten kennen. De goedkopere bepalingen kunnen worden ingezet om een bredere en algemenere indruk te krijgen van de ernst en omvang van het probleem en de duurdere bepalingen kunnen worden ingezet om gericht in te zoomen op de essentie van het probleem.

Tabel 14 laat zien dat er behalve voor Scholten A in de wortelzone (0-25 cm) weinig problemen bestaan ten aanzien van de fysische bodemkwaliteit. De slechte beoordeling voor Scholten A is het gevolg van de aanwezigheid van een versmeerde en dichte anaerobe laag op de overgang van de bovengrond (A-horizont) naar de ondergrond (C-horizont). De Ap horizont 0 - 30 cm bij Scholten heeft op beide plekken nagenoeg hetzelfde leemgehalte.

Het leemgehalte is dus geen onderscheidende factor en blijktbaar wordt de veel lagere waterdoorlatendheid bij plek A (tabel 9) veroorzaakt door de veel hogere dichtheid bij plek A dan bij plek B (tabel 10). Behalve voor Scholten A toont het beeld in tabel

14 wat betreft de bovengrond grote overeenkomsten met eerder onderzoek naar verdichting van zand- en zavelgronden (Van den Akker en De Groot, 2008) en met proefveldonderzoek op grasland in een zandgrond (relatief natte beekerdgrond) waaruit bleek dat berijden met een zodenbemester geen significant effect heeft op de bodemdichtheid van de wortelzone (De Boer en Van Eekeren, 2007).

Uit het overzicht in tabel 15 blijkt dat de ondergronden onder de wortelzone (25 - 40 cm) bij alle vier de plekken een hoge dichtheid hebben. Dit resulteert bij Scholten A en Meijer-Dreteler A in lage luchtgehalten in de ondergrond bij wat nattere omstandigheden en een matig grote gemeten verzadigde doorlatendheid. Naast de hoge dichtheid speelt ook het leemgehalte hierbij een rol. Hoe hoger het leemgehalte des te fijner worden de poriën en des te sterker het water wordt vastgehouden ten koste van lucht die niet in de poriën kan dringen. Het profiel is bij Meijer-Dreteler A ooit tot 40 cm diepte losgemaakt en verwerkt. Bij Meijer-Dreteler B valt het effect van de hoge dichtheid op de bodemfysische eigenschappen mee. Uit de profielbeschrijving volgt dat dit samenhangt met het lagere leemgehalte en de aanwezigheid van grote poriën en oude wortelgangen. Door het lagere leemgehalte is de poriënstructuur wat grover, wordt het water minder sterk vastgehouden en neemt bij ontwatering het luchtgehalte toe. De grote doorgaande poriën hebben ondanks de hoge dichtheid een hoge waterdoorlatendheid tot gevolg. Bij Scholten B werd de bewortelingsdiepte op 50 cm vastgesteld. Bij Meijer-Dreteler B werd op een diepte van 55 cm nog een enkele wortel gevonden. De grote doorgaande poriën verklaren ook waarom er nog beworteling tot ca 50 cm diepte mogelijk is ondanks de gemeten indringweerstand hoger dan de drempelwaarde van 3 MPa. In de beschouwde laag blijven de indringweerstand lager dan de drempelwaarde van 5 MPa die geldt voor dichte lagen met grote doorgaande poriën (Houben, 1979).

De bodemfysische eigenschappen op de plekken A zijn in beide gevallen slechter dan op de plekken B. Beide plekken A hebben op 30-35 cm diepte een laag met hogere leemgehalten dan bij de plekken B. Bij de plekken A kan dit gemakkelijk resulteren in een te lage infiltratiecapaciteit en vormt het leemgehalte in combinatie met de hoge dichtheid een verklaring voor plaspvorming en het ontstaan van ondiep voorkomende stijghoogten in natte perioden. Als het profiel wordt beschouwd in combinatie met de stijghoogteverschillen dan is de stagnatie op de A-plek bij Scholten een gevolg van de verdichte versmeerde sterk lemige laag. Uit de stijghoogteverschillen kan worden opgemaakt dat de doorlatendheid van die laag zeer slecht is, want er staat gedurende het seizoen lange tijd een laag water op deze versmeerde laag. Bij Meijer geldt dit in mindere mate. Ook daar zit op de overgang tussen de bouwvoor naar de ondergrond (C-horizont) een deels gebroken zeer sterk lemige laag, die soms stagnerend werkt. De bovenste 5 cm van deze laag is verdicht (zie boorbeschrijving in bijlage 1). Het is bij deze laag niet duidelijk of het gaat om een antropogene of een natuurlijke verdichting. Bij de plekken B zijn ondanks de hoge dichtheid niet direct problemen met plaspvorming en het ontstaan van schijnwaterspiegels te verwachten gezien de aanwezigheid van grote doorgaande poriën waardoor water de dichte laag kan passeren.

Door zuurstofgebrek in natte perioden als gevolg van het voorkomen van een dichte en/of versmeerde laag in combinatie met een hogere leemgehalte en het ontbreken van grotere doorgaande poriën, zijn de bewortelingsdiepten bij de plekken Scholten A en deels Meijer A beperkt. Daardoor wordt bij de plekken A het gewas bij aanhoudende droge perioden kwetsbaarder voor verdroging dan indien wel diepere beworteling mogelijk zou zijn.

#### 4.4 Een nadere beschouwing van de laag beginnende op 25 à 30 cm diepte

In tabel 16 is de laag direct onder de bovengrond nader beschouwd. Dit betreft de laag die begint op 25 à 30 cm diepte en 10 - 20 cm dik is.

Tabel 16. Bodemfysische eigenschappen van de laag onder de bovengrond beginnende op 25 tot 30 cm diepte op alle proefplekken

Plek	Leemgehalte (%)	Indring-weerstand (MPa)	Maximale stijghoogteverschil (cm)	Grof berekende verzadigde waterdoorlatendheid (cm/d)	Plasvorming *	Opmerkingen
<b>Bolscher A</b>	28-30	2,3	30-40	0,2 - 0,5	<b>X</b>	Iets verdicht en versmeerd
<b>Bolscher B</b>	12-19	2,8	Nihil		1	
<b>Brummelhuis A</b>	25-50	2,2	Nihil		1	Iets verdicht
<b>Brummelhuis B</b>	19	3,4	40	(0,2 - 0,9)	0	Neerslag bij Scholten gebruikt
<b>Scholten A</b>	12-30	3,7	50	0,1 - 0,4	<b>X</b>	Verdicht en versmeerd
<b>Scholten B</b>	15	2,9	20	0,5 - 2	0	Grote poriën, beworteld
<b>Meijer-Dreteler A</b>	12-35	4,7	50	0,05 - 0,4	<b>X</b>	5 cm verdicht
<b>Meijer-Dreteler B</b>	11	4,7	Nihil		0	Oude wortelgangen, beworteld

\* De plasvorming is t.o.v. het maaiveld bij de hoogst gelegen buis, (**X**) geeft aan dat er veel plassen zijn, (1) eenmalig en (0) geen.

Alleen bij de A-plekken is door menging van onder- en bovengrond bovenin die laag duidelijk dat deze laag ooit tot op zekere diepte is losgemaakt. Gebruik is gemaakt van zowel de resultaten van de monitoring van de stijghoogten als het verdichtingonderzoek. In de tabel zijn bodemeigenschappen en resultaten bij elkaar gezet. De verzadigde doorlatendheden zijn op een grove wijze berekend uit de neerslag tijdens een bepaalde meetperiode en het daarbij behorende stijghoogteverschil tussen de stijghoogte in de bovenlaag en de stijghoogte onder de 10 tot 20 cm dikke dichte laag beginnende op 25 à 30 cm diepte.

Hierbij is de verzadigde doorlatendheid geschat via de formule:

$$Q = K_{sat} \times (H_b - H_o) / L_d / T \quad (1)$$

Waarin:

- Q = neerslag in de beschouwde periode (cm)
- K<sub>sat</sub> = verzadigde doorlatendheid (cm/d)
- H<sub>b</sub> en H<sub>o</sub> = stijghoogte boven (H<sub>b</sub>) en onder (H<sub>o</sub>) de laag (cm)
- L<sub>d</sub> = dikte van de beschouwde laag (cm)
- T = beschouwde periode (d)

De op deze wijze berekende doorlatendheden zijn uitsluitend een indicatie voor de werkelijke doorlatendheid omdat de flux simpelweg gelijk wordt gesteld met de neerslag en bijvoorbeeld geen rekening wordt gehouden met verdamping, horizontale afstroming in de bovengrond en omdat het stijghoogteverschil kan worden beïnvloed door een (tijdelijke) onverzadigde situatie. Alleen bij de plekken waar een stijghoogteverschil optrad over de laag onder de bovengrond kon een grove berekening van de verzadigde waterdoorlatendheid worden uitgevoerd.

#### *Probleemplekken A*

Uit tabel 15 volgt dat zowel bij Scholten A als Meijer-Dreteler A de laag onder de wortelzone slechtere bodemfysische eigenschappen heeft dan de B-plekken. Dit wordt bevestigd in tabel 16: bij de probleemplekken (A) bij Bolscher A, Scholten A en Meijer-Dreteler A kan het stijghoogteverschil over de beschouwde laag 30 - 50 cm bedragen. Bij alle drie plekken is in de winter van 2007 - 2008 veel plasvorming opgetreden, zijn de berekende verzadigde doorlatendheden kleiner dan 0,5 cm/dag en zijn de leemgehalten hoog en heeft de beschouwde laag een hoge dichtheid. Bij Brummelhuis A is het stijghoogteverschil echter beperkt (5 - 10 cm) en er treedt slecht eenmalig plasvorming op. Daarbij moet worden bedacht dat het maaiveld in de figuren 2 t/m 9 met stijghoogten betrekking heeft op de maaiveldhoogte bij de buis die het hoogst gelegen is. Bij de buizen met een lagere maaiveldhoogte kan dus vaker plasvorming optreden dan uit de figuur volgt. De beschouwde laag is zeer sterk lemig en is iets verdicht, maar heeft een vrij lage indringweerstand. De laag onder de wortelzone bij Brummelhuis is een laag beekleem die grote delen van het jaar (deels) plastisch is. Dit kan natuurlijk invloed hebben op de meetresultaten van de indringweerstand.

#### *Niet-probleemplekken B*

Uit tabel 15 volgt dat Scholten B en Meijer-Dreteler B wel een grote dichtheid hebben, maar dat de andere bodemfysische eigenschappen voor een groot deel voldoende zijn. Dit ziet men terug in tabel 16. Bij de niet-probleemplekken (B) zijn de stijghoogteverschillen zoals verwacht bij Bolscher B en Meijer-Dreteler B nihil. Bij Scholten B kan het stijghoogteverschil toch nog 20 cm zijn, hetgeen overeenkomt met de helft van dat bij de probleemplekken A. Bij Brummelhuis B kan het stijghoogteverschil zelfs 40 cm zijn en kan daarmee gelijk zijn aan dat bij de probleemplekken A. Door de diepe grondwaterstanden komt deze stijghoogte echter

niet aan het maaiveld. De berekende verzadigde doorlatendheden bij Brummelhuis B en Scholten B zijn iets hoger dan bij de A-plekken.

Bij de B-plekken treedt alleen bij Bolscher eenmalig plasvorming op. Daarbij moet rekening gehouden dat dit plasvorming is ten opzichte van het maaiveld bij de buis die het hoogst gelegen is. De leemgehalten van de laag die zit op de overgang van de A naar de C-horizont is bij de A-plekken van Meijer en Scholten hoger dan op de B-plekken. De gemeten indringweerstand zijn bij alle B-plekken vrij hoog. Scholten B en Meijer-Dreteler B hebben grote dichtheden, maar hebben grote poriën, hoewel dit bij Scholten B niet heeft geresulteerd in een verwaarloosbaar lage gemeten stijghoogteverschil over de dichte laag heen en ook niet in een hoge berekende verzadigde doorlatendheid.

Bij vergelijking van de globaal berekende verzadigde waterdoorlatendheden bij de locaties Scholten en Meijer-Dreteler in tabel 16 en de aan grondmonsters gemeten verzadigde doorlatendheden in tabel 9, blijkt dat de in het laboratorium gemeten doorlatendheden veel groter zijn dan de doorlatendheden die zijn berekend uit veldgegevens. Mogelijke redenen voor dit verschil zijn: (1) worm- en wortelgangen die over de volle hoogte van het labmonster doorlopen, terwijl deze in het veld niet door de dichte laag komen, (2) optreden van randstroming tussen monster en monsterring (Vroon et al., 1988, Dekker et al., 1990), (3) in veldomstandigheden kan onder de verzadigde laag een onverzadigde laag (met schijnwaterspiegel) zitten, waardoor het water moeilijk uit de verzadigde laag treedt, (4) het labmonster wordt van onderen af goed verzadigd, waarbij de lucht naar boven wordt uitgedreven, terwijl in het veld bij bevochtiging lucht in de 'verzadigde' grond kan worden opgesloten. Lucht opgesloten in de grond kan de verzadigde waterdoorlatendheid sterk doen afnemen. De in het laboratorium gemeten verzadigde waterdoorlatendheid is door het uitdrijven van lucht tijdens verzadiging per definitie de hoogste te verwachten doorlatendheid die in het veld optreedt. Ook kan deze traditionele wijze van bemonsteren in gelaagde horizonten leiden tot haarscheurtjes, waardoor uiteindelijk aanzienlijk hogere doorlatendheden worden gemeten dan met de methode die door Vroon in 1988 is beschreven. Verder is in het veld de verzadiging namelijk verre van ideaal waardoor de doorlatendheid in het veld lager is dan in de laboratoriummeting.

Het is daarom niet verwonderlijk dat de grof berekende waterdoorlatendheden op basis van de in het veld gemeten stijghoogteverschillen beter verklaren waarom plasvorming optreedt dan de in het laboratorium bepaalde verzadigde waterdoorlatendheden. Echter, een in een laboratorium gemeten verzadigde doorlatendheid kleiner dan 10 cm/dag geeft in ieder geval aan dat er geen doorlopende grote poriën zijn. Omdat de aanwezigheid van doorlopende macroporiën in hoge mate bepaalt of een dichte laag een belemmering vormt voor waterinfiltratie en beworteling, is deze laboratorium meting daarmee een goede indicator of een gemeten (te) hoge volumedichtheid of indringweerstand werkelijk resulteert in een probleem.

## 4.5 Antropogene verdichting en slecht doorlatende lagen

De oorzaak van antropogene verdichting is de steeds zwaarder wordende mechanisatie. Met name het emissiearm uitrijden van drijfmest door zware loonwerkmachines vroeg in het voorjaar verhoogt de kans op verdere verdichting. Proefveldonderzoek gedurende het vroege voorjaar op grasland in een zandgrond (beekeerd) toont aan dat berijden met een zodenbemester geen significant effect op de bodemdichtheid in de wortelzone heeft (de Boer en Van Eekeren, 2007). Uit de metingen bij Scholten A blijkt echter dat wel degelijk hoge dichtheden en zeer slechte doorlatendheden in de bovengrond op een diepte van slechts 12 - 17 cm diepte kunnen voorkomen. Ondergrondverdichting direct onder de bovengrond is echter een veel meer voorkomend probleem (Van den Akker et al., 2006, Van den Akker en De Groot, 2008). Ondanks de zware wiellasten hoeft niet altijd verdere verdichting van de ondergrond op te treden, omdat veel zandondergronden al van nature erg dicht en/of verkit zijn (Houben, 1979; Locher en De Bakker, 1987). Wanneer deze natuurlijke dichte ondergronden zijn gewoeld (variërend van net in de ondergrond tot ca 80 cm diepte) omdat de bewortelingsdiepte of de infiltratiecapaciteit te gering werd geacht, is een nieuwe situatie ontstaan met een verdichtingsgevoelige laag onder andere doordat vaak menging is opgetreden. Bij herverdichting is de bodemfysische bodemkwaliteit vaak veel slechter geworden dan deze oorspronkelijk was (Kooistra en Boersma, 1994).

Slecht doorlatende lagen kenmerken zich door een dichte pakking, inspoelingslagen en de afwezigheid van grote doorgaande poriën zoals worm- en wortelgangen en bij klei- en veengronden ook krimpscheuren. Een dichte betonstructuur kan ontstaan indien grof zand, fijn zand en lemig materiaal in gemengde vorm aanwezig is zodat de poriën tussen de grovere zandkorrels kunnen worden opgevuld en alleen zeer fijne poriën overblijven.

Bij alle A plekken in het onderzoek liggen direct onder de bovengrond één of enkele aansluitende lagen met een hoog leemgehalte (minimaal 30%). Bij Bolscher A en Scholten A komen bovendien binnen de 1,2 meter diepte nog meer leemlagen of slecht doorlatende lagen voor. Bij alle B plekken in het onderzoek is het leemgehalte van de laag direct onder de bovengrond vrij laag (ten hoogste 19%). Bij Bolscher B en Brummelhuis B begint op een diepte van 1,15 respectievelijk 1,0 meter diepte een leemlaag. Bij alle A plekken, behalve bij Brummelhuis A zijn de leemlagen direct onder de bovengrond slecht doorlatend, zoals volgt uit de stijghoogteverschillen over de lagen en de daaruit grofweg berekende doorlatendheden (tabel 16). Dit leidt in alle drie de gevallen tot veelvuldige plasvorming (zie tabel 16). Brummelhuis A vormt een uitzondering doordat de plek nabij een locale laagte gelegen is en het maaiveld op deze plek onder een helling ligt, waardoor laterale afstroming gemakkelijk kan plaatsvinden. Misschien dat ook het losmaken van de storende laag ca 2 jaar geleden heeft geholpen. Wel worden in de ondiepe buis in natte perioden veelvuldig stijghoogtes gemeten binnen 20 cm – mv. De indringweerstand zijn bij Brummelhuis A tot een diepte van 60 cm waarschijnlijk als gevolg van de lössleem/beekleem in ieder geval onder de 3 MPa (zie figuren 10 en 11).

Bij de B plekken zijn bij Brummelhuis B en Scholten B de doorlatendheden van de laag direct onder de bovengrond slecht, hoewel dit volgens de grafieken (figuur 5 en 7) in beide gevallen niet tot frequente plasvorming leidt (zie tabel 16). Bij Brummelhuis B zien we dat dit komt omdat de stijghoogten in de lagen onder de slecht doorlatende laag vrij laag zijn. Ondanks een stijghoogteverschil van ca 40 cm over de slecht doorlatende laag komt het grondwater in de bovengrond daardoor niet aan maaiveld. Bij Scholten B komen zeer hoge volumedichtheden voor (zie tabel 10). Dit vormt een verklaring waarom de doorlatendheid zo laag is ondanks het wat lagere leemgehalte (15 - 20%). Bij Brummelhuis B zijn geen volumedichtheden bepaald. De indringweerstand van de laag net onder de bovengrond zijn net als bij Brummelhuis A niet bijzonder hoog (veel lager dan bij Scholten B). Dit is een aanwijzing (en niet meer dan dat) dat de volumedichtheden niet zeer hoog zijn. Uit het voorgaande kan de conclusie worden getrokken dat op de onderzochte locaties in de eerste plaats de textuur (leemgehalte in combinatie met gelaagdheid) en in de tweede plaats de volumedichtheid/pakking een aanwijzing zijn dat een laag slecht doorlatend is.

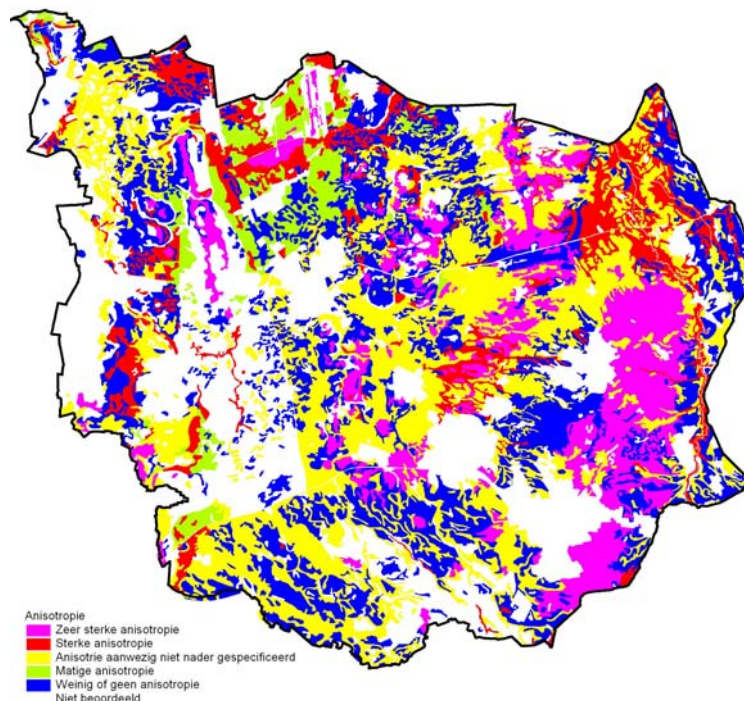
In principe is het niet mogelijk om aan te geven in welke mate bodemverdichting door berijden met machines de oorzaak is van de slechte waterdoorlatendheid van lagen direct onder de bovengrond. Hierbij dient wel te worden opgemerkt dat weerstandsbiedende lagen, die van nature in het bodemprofiel voorkomen, een cruciale rol spelen in de doorlatendheid van het bodemprofiel. Als gevolg van het periodiek plasdras staan van de percelen door deze lagen is de poriënstructuur in bovenliggende horizonten van nature minder gunstig ontwikkeld (dichtere pakking) dan wanneer deze lagen ontbreken en er sprake is van een goede ontwatering. Verdichting van een laag direct onder de bovengrond (de ploegzool) vooral in combinatie met een slecht doorlatende leemlaag net onder de ploegzool zal altijd leiden tot een verlaging van de waterdoorlatendheid. De natuurlijke waterdoorlatendheid kan van oorsprong al zo laag zijn dat de additionele verslechtering er niet toe doet. Echt bewijzen kan alleen door een vergelijking tussen een nooit bereiden stuk land en een naastgelegen praktijkperceel met hetzelfde bodemprofiel.

De aanwezigheid van leem, textuursprongen of pakkingsverschillen in de ondiepe ondergrond vergroot de gevoeligheid voor verdichting aanzienlijk omdat er van nature vaker en langdurig natte omstandigheden voorkomen. Door additionele antropogene verdichting neemt de infiltratiecapaciteit nog verder af en blijft de grond nog langer nat, zodat een neerwaartse spiraal wordt ingezet. Bij de A-plekken is een dergelijk proces te verwachten, maar ook bij Brummelhuis B en Scholten B treedt stagnatie op de laag direct onder de bovengrond op, ondanks het wat lagere leemgehalte in die laag (< 19%).

Aangezien de verschillen tussen de probleemlocaties A en de niet-probleemlocaties B vooral bepaald worden door het voorkomen van storende lagen, textuurverschillen en verschillen in pakkingsgraad zijn de A locaties meer verdichtingsgevoelig door de nattere omstandigheden als gevolg van dergelijke ondiep voorkomende storende lagen. De negatieve effecten van verdichting kunnen de wateroverlastproblemen aanzienlijk verergeren.

## 4.6 Verdichtingsgevoelige gronden in Twente

Door Van der Gaast et al. (2006a) is op schaal 1 : 50.000 een kaart gemaakt van de anisotropie (mate van voorkomen van gelaagdheid) van de ondiepe bodem van Nederland. De kaart is op basis van bodemkundige kenmerken afgeleid van de landsdekkend digitaal beschikbare bodemkaart 1:50.000. In de kaart zijn in totaal zes klassen onderscheiden, die aangeven in welke mate anisotropie en de daarmee samenhangende effecten op de freatische grondwaterstand, als gevolg van potentiaalverschillen, verwacht kunnen worden. In figuur 15 is een uitsnede uit die kaart voor het Waterschap Regge en Dinkel gegeven. Het feit dat de aanwezigheid van gelaagdheid in de ondiepe ondergrond leidt tot een natte, makkelijker verdichtbare grond bovenin het profiel, maakt deze kaart globaal geschikt om als basis te dienen voor een kaart om de verdichtingsgevoeligheid aan te geven. Naast het vochtgehalte spelen ook aspecten zoals de grondsoort, het leemgehalte, het organisch stofgehalte en het grondgebruik een rol bij de gevoeligheid voor verdichting. De anisotropiekaart geeft zoals verwoord ook de mate van wateroverlast aan die wordt veroorzaakt door de aanwezigheid van meer of minder weerstandbiedende laagjes in het bodemprofiel. Deze kaart kan worden omgezet naar een potentiële wateroverlastkaart door naast de bovengenoemde aspecten ook het antropogeen verdicht zijn van de laag direct onder de bovengrond mee te nemen. De anisotropiekaart geeft nu al wel op een grof schaalniveau aan waar de kans op wateroverlast groter is dan men wellicht verwacht op basis van de plaatselijke droogleggingen en stijghoogten gemeten met diepe stijghoogtebuizen. Ook grondwatermodellen die gebaseerd zijn op die diepe stijghoogten en die de anisotropie negeren zullen de werkelijke situatie niet kunnen weergeven.



*Figuur 15. De aanwezigheid van anisotropie als gevolg van gelaagdheid in de bodem in het beheersgebied van het waterschap Regge en Dinkel*



De anisotropiekaart laat zien dat in het grootste deel van het beheersgebied van WRD ondiep slechter doorlatende lagen voorkomen met risico's op wateroverlast tot gevolg. Er dient echter wel te worden opgemerkt dat deze kaart is afgeleid van de bodemkaart schaal 1 : 50 000 en maar beperkte bodemkundige informatie geeft over de ondergrond. Daarnaast geeft de kaart hooguit informatie tot een diepte van maximaal 120 cm-mv. Indien wordt uitgegaan van gedetailleerder kaartmateriaal, zoals bodemkundige en hydrologische informatie uit detailkarteringen, dan kunnen er op een gedetailleerder schaalniveau concretere uitspraken worden gedaan over het al of niet voorkomen van anisotropie in het bodemprofiel en het effect hiervan op de waterhuishouding.



## 5 Conclusies en aanbevelingen

1. Weerstandbiedende lagen in de ondergrond veroorzaken op de onderzochte locaties forse verschillen in op verschillende dieptes gemeten stijghoogten.
2. Een slecht doorlatende veelal lemige laag onder de bovengrond, beginnende op 25 à 30 cm diepte, is de belangrijkste oorzaak voor plasvorming en stijghoogteverschillen die kunnen resulteren in schijnwaterspiegels. Bij Meijer A is dit duidelijk het geval. Bij andere plekken spelen ook diepere weerstandbiedende lagen een belangrijke rol. Boven deze dieper in het profiel gelegen weerstandbiedende lagen blijkt in veel gevallen de stijghoogte dermate hoog te zijn dat de grondwaterstanden tot in de bovengrond stijgen.
3. Een groot deel van de stijghoogteverschillen wordt in een verzadigde situatie gemeten. Er is dan geen sprake van een schijnwaterspiegel.
4. Antropogene ondergrondverdichting door hoge wiellasten blijkt op de plek Scholten A stijghoogteverschillen te veroorzaken. Op andere plekken blijkt uit de boorprofielen dat de bovenste centimeters van de ondergrond zijn losgemaakt, voor deze plekken is de specifieke bijdrage van antropogene verdichting niet aantoonbaar. Weerstandbiedende lagen komen van nature voor en kunnen daarnaast door antropogene verdichting ontstaan. Het is meestal niet mogelijk om te bepalen of de weerstandbiedende lagen zijn ontstaan door natuurlijke, antropogene, of beide vormen van verdichting.
5. Verdichting ontstaat onder vochtige tot natte omstandigheden. Omdat de aanwezigheid van weerstandbiedende lagen het ontstaan van nattere omstandigheden bevordert, kan juist op deze plekken verdere verdichting ontstaan waardoor de omstandigheden nog natter worden. Losmaken van storende lagen verbetert de doorlatendheid tijdelijk omdat losgemaakte grond zeer verdichtingsgevoelig is. Voorkomen van verdichting is daarom noodzakelijk.
6. Periodieke wateroverlast als gevolg van weerstandbiedende lagen hoog in het bodemprofiel kan niet zonder meer worden opgelost middels drainage en/of peilgestuurde maatregelen. Lokaal zal er gekeken moeten worden wat de mogelijkheden zijn om deze wateroverlast te verminderen dan wel op te heffen.
7. De anisotropiekaart van Van der Gaast en Vroon kan als basis fungeren om een kaart met de verdichtingsgevoeligheid te construeren.
8. Op basis van de anisotropiekaart voor Twente komen daar veel van dit soort lagen in de ondiepe ondergrond (tot 120 cm-mv.) voor. Deze informatie is gebaseerd op de bodemkaart schaal 1:50.000 die met betrekking tot de samenstelling van ondergrond geen gedetailleerde informatie verstrekt. Voor meer gebiedsspecifieke informatie omtrent anisotropie en de gevolgen hiervan op de waterhuishouding zou men (indien aanwezig) de informatie uit de detailkarteringen (schaal 1:10.000) kunnen raadplegen.
9. De gehanteerde uitgebreide meetopzet, waarbij stijghoogtemetingen zijn gecombineerd met de standaardmethode voor verdichtingsmetingen, geven resultaten die aansluiten bij de praktijk.
10. De gecombineerde resultaten van de bodemfysische metingen blijken redelijk overeen te komen met resultaten van de stijghoogtemetingen.

11. De in het laboratorium gemeten verzadigde doorlatendheden zijn te hoog om de gemeten langdurige stagnatie van water op storende lagen te kunnen verklaren. Nader onderzoek naar meetmethoden op dit gebied is noodzakelijk.
12. Een visuele beoordeling met behulp van boringen en profielkuilen, waarbij onder andere textuur, beworteling, porositeit en structuur worden beschreven, kan al veel zeggen of een laag een probleem vormt voor de waterhuishouding.
13. Het meten van de freatische grondwaterstand blijkt niet eenvoudig. Indien er weerstandsbiedende lagen aanwezig zijn dan dient men de filterstelling (filterdiepte) af te stemmen op de laagopbouw in de bodem. Het gebruik van een totaal geperforeerd peilfilter geeft afhankelijk van de situatie een gemiddelde stijghoogte, de diepe stijghoogte of de werkelijke freatische grondwaterstand weer. Nader onderzoek naar goede meetmethoden voor het meten van de correcte freatische grondwaterstand is noodzakelijk. Dit impliceert dat voor ieder freatisch meetpunt een boorbeschrijving moet worden opgesteld om de kwaliteit en representativiteit in zowel ruimte als in tijd van het meetpunt in te kunnen vaststellen. Voor nieuw in te richten freatische meetpunten is een protocol over het inrichten van de meetopstelling waarbij rekening gehouden wordt met de bodemgesteldheid noodzakelijk. Voor bestaande meetnetten die de freatische grondwaterstanden beogen te meten is het essentieel dat de bodemgesteldheid voor de meetlocaties in relatie tot de filterstelling bekend is om de meetgegevens te kunnen interpreteren en gebruiken..
14. Peilbuisgegevens van te diep geplaatste en/of doorlopende filters kunnen leiden tot aanzienlijke onderschatting van opbrengstdepressies die met behulp van de HELP-tabellen worden bepaald. Bij de onderzochte locaties kon daardoor de opbrengstdepressie met 0 - 19% worden onderschat. Het onderzoek laat zien dat bij percelen met weerstandsbiedende lagen in het profiel gedetailleerde veldinformatie noodzakelijk is om juiste opbrengstdepressies te bepalen. Om met de HELP-tabellen tot juiste schattingen van opbrengstdepressies te komen moet gebruik worden gemaakt van voldoende gedetailleerde bodem- en grondwaterinformatie.
15. De onderbouwing van de HELP-methode is in deze studie niet onderzocht. Dat grondgebruikers de ervaring hebben dat er wel natschade optreedt en dat uit een HELP-berekening die is gebaseerd op diepe grondwaterstanden volgt dat er geen of weinig natschade optreedt is niet een falen van de HELP-methode, maar is het gevolg van het gebruiken van verkeerde invoer bij toepassen van de HELP-tabellen.

Hoofdconclusie is dat het verschil in praktijk en theorie wat betreft hydrologie en natschade in Twente door anisotropie in het bodemprofiel kan worden verklaard. De anisotropie wordt veroorzaakt door van nature aanwezige weerstandsbiedende bodemhorizonten en kan daarnaast worden veroorzaakt of versterkt door antropogene verdichting.

## Literatuur

- Akker, J.J.H. van den en W.J.M. de Groot, 2008. *Een inventariserend onderzoek naar de ondergrondverdichting van zandgronden en lichte zavelen*. Wageningen, Alterra, Alterra rapport 1450, 77 blz.
- Akker, J.J.H. van den, G.D. Vermeulen, P.H.M. Dekker, A.P. Phillipsen, 2006. *Bodemverdichting*. Leidraad Bodembescherming.
- Alblas, J., F. Wanink, J.J.H. van den Akker en H.M.G. van der Werf, 1994. Impact of traffic-induced compaction of sandy soils on the yield of silage maize in The Netherlands. *Soil & Tillage Research* 29, 157-165.
- Boone, F.R., 1988. Weather and other environmental factors influencing crop responses to tillage and traffic. *Soil & Tillage Research* 11: 283-324.
- Commissie voor Hydrologisch Onderzoek TNO, 1986. *Verklarende hydrologische woordenlijst*. 's-Gravenhage. Rapporten en nota's no.16.
- Dekker, L.W., H.R.J. Vroon en A.H. Booiij, 1990. Gebruik van profiellak bij het nemen van ongestoorde monsters voor bodemfysische bepalingen. *H<sub>2</sub>O* 23, nr. 25, p. 691-693.
- Gaast, J.W.J. van der, H.R.J. Vroon en H.Th.L. Massop, 2006a. Verdroging veelal systematisch overschat. *H<sub>2</sub>O* nr 21, pag 25-29.
- Gaast, J.W.J. van der, H.R.J.Vroon en M. Pleijter, 2006b. *De grondwaterdynamiek in het waterschap Regge en Dinkel*. Wageningen, Alterra, Alterra rapport 1335, 140 blz.
- Gaast, J.W.J. van der, H.Th.L. Massop en H.R.J.Vroon, 2007. Kwantificering verdroging. *H<sub>2</sub>O* nr 3, pag 25-28.
- Houben, J.M.M.Th, 1979. *Bodemgesteldheid en diepte van beworteling*. Wageningen, Stiboka. rapport 1459.
- Huizinga, 1950. *Waarnemingen van grondwaterstanden ten behoeve van de grondmechanica*. Laboratorium voor Grondmechanica, Delft.
- Kooistra, M.J. en O.H. Boersma, 1994. Subsoil compaction in Dutch marine sandy loams: loosening practices and effects. *Soil Tillage Res.* 29: 237-247.
- Locher, W.P. en H. de Bakker, 1987. *Bodemkunde van Nederland*. Deel 1, Algemene bodemkunde. Malmberg, Den Bosch.

Scheer, J, van der, G. Schmidt, B. Worm, H. Geerlink en H. Huijskes, 2006. *Toepassing van Waterlood in Midden-Twente*. Waterschap Regge en Dinkel en Dienst Landelijk Gebied.

Soesbergen, G. van, C. van Wallenburg, K.R. van Lynden en H.A.J. van Lanen, 1986. *De interpretatie van bodemkundige gegevens*. Wageningen, STIBOKA. Rapport 1967.

Van den Akker, J.J.H. en P. Schjønning, 2004. Subsoil compaction and ways to prevent it. Chapter 10 in: Schjønning, P., Elmholt, S., Christensen, B.T. (eds). *Managing Soil Quality: Challenges in Modern Agriculture*. CABI Publishing, CAB International, Wallingford, Oxon, UK. pp. 163-184.

Vermeulen, G.D. en U.D. Perdok, 1994. Chapter 19. Benefits of Low Ground Pressure Tyre Equipment. In: Soane, B.D. and Ouwkerk, C. van (editors) *Soil Compaction in Crop Production. Developments in Agricultural Engineering*. Elsevier, Amsterdam: 447-478.

Vroon, H.R.J., 2008. Bodemkundig-hydrologisch onderzoek in het waterwingebied 'Vierlingsbeek'. *Bijlage briefnr. 07/ESG1940?VRN?WSH*, Alterra, Wageningen UR, Wageningen.

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

Werkgroep HELP-tabel, 1987. *De invloed van de waterhuishouding op de landbouwkundige productie*. Rapport van de werkgroep HELP-tabel. Mededelingen Landinrichtingsdienst 176, Landinrichtingsdienst, Centrale Directie, Utrecht. 44 blz + 4 Bijlagen.

Werkgroep Herziening Cultuurtechnisch Vademecum, 1988. *Cultuurtechnisch vademecum*. Cultuurtechnische Vereniging, Utrecht.

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, Alterra-rapport 153. 86 blz.

Worm, P.B., 2008 (niet gepubliceerd). *Schijngrondwaterspiegels: stand van zaken*. Tussenrapport 2. Waterschap Regge en Dinkel, Almelo.

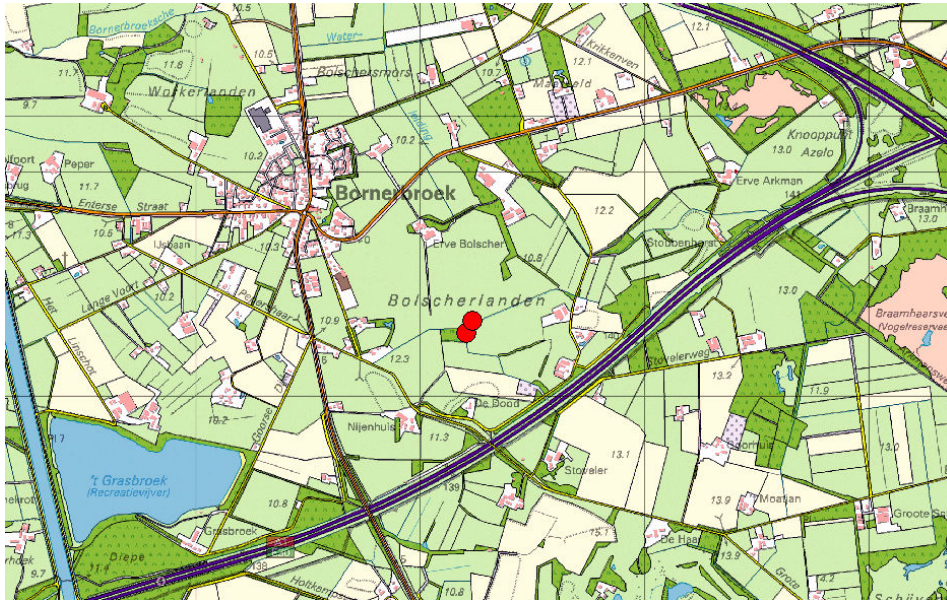
## **Bijlage 1 Locaties waar het onderzoek is uitgevoerd**

Op basis van het vooronderzoek zijn de bedrijven (1) Bolscher, (2) Brummelhuis, (3) Scholten en (4) Meijer-Dreteler geselecteerd. In deze bijlage zijn per locatie op een kaartje en op een luchtfoto de percelen en meetplekken aangegeven (B. Worm, tussenrapportage 2). Daarnaast is per locatie en meetplek het boorprofiel en op een schets de situering en diepte van de peilbuizen aangegeven.

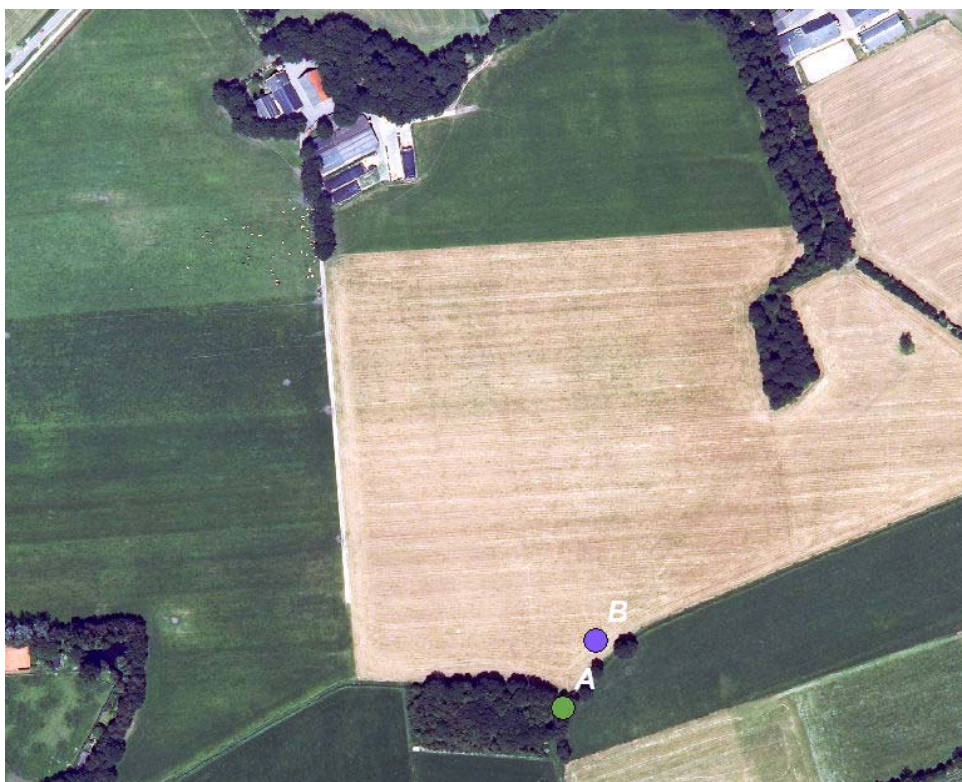




## Locatie 1: Bolscher



Figuur 1a. Overzicht onderzoekslocaties Bolscher



Figuur 1b. Overzicht locaties Bolscher (detail)

## Boorbeschrijving Locatie 1: Bolscher Plek A

Naam: J.H.M. Bolscher

Adres: Bornsestraat 13

Plaats: Bornerbroek

Profielbijzonderheden: antropogeen verdichte bouwvoor

Coördinaten profiel: x-242211, y-480280

Bodem- en grondwatertrapcodering punt (schaal 1 : 10.000): fbcZg55t-IIIa

Benaming: IJzerrijke matig fijnzandige, sterk lemige, matig dikke bruine beekerdgrond met leem in de ondergrond

Puntcodering (schaal 1 : 10.000):fc4h433t7

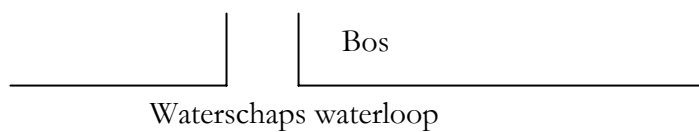
Bewortelbare diepte: 35 cm

Bijzonderheden:

Bodemgebruik:gras

Horizont Code	Org.stof (%)	Lutum (%)	Leem (%)	M50	Bijzonderheden
0- 1Aapg	9,0		22	155	
25- 1Aag	8,0		28	155	iets verdicht en versmeerd
35- 1Cgc			30	155	
45- 1Cg			15	155	
65- 2Cg			35	150	lössleem
90- 3Cgr			12	175	
105- 3Cr1			11	195	
120- 3Cr2			17	115	slecht doorlatend
200-					

## Situatieschets en filterstelling peilbuizen Locatie 1: Bolscher Plek A



- A1
- A6   ● A2   ● A4   ● A5
- A3

A1 filterdiepte 20 cm

A2 filterdiepte 42 cm

A3 filterdiepte 203 cm vanaf 140 afgedicht met Bentoniet

A4 filterdiepte 67 cm

A5 filterdiepte 196 cm totaal geperforeerd

A6 filterdiepte 49 cm vanaf 40 afgedicht met Bentoniet



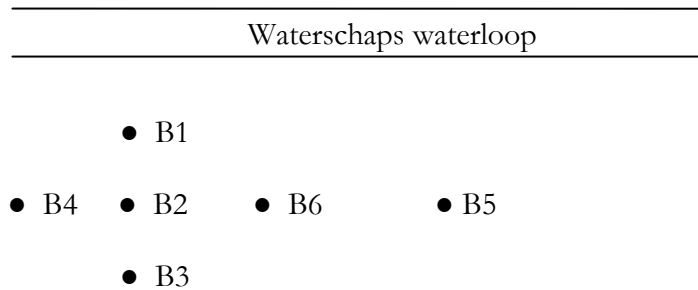
*Figuur 1c. Serie A, locatie Bolscher*

## Boorbeschrijving Locatie 1: Bolscher Plek B

Profielbijzonderheden: geen antropogeen verdichte lagen in het profiel  
 Coördinaten profiel: x-242236, y-480332  
 Bodem- en grondwatertrapcodering punt (schaal 1 : 10.000): btZg55-IIIb  
 Benaming: matig fijnzandige sterk lemige bruine beekerdgrond  
 Puntcodering (schaal 1 : 10.000): 4h433  
 Bewortelbare diepte: 35 cm  
 Bijzonderheden:  
 Bodemgebruik: gras

Horizont Code	Org.stof (%)	Lutum (%)	Leem (%)	M50	Bijzonderheden
0- 1Apg	5,0		20	155	
30- 1A/Cg	4,0		19	155	
35- 1Cg1			12	155	
50- 1Cg2			22	155	
65- 1Cg3			18	140	
85- 1Cg4			8	155	
100- 1Cgr			8	155	
105- 1Cr1			8	155	
115- 2Cr			40	120	lössleem
125- 3Cr1			17	130	
150- 3Cr2			11	135	
200-					

## Situatieschets en filterstelling peilbuizen Locatie 1: Bolscher Plek B



B1 filterdiepte 27 cm

B2 filterdiepte 35 cm

B3 filterdiepte 187 cm vanaf 140 afgedicht met Bentoniet

B4 filterdiepte 76 cm

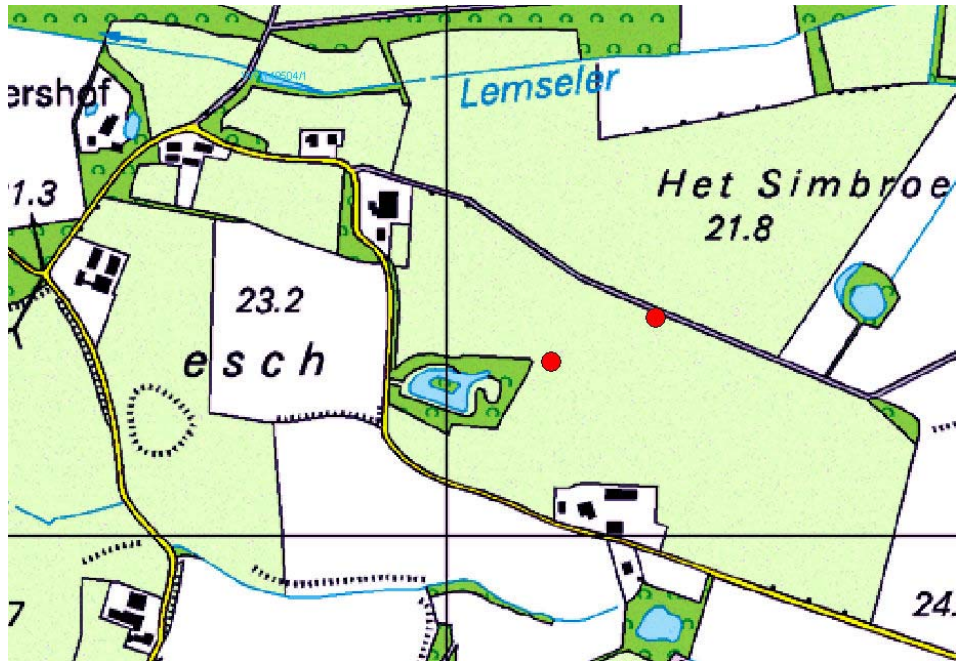
B5 filterdiepte 190 cm totaal geperforeerd

B6 filterdiepte 64 cm vanaf 40 afgedicht met Bentoniet





## Locatie 2: Brummelhuis



Figuur 2a. Overzicht onderzoekslocaties Brummelhuis



Figuur 2b. Overzicht locaties Brummelhuis op luchtfoto (detail)

## Boorbeschrijving Locatie 2: Brummelhuis Plek A

Naam: J.J.M. Brummelhuis

Adres: Lemselseveldweg 5

Plaats: Weerselo

Profielbijzonderheden: antropogeen iets verdichte laag in de bouwvoor

Coördinaten profiel: x-256140, y-483227

Bodem- en grondwatertrapcodering punt (schaal 1 : 10.000): tZg35tg-Vao

Benaming: zeer fijnzandige, sterk lemige zwarte beekerdgrond met leem in de ondergrond

Puntcodering (schaal 1 : 10.000): 4k423t4g8

Bewortelbare diepte: 35 cm

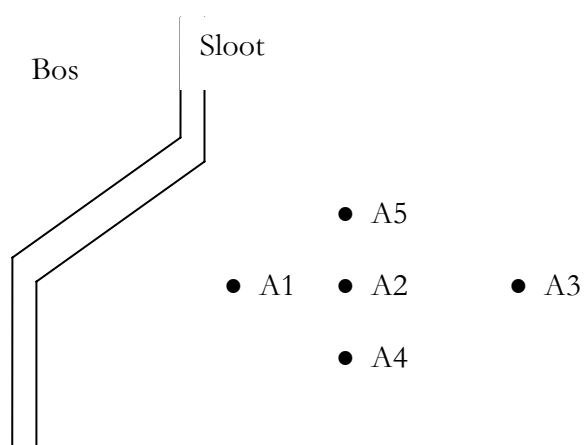
Bijzonderheden:

Bodemgebruik: gras

Horizont Code	Org.stof (%)	Lutum (%)	Leem (%)	M50	Bijzonderheden
0- 1Ap	5,0		20	145	iets verdicht
30- 1A/Cg	5,0		25	145	iets verdicht
35- 2Cg1	3,0		50	130	lössleem/beekleem
50- 2Cg2			22	140	lössleem/beekleem
55- 3Cg1			12	150	
75- 3Cg2			8	250	
135- 4Cg			50	120	lössleem
140- 4Cgr			50	120	lössleem
155- 4Cr			50	120	lössleem
230- 5Cr			14	130	
280-					



## Situatieschets en filterstelling peilbuizen Locatie 2: Brummelhuis Plek A



A1 filterdiepte 27 cm

A2 filterdiepte 135 cm

A3 filterdiepte 243 cm filter 20 cm vanaf 220 afgedicht met Bentoniet

A4 filterdiepte 246 cm totaal geperforeerd

A5 filterdiepte 132 cm filter 50 cm vanaf 75 afgedicht met Bentoniet



*Figuur 2c. Serie A, locatie Brummelhuis*

## Boorbeschrijving Locatie 2: Brummelhuis Plek B

Profielbijzonderheden: geen antropogeen verdichte lagen in het profiel

Coördinaten profiel: x-256278, y-483286

Bodem- en grondwatertrapcodering punt (schaal 1 : 10.000): Hn35t-Vld

Benaming: zeer fijnzandige, sterk lemige veldpodzolgrond met leem in de ondergrond

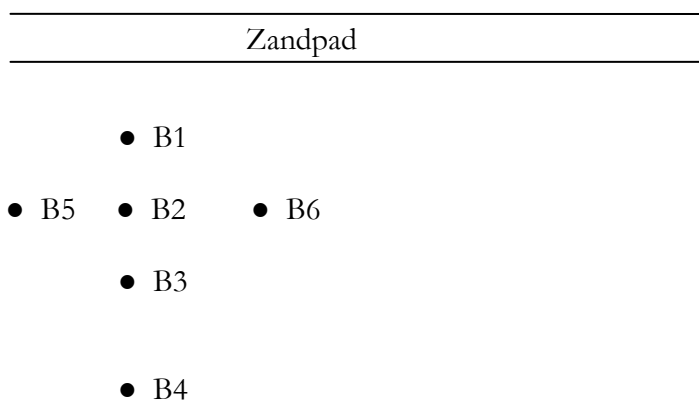
Puntcodering (schaal 1 : 10.000): 2r423t10

Bodemgebruik: gras

Bewortelbare diepte: 35 cm

Horizont Code	Org.stof (%)	Lutum (%)	Leem (%)	M50	Bijzonderheden
0- 1Ap	5,0		19	140	
30- 1BC/Cg	1,0		19	140	
35- 1Cg1			19	140	
45- 1Cg2			14	145	
75- 1Cg3			9	155	
100- 2Cg			35	140	lössleem
130- 3Cg			8	155	
190- 3Cgr			6	200	
230- 4Cr			50	120	lössleem
280- 5Cr			4	200	goede doorlatendheid
310-					

## Situatieschets en filterstelling peilbuizen Locatie 2: Brummelhuis Plek B



B1 filterdiepte 303 cm filter 20 cm vanaf 280 afgedicht met Bentoniet

B2 filterdiepte 85 cm

B3 filterdiepte 25 cm

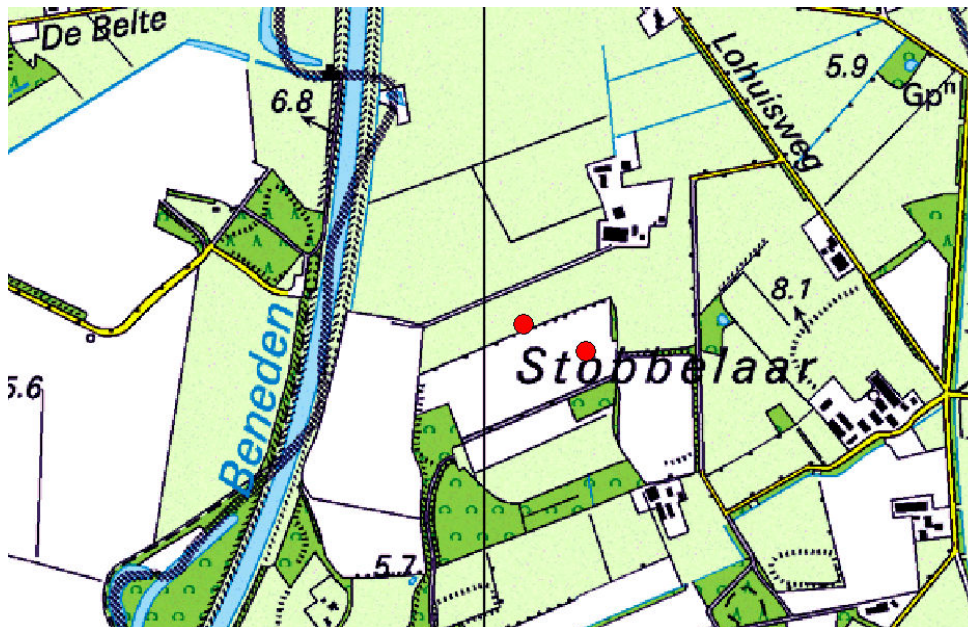
B4 filterdiepte 295 cm totaal geperforeerd

B5 filterdiepte 232 cm filter 80 cm vanaf 157 afgedicht met Bentoniet

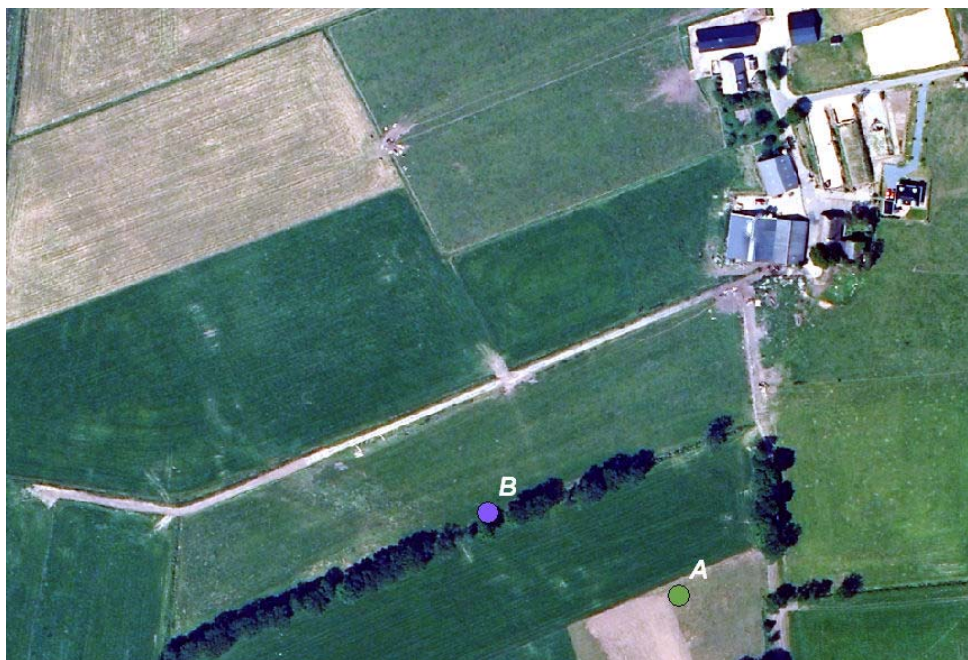
B6 filterdiepte 80 cm filter 20 cm vanaf 58 afgedicht met Bentoniet



### Locatie 3: Scholten



Figuur 3a. Overzicht onderzoekslocaties Scholten



Figuur 3b. Overzicht locaties Scholten op luchtfoto (detail)

## Boorbeschrijving Locatie 3: Scholten Plek A

Naam: H. Scholten

Adres: Voorlagenweg 3

Plaats: Hellendoorn

Profielbijzonderheden: antropogeen verdichte en versmeerde laag in de bouwvoor

Coördinaten profiel: x-227155, y-496457

Bodem- en grondwatertrapcodering punt (schaal 1 : 10.000): fbtZg55-IIIa

Benaming: IJzerrijke, matig fijnzandige, sterk lemige bruine beekeerdgrond

Puntcodering (schaal 1 : 10.000): f4h433

Bewortelbare diepte: 30 cm

Bijzonderheden:

Bodemgebruik: gras

Horizont Code	Org.stof (%)	Lutum (%)	Leem (%)	M50	Bijzonderheden
0- 1Ap/Cg	3,0		22	160	
30- 1Ap/Cg	6,0		30	160	verdichte en versmeerde laag (anaeroob)
35- 1Cgc			12	175	
45- 1Cg1			10	155	
60- 1Cg2			12	145	slechte doorlatendheid (dichte pakking)
100- 1Cr1			12	140	slechte doorlatendheid (dichte pakking)
120- 1Cr2			12	145	houtresten
150-					



## Situatieschets en filterstelling peilbuizen Locatie 3: Scholten Plek A

### Afrastering

---

- A3
- A4   ● A2   ● A5
- A1

A1 filterdiepte 13 cm

A2 filterdiepte 54 cm

A3 filterdiepte 160 cm filter 30 cm vanaf 130 afgedicht met Bentoniet

A4 filterdiepte 150 cm totaal geperforeerd

A5 filterdiepte 61 cm filter 20 cm vanaf 40 afgedicht met Bentoniet



*Figuur 3c. Serie A, locatie Scholten*

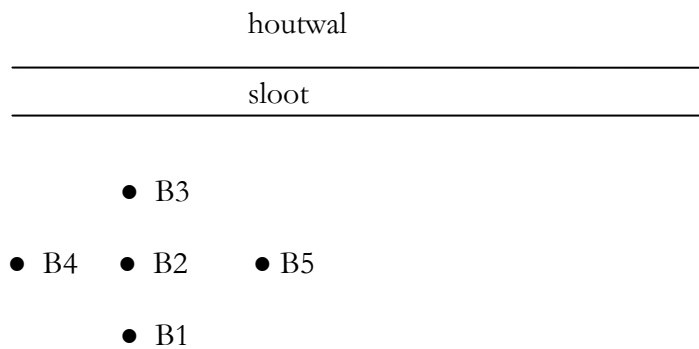
## Boorbeschrijving Locatie 3: Scholten Plek B

Profielbijzonderheden: geen antropogeen verdichte lagen in het profiel  
 Coördinaten profiel: x-227061, y-496498  
 Bodem- en grondwatertrapcodering punt (schaal 1 : 10.000): fbtZg55-IIIb  
 Benaming: IJzerrijke, matig fijnzandige, sterk lemige bruine beekeerdgrond  
 Puntcodering (schaal 1 : 10.000): f4h433  
 Bewortelbare diepte: 30 cm  
 Bijzonderheden:  
 Bodemgebruik: gras

Horizont Code	Org.stof (%)	Lutum (%)	Leem (%)	M50	Bijzonderheden
0- 1Ap/Cg	3,0		20	160	
30- 1Cgc			15	160	
45- 1Cg1			13	155	
75- 1Cg2			15	160	
110- 1Cr			6	185	goede doorlatendheid
150-					



### Situatieschets en filterstelling peilbuizen Locatie 3: Scholten Plek B



B1 filterdiepte 17 cm

B2 filterdiepte 59 cm

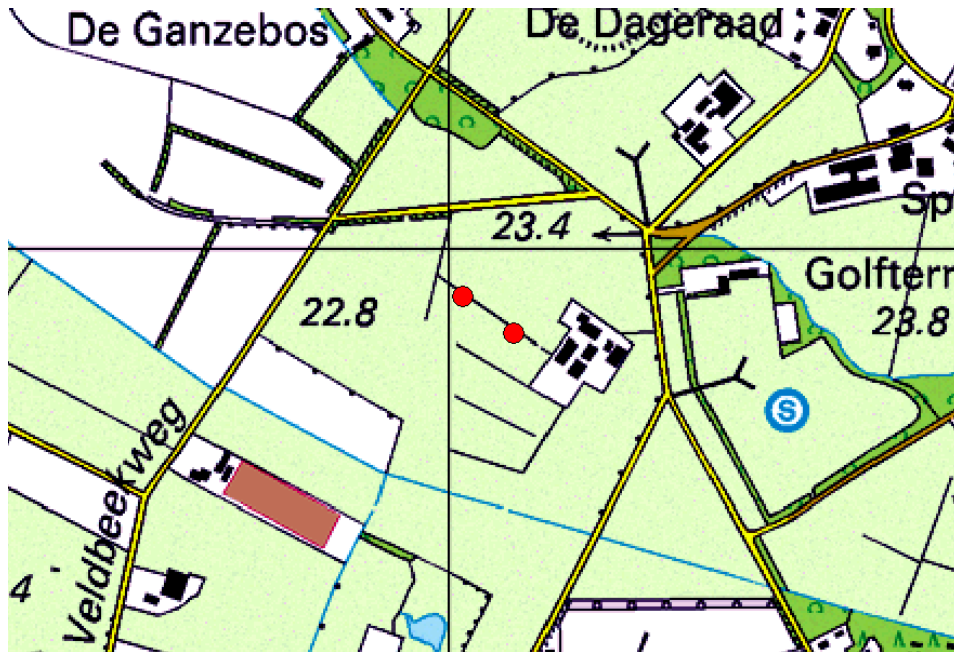
B3 filterdiepte 141 cm filter 30 cm vanaf 110 afgedicht met Bentoniet

B4 filterdiepte 139 cm totaal geperforeerd

B5 filterdiepte 59 cm filter 20 cm vanaf 40 afgedicht met Bentoniet



## Locatie 4: Meijer-Dreteler



Figuur 4a. Overzicht onderzoekslocaties Meijer-Dreteler



Figuur 4b. Overzicht locaties Meijer-Dreteler op luchtfoto (detail)

## Boorbeschrijving Locatie 4: Meijer-Dreteler Plek A

Naam: H.J.G. Meijer-Dreteler

Adres: Oude Deldenerweg 377

Plaats: Enschede

Profielbijzonderheden: antropogeen iets verdichte bouwvoor

Coördinaten profiel: x-250076, y-468901

Bodem- en grondwatertrapcodering punt (schaal 1 : 10.000): Hn53F-IIIa

Benaming: Verwerkte matig fijnzandige, zwak lemige veldpodzolgrond

Puntcodering (schaal 1 : 10.000): 2r432/F

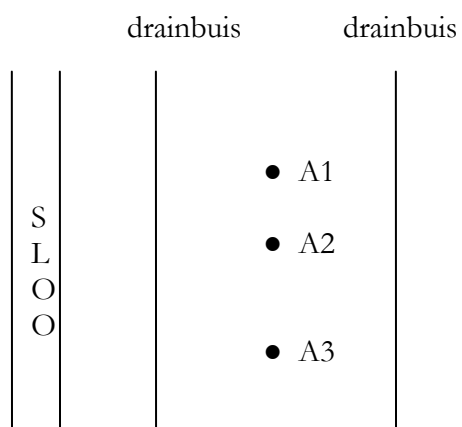
Bewortelbare diepte: 35 cm

Bijzonderheden:

Bodemgebruik: gras

Horizont Code	Org.stof (%)	Lutum (%)	Leem (%)	M50	Bijzonderheden
0-  -----    1Ap	8,0		14	170	iets verdicht
15-  -----					
1A/B/C	3,0		11	170	heterogeen
30-  -----					
1A/B/2Ce	3,0		35	150	iets heterogeen, de bovenste 5 cm is verdicht
40-  -----					
3Ce1			12	155	
45-  -----					
3Ce2			6	170	
80-  -----					
3Ce3			5	190	
85-  -----					
3Cr			5	180	
150-  -----					

## Situatieschets en filterstelling peilbuizen Locatie 4: Meijer-Dreteler Plek A



A1 filterdiepte 110 cm filter 60 cm vanaf 70 afgedicht met Bentoniet

A2 filterdiepte 27 cm

A3 filterdiepte 104 cm filter totaal geperforeerd



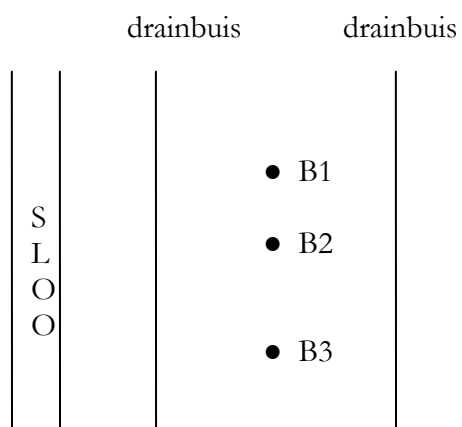
*Figuur 4c. Serie A, locatie Meijer-Dreteler*

## Boorbeschrijving Locatie 4: Meijer-Dreteler Plek B

Profielbijzonderheden: schrale heterogene bovengrond  
 Coördinaten profiel: x-250018, y-468943  
 Bodem- en grondwatertrapcodering punt (schaal 1 : 10.000): Hn53-IVu  
 Benaming: Matig fijnzandige, zwak lemige veldpodzolgrond  
 Puntcodering (schaal 1 : 10.000): 2r432  
 Bewortelbare diepte: 30 cm  
 Bijzonderheden:  
 Bodemgebruik: gras

Horizont Code	Org.stof (%)	Lutum (%)	Leem (%)	M50	Bijzonderheden
0- 1A/B	3,0		12	170	heterogeen
30- 1Ce1			11	170	
40- 1Ce2			9	165	
55- 1Ce3			15	155	
60- 1Ce4			8	170	
115- 1Cer			8	170	
125- 1Cr			8	155	
150-					

## Situatieschets en filterstelling peilbuizen Locatie 4: Meijer-Dreteler Plek B



B1 filterdiepte 124 cm filter totaal geperforeerd

B2 filterdiepte 31 cm

B3 filterdiepte 140 cm filter 70 cm vanaf 70 afgedicht met Bentoniet

