



---

# Verbreding Wilhelminakanaal Tilburg

Onderzoek naar krimp van veen- en leemlagen en oxidatie van veenlagen

G. Bakker, R.F.A. Hendriks en W.J.M. de Groot



**WAGENINGEN**  
UNIVERSITY & RESEARCH

---



---

# Verbreiding Wilhelminakanaal Tilburg

Onderzoek krimp van veen- en leemlagen en oxidatie van veenlagen

G. Bakker, R.F.A. Hendriks en W.J.M. de Groot

Dit onderzoek is uitgevoerd door Wageningen Environmental Research (Alterra).

Wageningen Environmental Research  
Wageningen, juli 2017

---

Rapport 2826  
ISSN 1566-7197

---

Bakker, G., R.F.A. Hendriks, W.J.M. de Groot, 2017. *Verbreiding Wilhelminakanaal Tilburg; Onderzoek naar krimp van veen- en leemlagen en oxidatie van veenlagen*. Wageningen, Wageningen Environmental Research, Rapport 2826. 124 blz.; 28 fig.; 10 tab.; 20 ref.

In de wijken direct gelegen aan het Wilhelminakanaal in Tilburg kan maaiveldzakking optreden als gevolg van onder andere krimp van leem- en veenlagen en oxidatie van veenlagen door verdroging. De verdroging is het gevolg van een kanaalpeilverlaging door het reduceren van het aantal sluisen in het Wilhelminakanaal van drie naar twee. De resulterende bodemdaling door krimp en oxidatie kan verzakking van en daardoor een kans op schade aan de daar aanwezige bebouwing veroorzaken. Dit rapport geeft de methodieken en resultaten weer van een uitgebreid veld-, laboratorium- en modelonderzoek om te komen tot een betrouwbare voorspelling van de te verwachten maaiveldzakking als gevolg van de plaatselijke grondwaterstandsverlaging.


Uit de gedetailleerde modelberekeningen van de Verfijningsfase blijkt dat in de profielen met de grootste kans op zakking, de maaiveldzakking door krimp kleiner is dan 3,9 mm en door 50-jarige oxidatie kleiner dan 15,8 mm op één onderzoeklocatie. Dit zijn maximale waarden (25 waarden voor krimp over 25 jaar modelberekening; en hoogste te verwachten zuurstofgehalten gebaseerd op naar het model doorvertaalde veldmetingen). De maximale zakking door oxidatie op alle andere punten blijft onder de 8,3 mm. Zodra de mediaan wordt beschouwd, blijven de krimp en oxidatie allen onder de 3,9 mm en 4,3 mm. De grondwaterstanddaling geeft tevens een belastingverhoging in de ondergrond, waardoor mogelijk (geotechnische) zetting kan optreden. Deze zetting is niet meegenomen in voorliggend rapport.

In districts located directly along the Wilhelminakanaal in Tilburg one fears subsidence as a result of shrinkage of peat and loam layers in the subsoil due to dehydration. Dehydration is caused by ground water level decline, as a result of a reduction of the amount of sluices in the Wilhelminakanaal from three to two. The resulting subsidence, caused by shrinkage and oxidation, can cause damage to the buildings in these districts. This report gives an outline of the methodologies and results of an extensive field, laboratory, and model research, with the aim to reliably predict the expected subsidence as a result of the foreseen ground water level decline.

Detailed model calculations show that in soil profiles, that potentially suffer most from subsidence, the subsidence caused by shrinkage is less than 3,9 mm, and by 50 year oxidation less than 15,8 mm on only one location. These are maximum values (25 values for shrinkage over 25 years model calculations; and the highest expected oxygen ratios, based upon field measurements that are translated to model parameters). The oxidation on the other points remain under 8,3 mm. Here within the model uncertainties are added. Using the median of the uncertainties, shrinkage and oxidation are all less than 3,9 mm and 4,3 mm respectively. The ground water level decline also give rise to load increase in the subsoil, which may cause (geotechnical) settling. This settling is not included in the current report.

Trefwoorden: Bodemfysica, bodemhydrofysica, krimp, veenoxidatie, bodemdaling, Wilhelminakanaal

Dit rapport is gratis te downloaden van <https://doi.org/10.18174/420191> of op [www.wur.nl/environmental-research](http://www.wur.nl/environmental-research) (ga naar 'Wageningen Environmental Research' in de grijze balk onderaan). Wageningen Environmental Research verstrekt *geen* gedrukte exemplaren van rapporten.

 2017 Wageningen Environmental Research (instituut binnen de rechtspersoon Stichting Wageningen Research), Postbus 47, 6700 AA Wageningen, T 0317 48 07 00, E [info.alterra@wur.nl](mailto:info.alterra@wur.nl), [www.wur.nl/environmental-research](http://www.wur.nl/environmental-research). Wageningen Environmental Research is onderdeel van Wageningen University & Research.

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

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

Wageningen Environmental Research Rapport 2826 | ISSN 1566-7197

Foto omslag: W.J.M. de Groot

---

# Inhoud

	<b>Woord vooraf</b>	<b>5</b>
	<b>Samenvatting</b>	<b>7</b>
<b>1</b>	<b>Inleiding</b>	<b>9</b>
	1.1 Probleemstelling	9
	1.2 Projectdoelstelling	9
<b>2</b>	<b>Materialen en Methoden</b>	<b>10</b>
	2.1 Kartering	10
	2.2 Bemonstering	12
	2.2.1 Hydrofysische gegevens	12
	2.2.2 Bodemlucht	13
	2.3 Laboratoriumanalyses	16
	2.3.1 Textuur	16
	2.3.2 Gloeiverlies	17
	2.3.3 Retentie- en onverzadigde waterdoorlatendheidskarakteristiek	17
	2.3.4 Verzadigde waterdoorlatendheid	19
	2.3.5 Krimpkarakteristiek	20
	2.3.6 Oxidatiesnelheid	21
	2.3.7 Zuurstofgehalte van bodemlucht	22
	2.4 Modelberekeningen	22
	2.4.1 Doel en modellen	22
	2.4.2 Korte beschrijving modellen	23
	2.4.3 Opzet	26
<b>3</b>	<b>Resultaten</b>	<b>33</b>
	3.1 Historisch vooronderzoek	33
	3.2 Bemonstering	36
	3.3 Kartering	38
	3.3.1 Veen	38
	3.3.2 Leem	44
	3.4 Laboratoriumanalyses	47
	3.4.1 Textuur	47
	3.4.2 Organisch Stof, M50 en textuurklasse	47
	3.4.3 Hydrofysische karakteristieken	48
	3.4.4 Krimpkarakteristieken	49
	3.4.5 Oxidatiesnelheid	49
	3.4.6 Zuurstofgehalte van bodemlucht	50
	3.5 Modelberekeningen	52
	3.5.1 Berekeningsfase	53
	3.5.2 Verfijningsfase	57
<b>4</b>	<b>Bespreking Resultaten en Conclusies</b>	<b>59</b>
	<b>Literatuur</b>	<b>62</b>

---

<b>Bijlage 1</b>	<b>Nadere beschrijving methoden modellering</b>	<b>64</b>
<b>Bijlage 2</b>	<b>Beschrijving van de modellen</b>	<b>90</b>
<b>Bijlage 3</b>	<b>Profielbeschrijvingen: Algemene informatie</b>	<b>95</b>
<b>Bijlage 4</b>	<b>Profielbeschrijvingen: Laag-informatie</b>	<b>99</b>
<b>Bijlage 5</b>	<b>Tussenboringen</b>	<b>118</b>
<b>Bijlage 6</b>	<b>Bodemhydrofysische gegevens - <i>Ork</i></b>	<b>120</b>
<b>Bijlage 7</b>	<b>Bodemhydrofysische gegevens - Verticale krimp</b>	<b>123</b>

---

# Woord vooraf

Dit onderzoek naar de mogelijke maaiveldzakking door oxidatie van veen en door krimp van veen- en leemlagen door grondwaterstandverlaging is onderdeel van het rapport "Deelrapport Effect op Bebouwing" van de opdrachtgever. Het maakt tevens deel uit van het integrale "Plan van Aanpak vervolgfase "visievariant" Verbreding Wilhelminakanaal Tilburg, Objectnummer 5207, eveneens opgesteld door de opdrachtgever. Dat onderzoek is erop gericht om te toetsen of de 'visievariant' voldoet aan het toetskader van de MER-2010.

Voorliggend onderzoek is gefinancierd door de Rijkswaterstaat. Wij zijn met name Léon Tiggelman en John Kimenai bijzonder erkentelijk voor de prettige en open samenwerking en hun nuttige inbreng tijdens dit onderzoek. Verder bedanken wij Falentijn Assinck, Eduard Hummelink en Jan van Kleef voor hun inzet tijdens de veldwerkzaamheden. Jan van den Akker (WENR, Wageningen University & Research) bedanken wij voor het uitvoeren van een interne review van dit rapport.

Wageningen, juli 2017

## **Redactionele noot**

Voorliggend rapport is geschreven in een onderzoeksfase waarin ervan uit wordt gegaan dat sluis II wordt verwijderd. Uiteindelijk heeft het ministerie van I&W besloten om sluis II niet te verwijderen, maar deze geschikt te maken voor de grotere scheepvaart.

Wageningen, Januari 2018





---

# Samenvatting

In de wijken direct gelegen aan het Wilhelminakanaal in Tilburg kan maaiveldzakking optreden als gevolg van krimp van leem- en veenlagen en oxidatie van veenlagen door verdroging. De verdroging is het gevolg van een kanaalpeilverlaging door het reduceren van het aantal sluizen in het Wilhelminakanaal van drie naar twee. De resulterende bodemdaling door krimp en oxidatie kan verzakking van en daardoor een kans op schade aan de daar aanwezige bebouwing veroorzaken. Dit rapport geeft de methodieken en resultaten weer van een uitgebreid veld-, laboratorium- en modelonderzoek om te komen tot een betrouwbare voorspelling van de te verwachten maaiveldzakking als gevolg van de plaatselijke grondwaterstandverlaging.

Het veldonderzoek had tot doel om beter inzicht te krijgen in de verspreiding van veen en in mindere mate ook van klei en leem in een bebouwd gebied dat mogelijk door kanaalpeilverlaging wordt beïnvloed. Tijdens de veldwerkzaamheden is wel leem, maar geen klei aangetroffen. In de rapportage wordt daarom zoveel mogelijk de term 'leem' aangehouden. Het bodemonderzoek dat in de Verkenningsfase door opdrachtgever is uitgevoerd is daarbij als uitgangspunt gehanteerd. Aanvullend op deze kartering is op een groot aantal punten een profielbeschrijving van de bodem gemaakt. Verder zijn op een vijftal locaties op verschillende diepten meer dan 80 grondmonsters genomen om te analyseren in het laboratorium. De laboratoriumanalyses geven informatie over het hydraulische gedrag van de veen- en leemlagen, maar ook van de overige bodemhorizonten boven deze kritische lagen: de retentiecapaciteit van de bodem, de doorlatendheid bij verschillende vochtgehalten, textuurverdeling, krimpkarakteristiek, dichtheden en organische-stofgehalten. Verder zijn op 10 locaties zuurstofgehalten in bodemlucht op verschillende diepten gemeten en zijn veenaafbraaksnelheden in het laboratorium gemeten.

Tezamen met de profielbeschrijvingen en meteo- en grondwaterstandgegevens zijn deze meetgegevens gebruikt om modelsimulaties met SWAP-ANIMO uit te voeren voor bodemprofielen in het gebied. De modelsimulaties hadden ten doel om de mate van krimp in veen en leem te kwantificeren, evenals de mate van oxidatie over een periode van vijftig jaar, de evaluatieperiode die Rijkswaterstaat hanteert voor beoordeling van zakkingschade. Dit is gedaan voor verschillende weerjaren, grondwaterstanden en bodemprofielen in het gebied.

In de Berekeningsfase, de eerste fase van de modelberekeningen, is op statistische wijze inzichtelijk gemaakt wat de verwachten krimp en oxidatie zal zijn. Samen met de geotechnische zetting is de totale maaiveldzakking bepaald en gebruikt voor de doorrekening naar gebouwszakking en schadecategorieën per onderzoeklocatie. Hieruit bleek dat een aantal woningen statistisch gezien kans liep op zakking.

Om een zakking voor deze specifieke onderzoeklocaties te kunnen bepalen, is in de Verfiningsfase, de tweede fase van de modelberekeningen, een niet-statistische benadering gevolgd. Daarbij zijn de tijdens het veldwerk gepaalde bodemprofielen in de directe nabijheid van deze onderzoeklocaties opnieuw geanalyseerd en doorgerekend. Omdat de oxidatiesnelheden en het organische-stofgehalte een maatgevend karakter hadden in het optreden van zakking in de vorige berekeningsfase, is de betrouwbaarheid van het model in deze fase verder vergroot door het te kalibreren op basis van zuurstofmetingen in het veld en zijn aanvullende organische-stofbepalingen uitgevoerd.

Uit de gedetailleerde modelberekeningen van de Verfiningsfase blijkt dat in de profielen met de grootste kans op zakking, de bodemdaling door krimp kleiner is dan 3,9 mm en door 50-jarige oxidatie kleiner dan 15,8 mm op één onderzoeklocatie. Dit zijn maximale waarden (25 waarden voor krimp over 25 jaar modelberekening; en hoogste te verwachten zuurstofgehalten gebaseerd op naar het model doorvertaalde veldmetingen). De maximale oxidatie op alle andere punten blijft onder de 8,3 mm. Zodra de mediaan wordt beschouwd, blijven de krimp en oxidatie alle onder de 3,9 mm en 4,3 mm. De grondwaterstanddaling geeft tevens een belastingverhoging in de ondergrond, waardoor mogelijk (geotechnische) zetting kan optreden. Deze zetting is niet meegenomen in voorliggend rapport.



---

# 1 Inleiding

## 1.1 Probleemstelling

In de wijken direct gelegen aan het Wilhelminakanaal in Tilburg bestaat kans op maaiveldzakking als gevolg van krimp van onder andere leem- en veenlagen door verdroging. Daarnaast kunnen veenlagen die boven het grondwater komen te liggen door luchtintreding gaan oxideren (verteren). De verdroging is het gevolg van een grondwaterstanddaling door het reduceren van het aantal sluizen in het Wilhelminakanaal van drie naar twee, waardoor het (water)verval groter wordt dan voorheen en de grondwaterstand plaatselijk daalt. De resulterende bodemdaling door krimp en oxidatie kan verzakking van en daardoor schade aan de daar aanwezige bebouwing veroorzaken. Verder kan verdroging optreden in de omliggende natuurgebieden (geen onderdeel van dit onderzoek). Om een voorspelling te doen van de mogelijke bodemdaling in de wijken door krimp en oxidatie, is een gedetailleerd onderzoek uitgevoerd. Daarvan wordt in dit rapport verslag gedaan.

## 1.2 Projectdoelstelling

Voorliggend onderzoek maakt deel uit van het rapport "Deelrapport Effect op Bebouwing". Het maakt tevens deel uit van het integrale "Plan van Aanpak vervolgfase "visievariant" Verbreding Wilhelminakanaal Tilburg, Objectnummer 5207.

Het doel van dit onderzoek is te komen tot een betrouwbare voorspelling van de te verwachten maaiveldzakking als gevolg van de plaatselijke grondwaterstandverlaging. Daarbij worden zowel oxidatie van veen als krimp van veen en leemlagen beschouwd. De output van dit rapport wordt gebruikt als bodemkundige input voor de berekening van de totale maaiveldzakking ten gevolge van de kanaalpeilverlaging zoals weergegeven in het "Deelrapport Effect op Bebouwing".

In het voorliggende rapport worden de volgende punten beschouwd:

- detailkartering (GIS-kaart) van de veengebieden zoals aangegeven in figuur 2.1;
- detailkartering van de leemgebieden zoals aangegeven in figuur 2.2. Tijdens de veldwerkzaamheden is wel leem, maar geen klei aangetroffen. In de rapportage wordt daarom zoveel mogelijk de term 'leem' aangehouden;
- resultaten van de laboratoriumanalyses die dienen als invoer voor het hydrologisch model (krimpcurven, retentiecurven, doorlatendheidscurven, dichtheden, organische-stofgehalten, textuur en oxidatiemetingen);
- resultaten van de modelberekeningen.

Naast dit rapport zijn (digitale) GIS-bestanden aangeleverd waarop de verspreiding en dikte van de veen- en leemlagen van het onderzochte gebied zijn aangegeven.

Er is geen uitgebreide kartering uitgevoerd buiten de gebieden van de figuren 2.1 en 2.2. De figuren zijn tot stand gekomen op basis van een verkennend bodemonderzoek door de opdrachtgever.

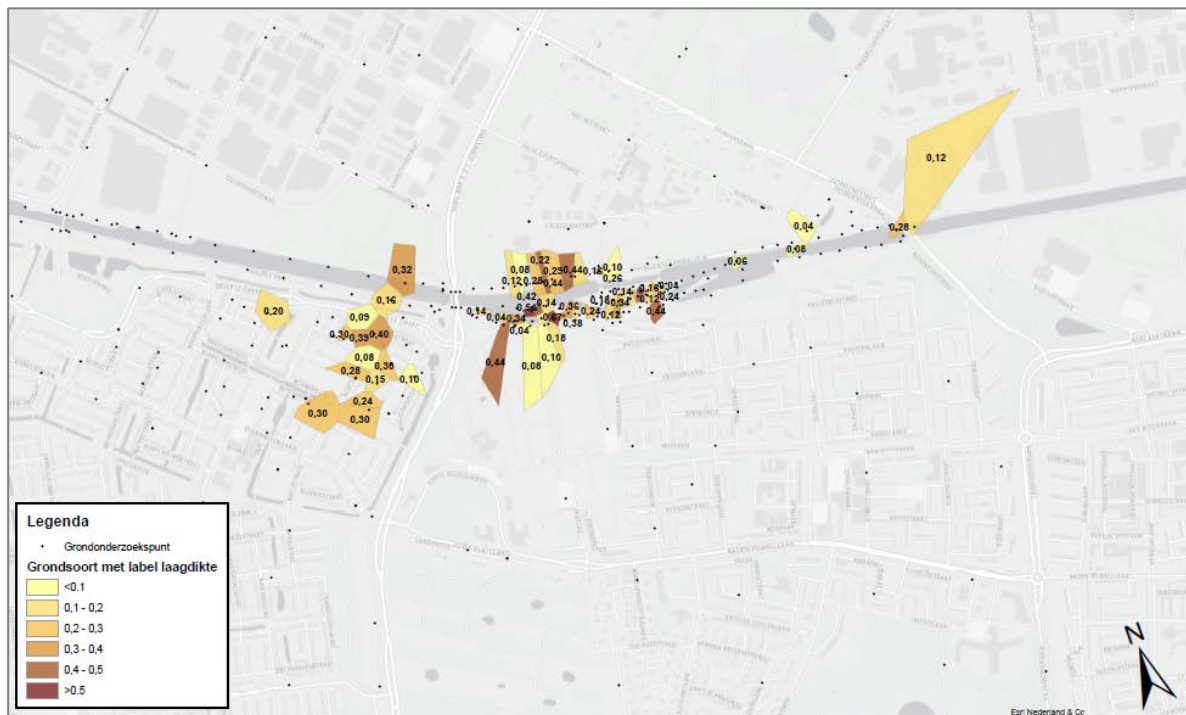
De resultaten van dit onderzoek worden door de opdrachtgever gebruikt om de totale maaiveldzakking te kunnen kwantificeren.

## 2 Materialen en Methoden

Dit hoofdstuk geeft een toelichting op de werkwijze van de kartering van de veen- en klei-/leemgebieden, de monsternamen, de monsteranalyse en de modellering ten aanzien van de doorwerking van de laboratoriumanalyses in de te verwachten krimp en oxidatie. Tijdens de veldwerkzaamheden is wel leem, maar geen klei aangetroffen. In de rapportage wordt daarom zoveel mogelijk de term 'leem' aangehouden.

### 2.1 Kartering

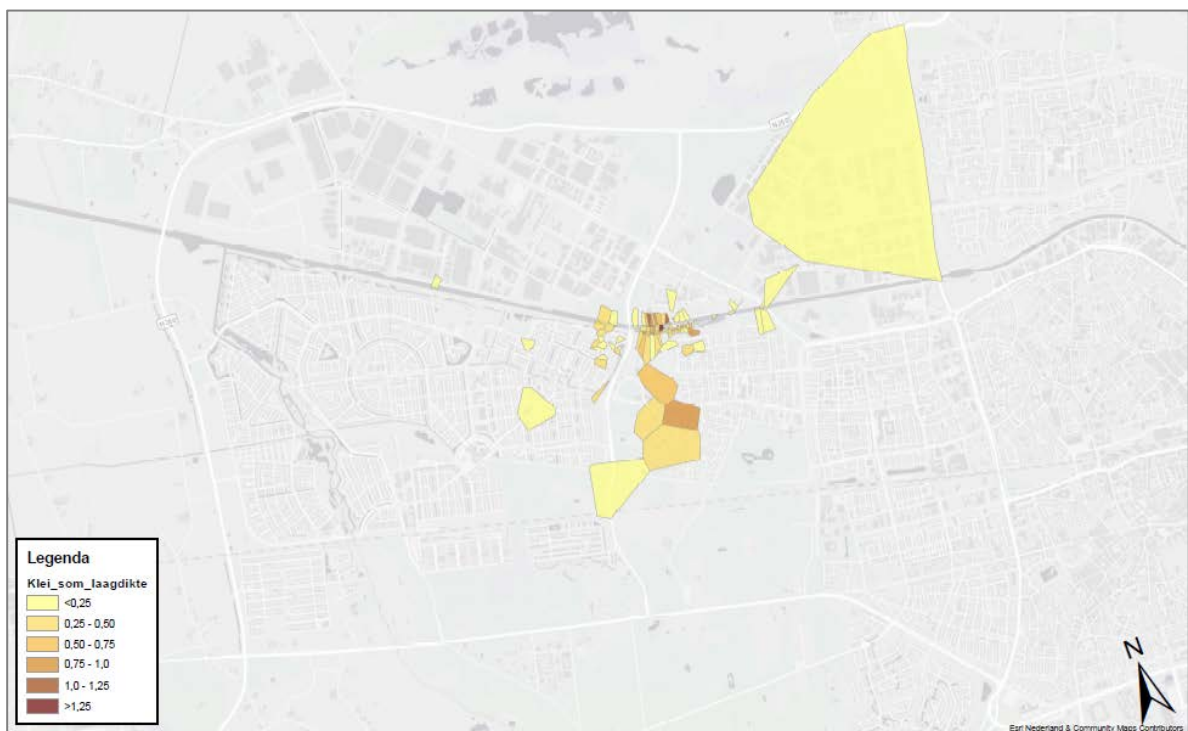
Het doel van de kartering is het beter afbakenen en karteren van leem- en veenlagen in het gebied waarin de grondwaterstanddaling rondom de herstructurering van de sluizen zich manifesteert. De kartering bestaat uit het maken van profielbeschrijvingen van de bodem in met name het toekomstige onverzadigde deel van de bodem. Om de grenzen van veen- en leemgebieden scherper te kunnen weergeven, zijn ook zogenaamde tussenboringen gedaan, waarin verder geen uitgebreide profielbeschrijving is gemaakt. De werkzaamheden hebben zich geconcentreerd in de gebieden die door de opdrachtgever zijn aangewezen als gebieden die potentieel veen bevatten (figuur 2.1). Die gebieden zijn door de opdrachtgever bepaald op basis van (relatief snel uit te voeren) sonderingen. Sonderingen bestaan uit het bepalen van zowel de indringingsweerstand als het wrijvingsgetal van en langs een sondeerconus. Deze gegevens zijn via kentallen omgerekend naar grondsoorten. De waarde van de uitkomsten van de gronden die *beneden* de grondwaterstand zijn gesondeerd, is indicatief. De vertaling van de sonderingen van de gronden die *boven* de grondwaterstand zijn bepaald, is niet geschikt voor de niet geschikt zijn voor interpretatie ten aanzien van aanwezigheid veen en leem. Om een beter beeld te krijgen van de verspreiding van de leem- en veenlagen is in voorliggend onderzoek een nauwkeurige kartering uitgevoerd.



**Figuur 2.1** Kaart van de opdrachtgever met potentiële veengebieden, vastgesteld op basis van sonderingen.

Daar waar overlap plaatsvindt met de door de opdrachtgever geïndiceerde leemgebieden zijn deze gronden ook in kaart gebracht (figuur 2.2). Besloten is om het gehele onderzoek met name te richten op de veengronden, omdat deze naar verwachting de grootste maaiveldzakking zullen geven.

Voor de detailkartering zijn de gebieden van figuur 2.1 gekarteerd door middel van het uitvoeren van handboringen, gemiddeld in een raster van 30 x 30 meter, maar afhankelijk van de situatie ter plekke dusdanig, dat een voor dit doel voldoende gedetailleerde begrenzing en dikte van de betreffende veenlaag is verkregen. Op sommige plaatsen is de afstand groter genomen, omdat duidelijk was dat het om een aaneengesloten gebied ging. Dit is steeds met steekproeven, de zogenaamde tussenboringen, gecheckt. Met name het lokaliseren van de veenlagen onder het huidige grondwaterniveau, heeft prioriteit gekregen, omdat die zones door het verlagen van de grondwaterstand het vatbaarst zijn voor verdroging, en dus voor krimp en oxidatie. Oxidatie treedt nauwelijks op in het anaerobe deel onder de grondwaterspiegel. De zone waarin veen voorkomt onder de huidige grondwaterspiegel is specifiek interessant, omdat de overige gebieden al geruime tijd boven de grondwaterstand liggen. Deze laatste gebieden zijn niet beschouwd, omdat eventuele krimp en oxidatie van deze lagen niet het directe gevolg zijn van de bedoelde grondwaterstandverlaging. Zij liggen nu al in de onverzadigde zone, waardoor oxidatie al heeft plaatsgevonden of nog steeds plaatsvindt. De toename van krimp en oxidatie in de lagen boven de huidige grondwaterstand door verdere grondwaterstanddaling zal vooral voor krimp zeer gering zijn (zie 2.4.3.1) en voor oxidatie ook beperkt. Bij krimp komt dat voort uit de krimpkarakteristiek en bij oxidatie geldt dat de oxidatiesnelheid van al decennia aan oxidatie blootgesteld veen resistenter is en een lagere oxidatiesnelheid heeft. Bovendien is het moeilijk die toename goed te scheiden van de al optredende krimp en oxidatie bij de huidige grondwaterstand.



**Figuur 2.2** Kaart van de opdrachtgever met potentiële kleigebieden, vastgesteld op basis van sonderingen. De gele gebieden zijn niet gekarteerd i.v.m. de lage schadekans. Tijdens de veldwerkzaamheden van WENR is wel leem, maar geen klei aangetroffen. In de rapportage wordt daarom zoveel mogelijk de term leem aangehouden.

Om een beter beeld te krijgen van de heterogeniteit in het voorkomen van veenlagen is op twee strategisch gekozen plaatsen in het gebied in een raai van 30 m met onderlinge afstanden van 5 m gekeken naar een mogelijk fragmentarisch karakter van de veenlagen.

---

De detailkartering is in eerste instantie uitgevoerd in de gebieden die door de opdrachtgever zijn aangewezen op basis van sonderingen "Aanwezigheid veen tussen huidige en toekomstige grondwaterstand – SC001 (Model 2015)", figuur 2.1. Dit betreft een gebied van circa 25.000 m<sup>2</sup> waarin tot een maximale diepte van 4 m onder maaiveld boringen zijn uitgevoerd. Omdat het waarschijnlijk om een vroeger veengebied gaat, is een ruimer gebied gekarteerd dan oorspronkelijk voorzien. Er is in principe niet dieper geboord dan tot de onderkant van de veenlaag. Er is ook niet dieper geboord dan tot de toekomstige grondwaterstand, omdat van zowel leem- als veengrond geen krimp en oxidatie onder de grondwaterspiegel te verwachten is. In het geval dat het aannemelijk was dat onder de veen- of leemlaag nog andere krimpende lagen voorkomen, is dieper geboord. De maximale boordiepte was in alle gevallen tot 4 m onder maaiveld. Om tot deze diepte te kunnen boren, is meestal gebruikgemaakt van een Van der Staay-boor, omdat beneden de grondwaterstand boren met een Edelmanboor vaak niet mogelijk is. Dieper boren dan tot 4 m onder maaiveld valt buiten de expertise van WENR, en is daarom vooralsnog niet uitgevoerd. Op basis van de uitgevoerde metingen (hoofdstukken 2 en 3) aan zuurstofgehalten in bodemlucht tot 3,0 m diep en de tegen deze metingen gekalibreerde zuurstofdiffusieparameters in het model ANIMO – aanpassingen die leidden tot sterk remmen van de zuurstofdiffusie – mag worden aangenomen dat in het algemeen oxidatie vrijwel verwaarloosbaar is op 4 m diepte. Bovendien is op geen enkel punt dieper dan 4 meter nabij bebouwing veen aangetroffen tijdens de sonderingen die hebben geleid tot figuur 2.1.

Van elk boorpunt is vastgelegd:

- Coördinaten;
- Uitgebreide profielbeschrijving tot maximaal 4 m onder maaiveld;
- Hoogte van de horizonten ten opzichte van NAP (afgeleid van het Algemene Hoogtebestand Nederland, de AHN-hoogtekaart);
- Grondgebruik, zoals begroeiing en verharding;

Daarnaast zijn tussenboringen uitgevoerd om de kartering te verifiëren.

Voor de detailkartering van de leemgebieden zijn alleen die gebieden van figuur 2.2 gekarteerd die geschat zijn op een dikte > 25 cm (alle niet-lichtgeel gemarkeerde gebieden). De geel gemarkeerde gebieden met een dikte van minder dan 25 cm hebben naar verwachting een dusdanig kleine krimp dat zij niet in de detailkartering zijn meegenomen. Omdat er een lagere prioriteit aan de leemgebieden is gegeven, is een kleinere resolutie aangehouden voor de kartering ervan. Deze boringen zijn verspreid over de (niet-gele) gebieden van figuur 2.2 uitgevoerd.

## 2.2 Bemonstering

### 2.2.1 Hydrofysische gegevens

In verband met de relatief lange doorlooptijd van de laboratoriumproeven is gestreefd naar een zo vroeg mogelijke bemonstering. In die context zijn de eerste dagen van de kartering besteed om geschikte bemonsteringslocaties te vinden waarin zich veen- en leemlagen bevinden.

Het graven van een diepe profielkuil voor bemonstering in stedelijke gebied is lang niet altijd mogelijk. Daarom zijn deze dagen ook gericht geweest op het vinden van hiervoor geschikte locaties. Er is specifiek gezocht naar locaties waarin het veen zich onder het huidige grondwaterniveau bevindt. Het veen is dan namelijk nog niet door oxidatie aangetast. Voor leemlagen is dit niet van belang, zodat deze wel boven het grondwaterniveau mogen liggen. Verder is gezocht naar boven en onder de veen- en leemlagen gelegen horizonten die een zo goed mogelijk beeld geven van het totaal aan horizonten binnen het onderzoeksgebied. Deze overige horizonten bepalen mede voor een groot deel de uiteindelijke vochtgehalten in de krimpende en oxiderende bodemlagen door capillaire eigenschappen en doorlatendheidseigenschappen voor water en stoffen vanuit het grondwater en de atmosfeer.

Op basis van de voor dit doel uitgevoerde profielbeschrijvingen zijn uiteindelijk vijf locaties voor het graven van profielkuilen geselecteerd. Op die locaties was het mogelijk om zowel drie representatieve leemlagen als drie representatieve veenlagen, of een combinatie van veen- en leemlagen, en overige

---

'gemiddelde' horizonten te bemonsteren. In samenwerking met de opdrachtgever zijn de profielkuilen voorzichtig met een graafmachine gegraven en zijn de zijkanten van de profielkuilen met een metalen bekisting afgedamd. Deze afdamming had meerdere doelen: i) beveiliging tegen instorting van de profielwand en ii) het voorkomen van het snel instromen van grondwater. Het grondwater was op de bemonsteringsdagen vaak dieper dan 1.30 m-mv, waardoor instroming beperkt bleef.

In de verschillende horizonten zijn de volgende monstersoorten genomen:

- Onverstoorde monsters in roestvrijstalen monsterringen ( $V=100\text{ cm}^3$ , hoogte  $h=5\text{ cm}$ , diameter  $D\approx 5\text{ cm}$ ) ten behoeve van de bepaling van de retentiecurve op de zandbak voor het traject  $h = 0$  tot  $-100\text{ cm}$  ( $pF=2$ ) en voor de bepaling van de krimp karakteristieken.
- Onverstoorde monsters in pvc-monsterringen ( $h=8\text{ cm}$ ,  $D\approx 10\text{ cm}$ ) ten behoeve van de bepaling van de retentiecurve en curve van de onverzadigde waterdoorlatendheid op de verdampingsopstelling voor het traject  $h = -10$  tot  $-700\text{ cm}$  ( $pF=1$  tot  $pF=2.8$ ).
- Onverstoorde monsters in pvc-monsterringen ( $h=10\text{ cm}$ ,  $D\approx 20\text{ cm}$ ) ten behoeve van de bepaling van de verzadigde waterdoorlatendheid ( $h = 0$ ).
- Verstoorde grondmonsters in zakken ter bepaling van de textuur en het organische-stofgehalte.

De ringen voor de onverstoorde monsters zijn dusdanig voorzichtig met de hand of met hulp van een graafmachine gelijkmatig in de grond gebracht dat de structuur van de grond behouden is gebleven. Daarna zijn de monsterringen rondom uitgegraven en met folie omwikkeld zodat er met vervoer naar het laboratorium geen grond uit de ringen kon vallen. In het laboratorium zijn de monsters verder geprepareerd. De  $100\text{ cm}^3$ -ringen zijn in het veld al voor geprepareerd met een vlakke boven- en onderzijde. Vervolgens zijn de monsters dezelfde dag nog bij 4 graden Celsius opgeborgen voor verdere analyse in het laboratorium. Bij de bemonstering van de diepere lagen is de bovengrond eerst voorzichtig afgegraven tot de bovenzijde van de benodigde horizont, waarbij de bovenzijde netjes vlak is afgewerkt. De betreffende horizont is daarbij onverstoord gebleven, wat betekent dat er niet overheen is gelopen en niet verticaal met de schop in is gestoken. Tijdens monsternamen is tevens een profielbeschrijving gemaakt en zijn onder andere de volgende gegevens genoteerd op de veldcomputer:

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

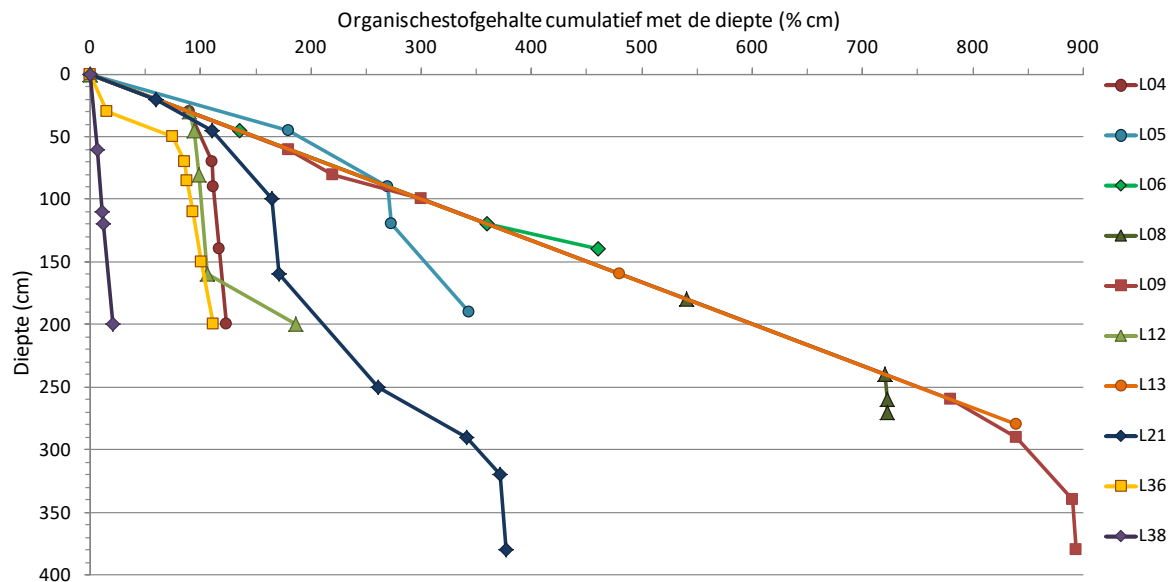
### 2.2.2 Bodemlucht

Bodemlucht is op verschillende locaties en diepten bemonsterd om in het laboratorium te analyseren op het zuurstofgehalte. Doel daarvan was om na te gaan hoe diep zuurstof kon doordringen in relevante voorkomende bodemprofielen met veenlagen. Dit was belangrijk om twee redenen om in de modellering de zuurstofdiffusieparameters van model ANIMO tegen de zuurstofgehalten te kalibreren (ijken).

Er zijn tien locaties gekozen waar 'luchtbuizen' met drie tot vijf luchtkamers in de bodem zijn ingebracht. Het probleem bij het vinden van geschikte locaties was dat dit deelonderzoek zich feitelijk richtte op de toekomstige situatie met gedaalde grondwaterstand en drooggevallen veenlagen. Omdat deze situatie nog niet bestond, zijn ook locaties gekozen zonder veenlaag, maar met diepe grondwaterstanden. De keuze van de locaties was volledig gebaseerd op de boorpunten met profielbeschrijving met geschatte organische-stofgehalten uit de kartering (paragraaf 2.1 en bijlagen 3 en 4).

De volgende eisen zijn gesteld aan geschikte locaties:

1. Locaties met de meeste informatie over bodemgegevens hadden de voorkeur. Dit waren de drie locaties L04, L05 en L06 met profielkuilen met veenlagen.
2. Een groot deel van de locaties moest veen in de ondergrond hebben om voorkomende profielen boven veenlagen zo goed mogelijk te kunnen onderzoeken. In totaal waren dat zes locaties.
3. Er moesten locaties met verschillende hoeveelheden organische stof in het profiel worden meegenomen, om het effect van zuurstofverbruik in de bovengrond te kunnen onderzoeken. De keuze voor de profielen is gemaakt op basis van de organische-stofgehalten uit de kartering (figuur 2.3).
4. Er moesten enkele locaties met een grondwaterstand dieper dan 2,5 m bij de gekozen locaties zitten, zodat ook zuurstofdiffusie in de diepere lagen kon worden onderzocht. Zuurstofdiffusie stopt vlak boven de grondwaterstand. Daarbij is gezocht naar minstens één locatie met en één zonder veel organische stof in het profiel. Dit heeft geresulteerd in drie locaties, waarvan één met veen.
5. Locaties met verschillende bedekkingen aan maaiveld moesten vertegenwoordigd zijn, om het effect van de aard van de bovengrond (beplanting en verharding) mee te nemen in de mate van zuurstoftoetreding in de bovengrond. Dit heeft geresulteerd in zes locaties met gras, twee met 'plantsoenbos', één met stoeptegels en één met straatklinkers.



**Figuur 2.3** Organische-stofgehalte cumulatief met de diepte in het profieldeel boven de veenlaag of de grondwaterstand (indien veen niet aanwezig) van de tien gekozen locaties met luchtbuizen. De organische-stofgehalten zijn afkomstig uit de bodemkartering (paragraaf 2.1).

Figuur 2.3 toont het organische-stofgehalte cumulatief met de diepte, wat een goede maat is voor de hoeveelheid organische stof in een bepaald dieptetraject vanaf maaiveld. Dit is belangrijk voor de zuurstofdoordringing in de bodem, omdat organische stof zuurstof verbruikt voor oxidatie. Een bovenliggend profiel met veel organische stof kan op die manier een veenlaag beschermen tegen oxidatie. Omdat het gaat om geschatte organische-stofgehalten, zijn tijdens het plaatsen van de luchtbuizen op elke locatie op verschillende diepten verstoorde monsters genomen om daarvan in het laboratorium het organische-stofgehalte te bepalen. Tabel 2.1 geeft de gekozen locaties waar luchtbuizen zijn geplaatst met hun kenmerken.



**Tabel 2.1** Kenmerken van de tien locaties met luchtbuizen. Alle kenmerken zijn afkomstig van de bodemkartering (paragraaf 2.1).

Locatie	Begin veenlaag (cm -mv)	Grondwaterst. (cm -mv)	Org.stofrijkdome boven veen/grw.	Aantal luchtkamers	Aantal monsters	Bodembedekking of begroeiing
L04	200	140	laag	3	3	gras
L05	230	170	middel	3	3	gras
L06	140	170	hoog	3	2	gras
L08	270	265	hoog	3	5	gras
L09	geen veen	370	hoog	5	4	plantsoenbos
L12	geen veen	200	laag	4	3	gras
L13	geen veen	200	hoog	3	3	gras
L21	geen veen	375	laag	5	3	plantsoenbos
L36	200	180	laag	3	3	straatklinkers
L38	200	170	zeer laag	3	7	stoeptegels

De luchtbuizen zijn geplaatst op 14 en 18 april 2017. Ze werden ter plekke in elkaar gezet, nadat na het boren van een gat met een Edelmanboor (diameter 60 mm) was vastgesteld op welke diepte de luchtkamers zouden komen. Zij bestonden uit stukken grondwaterbuis met een diameter van 32 mm waartussen 10 cm lange luchtkamers werden bevestigd. De luchtkamers waren stukken filterbuis met spleten in langsrichting met aan de uiteinden een polyethyleen eindstuk voor luchtdichte afdichting. Zij werden met pvc-moffen op de tussenstukken grondwaterbuis gelijmd. In elk kamertje werd een polyethyleen slangetje bevestigd met een binnendiameter van 1,5 mm dat langs de buis naar de bovenkant werd geleid en daarop werd vast getapet. Op de bovenkant van de slangetjes werd een Luer-lock koppelstuk voor een spuit of injectienaald gelijmd dat werd afgesloten met een dopje. Ten slotte werd over het geheel een filterkous getrokken en op de buis vast getapet.

De buis werd in het gat geplaatst dat werd opgevuld met een 20-30 cm dikke laag filterzand rond de diepste luchtkamer waarna een laag Mikoliet (zwekllei) werd aangebracht tot 5-10 cm onder het volgende, bovenliggende filter. Dit werd herhaald tot het gehele gat was opgevuld. Elke laag vulmateriaal werd in kleine stapjes aangebracht en zorgvuldig aangestampd met een buis die over de luchtbuis werd geplaatst en waarop een maatverdeling was aangebracht om continu de diepte te controleren. De bovenkant van de luchtbuis lag circa 10 cm onder maaiveld en werd afgedekt met een straatpot die werd bedekt met de originele maaiveldbedekking (graspol, tegel of steen).

Hoewel Mikoliet anders dan bentoniet vochtig wordt geleverd en aangebracht en daardoor goed kneedbaar is, ontstond na de eerste plaatsingsronde enige twijfel over de luchtdichte afsluiting tussen de filterkamers onderling en van de atmosfeer. De Mikoliet was immers in contact met de onverzadigde bodem en kon wellicht zelfs vocht verliezen en krimpen in plaats van vocht opnemen en zwellen. In de tweede ronde is daarom tussen lagen Mikoliet het originele bodemmateriaal gebruikt voor opvulling. Ook is de Mikoliet bevochtigd tijdens het aanstampen zodat het makkelijker was om het goed aan te stampen. Ondanks deze aanpassingen bleef de onzekerheid rond een volledig luchtdichte afsluiting bestaan. Hiermee is rekening gehouden tijdens het interpreteren van de meetresultaten.

De luchtkamers zijn bemonsterd op 25 april, 4 mei en 19 juni 2017. Daarvoor zijn de slangetjes van de luchtkamers aangesloten op een vacuüm gezogen glazen monsterfles met een injectienaald door een septum op de dop van de fles. De eerste twee keer zijn daarbij 100 ml-flessen gebruikt en de laatste keer 250 ml-flessen. De eerste twee keren werden, nadat de flessen gevuld waren en nog aangesloten op de luchtkamers, de flessen nog eens doorgespoeld met een 60 ml-spuut.

## 2.3 Laboratoriumanalyses

### 2.3.1 Textuur

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

In tabel 2.2 zijn de gehanteerde textuurklassen weergegeven en de laboratoriummethode die voor de fractiebepaling is gebruikt. De gebruikte laboratoriummethoden zijn beschreven in de ISO 11277 (2009). Uitgegaan wordt van de fracties ten opzichte van de minerale delen, waarvan de hoofdonderdelen als volgt worden benoemd:

- Lutum: 0 - 2  $\mu\text{m}$
- Silt: 2 - 50  $\mu\text{m}$
- Leem: 0 - 50  $\mu\text{m}$
- Zand: 50 - 2000  $\mu\text{m}$

De fractie < 63  $\mu\text{m}$  wordt in het Chemisch Biologisch Laboratorium Bodem (CBLB) geanalyseerd volgens de pipet- en natte-zeefmethode. De fractie 63–2000  $\mu\text{m}$  wordt daarna in het Bodem Hydro-Fysisch Laboratorium verder geanalyseerd door middel van droog zeven. In het laboratorium wordt voor de fracties < 63  $\mu\text{m}$  de grond met waterstofperoxide voorbehandeld om aanwezige organische stof te oxideren. Daarna volgt een behandeling met zoutzuur om aanwezige carbonaten in oplossing te brengen. Voor ijzerrijke grond kan het gewenst zijn de korrelgrootteverdeling van de minerale delen zonder ijzeroxide te bepalen. Hierbij wordt het aanwezige ijzeroxide in oplossing gebracht. Na verwijdering van de opgeloste zouten wordt het monster door zeven in twee fracties verdeeld. De hoofdfractie met grovere deeltjes wordt gedroogd en gewogen en via zeven met verschillende maaswijdte onderverdeeld in subfracties en vervolgens nogmaals gewogen. De hoofdfractie met de kleinere deeltjes wordt onderverdeeld in subfracties op basis van verschil in bezinkingssnelheid. Hierbij wordt van een suspensie van het monster in een maatcilinder, na toevoeging van een peptisatiemiddel op verschillende tijdstippen en diepten, in de cilinder een monster gepipetteerd. Tijdstippen en diepten voor het pipetteren van bepaalde fracties worden met de wet van Stokes berekend. De gepipetteerde suspensie wordt ingedampt en gedroogd en door weging wordt het massapercentage van de gepipetteerde fractie bepaald.

Voor enkele minder kritische bodemhorizonten is gekozen voor de goedkopere, maar minder nauwkeurige, laser-diffractiemethode om een idee te krijgen van de korrelverdeling.

**Tabel 2.2** Gehanteerde fracties en laboratoriummethode.

Textuurklasse ( $\mu\text{m}$ )	Gebruikte methode *)
<2	Pipetmethode
2-16	Pipetmethode
16-50	Pipetmethode
50-63	Natte-zeefmethode
63-105	Droge-zeefmethode
105-150	Droge-zeefmethode
150-210	Droge-zeefmethode
210-420	Droge-zeefmethode
420-2000	Droge-zeefmethode

\*) Voor een aantal minder kritische horizonten is de laser-diffractiemethode gebruikt.

### 2.3.2 Gloeiverlies

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

$$w_{gv} = \frac{m_{105} - m_{550}}{m_{105} - m_0} \times 100\% \quad (2.1)$$

waarin:

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

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

$$w_{OS} = w_{gv} - 0.07 * L - 0.12 * Y \quad (2.2)$$

waarin:

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

### 2.3.3 Retentie- en onverzadigde waterdoorlatendheidskarakteristiek

De retentiekarakteristiek wordt bepaald met behulp van drie verschillende laboratoriumopstellingen:

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

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

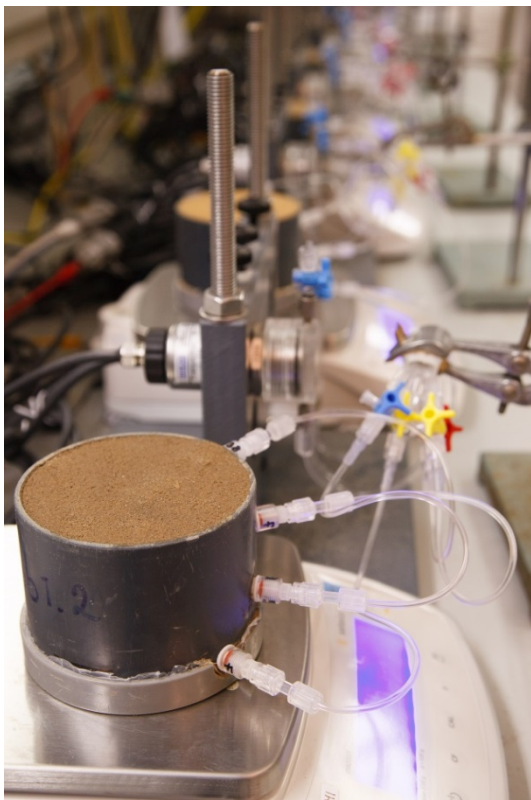
#### 2.3.3.1 Zandbakmethode

Voor deze methode wordt een onverstoord gestoken grondmonster van  $100 \text{ cm}^3$  in een roestvrijstalen monsterring ( $h=5$  cm,  $D \approx 5$  cm) aan de boven- en onderzijde vlak afgewerkt. Op deze wijze ontstaat een monster met een nauwkeurig bekend grondvolume. Eén zijde wordt voorzien van een nylongaasje. Het monster wordt met water verzadigd en vervolgens met het nylongaasje op de zandbak geplaatst. De zandbak bevat een fijn gesorteerde grondsoort die een hoge doorlatendheid combineert met een kleine poriediameter. De drukhoogte van de grond in de bak zelf blijft in het te meten gebied, van  $h = 0$  tot ongeveer  $-100$  cm, nagenoeg verzadigd. Door middel van een drainagebuis onder in de bak die verbonden is met een waterreservoir, kan het bodemwater op elke gewenste zuigspanning worden gebracht. Door het monster in contact te brengen met deze zuigspanning, zal het water in het monster deze zuigspanning overnemen en zal er water uit het monster stromen (desorptie). Zodra na herhaaldelijk wegen geconcludeerd wordt dat er geen water meer uit het monster stroomt en het monster dus in evenwicht is met de aangelegde zuigspanning, wordt het monster definitief gewogen. Vervolgens wordt een nieuwe zuigspanning aangelegd en wordt de procedure herhaald. Zodra alle zuigspanningen op deze wijze zijn doorgemeten, wordt het monster gedroogd bij  $105 \text{ °C}$  en wordt het opnieuw gewogen. Al

het water is nu uit het monster verdwenen en de volumetrische vochtgehalten bij de aangelegde zuigspanningen kunnen worden berekend. De methode is beschreven in de ISO 11274 (1998).

### 2.3.3.2 Verdampingsmethode

De verdampingsmethode (figuur 2.4) wordt gebruikt om een deel van de retentie- en onverzadigde waterdoorlatendheidskarakteristiek te bepalen. Voor deze methode (ISO 11275, 2004) wordt een onverstoord gestoken grondmonster van circa 600 cm<sup>3</sup> in een pvc-monsterring (h=8 cm, D≈10 cm) aan de boven- en onderzijde vlak afgewerkt. Op deze wijze ontstaat een monster met een nauwkeurig bekend grondvolume. De onderzijde wordt afgesloten met een water- en luchtdichte bodemplaat. Het monster wordt met water verzadigd en vervolgens op een weegschaal geplaatst. In het geval van krimpende grondmonsters wordt de pvc-ring vervangen door folie die mee krimpt met het monster. In dat geval ontstaat er geen valse lucht tussen de ring en de zijkant van het monster. Om verdamping mogelijk te maken, staat in alle gevallen alleen de bovenzijde bloot aan de omgevingslucht. De drukhoogte wordt op bekende tijdstippen in het monster gemeten met vier tensiometers die op gelijke verticale afstanden worden geplaatst. Ook de tensiometerdoorgangen in de monsterring zijn lucht- en waterdicht afgesloten, zodat hierdoor geen verdamping kan optreden.



**Figuur 2.4** Verdampingsmethode.

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

Tevens wordt de gemiddeld gemeten drukhoogte bepaald. Dit resulteert in de gemeten retentie-karakteristiek. De retentiekarakteristiek gebruikt men om, volgens een iteratieve procedure, de vochtgehalten per tensiometerhoogte te bepalen op basis van de gemeten drukhoogten. De onverzadigde waterdoorlatendheid volgens Darcy kan nu berekend worden op basis van de verandering in watergehalte per tijdseenheid, de compartimenthoogte en de gradiënt van de stijghoogte in het monster. De data worden verkregen met een geautomatiseerde opstelling die door Wageningen UR in eigen beheer is ontwikkeld (figuur 2.4).

### 2.3.3.3 Drukpanmethode

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

$$\theta = \frac{\rho_d}{\rho_l} w \quad (2.3)$$

waarin:

$\rho_d$  = droge bulkdichtheid ( $\text{kg.m}^{-3}$ )

$\rho_l$  = dichtheid van water ( $\text{kg.m}^{-3}$ )

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

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

### 2.3.4 Verzadigde waterdoorlatendheid

De verzadigde waterdoorlatendheid laat vaak een discontinuïteit zien ten opzichte van de doorlatendheid bij geringe onderdruk in verband met het effect van eventuele macroporiën. Het is dus van belang deze apart te meten. Hiervoor wordt een niet-verstoord, homogeen grondmonster in een ring in een opstelling geplaatst. Het monster wordt geheel verzadigd met water. Boven op het grondmonster wordt een waterlaag met constante hoogte gehandhaafd. Bovendien wordt de onderzijde van het monster geheel verzadigd gehouden. Er wordt een constante stijghoogtegradiënt ingesteld door de uitstroomslang op een vaste positie te houden. Door de hoeveelheid uitstromend water per tijdseenheid te meten, kan de verzadigde waterdoorlatendheid  $K_s$  volgens de wet van Darcy worden bepaald:

$$k_s = \frac{V}{|\nabla H| \cdot \Delta t \cdot A} \quad (2.4)$$

waarin:

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

$V$  = volume water dat gedurende  $\Delta t$  is uitgestroomd ( $\text{cm}^3$ )

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

$A$  = oppervlakte van het grondmonster ( $\text{cm}^2$ )

$\Delta t$  = tijd waarin het uitstromende water is gemeten (d)

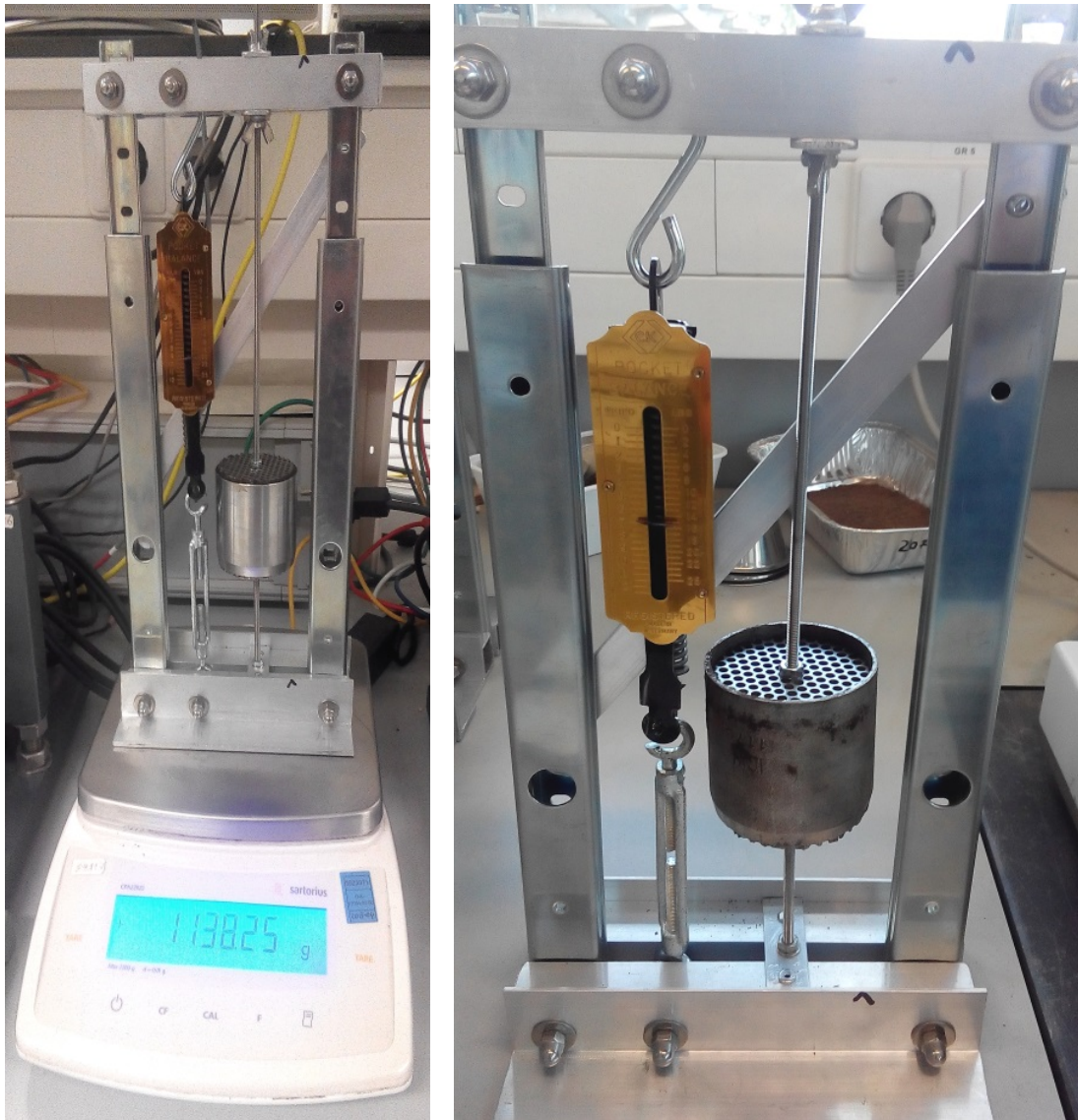
Voor de meting wordt afgeweken van de NEN 5789 (1991). De NEN gaat uit van vrije uitstroom aan de onderzijde van het monster. Omdat in dat geval onverzadigde delen aan de onderzijde van het monster ontstaan en de te overwinnen cohesie- en adhesiekrachten aan de onderzijde ongelijk aan nul zijn, is de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

### 2.3.5 Krimpkarakteristiek

Om de krimp van de veen- en leemlagen te kwantificeren, zijn krimpmetingen uitgevoerd aan onverstoord gestoken monsters uit de profielkuilen. Krimp ontstaat door vochtverlies, maar verschilt in belaste en onbelaste toestand. Voor het onderzoek in Tilburg is de verticale krimp maatgevend. Daarom zijn de metingen in belaste toestand als leidend beschouwd. De belasting in het veld wordt gevormd door het gewicht van de boven de laag gelegen grondkolom. Deze is zo goed mogelijk nagebootst in het laboratorium met een opstelling die speciaal voor dit project en doel is gebouwd (figuur 2.5). Bij het bepalen van de aan te leggen belasting is uitgegaan van een gemiddeld droog bulkgewicht van de gehele grondkolom van 1,65 g/cm<sup>3</sup> en een gemiddeld volumetrisch vochtgehalte van 0.35 cm<sup>3</sup>/cm<sup>3</sup>. Uiteraard varieert het vochtgehalte en is de bulkdichtheid niet constant over de gehele laag. Er is echter voor deze gemiddelde aanpak gekozen, omdat in het veld een grote variatie aan laterale verspreiding en diepte is geconstateerd waarin deze krimpende lagen voorkomen waarvoor een uitspraak moet worden gedaan. De gekozen droge bulkdichtheid en het vochtgehalte resulteren in een totaal gewicht van 2.0 g per kubieke centimeter grondkolom. Dit is een pessimistische inschatting, waardoor de belasting op de grondkolom aan de hoge kant is en een overschatting van de krimp zal geven. De doorgemeten grondmonsters hebben een doorsnijdend oppervlak van 20 cm<sup>2</sup>. De belasting per meter grondkolom komt daarmee voor dit doorsnijdende oppervlak op 20 cm<sup>2</sup> \* 100 cm \* 2 g/cm<sup>3</sup> = 4 kg. In tabel 2.3 zijn de aangebrachte belastingen aangegeven. De monsters zijn in waterverzadigde toestand gelijk gemaakt met de boven- en onderkant van de ring (0% krimp in onbelaste toestand) en vervolgens in de opstelling gebracht, waarna na ijking van de unster de betreffende belasting is aangebracht. Het monster is in staat om via een geperforeerde plaat en doek aan zowel de boven- als onderzijde gelijkmatig over het oppervlak water te verdampen. De verticale krimp is vervolgens gemeten als functie van het vochtgehalte door de gewichtsafname als gevolg van verdamping van het monster in de tijd te meten bij een constante temperatuur van 16 °C en een relatieve vochtigheid van 55% (figuur 2.5-links). Tijdens krimp neemt de veerkracht en daarmee de belasting af. Tijdens de gehele meetcyclus is de belasting daarom voor zover nodig steeds bijgesteld tot de in de tabel aangegeven waarde. Nadat het monster in evenwicht was gekomen met de lucht en er nagenoeg geen water meer verdampte, zijn de monsters onder belasting 24 uur gedroogd bij 105 °C. Vervolgens is de resulterende krimp nogmaals gemeten (figuur 2.5-rechts). Ter vergelijking zijn ook enkele monsters in onbelaste toestand doorgemeten.

**Tabel 2.3** Gehanteerde verticale belastingen bij een doorsnijdend oppervlak van 20 cm<sup>2</sup>. De bemonsteringsdiepten zijn tevens weergegeven in tabel 3.1 De profielbeschrijvingen zijn weergegeven in de bijlagen 3 en 4 (laatste 2 cijfers van de BPK\_ID-nummers corresponderen met de profielkuilnummers).

Profielkuil	Bovenkant krimpende laag (cm –maaiveld)	Aangebrachte belasting (kg)
4	180	7.2
5	230	9.2
6	155	6.2
11	80	3.2
12	190	7.6



**Figuur 2.5** *Bepaling krimp met verticale belasting. Links: start meting volledig verzadigd; Rechts: einde meting stoofdroog (na 24 uur bij 105 °C).*

### 2.3.6 Oxidatiesnelheid

Om oxidatie van de voorkomende veenlagen betrouwbaar te kunnen modelleren, was het noodzakelijk om de oxidatiesnelheid van de organische stof van het veen te meten, maar ook de oxidatiesnelheden van de organische stof in de lagen boven het veen. De boven het veen liggende organische stof verbruikt zuurstof die dan niet meer beschikbaar is voor oxidatie van het veen (zie 2.4.2.2). Het model ANIMO heeft waarden van potentiële snelheden nodig die gelden bij optimale zuurstof- en vochtvoorziening en bij een bekende temperatuur. Ook heeft het model  $Q_{10}$ -waarden nodig die aangeven met welke factor de oxidatie toeneemt bij 10 °C temperatuurstijging.

Potentiële oxidatiesnelheden zijn bepaald met de 'ademhalingsmethode' waarbij de koolzuur( $CO_2$ )-productie van een optimaal van zuurstof voorzien monster in een bepaalde periode wordt gemeten. De  $CO_2$ -productiesnelheid is een maat voor de oxidatiesnelheid. De meting is in duplo gedaan aan twaalf geselecteerde, verstoorde monsters uit de profielkuilen waaronder alle veenmonsters (zie 2.2). Van iedere monsterzak is ongeveer 100-150 gram materiaal in elk van twee glazen potten met een volume van 1 liter gedaan. Het monster had het vochtgehalte van het moment van steken, wat voor enkele monsters betekende dat ze dicht tegen verzadiging aanzaten, waarmee het aannemelijk is geacht dat de vochtvoorziening voor de micro-organismen optimaal was. Het monstermateriaal is zo los mogelijk op de bodem van de pot gelegd, (venige) leemkluiten zijn voorzichtig gebroken tot dobbelsteenformaat, zodat een optimale zuurstofvoorziening voor de micro-organismen mogelijk was.

---

De potten zijn twee dagen weggezet om tot rust te komen. Door het licht bewerken en andere handelingen die met het monstermateriaal waren gedaan, was het te verwachten dat tijdelijk een verhoogde activiteit van de micro-organismen was opgetreden.

Ze waren daarbij licht bedekt met papier om verdamping te beperken. Vervolgens zijn ze luchtdicht afgesloten met plastic deksels en weggezet in een ruimte bij een temperatuur van 21 °C. Twee potten zonder monster en zonder deksel waren bijgevoegd. Na 91 uur is door een septum in het deksel met een spuit lucht aan de pot onttrokken. In de lucht is het CO<sub>2</sub>-gehalte gemeten met een foto-akoestische gasmonitor van ENMO. De lucht uit de twee open potten diende als referentie om de CO<sub>2</sub>-productie te berekenen. Deze procedure is twee keer herhaald met dezelfde potten met monsters: de eerste keer voor 50 uur bij dezelfde temperatuur en de tweede keer voor 116 uur bij een temperatuur van 16 °C. Bij de relatief lage oxidatiesnelheden van de onderzochte organische stof had de korte tijd van oxidatie geen invloed op de hoeveelheid beschikbare organische stof voor oxidatie.

Na elke bepaling zijn de gewichten van de potten gemeten om de afname van het vochtgehalte te registreren. Na afloop van de ademhalingsmeting zijn van elk monster het gewicht van de droge stof en het gloeiverlies bepaald zoals beschreven in 2.3.2. Door per monster de CO<sub>2</sub>-productie te relateren aan de massa koolstof (C) is de fractie geoxideerd C berekend, waaruit de oxidatiesnelheid is afgeleid. Hierbij is een C-fractie van 0,58 van de massa organische stof aangenomen. Uit de verschillen tussen de twee temperaturen zijn Q<sub>10</sub>-waarden berekend.

### 2.3.7 Zuurstofgehalte van bodemlucht

De bodemluchtmonsters die zijn genomen op 25 april en 4 mei zijn geanalyseerd op zuurstofgehalte door WENR met een Gaschromatograaf van het merk Shimadzu, type GC-2014. Omdat er onduidelijkheid was over de juistheid van zowel de metingen als de verwerking van de resultaten, is besloten om de monsters van de laatste ronde van 19 juni door een gespecialiseerd laboratorium te laten uitvoeren. Deze monsters waren bedoeld voor modelkalibratie in de Verfijningsfase (zie 2.4.3) en waren daarom van cruciaal belang. De monsterflessen zijn op 19 juni afgeleverd bij ProMonitoring te Barneveld, onderdeel van Eurofin. Van daaruit zijn zij de volgende dag naar een lab van Eurofin in Duitsland gebracht waar ze zijn geanalyseerd op zuurstofgehalte met een gaschromatograaf Varian CP-4900 Micro-GC volgens DIN 51872-04-A (GC/μ-TCD).

## 2.4 Modelberekeningen

### 2.4.1 Doel en modellen

Het doel van de modelberekeningen was om verantwoorde schattingen te maken van de maaiveldzakking door krimp van veen- en leemlagen en door oxidatie van veenlagen bij droogvallen van deze lagen door grondwaterstanddaling in het beschouwde gebied. Met deze schattingen en met geotechnische berekeningen van zetting heeft de opdrachtgever in de Berekeningsfasen rekenregels en procedures opgesteld om schade aan gebouwen te kwantificeren.

Om het doel te behalen, zijn twee modellen gebruikt die krimp en oxidatie dynamisch kunnen berekenen, afhankelijk van het vochtgehalte van de bodemlagen bij de heersende grondwaterstand. Dat zijn SWAP voor bodemvocht- en krimpberekeningen, en ANIMO voor oxidatieberekeningen van organische stof van veen. Beide zijn complexe, procesgeoriënteerde modellen, wat betekent dat ze gedetailleerde wiskundige beschrijvingen bevatten van de benodigde hydrologische, bodemfysische en bodembiochemische processen. Om berekeningen te kunnen doen, moeten in de modellen veel gegevens worden ingevoerd, vooral van bodemeigenschappen, hydrologie en het weer.

De bodemeigenschappen zijn voor het onderzochte gebied verzameld in het beschreven veld- en laboratoriumonderzoek; de hydrologie in de vorm van de verwachte daling van de grondwaterstand kwam uit het Grondwatermodel Wilhelminakanaal en de weergegevens zijn verkregen van het KNMI. De modellen gaven daarmee een zo goed mogelijk onderbouwde interpretatie van alle verzamelde kennis naar waarden voor de gevraagde maaiveldzakkingen.



---

Oxidatie wordt hier gedefinieerd als de afbraak van organische stof door micro-organismen met gebruik van zuurstof. Hierbij zetten de micro-organismen organische C-verbindingen om in minerale (anorganische) C-verbindingen in de vorm van koolzuurgas (CO<sub>2</sub>).

## 2.4.2 Korte beschrijving modellen

De modellen SWAP en ANIMO zijn ontwikkeld en worden onderhouden en beheerd door WENR (Website SWAP; Website ANIMO). SWAP en de combinatie SWAP-ANIMO worden veelvuldig ingezet in projecten van WENR. SWAP wordt wereldwijd toegepast. SWAP-ANIMO vormt de kern van het model STONE dat de nationale mestwetgeving evalueert.

Beide modellen zijn algemeen geaccepteerde en gevalideerde modellen.

Hieronder volgt een zeer korte beschrijving van de modellen toegespitst op dit onderzoek. In bijlage 2 zijn zij wat uitgebreider beschreven.

### 2.4.2.1 SWAP

SWAP (Soil-Water-Atmosphere-Plant) is een bodemfysisch model voor de onverzadigde zone dat waterstroming en -berging, warmtestroming en -opslag (bodemtemperatuur), transport van opgeloste stoffen, en zwel en krimp van bodemlagen berekent. Het model richt zicht op het deel van de bodem dat afwisselend verzadigd en onverzadigd met water is. Dat is het bovenste deel van de bodem waarin zich de grondwaterspiegel bevindt die meestal fluctueert in de tijd en zo de afwisseling in verzadigd en onverzadigd veroorzaakt.

Voor dit onderzoek was van belang dat SWAP de krimp en zwel van leem- en veengronden kan berekenen. Dat doet SWAP met de krimpkarakteristiek op basis van het berekende vochtgehalte. Hiervoor is invoer van waarden van krimpkarakteristieken noodzakelijk (zie 2.3.6). Het vochtgehalte en de waterstroming berekent SWAP met de bodemhydrofysische karakteristieken. Voor de bodemtemperatuur heeft SWAP aanvullend gegevens van textuur en organische-stofgehalte nodig. De gebruiker moet al deze waarden opgeven voor elke bodemhorizont die hij onderscheidt. Door bodemhorizonten in de modelkolom – het bodemprofiel in het model – af te wisselen kan hij variatie in bodemeigenschappen in het model inbrengen. In dit onderzoek zijn deze gegevens gemeten aan de monsters uit de profielkuilen die zijn genomen van kenmerkende bodemhorizonten.

Ook van belang voor dit onderzoek was dat SWAP een onderrandoptie heeft waarmee de toekomstige grondwaterstanden na grondwaterstanddaling in een dynamische vorm konden worden gesimuleerd. Hiervoor leverde het Grondwatermodel Wilhelminakanaal ruimtelijke patronen van gemiddelde grondwaterstanden (GG) met bijbehorende gemiddeld-hoogste (GHG) en gemiddeld-laagste (GLG) grondwaterstanden. SWAP werd zo afgesteld (gekalibreerd) dat het model op basis van de neerslag en verdamping van een 30-jarige reeks van werkelijke weerjaren van het KNMI een seizoensdynamiek in de grondwaterstand berekende die 30-jaargemiddeld overeen kwam met de drie kenmerkende grondwaterstanden GG, GHG en GLG. De SWAP-grondwaterstanden werden hiervoor op dagbasis geëvalueerd.

In dit onderzoek is SWAP versie 3.2 gebruikt (Van Dam et al., 2008; Kroes et al., 2008). Daarvoor is het model op één punt aangepast: het berekenen en uitvoeren van krimp en zwel is mogelijk gemaakt zonder dat met preferentieel transport door krimpscheuren (macroporiën) wordt gerekend. In dit onderzoek was alle krimp en zwel uitsluitend in verticale richting (zakking).

### 2.4.2.2 ANIMO

ANIMO (Agricultural Nutrient Model) is een dynamisch model dat de kringlopen van organische stof, koolstof en de nutriënten stikstof en fosfor simuleert om de uitspoeling van deze nutriënten naar grond- en oppervlaktewater te berekenen. ANIMO gebruikt waterbalansgegevens en bodemtemperaturen van SWAP voor haar berekeningen. In dit onderzoek is ANIMO 4.0 gebruikt (Renaud et al., 2005).

---

ANIMO is zeer flexibel in het beschrijven van organische materialen zoals organische stof van veenlagen. De gebruiker geeft deze materialen specifieke eigenschappen door ze op te bouwen uit 'organische klassen'. De organische klassen stelt de gebruiker zelf samen door kenmerkende waarden in te voeren voor eigenschappen zoals oxidatiesnelheid. In dit onderzoek worden veengronden in ANIMO beschreven op de standaard manier als een organisch materiaal dat uit twee organische klassen bestaat met verschillende oxidatiesnelheden en N-gehalten. ANIMO simuleerde op die manier dat de oxidatiesnelheid afnam in de tijd.

In ANIMO kan organische stof afbreken met zuurstof (oxidatie) of met nitraat (denitrificatie). Oxidatie was in dit onderzoek kwantitatief verreweg het belangrijkste afbraakproces. Denitrificatie had absoluut gezien slechts een zeer klein aandeel. Naast denitrificatie is nitrificatie een belangrijk proces van de stikstofkringloop in ANIMO. In dat proces zetten gespecialiseerde bacteriën ammonium om in nitraat waarbij zij zuurstof verbruiken. Nitrificatie is een zeer snel verlopend proces waardoor in de bodem zuurstof eerst wordt aangewend voor nitrificatie en dan pas voor oxidatie. Nitrificatie is daarmee een grote concurrent van oxidatie voor zuurstof, vooral in de toplaag van de bodem.

In dit onderzoek was de zuurstofvoorziening cruciaal voor de oxidatie van de droogvallende veenlagen. ANIMO bepaalt de zuurstofvoorziening door de verticale neerwaartse diffusie van atmosferische luchtzuurstof in het bodemprofiel te berekenen, gegeven de zuurstofvraag voor oxidatie en nitrificatie door het gehele bodemprofiel. Hierdoor kon ANIMO simuleren dat zuurstof in het profieldeel boven de veenlaag werd verbruikt voordat het de veenlaag bereikte. Als de zuurstofvoorziening in een bodemcompartiment niet optimaal is, verlaagt ANIMO de oxidatiesnelheid.

De verticale zuurstofdiffusie in de bodem is een functie van het vochtgehalte op elke diepte. De potentie voor zuurstofdiffusie is een eigenschap van elke bodemlaag die de gebruiker bepaalt door waarden voor twee parameters in te voeren: de coëfficiënt  $p_1$  (-) en de exponent  $p_2$  (-). Hiermee berekent ANIMO een actuele zuurstofdiffusiecoëfficiënt uit het vochtgehalte op elke diepte. In de Berekeningsfase (zie 2.4.3) waren waarden voor deze parameters verkregen uit de literatuur (Groenendijk et al., 2005). In daarop volgende Verfijningsfase werden ze verkregen door kalibratie van ANIMO tegen gemeten zuurstofgehalten in bodemlucht.

Net als bij SWAP voert de gebruiker waarden van bodemeigenschappen in voor elke bodemhorizont die hij onderscheidt. De ANIMO- en SWAP-horizonten zijn gelijk. In dit onderzoek zijn voor ANIMO gemeten organische-stofgehalten, droge bulkdichtheden en oxidatiesnelheden (zie 2.3.7) van het onderzoeksgebied gebruikt.

#### 2.4.2.3 Modelinvoer

De modelinvoer voor modellen als SWAP en ANIMO kan worden onderverdeeld in drie hoofdgroepen (zie ook tabel 2.4):

1. waarden van modelparameters: dat zijn invoerwaarden die meestal constant blijven gedurende de berekeningen en die de processen in het model sturen. Het zijn de bodemeigenschappen, zoals bodemhydrofysische karakteristieken in SWAP en oxidatiesnelheden in ANIMO, die worden gemeten in het lab. Het zijn ook de knoppen waaraan de gebruiker draait bij het kalibreren, zoals boven beschreven zuurstofdiffusieparameters  $p_1$  en  $p_2$ .
2. initiële waarden van toestandsvariabelen: dat zijn de waarden die de begintoestand van het systeem aangeven, bijvoorbeeld vochtgehalten en temperaturen in SWAP en voorraden van organische stof, zoals veenlagen, in ANIMO.
3. randvoorwaarden (forcing variables): dat zijn de processen aan de randen die het model aandrijven (forceren) zoals neerslag en verdamping, diepe grondwaterstanden in SWAP en intrede van atmosferische zuurstof aan maaiveld, atmosferische depositie van ammonium en nitraat, en bemesting in ANIMO.

En één extra groep voor ANIMO:

4. hydrologische gegevens van SWAP: het gaat om vochtgehalten, drukhoogten, waterstromen tussen compartimenten onderling en de randdomeinen atmosfeer, plant, drains, sloten, diepe grondwater.

SWAP en vooral ANIMO hebben een grote hoeveelheid invoerwaarden nodig. De belangrijkste daarvan zijn in tabel 2.4 samengevat. In de teksten van de opzet van de modelberekeningen worden deze verder besproken (2.4.3).

**Tabel 2.4** Overzicht van belangrijkste invoergegevens van SWAP en ANIMO met de bronnen waarvan ze in dit onderzoek zijn verkregen.

Model	Hoofdgroep	Invoerparameter	Bron	
SWAP	1 model-parameters	diepten bodemhorizonten	bodemkartering	
		hydrofysische karakteristieken (waterretentie en doorlatendheid)	laboratoriummeting	
		krimp-karakteristieken	laboratoriummeting	
		textuur en organische-stofgehalten	laboratoriummeting	
		gewasparameters	standaard gras droge zandgr.	
		bodemverdamping	standaard	
	2 initiële waarden	vochtgehalten en drukhoogten: optie hydrostatisch evenwicht met begingrondwaterstand = huidige grondwaterstand	Grondwatermodel Wilhelminakanaal	
		bodemtemperaturen: 10 °C	standaard	
	3 randvoorwaarden	neerslag op dagbasis	KNMI-weerstation Gilze-Rijen	
		potentiële verdamping op dagbasis: optie referentiegewas-verdamping volgens Makkink	idem	
		onderrand: optie wateruitwisseling met diepe grondwater, met sinusvormig stijghoogteverloop en verticale weerstand: kalibratie aan toekomstige grondwaterstand	Grondwatermodel Wilhelminakanaal	
	ANIMO	1 model-parameters	diepten bodemhorizonten en dikten modelcompartimenten	SWAP
			oxidatiesnelheidsconstanten	laboratoriummeting
			nitrificatie- en denitrificatiesnelheidsconstanten	standaard
			Q <sub>10</sub> (omgerekend naar Arrhenius activeringsenergie)	laboratoriummeting
overige snelheidsconstanten			standaard	
verdeling organische-stofklassen veen			Hendriks en Van den Akker, 2012	
overige verdelingsconstanten			standaard	
zuurstofdiffusieparameters $p_1$ en $p_2$ : Berekeningsfase			Groenendijk et al., 2015	
			Verfijningsfase	kalibratie op bodem-zuurstofgehalten
			droge bulkdichtheden	laboratoriummeting
		zuurgraad	expertkennis	
		gewasparameters	standaard gras	
2 initiële waarden	voorraden organische stof van veenlagen en andere lagen: berekend uit organische-stofgehalte en droge bulkdichtheid	laboratoriummeting		
	concentraties van opgeloste stoffen: op 0 gezet	-		
3 randvoorwaarden	zuurstofgehalte atmosferische lucht	standaard		
	droge en natte atmosferische depositie van ammonium en nitraat	RIVM		
	bemesting: niet toegepast	-		
4 hydrologie	toestands- en snelheidsvariabelen op dagbasis	SWAP		

---

### 2.4.3 Opzet

Het overkoepelende onderzoek van de opdrachtgever was in drie fasen onderverdeeld. De twee laatste daarvan waren relevant voor het hier beschreven onderzoek:

- de Berekeningsfase en
- de Verfijningsfase.

In beide fasen zijn SWAP-ANIMO-berekeningen gedaan van maaiveldzakking door krimp en oxidatie. De opzet van de berekeningen was in de twee fasen basaal dezelfde. Maar het doel en de daarbij passende modelinvoer verschilden wezenlijk. De doelen van de twee fasen zijn afgeleide doelen van het hoofddoel zoals beschreven in 2.4.1.

#### 2.4.3.1 Berekeningsfase

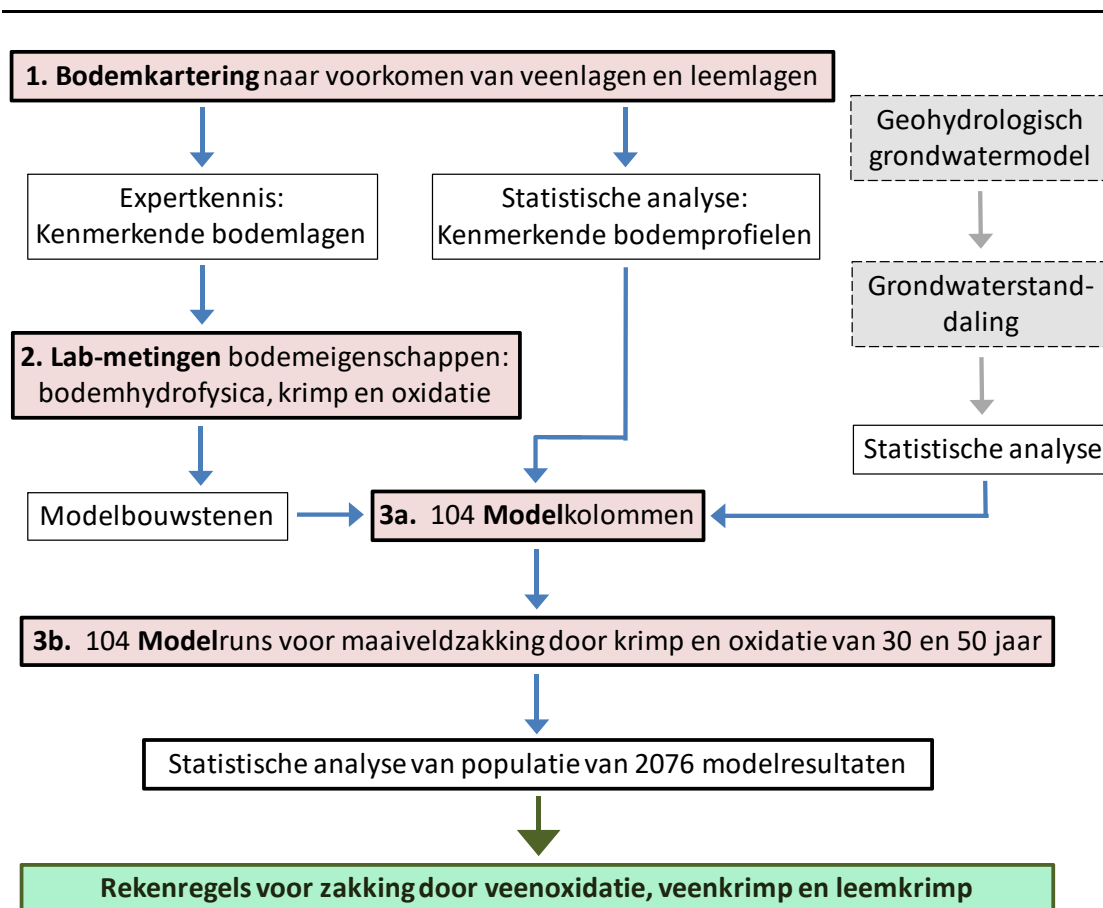
Het doel van de modelberekeningen van de Berekeningsfase was om op basis van de verzamelde gegevens in het veld en in het laboratorium een grote populatie (verzameling) van modelresultaten te creëren voor maaiveldzakking door krimp en oxidatie als gevolg van grondwaterstanddaling. Uit deze populatie werden statistische verbanden afgeleid waarmee de opdrachtgever rekenregels kon opstellen om de maaiveldzakking in het onderzoeksgebied betrouwbaar in te schatten. Deze verbanden en rekenregels werden afgeleid en opgesteld voor veen- en leemkrimp en veenoxidatie.

De populatie moest daarom alle in het gebied voorkomende toestanden vertegenwoordigen, zover die in de kartering waren aangetroffen. Bij krimp en oxidatie van veen gold dat alleen voor het als 'veengebied' gekarteerde deel dat is aangetroffen in de Gesworen Hoek. Om dit doel te behalen, moest de modelinvoer het gehele bereik van waarden van invoerparameters bestrijken. Dit bereik is afgeleid uit alle beschikbare gegevens van de deelonderzoeken. Hoe de drie deelonderzoeken 1. bodemkartering, 2. laboratoriummetingen en 3. modellering in de Berekeningsfase onderling samenhangen, is schematisch weergegeven in figuur 2.6.

Voor de berekeningen van krimp en oxidatie zijn eerst kenmerkende bodemprofielen opgesteld die de basis vormden voor de kenmerkende modelkolommen die zijn doorgerekend (figuur 2.6). Deze profielen zijn gebaseerd op de kenmerkende bodemlagen die zijn onderscheiden in de drie profielkuilen van veen en de twee van leem. Van deze bodemlagen zijn de benodigde bodemeigenschappen gemeten zodat deze lagen de bouwstenen vormden waarmee de modelkolommen zijn opgebouwd.

Om deze bouwstenen in de juiste volgorde, op de juiste diepte en met de juiste dikte op elkaar te kunnen stapelen om kenmerkende bodemprofielen te bouwen, zijn de profielgegevens (bijlage 3 en 4) van de veenlaagprofielen en de leemlaagprofielen statistisch geanalyseerd. Hierbij is vooral gelet op de diepte en dikte, en het organische stof- en leemgehalte van veen- en leemlagen. Voor de bodemlagen onder en boven veen- en leemlagen zijn vooral de textuur (M50 en lutumgehalte) en het organische-stofgehalte geanalyseerd. In bijlage 1, B1.2.1 is deze procedure beschreven.

Hoewel de 'grondwaterstanddaling' steeds als oorzaak van maaiveldzakking door krimp en oxidatie wordt genoemd, zoals ook figuur 2.6 doet, moet goed worden beseft dat het niet de grootte van de daling op zich is die de zakking veroorzaakt, maar de nieuwe positie van de grondwaterstand na daling ten opzichte van de veen- en leemlagen. Het gaat erom of en hoever een 'oorspronkelijk verdrongen' leem- of veenlaag door de grondwaterstanddaling droogvalt. Dat kan zowel bij een kleine als een grote grondwaterstanddaling gebeuren.



**Figuur 2.6** Schematisch overzicht van de rol en de onderlinge samenhang van de drie deelonderzoeken in de Berekeningsfase. In rode balken en genummerd van 1-3 zijn de drie deelonderzoeken weergegeven met in wit de tussenstappen. In groen het eindresultaat dat is gebruikt door de opdrachtgever. In grijs onderdelen die door derden zijn uitgevoerd en aangeleverd. Het geohydrologisch grondwatermodel is het 'Grondwatermodel Wilhelminakanaal'.

### Maaiveldzakking door krimp

De krimp door grondwaterstanddaling is berekend met SWAP. Hiertoe is de 30-jarige reeks van werkelijke weerjaren 1987-2016 doorgerekend met weergegevens van KNMI-weerstation Gilze-Rijen. Als 'gewas' is 'natuurgras op droge zandgrond' genomen, dat een matige gewastranspiratie geeft. Het is gebruikelijk in hydrologische modelleringen om een recente (niet per se de recentste) weerreeks van 30 jaar door te rekenen als vertegenwoordiger van het weer van het huidige jaar. De variatie binnen de reeks is een maat voor de mogelijke variatie in het huidige weer. Bij de krimpberendingen zal de variatie in het weer tot variatie in de mate van krimp leiden. Voor een betrouwbare statistische analyse van de mate van krimp is het wenselijk om deze variatie mee te nemen in de populatie van modeluitkomsten.

Omdat krimp snel optreedt en afhankelijk is van het vochtgehalte dat dynamisch is binnen het jaar, levert elk weerjaar één krimpwaarde op: de maximale krimp van dat jaar. Deze geeft de grootste maaiveldzakking en is dus maatgevend. Bij toename van het vochtgehalte naarmate het jaar weer natter wordt, treedt weer zwel op. Uit de krimpmeting bleek dat door de grote bovenbelasting van de leem- of veenlagen alleen *verticale* krimp optreedt. Alle optredende volumekrimp is daarom volledig vertaald naar maaiveldzakking.

Van de **veenlagen** zijn vier krimpkenmerken aan monsters uit vier verschillende veenlagen van vier locaties in het veengebied gemeten in het laboratorium. De gemeten organische-stofgehalten van deze vier monsters bedroegen 15%, 24%, 45% en 75%. Met deze vier kenmerken zijn vier 'veenlaag(bodem)profielen' gebouwd met de bodemeigenschappen die zo veel mogelijk bij deze krimpkenmerk hoorden. Dat zijn de eigenschappen die aan bodemmateriaal zijn bepaald uit dezelfde profielkuilen waaruit de monsters voor de krimpmetingen zijn gehaald. Uitzondering hierop

---

vormde het monster met 45% organische stof dat uit een Begemanboring was verkregen. Dit is als variant van het monster met 75% organische stof gezien en met dat 'veenlaagprofiel' doorgerekend. De vier veenlaagprofielen zijn met eigenschappen van de bodemlagen beschreven in bijlage 1, B1.2.2.

Het is te beredeneren dat naast krimpkarakteristiek en bijbehorende profielopbouw ook de veendikte en de diepte van de gedaalde grondwaterstand de mate van krimp bepalen. Daarom zijn varianten van deze grootheden in combinatie doorgerekend. Daarvoor is het voorkomen van veenlagen in de gekarteerde bodemprofielen statistisch geanalyseerd (zie bijlage 1, B1.2.1). Hierbij is gekeken naar de dikte en de diepte ten opzichte van maaiveld (mv). Uit de nagenoeg normale verdeling van het voorkomen van veen in de diepte bleek 200 cm–mv de mediaan te zijn: de diepte waarop veen het vaakst voorkwam. Deze diepte is genomen als de vaste diepte van het midden van de veenlagen. Rond dit midden zijn drie veendikten gemodelleerd: 10, 30 en 50 cm (diepte traject 190-210, 185-215 en 175-225 cm–mv), dit waren het 10<sup>e</sup>, 50<sup>e</sup> (mediaan) en het 90<sup>e</sup> percentiel van de frequentieverdeling van de dikte.

Op een vergelijkbare manier zijn de nieuwe, gedaalde grondwaterstanden van de locaties met veenlagen geanalyseerd. Deze nieuwe grondwaterstanden waren berekend met het Grondwatermodel Wilhelminakanaal. Voor de rekenregels van de opdrachtgever was het van belang dat de grondwaterstand werd gerelateerd aan de veendikte (omdat zij geen maaiveldhoogte onderscheiden in hun systeem). Daarom is het vaste midden van de veenlagen als referentiehoogte genomen. De vier varianten van gedaalde grondwaterstanden waren 30, 53, 92 en 168 cm beneden deze referentiehoogte (resp. 10<sup>e</sup>, 50<sup>e</sup> en 90<sup>e</sup> percentiel en een extreem overeenkomend met 200 cm grondwaterdaling). Voor SWAP waren deze grondwaterstanden 230, 253, 292 en 368 cm–mv.

SWAP simuleerde deze vier varianten met een stijghoogte van het diepe grondwater en een gekalibreerde weerstand tegen verticale stroming van 110 dagen. Vanwege de diepe grondwaterstanden is geen zijrand (drainage) gemodelleerd. De dynamiek binnen het jaar was door het grondwatermodel berekend op -18 cm als laagste grondwaterstand en +14 cm als hoogste grondwaterstand ten opzichte van de gemiddelde grondwaterstand. SWAP simuleerde deze dynamiek met een sinusvormig verloop van de stijghoogte in het jaar. Het gemiddelde en de amplitude van de stijghoogte (beide invoer van SWAP) werden bij elke combinatie van veenlaagprofiel en grondwaterstand opnieuw gekalibreerd op de gewenste grondwaterstand met bijbehorende dynamiek.

Samenvoegen van alle varianten gaf 4 krimpkarakteristieken x 3 veendikten x 4 varianten van grondwaterstanddaling = 48 combinaties die voor 30 jaar zijn doorgerekend en die dus 1440 krimpwaarden voor de veenkrimppopulatie vormden.

Van de **leemlagen** zijn twee krimpkarakteristieken gemeten in het laboratorium; één van een humusarme leemlaag en één van een humeuze leemlaag. De monsters waren afkomstig van de twee leemprofielkuilen waaruit ook monsters voor bepaling van andere bodemeigenschappen waren genomen. Bij de leemlagen was een statistische analyse minder eenduidig uitvoerbaar; er waren elf geschikte locaties tegen achtentwintig bij de veenlagen (bijlage 1, B1.2.1). Leemlagen kwamen ook niet uitsluitend geïsoleerd in de diepte voor zoals de veenlagen, maar besloegen vaak een groot dieptetraject. Er zijn daarom vijf leemlaagprofielen samengesteld op meer kwalitatieve gronden. Daarbij ging het vooral om het onderscheid tussen humeus en humusarm, vanwege de twee krimpkarakteristieken, en om het onderliggende bodemmateriaal. De vijf varianten kunnen worden omschreven als:

1. humusarm leem, gehele profiel onder huidige mediane grondwaterstand (150 cm–mv);
2. humeus leem, gehele profiel onder huidige mediane grondwaterstand;
3. humeus leem op humus arm leem;
4. humeus leem op sterk lemig zand;
5. humusarm leem op grof zand.

Omdat de mediane huidige grondwaterstand 150 cm–mv bedroeg, is alleen de leem onder deze diepte meegenomen in de profielen. Uit de gemeten krimpkarakteristieken van leem blijkt dat krimp van betekenis optreedt aan het begin en vooral het einde van het uitdrogingstraject van de leemmonsters (zie bijlage 1, B1.2.3). Het einde wordt onder veldomstandigheden nooit gehaald en het begin is al

---

opgetreden. Verder vochtverlies bij grondwaterstanddaling zal nauwelijks extra krimp betekenen. De leemlaagprofielen zijn beschreven in bijlage 1, B1.2.2.

De vijf leemlaagprofielen zijn eveneens met de vier varianten van gedaalde grondwaterstanden doorgerekend voor 30 jaar. Dat gaf in totaal 600 krimpwaarden voor de leemkrimppopulatie.

In bijlage 1, B1.2.3 is beschreven hoe de krimpkarakteristieken van veen en leem zijn geïnterpreteerd tot invoerwaarden voor SWAP.

### **Maaiveldzakking door oxidatie van veen**

De oxidatie van organische stof is berekend met SWAP-ANIMO. Hiervoor is een 50-jarige periode doorgerekend, omdat in de schade-analyse van de opdrachtgever maaiveldzakking door oxidatie over een periode van vijftig jaar werd geëvalueerd. Het verzoek van de opdrachtgever was om niet met toekomstig weer (klimaatscenario's) te rekenen, maar met huidig weer. Een aaneengesloten 50-jarige weerreeks vanaf 2016 terugtellen, geeft een groot aandeel 'verleden-tijd-weer' (alles voor 1986). Daarom is besloten met ANIMO twee keer achter elkaar, met een 'doorstart', de laatste 25 jaar (1992-2016) door te rekenen op basis van dezelfde 25-jarige SWAP-run. Bij de oxidatieberekeningen werd de variatie in weerjaren niet geanalyseerd, omdat het alleen ging om de eindwaarde na vijftig jaar. Wel belangrijk was dat er met werkelijke weerreeksen werd gerekend, omdat het weer via het bodemvochtgehalte en de bodemtemperatuur invloed op de oxidatie heeft.

Wat de invloed van veranderend klimaat kan zijn op de oxidatieberekeningen is lastig in te schatten. Verschillende grootheden kunnen in een toekomstig klimaat zijn veranderd, zoals neerslagintensiteit en -dynamiek, verdamping en temperatuur. Alleen de laatste is met enige zekerheid te voorspellen. Maar neerslag en verdamping zullen in grote mate de toekomstige grondwaterstanden bepalen. Uitgaande van een stijging van de gemiddelde jaartemperatuur in vijftig jaar met 2,5°C en de gemiddelde, gemeten  $Q_{10}$  van 3,3 wordt een gemiddelde toename van de oxidatiesnelheid van 16% berekend. Omdat de oxidatiesnelheid van het veen sneller afneemt in de tijd als deze snelheid groter is, resulteert dit met de gegevens die als invoer voor ANIMO zijn gebruikt in een extra oxidatie van 6% in vijftig jaar. Als de zuurstoftoevoer in die periode niet toeneemt, is deze waarde waarschijnlijk een lichte overschatting, omdat de zuurstofbeschikbaarheid bij grotere vraag beperkend zal zijn. De onzekere grondwaterstanden in de toekomst zullen mogelijk een groter effect op de oxidatie sorteren.

Omdat in beide fasen, Berekeningsfase en Verfijningsfase, de minst gunstige – die met de meeste oxidatie – varianten zijn gekozen voor vaststellen van schade, is het effect van temperatuurstijging op de veenoxidatie in de toekomstige vijftig jaar naar verwachting geen reden om te veronderstellen dat de berekende maaiveldzakkingen door oxidatie ernstig zijn onderschat.

Drie van de vier veenlaagprofielen genoemd bij de veenkrimp zijn doorgerekend. Dat zijn de profielen met veenlagen met 15%, 24% en 75% organische stof waarvan bodemeigenschappen beschikbaar waren. Voor de oxidatie waren additionele bodemeigenschappen belangrijk: de gemeten oxidatiesnelheden van de drie veenlagen. Maar ook de gemeten oxidatiesnelheden van belangrijke bodemlagen met organische stof boven de veenlagen. Deze bodemlagen konden de doordringing van atmosferische zuurstof tot de veenlagen remmen of blokkeren door de zuurstof te consumeren voor de oxidatie van hun eigen organische stof. De oxidatie van deze organische stof leidde niet tot noemenswaardige maaiveldzakking. Wel nam de zuurstofconsumptie van deze lagen af waardoor meer zuurstof beschikbaar kwam voor oxidatie van de onderliggende veenlagen. Dit mechanisme is opgenomen in het ANIMO-model.

De massa organische stof is voor elke bodemcompartiment van ANIMO berekend met het organische-stofgehalte, de bulkdichtheid en de dikte van het compartiment en ingevoerd in het model. Hierbij is aan elk van de zes bodemhorizonten (behalve die van het veen) een organische-stofklasse toegekend met een eigen gemeten oxidatiesnelheid (bijlage 1, B1.2.5). De massa organische stof van de veenlagen is verdeeld over twee organische klassen, zoals gebruikelijk is bij simuleren van veen met ANIMO (zie 2.4.2.2). Hierbij is de procedure gevolgd die in Hendriks en Van den Akker (2012) is beschreven: 2/3 van de veenmassa is toegekend aan een langzaam afbreekbare klasse met een oxidatiesnelheid van 0,001 jaar<sup>-1</sup> (eenheid van eerste-orde-afbraaksnelheidsconstante) en 1/3 aan een

---

relatief snel afbreekbare klasse waarvan de oxidatiesnelheid  $k_s$  (jaar<sup>-1</sup>) is berekend uit de gemeten oxidatiesnelheid  $k_g$  (jaar<sup>-1</sup>) als:

$$k_s = 3k_g - 0,002 \quad (?)$$

In tabel 2.3 en bijlage 1, B1.2.4 zijn tevens andere relevante invoerwaarden van ANIMO gegeven. De voor oxidatie belangrijke zuurstofdiffusieparameters  $p_1$  en  $p_2$  die voor deze fase per bodemhorizont zijn geschat uit Groenendijk et al. (2005) zijn gegeven in bijlage 1, B1.2.8.

Het totale verlies aan organische stof door oxidatie na vijftig jaar is omgerekend naar zakking van de veenlaag. In overleg met de opdrachtgever is hiervoor een eenvoudige benadering gekozen: de zakking per modelcompartiment is gelijk aan de fractie organische stof die is geoxideerd maal de massafractie organische stof maal de compartimentdikte. In bijlage 1, B1.2.5 is aangetoond dat deze rekenwijze impliceert dat de bulkdichtheid van de veenlaag constant blijft. In werkelijkheid neemt deze toe: bij verlies aan organische stof wordt de bodemlaag per volume-eenheid steeds zwaarder. Het gevolg is dat deze rekenwijze een zekere onderschatting van de maaiveldzakking geeft. Voor het veen met de grootste oxidatie door het grootste organische-stofgehalte van 75% en de hoogste oxidatiesnelheid, dat de basis vormde van de rekenregel voor maaiveldzakking door oxidatie van deze fase, is in bijlage 1, B1.2.5 berekend dat de onderschatting van maaiveldzakking door dit simpele model 24% bedroeg van de berekende zakking met het realistischere model van de Verfijningsfase.

In totaal zijn 3 veenprofielen x 3 veendikten x 4 grondwaterdalingsvarianten = 36 varianten doorgerekend die evenzoveel maaiveldzakkingwaarden voor de veenoxidatiepopulatie vormden.

De ANIMO-berekeningen zijn net als de SWAP-berekeningen uitgevoerd met het gewas onbemest 'natuurgras'. Dat neemt stikstof op uit de bodem die deels wordt afgevoerd met het gras als maaisel. Door natte en droge atmosferische depositie van ammonium en nitraat wordt weer stikstof in de bodem gebracht. Stikstof is belangrijk voor de processen nitrificatie en denitrificatie die de oxidatie beïnvloeden (zie 2.4.2.2). Er is ook een variant 'kruipruimte' met ANIMO doorgerekend om de veenoxidatie onder kruipruimten in te schatten. Hierbij viel geen neerslag op de bodem, waardoor deze niet werd doorgespoeld met neerslagwater. Het gevolg daarvan was dat ANIMO extreem hoge nitraatconcentraties in de bodem berekende door accumulatie, die mogelijk realistisch zijn (auteur van deze tekst heeft geelwitte uitslag op de zandbodem in de kruipruimte van zijn huis gezien die mogelijk (deels) uit nitraatzouten bestond. Het verschijnsel wordt ook op het internet beschreven). Hierdoor kan de bodem verzuren, wat een remmend effect op de micro-organismen heeft waardoor de oxidatie (sterk) zal afnemen. Omdat er te weinig bekend was van deze extreme processen, is de variant 'kruipruimte' verder niet meegenomen in de analyses. Op basis van de indicatieve berekeningen met ANIMO is de verwachting dat de oxidatie van veenlagen onder een kruipruimte eerder kleiner dan groter zal zijn dan de oxidatie van veenlagen onder een grasveldje zoals doorgerekend met ANIMO.

### Statistische analyse

De resultaten van de modelberekeningen van maaiveldzakking door krimp en oxidatie zijn statistisch geanalyseerd en de resultaten van de analyses zijn aangeleverd aan de opdrachtgever om te gebruiken voor zijn rekenregels. In de eerste plaats zijn van de drie deelpopulaties van veenkrimp, leemkrimp en veenoxidatie frequentiediagrammen gemaakt. Op grond van die diagrammen is besloten om voor veenkrimp en veenoxidatie relaties af te leiden met de zakking als doelvariabele. Beide relaties hadden twee verklarende variabelen waarvan de jaargemiddelde grondwaterstand ten opzichte van het midden van de veenlaag er één was. Voor veenkrimp was het gekozen percentiel van het frequentiediagram de tweede verklarende variabele. Bij veenoxidatie was dat de dikte van de veenlaag. De afleiding van de twee relaties wordt behandeld in bijlage 1, B1.2.6.

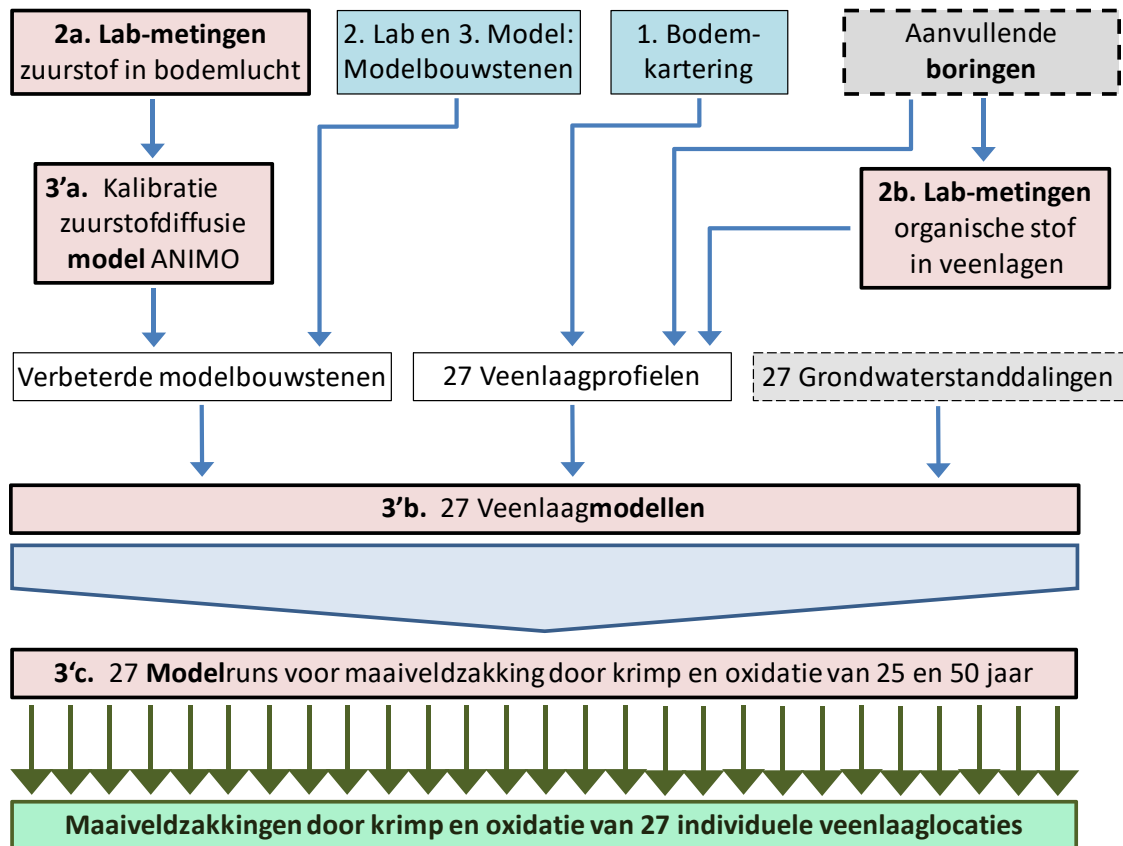
De leemkrimp was voor de bijdrage aan de totale maaiveldzakking zo gering dat besloten is deze niet verder te analyseren.

#### 2.4.3.2 Verfijningsfase

Het doel van de modelberekeningen van de Verfijningsfase was om maaiveldzakking door krimp en oxidatie van individuele onderzoeklocaties te berekenen. Dit waren de locaties met een droogvallende



veenlaag die in de Berekeningsfase voor onderzoeklocaties in schadecategorie 3 of hoger scoorden. De opzet van de berekeningen was grotendeels gelijk aan die van de berekeningen van de Berekeningsfase. Het verschil was onder andere dat in de Verfijningsfase zo veel mogelijk locatie-specifieke modelinvoer is gebruikt die ook is afgeleid uit alle beschikbare gegevens van alle deelonderzoeken (figuur 2.7). Daarbij hoorden ook de gegevens van aanvullende boringen die in opdracht van de bouwcombinatie zijn uitgevoerd. Deze gegevens waren een profielbeschrijving en een verstoord veenmonster per boring. Van de monsters is het organische-stofgehalte bepaald en het leemgehalte geschat.



**Figuur 2.7** Schematisch overzicht van de rol en de onderlinge samenhang van de drie deelonderzoeken in de Verfijningsfase. In rode blokken en balken en genummerd met 2 en 3' zijn de twee deelonderzoeken weergegeven die daadwerkelijk in deze fase zijn uitgevoerd (3' is de modelleringsvariant van deze fase). De deelonderzoeken 1-3, in blauw aangegeven, komen uit de Berekeningsfase. In wit de tussenstappen, in groen het eindresultaat dat is gebruikt door de opdrachtgever en in grijs onderdelen die door derden zijn uitgevoerd en aangeleverd.

In totaal zijn 27 locaties doorgerekend: 22 aanvullende boringen, 4 boringen uit de veenlaagkartering en één Begemanboring. Van de laatste vijf locaties zijn de gemeten of geschatte organische-stofgehalten gebruikt. Op basis van de veenlaagprofielen en modelbouwstenen uit de Berekeningsfase, en de profielbeschrijving en grondwaterstanddaling van elke locatie zijn 27 veenlaaglocatiemodellen gebouwd. Hierbij is voor de krimprelaties onderscheid gemaakt tussen veen en lemig veen, afhankelijk van het geschatte leemgehalte.

De 27 modellen zijn voor de laatste 25 jaar van de 30-jarige weerreeks doorgerekend met SWAP. Hierbij werden tegelijkertijd 25 (jaar) krimpwaarden berekend en waterbalansgegevens voor ANIMO gecreëerd. ANIMO werd net als in de Berekeningsfase twee keer voor 25 jaar doorgerekend met een doorstart tussen de deelruns.

---

### **Maaiveldzakking door krimp van veen**

Uit praktische overwegingen zijn de krimpsimulaties en de simulaties van de waterbalanstermen voor ANIMO in dezelfde 25-jarige SWAP-berekeningen gedaan. Voor de krimpberekeningen was dit een vijf jaar kortere simulatie dan in de Berekeningsfase. Uit analyses van de krimpresultaten uit de Berekeningsfase bleek dat de hoogste krimpwaarden nooit (uitsluitend) vielen in de periode 1987-1991, de niet doorgerekende deelperiode van de 30-jarige weerreeks. Van de 25 jaarkrimpwaarden zijn de mediaan, het 92<sup>e</sup> percentiel en de maximale waarde aangeleverd aan de opdrachtgever voor verdere verwerking.

### **Maaiveldzakking door oxidatie van veen**

De oxidatieberekeningen van de Verfijningsfase hadden één cruciaal nieuw element dat in de Berekeningsfase ontbrak: de kalibratie van de zuurstofparameters van ANIMO tegen gemeten zuurstofconcentraties in bodemluchtmonsters van verschillende diepten van zeven van de tien locaties met luchtbuizen (zie 2.2.2). Een andere belangrijk verschil met de Berekeningsfase was het grotere aantal gemeten organische-stofgehalten van veenlagen.

De kalibratie van ANIMO aan de zuurstofmetingen is beschreven in bijlage 1, B1.2.8. Hierbij zijn twee lineaire regressiemodellen van de zuurstofconcentraties als functie van de diepte gebruikt: een **mediaan-model** en een **bovengrens-model**. De berekeningen zijn uitgevoerd met de zuurstofparameterinstellingen van beide modellen. Dat leverde twee groepen van oxidatieresultaten op die met dezelfde naam worden aangeduid: **mediaan-model** en een **bovengrens-model**.

Een ander belangrijk verschil tussen de Verfijningsfase en de Berekeningsfase was het realistischere 'oxidatie-zakkings-model' van de Verfijningsfase. Dit model rekent het verlies van organische stof door oxidatie om naar maaiveldzakking. In tegenstelling tot het simpele model van de Berekeningsfase houdt het nieuwe model wel rekening met toename van de bulkdichtheid bij verlies van organische stof in de veenlaag. Dit model is afgeleid uit de relatie tussen gemeten bulkdichtheden en gemeten organische-stofgehalten en wordt in bijlage 1, B1.2.5 beschreven. Ook hier zijn een variant voor veen en een variant voor lemig veen onderscheiden.

De resultaten van de oxidatieberekeningen zijn als twee maaiveldzakkingen voor elk van de 27 locaties aan de opdrachtgever aangeleverd: een maaiveldzakking op basis van het **mediaan-model** en een op basis van het **bovengrens-model**.

In hoofdstuk 3 paragraaf 3.5 worden de resultaten van de Berekeningsfase (3.5.1) en de Verfijningsfase (3.5.2) die aan de opdrachtgever zijn geleverd, besproken.

---

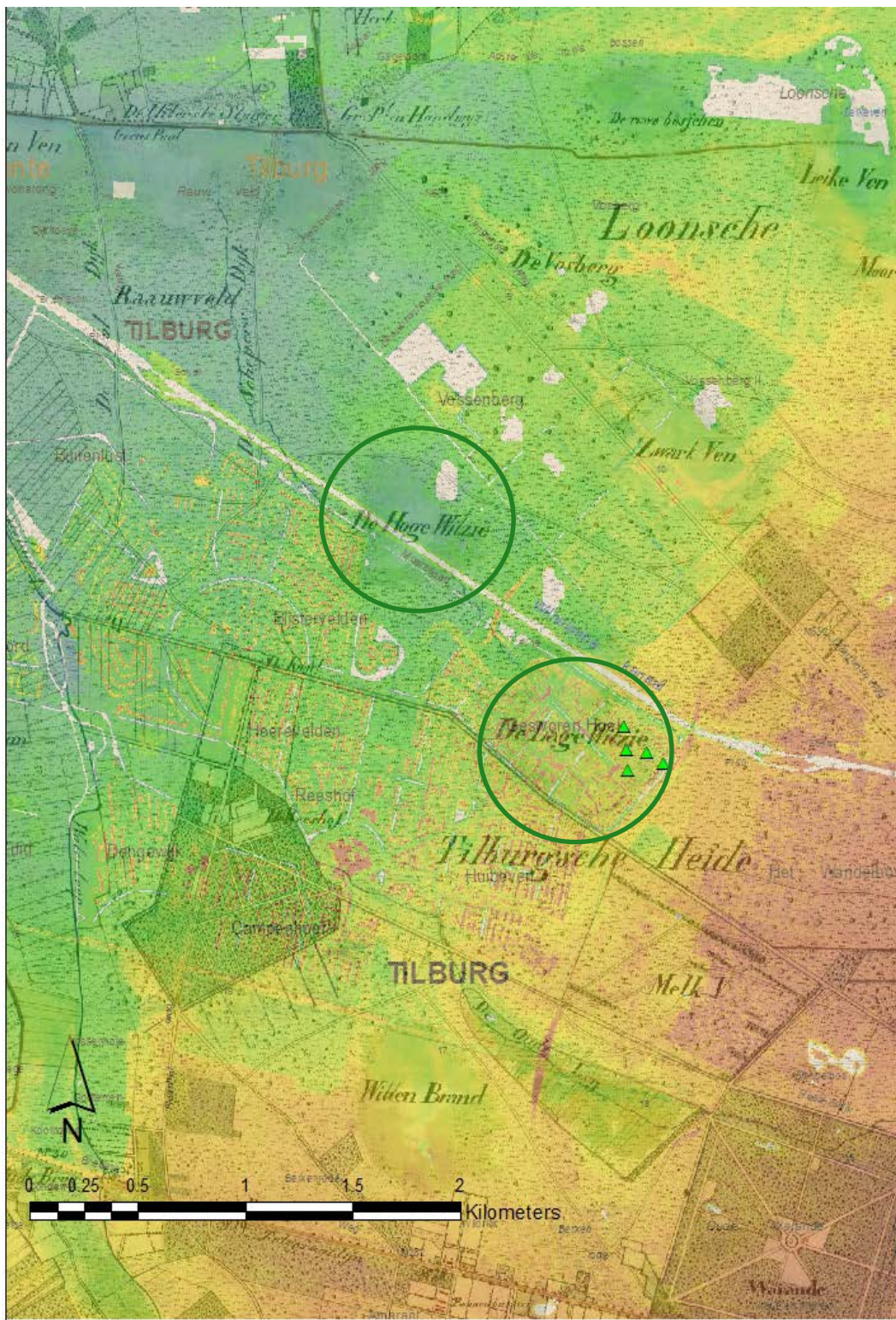
## 3 Resultaten

### 3.1 Historisch vooronderzoek

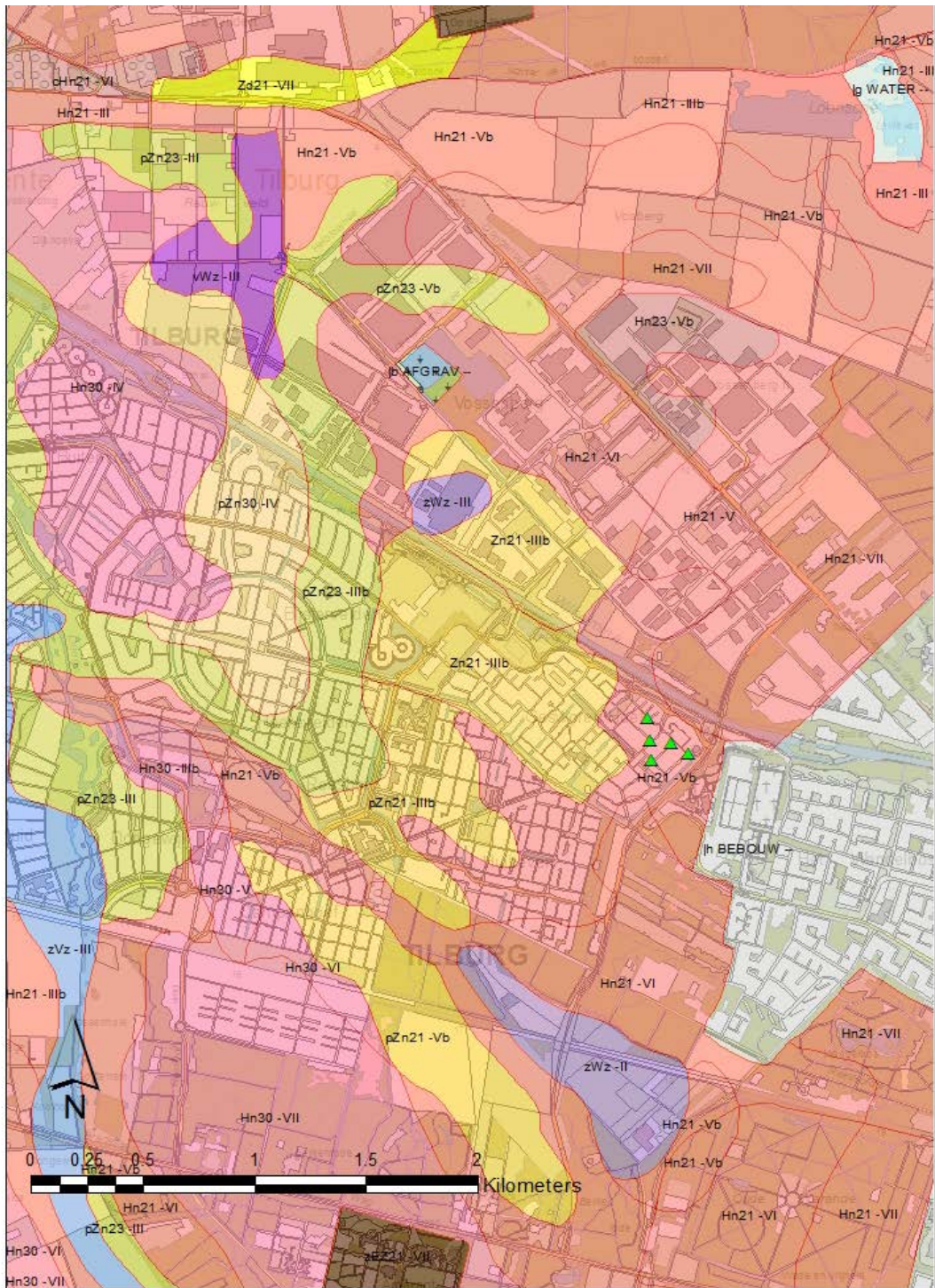
Voorafgaand aan de werkelijke kartering is gekeken welke historische informatie van het gebied bekend is ten aanzien van veenvorming en klei- of leemafzettingen. Dit kan helpen bij het afgrenzen van de lagen tijdens de kartering.

Het ligt het meest voor de hand dat in het Brabantse zandgebied veenvorming is opgetreden in vennen en/of beekdalen. Er is een uitgebreid vennencomplex te zien op het volgende historische kaartmateriaal:

- Op de kaart van D. Zijnen (1760) is, aan de Langendijk (huidige Wilhelminakanaal en daarbuiten) een uitgestrekt aaneengesloten moerassig ven te zien. Dit ven heet op deze kaart De Witzzy. De oostelijke uitloper ervan ligt bij de huidige wijk Gesworen Hoek. Er zijn echter meer vengebieden op de kaart te vinden.
- De kadasterkaart van J.F. Hutten (1835) bevat een ven genaamd De Lage Witzie ter plaatse van de huidige wijk Gesworen Hoek.
- Op de topografische kaart van 1837 (figuur 3.1) komt vlakbij of in de huidige wijk Gesworen Hoek een moerassige laagte voor, genaamd De Lage Witzie (juist ten noorden van de Tilburgsche Heide). De Gesworen Hoek wordt ook genoemd als uitloper van het ven De Witzzy.
- De kaart van Arts van 1870 bevat eveneens een ven genaamd De Lage Witzie.



**Figuur 3.1** Oude topografische kaart uit 1837, met De Hoge Witzie en De Lage Witzie (2 groene cirkels). Op de plaats van De Lage Witzie ligt nu de wijk Gesworen Hoek waarin veenlagen voorkomen. De spellingswijze varieert overigens tussen Witzie en Witzy. Deze oude kaart is hier gecombineerd weergegeven met nieuwe topografie: Ligging Wilhelminakanal, AHN-hoogtekaart en de ligging van een vijftal Begemannboringen (groene driehoekjes in de rechtercirkel).



**Figuur 3.2** Detail van de huidige bodemkaart van Nederland, schaal 1: 50 000 en de ligging van een vijftal Begemannboringen met veenlagen in de wijk Gesworen Hoek. De bodemtypen aangeduid met hoofdletter V of W in de code bevatten moerige (venige) lagen binnen 120 cm-mv.

Oude beekdalen waar veenvorming zou kunnen optreden, komen in de directe omgeving van de wijk Gesworen Hoek niet voor. Iets verder naar het zuiden stroomt wel de Oude Ley in het gelijknamige beekdal. De kleuren op de kaart van figuur 3.1 geven de hoogte aan. Groene en blauwe tinten wijzen op een lage ligging. Gele en paarse tinten wijzen op een hoge maaiveldligging. De Gesworen Hoek ligt op de overgang van hoog naar laag. Dit wordt bevestigd door de huidige bodemkaart van Nederland, schaal 1: 50 000. In figuur 3.2 is een detail van die kaart opgenomen. In de Gesworen Hoek komen op die kaart binnen 120 cm-mv geen moerige gronden voor. Elders in De Hoge Witzie en in het beekdal van de Oude Ley komen wel moerige gronden voor.

Op basis van het kaartmateriaal lijkt het hier te gaan om een aaneengesloten veenlaag die gevormd is in een ven. Sonderingen en Begemannboringen geven aan dat de veenlaag zich op meer dan 1 à 2 m onder maaiveld bevindt. Door overstuiving met zand zijn de vennen waarschijnlijk uiteindelijk uit de omgeving verdwenen.

Voor de afbakening van de veenlagen tijdens de kartering is het interessant om te weten hoe de ontwikkeling van veenvorming in vennen verloopt. De ontwikkeling begint meestal met ophoping van organische stof aan de randen van het ven, omdat begroeiing daar nog net mogelijk is. Door verlanding, ofwel ophoping van biomassa in het water, verplaatst de begroeiing zich geleidelijk naar het midden. De dikte van de te vormen veenlaag neemt toe naar het midden van het ven in verband met de grotere diepte ervan op die plaats. Bij het karteren kunnen naar de randen toe dunnere veenlagen worden verwacht. De afgrenzing van de veenlaag kan hierop dan worden gebaseerd. De grens van de aangetroffen veenlaag is in deze kartering gedefinieerd op een dikte van 5 cm.

## 3.2 Bemonstering

De geselecteerde bemonsteringslocaties van zijn weergegeven in figuur 3.3. Bij de boringnummers 4, 5 en 6 komen veenlagen voor. Bij de boringnummers 11 en 12 komen leemlagen voor. De punten en kruisjes geven de locaties van de andere profielboringen aan. De aangegeven nummers komen overeen met de laatste twee cijfers van de BPK\_ID's van de profielbeschrijvingen van bijlage 3. De genomen bodemmonsters zijn weergegeven in tabel 3.1.

**Tabel 3.1** De genomen bodemmonsters in de profielkuilen van figuur 3.3. De profielbeschrijvingen zijn weergegeven in de bijlagen 3 en 4 (laatste 2 cijfers van de BPK\_ID-nummers corresponderen met de profielkuilnummers).

Boring / Profielkuil	Begindiepte horizont (cm-mv)	Veld-waarneming Gt GHG/GLG	korte veldbeschrijving *)	Generieke monstercode (LOI, Textuur, e.a.) i=ringnr.	Generieke monsterdiepte (m-mv)	Ringnummers				
						Ksat	100 cm <sup>3</sup> pF	Krimp onbelast	Krimp belast	Evap
4	40	VIIId 100/200	matig humeus zwak lemig zeer fijn zand	4-40-i	40-48	-	404	-	-	E111
	135		humusarm matig grof zand	4-135-i	135-145	-	19	-	-	E102
	180		veen	4-180-i	180-190	K55	1	svb463	icw1170	E27
						ICW3036				
5	45	VIIId 110/200	matig humeus zwak lemig fijn zand	5-45-i	45-55	-	F23	-	-	E48
	200		humusarm matig grof zand	5-200-i	200-210	-	302	-	-	-
	230		veen	5-230-i	230-240	K3	ICW2178	7	15	E37
	270		zwak lemig zand, gelaagd	5-270-i	270-280	-	F19	-	-	E1
						SVB452				
6	80	VIIIId 150/250	heterogeen matig humeus/humeus zwak lemig fijn zand	6-80-i	80-90	-	N140	-	-	E15
	130		veen (sterk doorworteld, wat ingedroogd)	6-130-i	130-140	K14	692	1087	23	E109
	155		veen (lemig)	6-155-i	155-165	K6	SVB397	H169	icw3005	E23
						KNHM500				
11	40	Vio 60/160	heterogeen sterk lemig zeer fijn zand	11-40-i	40-50	-	B01	-	-	E49
	80		humusarme leem roestig rond oude wortel	11-80-i	80-90	-	5	-	-	E12
						Z14				
12	80	Vio 50/150	humusarme leem	12-80-i	80-90	K25	ICW1068	Z25	icw2729	E38
	190		humeus leem (oude wortelgangen)	12-190-i	190-200	K114	ICW2461	18	Z3608	E18
						ICW2792				



**Figuur 3.3** Genummerde locaties van de profielkuilen waarin de grondmonsters zijn genomen; kuilen 4, 5 en 6 bevatten veen; kuilen 11 en 12 bevatten leem.

In figuur 3.4-Links is ter illustratie profielkuil 4 weergegeven. De losse grond op de veenlaag is schraapsel van de profielwand. Figuur 3.4-Rechts geeft profielkuil 6 weer met enkele monsterringen die in een veenlaag zijn gestoken.



**Figuur 3.4** Links: Profielkuil 4; Rechts: detail van de bemonstering bij profielkuil 6 op 150 cm diepte.

### 3.3 Kartering

Voor de kartering zijn in totaal 66 profielen uitgebreid beschreven (bijlage 3: Algemene informatie; bijlage 4: Laaginformatie) en zijn er 56 tussenboringen uitgevoerd die beperkt zijn beschreven (bijlage 5). Voor de volledigheid zijn eveneens 16 profielen beschreven die in het kader van het natuuronderzoek in het gebied zijn uitgevoerd. De tabellen zijn aan elkaar gekoppeld via het BPK\_ID nummer. Soms zijn op dezelfde locatie aanvullende gegevens verzameld in een tweede tussenboring. De coördinaten zijn dan bijna gelijk aan de eerste tussenboring.

#### 3.3.1 Veen

De resultaten van de detailkartering zijn digitaal opgeslagen als profielbeschrijvingen en als tabel in de bijlagen 3 en 4 van dit rapport weergegeven. Tevens is een GIS-kaart vervaardigd van het voorkomen van het veen en is een dwarsdoorsnede gemaakt. De grens van het voorkomen van veen is gelegd bij een duidelijk gedefinieerde veenlaag van 5 cm dikte beneden het heersende freatisch niveau. De sporadische locaties waar ondiep veen voorkomt, of slechts een dunne laag, zijn buiten beschouwing gelaten. De begrenzing is achteraf gecheckt met andere dan de WENR beschikbare boorinformatie. Op basis van deze informatie is de begrenzing enigszins uitgebreid naar het noordwesten. De dikte van de veenlaag varieert van 0 tot 70 cm. Meestal is de veenlaag 20 tot 30 cm dik.

- De uiteindelijke ligging en dikte van de veenlaag zijn weergegeven in figuur 3.5. De kruisjes geven de volledige beschrijving, de sterretjes de tussenboringen.
- De diepte van de bovenkant van de veenlaag is weergegeven in figuur 3.6.
- De dwarsdoorsnede, zoals weergegeven in de figuren 3.5 en 3.6, is weergegeven in figuur 3.7.

Onder de veenlaag ligt vaak gelaagd lemig zand of een duidelijke leemlaag. Stagnatie van water op deze voor water moeilijk doordringbare lagen heeft vermoedelijk de vorming van een ven ingeleid. Buiten de woonwijk de Gesworen Hoek komt op de onderzochte locaties geen veen voor. Op een punt aan het Dillepad is in het veld venige leem ingeschat is. Uit de fysische laboratoriumanalyse van soortgelijk bruin materiaal van profielkuil 12 bleek dit niet venig te zijn.



---

## Dikte en diepte

Figuur 3.7 geeft de begindiepte van de veenlaag. Het maaiveld in de wijk Gesworen Hoek neemt naar het noordwesten toe af. Volgens de figuur komen de hoogste veenlagen in het zuidwesten voor (7 tot 8 m +NAP). In het noordoosten begint de veenlaag meestal dieper (6 tot 7 m +NAP), terwijl de dikte van de veenlaag in het midden en noordwesten het dikst is. Dit is strijdig met de verwachting dat de onderzijde van de veenlaag naar de randen toe hoger ligt en dat de dikte in het midden het grootst is. De oorzaak van deze combinatie is niet duidelijk. Soms komen meerdere veenlagen voor. Dit duidt op een tijdelijk verstoven ven, dat later opnieuw als ven heeft gefunctioneerd.

De nauwkeurigheid van de hoogte is gerelateerd aan de AHN2 pixels, omdat de hoogten voor de boorpunten daarvan zijn afgeleid. Hierdoor kunnen afwijkingen van ten hoogste 5 cm ontstaan. Er zijn ook enkele punten met veen buiten de veengrens. Dit zijn dunne of ondiepe veenlagen.

## Fragmentatie

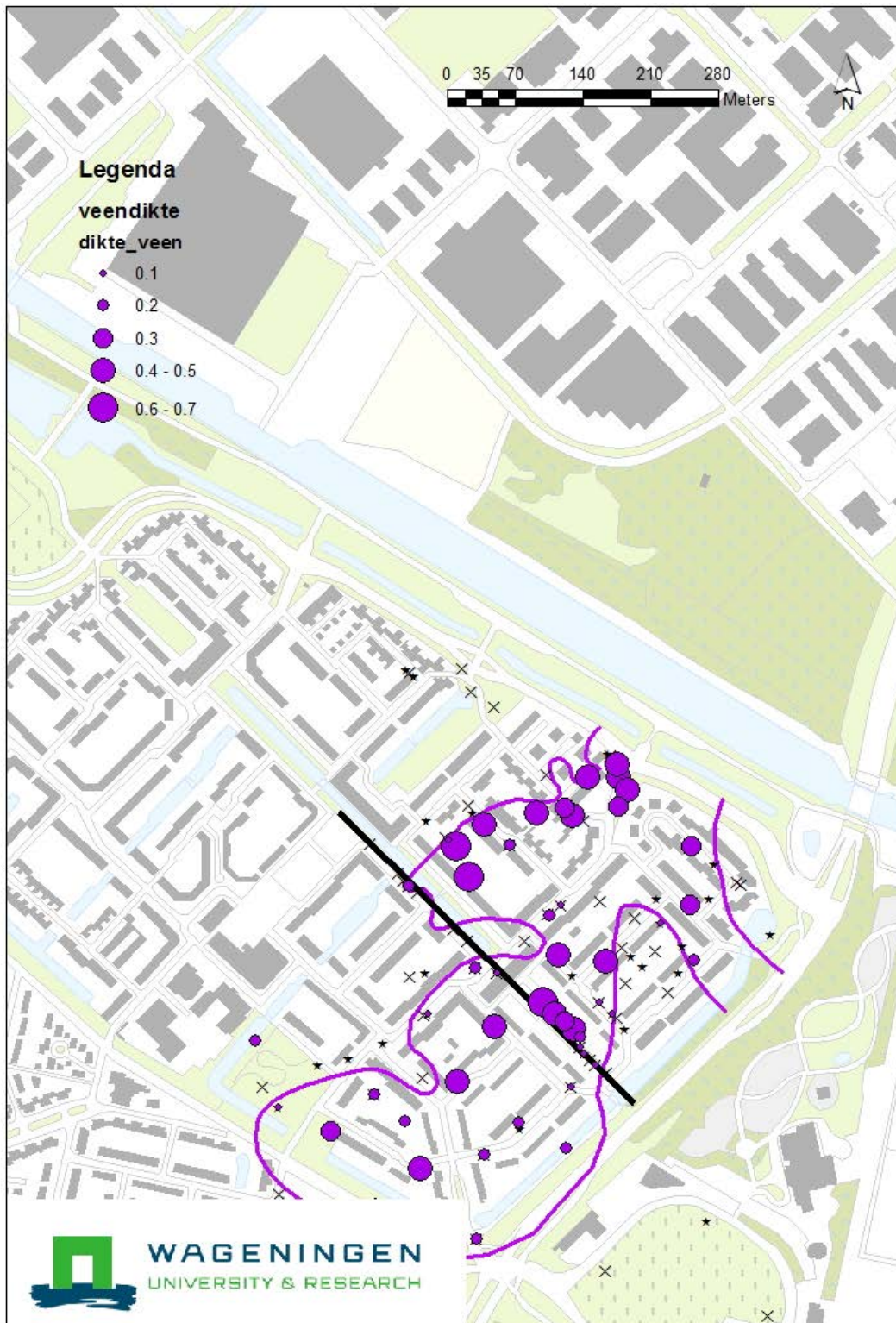
Bij de bemonstering van de veenlagen bleek de dikte en het voorkomen van veen op korte afstand soms sterk te variëren. In figuur 3.8 zijn de grillige vormen van de veenlaag op twee diepten in profielkuil 6 te zien. De begindiepte van het veen varieert hier tussen 110 en 140 cm-mv. Rechterfoto: Na 15 cm dieper graven in dezelfde kuil ontbreekt het veen alweer op verschillende plekken.

Op korte afstand kunnen grote verschillen in diepten optreden. Zo liggen er punten in het hart van het veenvlak met begindiepten van 7 en 8 m +NAP dicht bij elkaar. Ondanks dat het plausibel is dat de veenlaag één geheel vormt, kunnen door natuurlijke zand- of leemwallen deze lagen sporadisch onderbroken zijn. Verder is bekend dat er in de periode van het pleistoceen veel cryoturbatie optrad. Dit is het vermengen van bodemmateriaal uit verschillende bodemhorizonten door afwisselend bevriezen en ontdooien, waardoor bodemlagen, die eerder vlakke ligging hadden, scheef zijn komen te liggen. Dit proces wordt bevestigd door Schokker (2003) in zijn promotieonderzoek naar het ontstaan van de Centrale Slenk, een tektonische laagte die gevormd is door breuken in de aardkorst. Deze laagte liep globaal diagonaal NW-ZO door Brabant tussen Uden en Gilze, en is in de loop der tijd opgevuld met materiaal van elders door eolische, fluviatiele of fluvioperiglaciale afzettingen. Hij heeft daarbij ook dieper gelegen veenlagen in kaart gebracht. Figuur 3.10 geeft een figuur uit zijn proefschrift dat een indruk geeft van de vorm en diepte van enkele veenlagen. De hoogst gelegen veenlaag in dit schema komt voor op plm. 4 m-mv. De ouderdom ervan is bepaald op circa 114.000 jaar en behoort tot afzettingen uit een warme periode tussen twee ijstijden, het Eemien. Hoewel niet zeker is of de veenlagen in Tilburg tot deze afzetting behoren, lijken de kenmerken er wel sterk op. Schokker beschrijft dat deze laag sterk aan cryoturbatie onderhevig is geweest. De zwak lemige, matig fijne zanden die steeds op de veenlaag voorkomen, spreken deze grote ouderdom echter tegen. De uniforme textuur van deze zandlagen behoort waarschijnlijk tot het jonge dekzand dat 14.000 tot 10.000 jaar geleden is afgezet. Aannemelijker is dat de veenlaag "kort" daarvoor gevormd is in het Bølling-interstediaal. Dit is een warmere periode in de Weichselien-ijstijd.

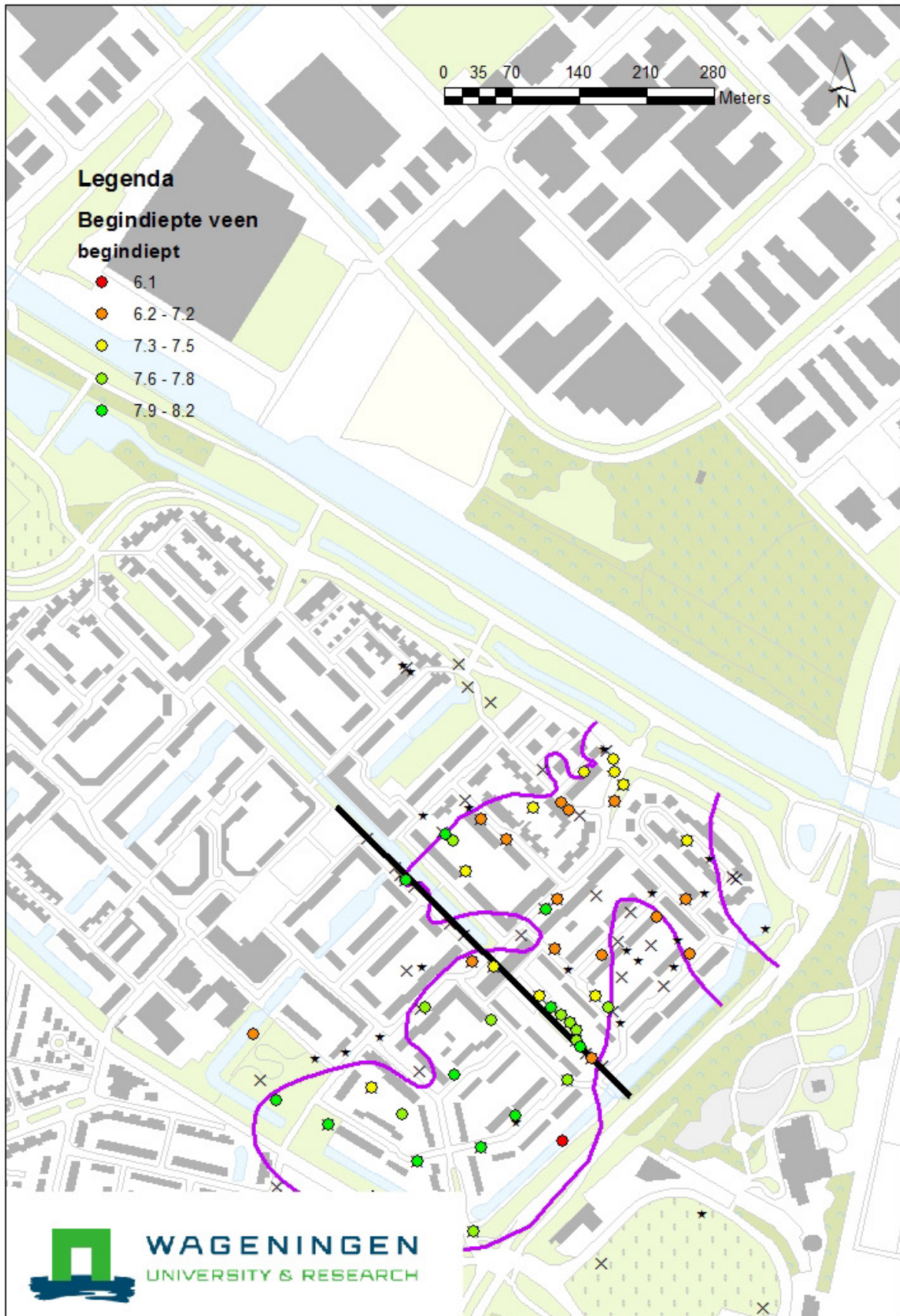
De veenlaag is soms bedekt met een lemige laag, maar regelmatig ook met grof zand en grind, dat duidt waarschijnlijk op verplaatsing van materiaal door stroming van smeltend water, niet zijnde meanderende beek- of riviersystemen, maar door sterk stromend water dat in staat is deze materialen te verplaatsen. Deze grote stromen kunnen tevens fragmentatie door erosie hebben veroorzaakt. Tijdens bemonstering van de profielkuil 5 bleek dat er op de veenlaag grind voorkwam. Daarbij is vrij zeker ook een deel van de veenlaag aangetast.

De meest westelijk gelegen Thiessenpolygoon in figuur 2.1 bevat volgens een sondering veen. Bij de kartering bleek dit echter een houtstronk te zijn. Op korte afstand is geen veen aangetroffen. Op vergelijkbare wijze zijn de andere Thiessenpolygoonen met veen in de wijk Gesworen Hoek onderzocht.

Om een gedegen analyse van de fragmentatie te kunnen uitvoeren, is een uitgebreider historisch onderzoek noodzakelijk. Dit valt echter buiten de scope van dit onderzoek.



**Figuur 3.5** Detailkaart van het voorkomen van veen en de dikte van het veen in meters. De doorgetrokken paarse lijn is de grenslijn voor een minimale veendikte van 5 cm. De kruisjes geven de locaties aan waarvoor een volledige profielbeschrijving is gemaakt. De sterretjes geven de locaties aan van de tussenboringen. De zwarte doorgetrokken rechte lijn geeft de locatie aan van de dwarsdoorsnede van figuur 3.7.



**Figuur 3.6** *Begindiepte of bovenkant van de veenlaag (m-NAP).*

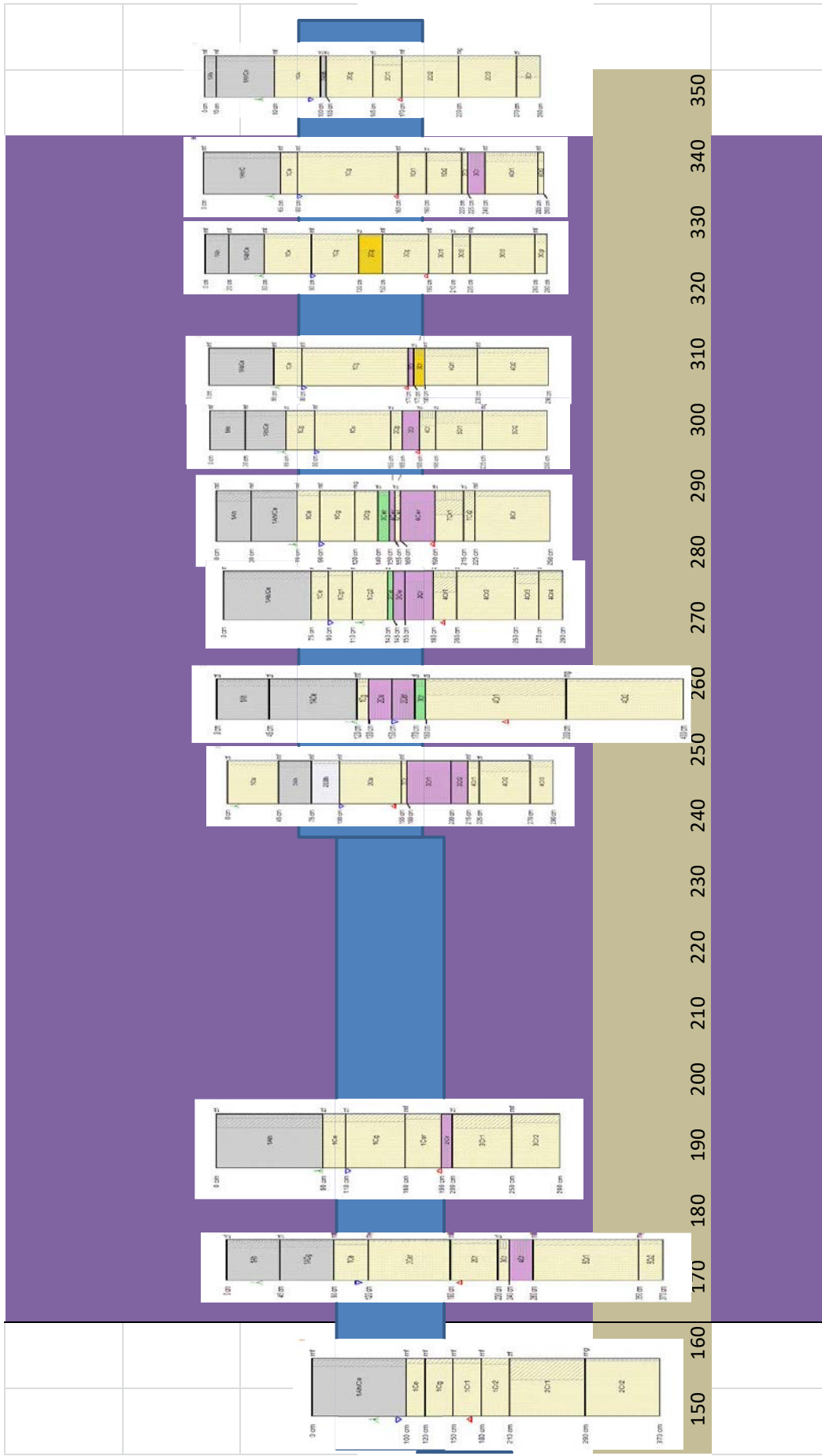


Fig 3.7B

**Figuur 3.7A** Rechter deel van de schematische dwarsdoorsnede van de figuren 3.5 en 3.6. Afstand (m) op de x-as; Rechts is zuidoost, hoogte (m) t.o.v. NAP. Paars = veen; Leem = geel; Blauwe blok = grenzen van de veenlaag van figuur 3.5; Blauwe balken = diepte waarover het huidige grondwater fluctueert. Figuur 3.7B sluit hier links op aan.

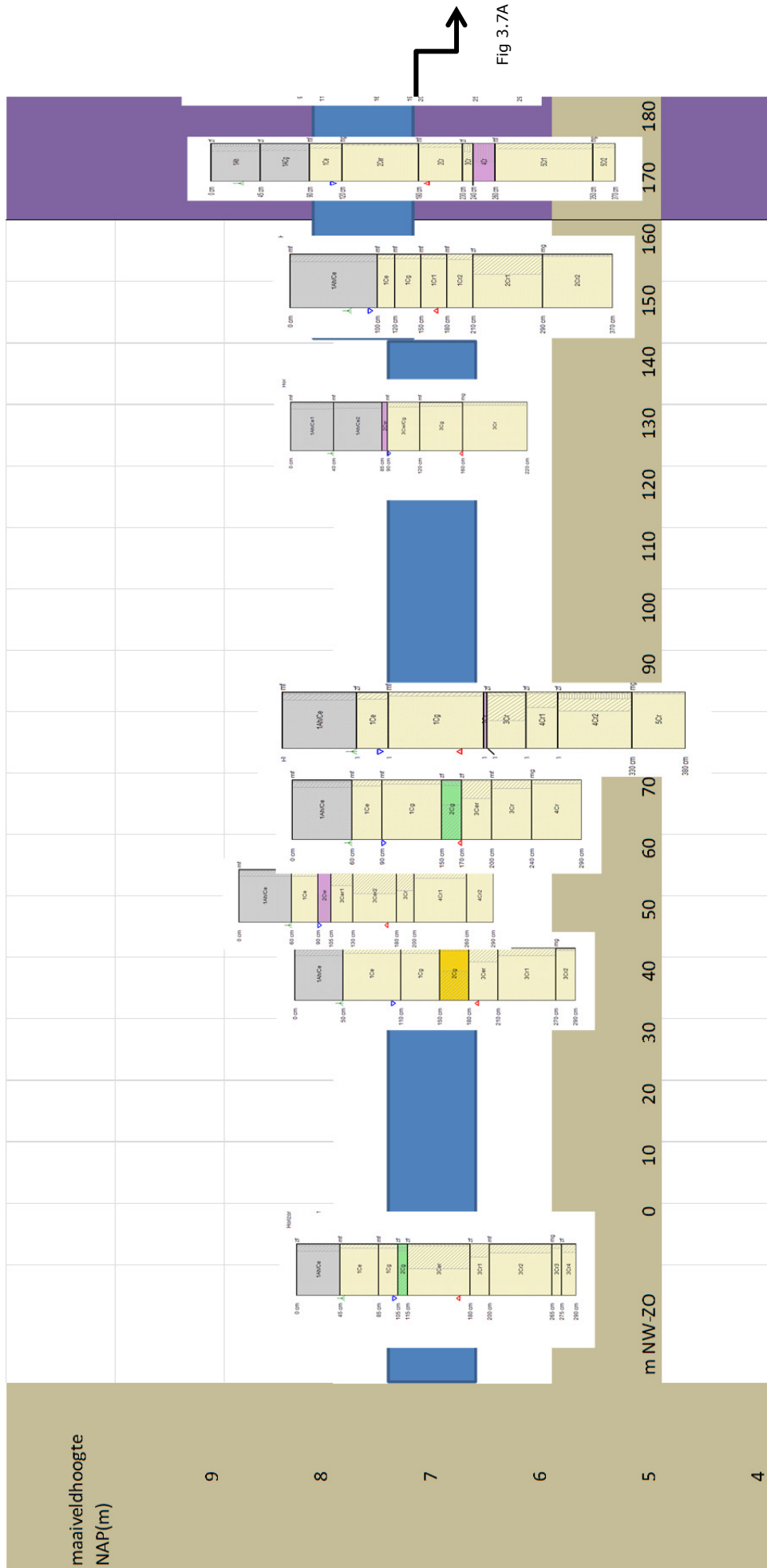


Fig 3.7A

**Figuur 3.7B** Linker deel van de schematische dwarsdoorsnede van de figuren 3.5 en 3.6. Afstand (m) op de x-as; Links is noordwest, hoogte (m) t.o.v. NAP. Paars = veen; Leem = geel; Paarse balken = grenzen van de veenlaag van figuur 3.5; Blauwe balken = diepte waarover het huidige grondwater fluctueert. Figuur 3.7A sluit hier rechts op aan.



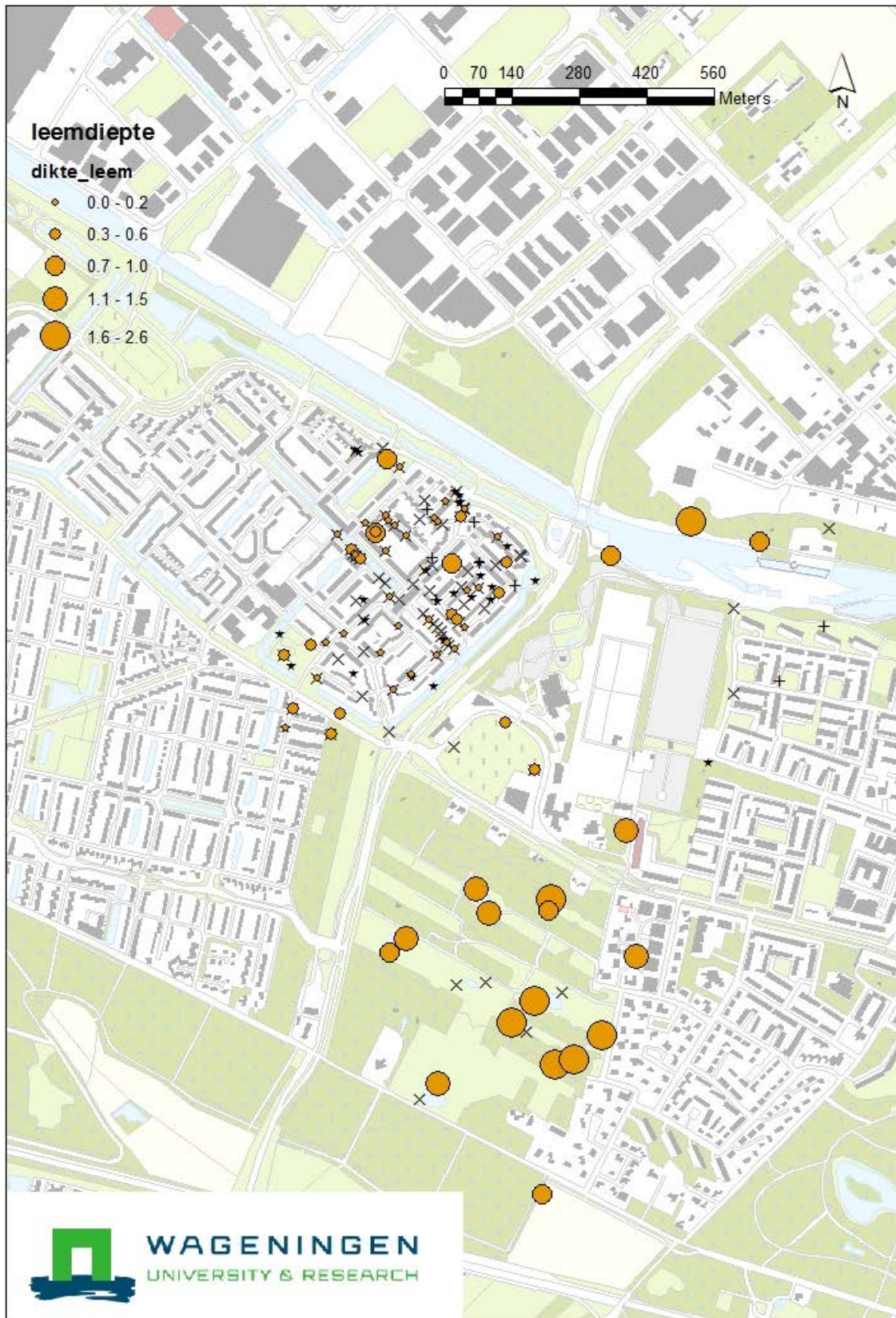
**Figuur 3.8** Grillige vormen van de veenlaag op twee diepten in profielkuil 6. Op de rechter foto is 15 cm dieper gegraven dan op de linker foto.

### 3.3.2 Leem

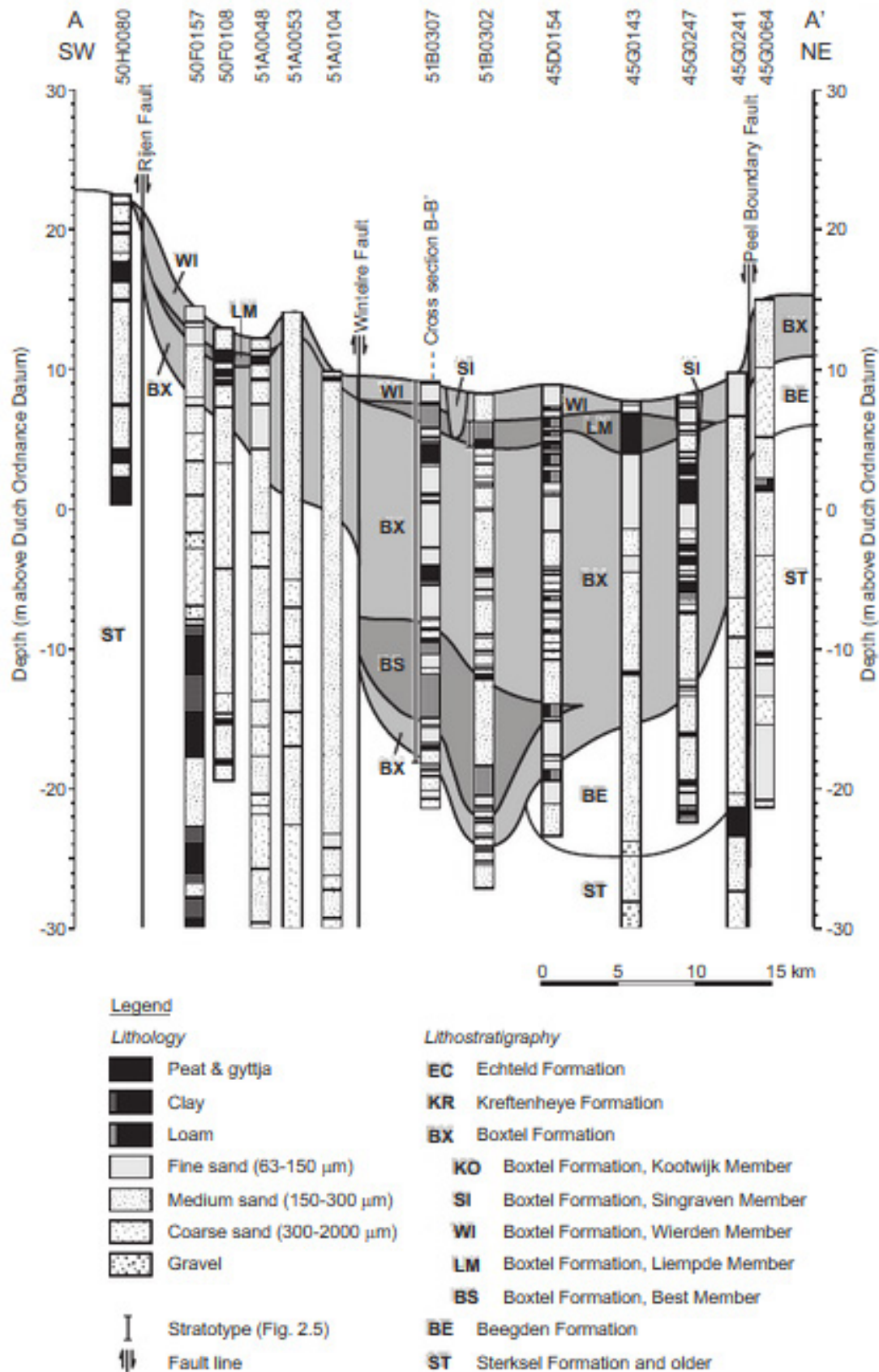
In figuur 3.9 zijn de uitgevoerde boorpunten weergegeven waarin leem is aangetroffen. Klei is niet aangetroffen. Er zijn ook aanvullende boringen rond de poelen bij de Drijfbanen opgenomen. Leem komt overal in het zoekgebied voor. De dikste leemlagen zijn te vinden aan de oostzijde van de Burgemeester van Voorstweg. In het westen zijn de lagen meestal dunner (20 tot 50 cm) en komen op of onder de veenlaag voor.

De leem is ondiep, bevat vaak roestvlekken en bevindt zich veelal beneden het permanente grondwatervniveau. De kleur is dan grijs tot donkergrijs of lichtbruin. Het lutumgehalte (< 2  $\mu\text{m}$ ) is in het veld meestal geschat op circa 10%. De verwachting is dat de krimp met deze lage lutumwaarden nihil zal zijn, hetgeen wordt bevestigd door de laboratoriummetingen. Het bevat wel een hoog gehalte leem (< 50  $\mu\text{m}$ ). Het materiaal is eolisch afgezet.

Het is moeilijk om een groot vlak met leem in de ondergrond af te grenzen. Dit komt omdat de leemlaag vaak grillig van dikte is en fragmentarisch voorkomt. Uit boringen blijkt bijvoorbeeld dat er rond de poelen aan de ene zijde soms een dik leempakket voorkomt, terwijl de leemlaag aan de andere kant, circa 30 m verderop, volledig ontbreekt. De weergave is daarom niet vlakdekkend, maar puntsgewijs opgezet.



**Figuur 3.9** Detailkaart van de locaties en de dikte van de leem, de compleet beschreven profielen (x), de tussenboringen (\*) en de beschreven boringen van Begemannboringen (+).



**Figuur 3.10** Dwarsdoorsnede van lagen in de Centrale Slenk. De hoogste veenlagen komen voor op plm. 4 m-mv (uit: Schokker, 2003).



## 3.4 Laboratoriumanalyses

### 3.4.1 Textuur

De textuuranalyses van de belangrijkste monsters zijn uitgevoerd met de gangbare methoden (pipet- en zeefmethode). Deze zijn gebaseerd op de bepaling van de massafracties door weging. De textuuranalyses van de overige monsters zijn uitgevoerd met de laserdiffractiemethode. Deze methode is sneller en goedkoper, maar gebaseerd op de bepaling van de volumefracties. De methode is vooral in het bereik < 50 um lastig vergelijkbaar met de gangbare methoden. Om een betere vergelijking te kunnen maken met de gangbare methode op massabasis, zijn de conversiefactoren toegepast op de resultaten van de laserdiffractiemethode zoals voorgesteld door Buurman (2001). De genormaliseerde resultaten zijn weergegeven in tabel 3.2.

**Tabel 3.2** Granulaire fractie (% van totale granulaire fractie < 2000um). Daar waar geen waarden staan bij de lutumfracties is de laserdiffractiemethode gebruikt. De overige waarden zijn bepaald met de pipet- en zeefmethode. Monstercodes zijn weergegeven in tabel 3.1.

Fractie (µm) →	0-2	2-16	16-50	(< 50)	50-63	63-105	105-150	150-210	210-420	420-2000
Monstercode										
4-40i	-	-	-	35.1	2.6	15.6	13.4	8.7	17	7.7
4-135i	-	-	-	33.4	1.3	3.9	3.6	4.7	39.8	13.5
4-180i	37.7	32.1	10.3	80.1	4.6	3.3	2.5	2	4.8	2.7
5-45i	-	-	-	33.8	1.7	6.2	6.7	7.7	23.5	20.5
5-230i	19.6	10.8	32.6	63	11.5	9.6	3.4	4.4	6.9	1.3
5-270i	-	-	-	47.9	4.2	10.1	6	5	14.9	12
6-80i	-	-	-	36.3	2.3	8.3	7.8	8	21.5	15.8
6-130i	34.2	25.4	19.7	79.3	4.3	4.1	2.4	2.3	3	4.7
6-155i	20.3	9.9	36.8	67	10.8	9.2	4.9	3.4	4.2	0.3
11-40i	-	-	-	42.9	3.3	9.9	7.9	6.9	15.4	13.8
11-80i	-	-	-	50.6	5	11.7	6.7	5.1	13	7.9
12-80i	18.7	8.5	55.4	82.6	10.7	4.6	0.8	0.7	0.5	0.1
12-190i	23.7	20	46.2	89.9	4	4	0.8	0.6	0.6	0.1

### 3.4.2 Organisch Stof, M50 en textuurklasse

In tabel 3.3 zijn de gemiddelde gemeten organische-stofgehalten gegeven (LOI gecorrigeerd voor grondsoort) van duplomonsters, het M50-getal en de afgeleide textuurklassen van de laboratoriumgegevens. Ter vergelijking zijn ook de textuurklassen gegeven zoals die in het veld zijn ingeschat.

**Tabel 3.3** Gemiddelde gemeten organische-stofgehalten OS (= LOI gecorrigeerd voor grondsoort), de mediaan van de zandfractie M50, en de afgeleide textuurklassen van de laboratoriumgegevens, aangevuld met de oorspronkelijke veldschattingen. Monstercodes zijn weergegeven in tabel 3.1.

Monster	M50 ( $\mu\text{m}$ )	OS (%)	Veldbeschrijving	Laboratorium-beschrijving
4-40i	156	0.4	matig humeus zwak lemig zeer fijn zand	uiterst humusarm zeer sterk lemig uiterst fijn zand
4-135i	315	1.7	humusarm matig grof zand	matig humusarm zeer sterk lemig matig grof zand
4-180i	142	76.1	veen	veen
5-45i	307	1.5	matig humeus zwak lemig fijn zand	zeer humusarm zeer sterk lemig matig grof zand
5-230i	94	8.9	veen	zeer humeus zandig leem
5-270i	221	2.3	zwak lemig zand, gelaagd	matig humusarm zeer sterk lemig matig grof zand
6-80i	263	16.5	heterogeen matig humeus/humeus zwak lemig fijn zand	venig zeer sterk lemig matig grof zand
6-130i	143	65.1	veen (sterk doorworteld, wat ingedroogd)	veen
6-155i	89	9	veen (lemig)	zeer humeus zandig leem
11-40i	218	1.7	heterogeen sterk lemig zeer fijn zand	matig humusarm zeer sterk lemig matig grof zand
11-80i	165	0.3	humusarme leem roestig rond oude wortel	uiterst humusarme zandige leem
12-80i	61	0.5	humusarme leem	uiterst humusarme zandige leem
12-190i	74	2.7	humeuze leem (oude wortelgangen)	matig humusarme siltige leem

### 3.4.3 Hydrofysische karakteristieken

De metingen voor de waterretentiekarakteristieken en de verzadigde en onverzadigde waterdoorlatendheidskarakteristieken zijn samengevoegd in de bodemhydrofysische karakteristieken. Deze zijn weergegeven in bijlage 6. De gefitte Mualem-Van Genuchten-parameters, die voor de modellering nodig waren, zijn weergegeven in tabel 3.4.

**Tabel 3.4** Bodemhydrofysische karakteristieken, weergegeven met de gefitte Mualem-Van Genuchten-parameters. Monstercodes zijn weergegeven in tabel 3.1.

Monster	Verdampings-monster	WCr ( $\text{cm}^2/\text{cm}^3$ )	WCs ( $\text{cm}^3/\text{cm}^3$ )	Alpha ( $1/\text{cm}$ )	n (-)	m (-)	Lambda (-)	Ks* ( $\text{cm}/\text{d}$ )
4-40-i	E111	0.03122	0.30802	0.00917	4.38651	0.77203	0.00010	2.29946
4-135-i	E102	0.03539	0.36683	0.02135	7.23720	0.86183	0.00010	101.38394
4-180-i	E27	0.00000	0.78184	0.00483	1.30564	0.23409	0.00010	30.18525
5-45-i	E48	0.06551	0.32482	0.01216	2.29519	0.56431	0.18043	2.50571
5-230-i	E37	0.00000	0.68073	0.00129	1.54111	0.35112	7.00000	1.12172
5-270-i	E1	0.00000	0.37555	0.00209	1.49091	0.32927	0.00010	2.29498
6-80-i	E15	0.08358	0.36000	0.02428	2.10385	0.52468	0.96677	26.33646
6-130-i	E109	0.00000	0.75821	0.00170	1.44551	0.30820	0.00010	4.59734
6-155-i	E23	0.17973	0.76789	0.00326	1.55565	0.35718	0.00010	4.04767
11-40-i	E49	0.11526	0.30592	0.00527	1.39142	0.28131	2.74222	0.39295
11-80-i	E12	0.12249	0.32049	0.00248	3.00199	0.66689	0.38588	0.81559
12-80-i	E38	0.00000	0.36030	0.00086	1.30062	0.23113	2.00000	0.07790
12-190-i	E18	0.00000	0.44468	0.00048	1.44603	0.30845	2.00000	0.18687

Ks\* = Gefitte verzadigde waterdoorlatendheid. Deze is normaal gesproken kleiner dan de werkelijk gemeten Ks. Daarom zijn Ks\* en Ks niet zonder meer uitwisselbaar.

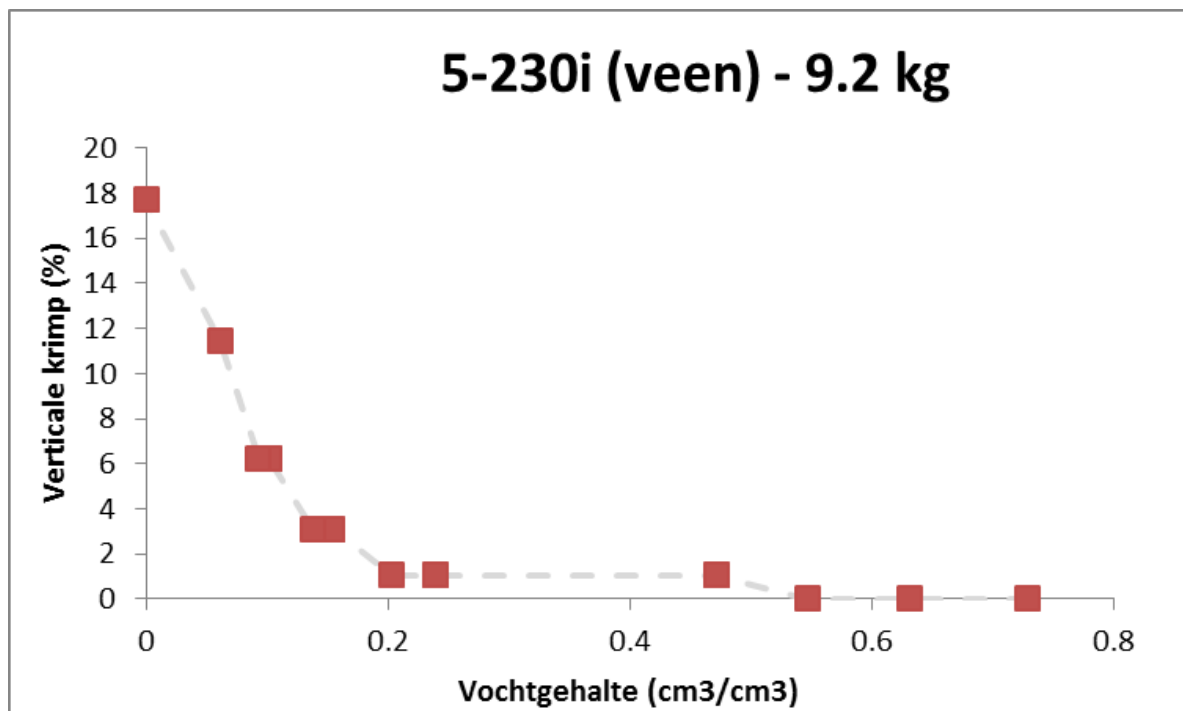
### 3.4.4 Krimpkaracteristieken

De krimpkaracteristieken zijn bepaald bij een afnemend vochtgehalte door droging aan de lucht bij verticale belasting. In figuur 3.11 is een voorbeeld gegeven van een dergelijke karakteristiek voor monster 5-230i. De relatieve verticale krimp (%) van dit veenmonster is weergegeven als functie van het volumetrisch vochtgehalte ( $\text{cm}^3/\text{cm}^3$ ). De verticale krimp is gerelateerd aan de oorspronkelijke monsterhoogte ná aanbrengen van de belasting van 9.2 (kg) in dit monster volgens:

$$\text{VerticaleKrimp} = \frac{L_{\text{oorspronkelijk}} - L(\text{vochtgehalte})}{L_{\text{oorspronkelijk}}} * 100\% \quad (3.1)$$

waarbij  $L$  (cm) de hoogte van het monster is.

De krimpkaracteristieken van de veen- en leemgronden is weergegeven in bijlage 7.



**Figuur 3.11** Voorbeeld van een krimpkaracteristiek, waarbij de relatieve krimp bij belasting is uitgezet als functie van het volumetrisch vochtgehalte.

Uit de krimpmetingen bleek dat er door de grote bovenbelasting op de leem- of veenlagen nagenoeg alleen verticale krimp optreedt. De krimp van de leemlagen is laag, hetgeen op grond van de lutumgehalten verwacht mag worden. De krimp van de veenlagen is eveneens laag. Op grond van ervaringscijfers zou voor dergelijke veengronden met hoge organische-stofgehalten (> 65% bij 4-180i en 6-130i) een grotere krimp worden verwacht. De lage waarden zijn waarschijnlijk het gevolg van de langdurig grote bovenbelasting van de veenlagen. De verzadigde watergehalten  $\theta_s$  van deze veenlagen zijn zoals verwacht hoog en dus niet uitzonderlijk, alhoewel in de literatuur ook hogere waarden voorkomen.

### 3.4.5 Oxidatiesnelheid

Tabel 3.5 geeft de gemeten oxidatiesnelheden van de bemonsterde lagen uit de vijf profielkuilen (voor de ligging van de kuilen zie figuur 3.4). Monsters 4-15 en 21-15 zijn toegevoegd omdat het monsters genomen op 15 cm diepte zijn uit een wortelzone van een grasveld en een wortelzone van een plantsoenbosje. Wortelzones bevatten relatief veel en jonge organische stof en zijn daarom belangrijk als mogelijke 'barrière' voor zuurstof dat daardoor dieper de bodem in diffundeert.

**Tabel 3.5** Waarden van gemeten oxidatiesnelheden bij 21°C en 16°C, daaruit berekende oxidatiesnelheden bij 10°C (referentietemperatuur in ANIMO) en Q<sub>10</sub>-waarden<sup>1</sup>. Eveneens gegeven zijn de gemeten organische-stofgehalten. Alle waarden zijn het gemiddelde van duplo's. Vetgedrukte regels zijn de veenlagen. Monstercodes zijn weergegeven in tabel 3.1 behalve monstercodes 4-15 en 21-15; zie daarvoor de hoofdtekst.

Monster-code	Organisch-stofgehalte (massa-%)	Oxidatiesnelheid (1 <sup>e</sup> -orde-snelhdconst.)			Halfwaardetijd	Q <sub>10</sub> (-)
		21 °C (jaar <sup>-1</sup> )	16 °C (jaar <sup>-1</sup> )	10 °C (jaar <sup>-1</sup> )	10 °C (jaar)	
4-15	6,7	0,1926	0,1006	0,0462	15,0	3,7
4-135	0,4	0,0761	0,0425	0,0211	32,8	3,2
<b>4-170</b>	<b>72,5</b>	<b>0,0447</b>	<b>0,0248</b>	<b>0,0122</b>	<b>56,8</b>	<b>3,3</b>
5-45	1,7	0,0667	0,0391	0,0207	33,5	2,9
5-200	0,5	0,0468	0,0273	0,0139	50,0	3,0
<b>5-240</b>	<b>24,4</b>	<b>0,0410</b>	<b>0,0211</b>	<b>0,0094</b>	<b>73,7</b>	<b>3,8</b>
5-270	3,0	0,0396	0,0206	0,0094	73,8	3,7
6-80	1,9	0,0276	0,0136	0,0057	120,8	4,2
<b>6-155</b>	<b>14,7</b>	<b>0,0419</b>	<b>0,0219</b>	<b>0,0100</b>	<b>69,4</b>	<b>3,7</b>
11-150	0,5	0,0606	0,0404	0,0239	29,0	2,3
12-190	3,3	0,0253	0,0151	0,0081	85,7	2,8
21-15	18,3	0,1181	0,0643	0,0311	22,3	3,4

<sup>1</sup> Q<sub>10</sub> is de factor waarmee de snelheid toeneemt bij 10 °C temperatuurstijging.

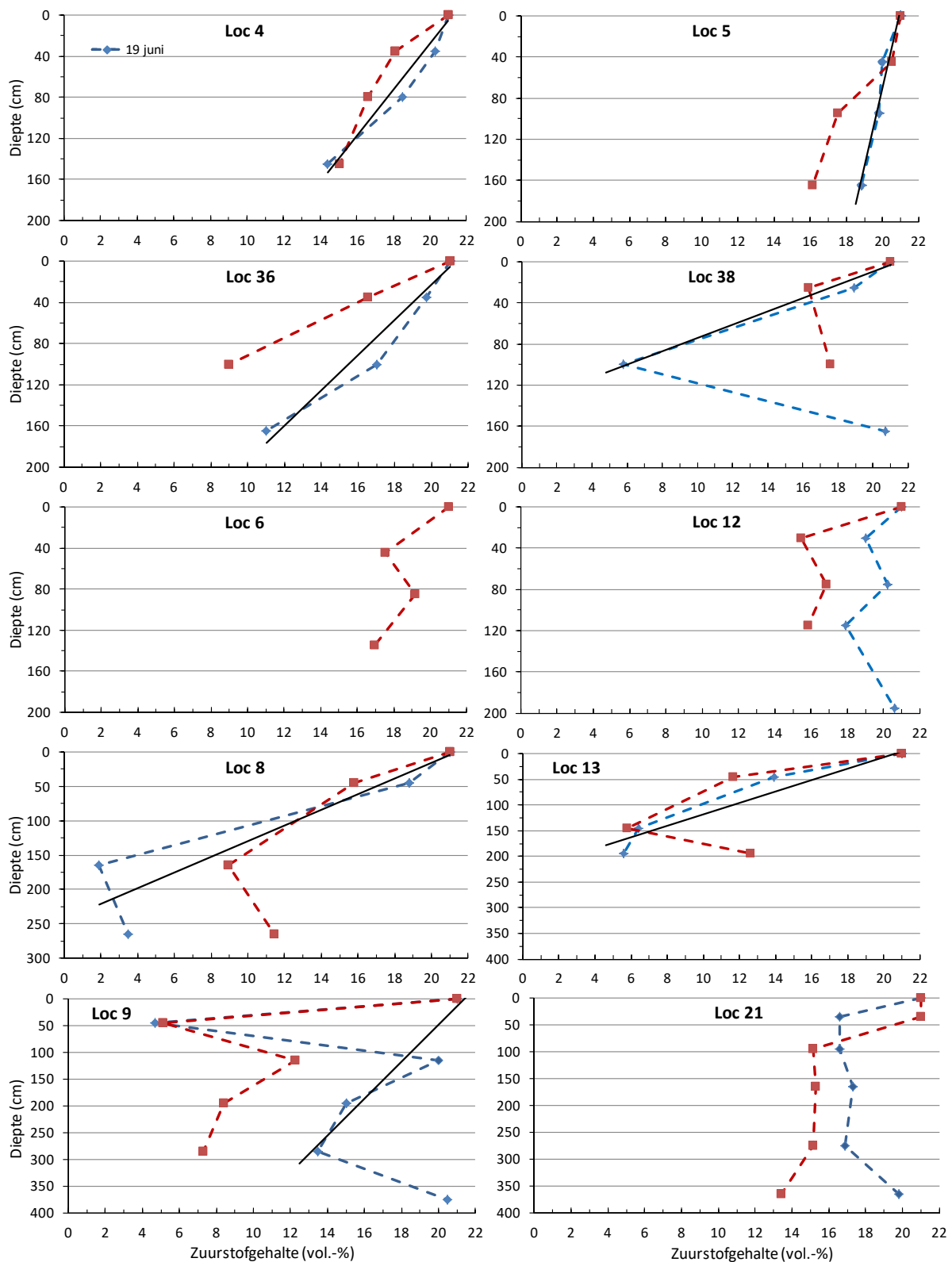
De twee wortelzones, monsters 4-15 en 21-15, lieten zoals verwacht de grootste oxidatiesnelheden zien; vooral die van de graslocatie was vrij hoog. Als referentie kan de oxidatiesnelheid van humus in een landbouwkundige bodem dienen, die bedraagt 0,015-0,02 jaar<sup>-1</sup> bij 10 °C. De waarden van niet of matig gehumificeerd eutroof laagveen liggen in dezelfde orde van grootte; die van oligotroof laagveen zijn twee tot vier keer zo laag (Vermeulen en Hendriks, 1997). Het veen uit de profielkuilen had dus vergelijkbare oxidatiesnelheden als oligotroof laagveen. Dit is opmerkelijk, omdat het Tilburgse veen waarschijnlijk vele malen ouder is dan het laagveen en veel langer heeft blootgestaan aan zeer langzame, maar persistente zuurstofloze afbraak.

De overige bodem-organische-stof had oxidatiewaarden die in de orde lagen van die van humus. De twee laagste waarden waren mogelijk veroorzaakt door een hoog lutumgehalte (24% bij 12-190; onbekend bij 6-80). Lutum heeft een remmende werking op de activiteit van micro-organismen (Hendriks, 1991). Mogelijk was dat ook de oorzaak van de 20% hogere oxidatiesnelheid van het organische-stofrijke veen van 4-170 in vergelijking met de andere twee venen. De massaverhouding tussen organische stof en lutum was veel groter bij 4-170.

De Q<sub>10</sub>'s lagen rond 3 (-), de standaardwaarde in ANIMO. Het gemiddelde bedroeg 3,3. De waarden van twee veenlagen waren wat hoger, iets wat ook is gevonden door Vermeulen en Hendriks (1997). De populaties micro-organismen in die veenlagen leken wat gevoeliger voor de temperatuur dan gemiddeld.

### 3.4.6 Zuurstofgehalte van bodemlucht

Figuur 3.12 toont de resultaten van de analyses van zuurstofgehalten in bodemlucht uit luchtkamertjes op verschillende diepten. De resultaten van twee bemonsteringsronden zijn opgenomen. Locatie 6 is in juni niet bemonsterd. De resultaten van 4 mei zijn indicatief, omdat het niet helemaal zeker is dat ze op de juiste manier waren gemeten. De resultaten van 19 juni zijn wel betrouwbaar (zie 2.3.8). Vergelijken van de twee bemonsteringsronden suggereert dat de resultaten van de eerste ronde wel realistisch waren. De resultaten van 25 april zijn niet opgenomen, omdat de lucht in de kamertjes naar verwachting nog niet in evenwicht was met de bodemlucht, zo kort na plaatsing van de buizen met luchtkamers.



**Figuur 3.12** Resultaten van de zuurstofmetingen in bodemlucht van verschillende diepten. De monsters zijn genomen op 4 mei en 19 juni. Zeven monsterlocaties zijn gegroepeerd in twee groepen voor de ANIMO-kalibratie tegen zuurstofgehalten: de bovenste vier locaties vormden de groep 'veenlaag met ondiepe grondwaterstand en weinig organische stof in het profiel boven de veenlaag' en de onderste drie locaties Loc 8, Loc 13 en Loc 9 de groep 'diepe grondwaterstand met veel organische stof in het profiel boven de grondwaterstand'. Van de laatste groep had alleen Loc 8 een veenlaag. Door de metingen van 19 juni van deze zeven locaties is een rechte zwarte lijn gefit om het nagenoeg lineaire verband met de diepte te illustreren. Bij Loc 38 en Loc 9 zijn de afwijkende diepste monsters niet meegenomen. Let op de verschillen in schaal van de y-assen van de twee groepen.

---

Over het algemeen waren de zuurstofgehalten op enige diepte – dieper dan één meter – hoger dan verwacht op basis van literatuur over voornamelijk landbouwbodems en hoogproductieve grasvelden. Mogelijke redenen daarvan is dat de Tilburgse bodems geen landbouwbodems zijn en relatief diepe grondwaterstanden hebben.

Aannemende dat de resultaten van de bemonstering van 4 mei realistisch waren, waren er drie locaties waar de zuurstofgehalten in de tijd afnamen en zes locaties waar de zuurstofgehalten in de tijd toenamen. De afname kwam waarschijnlijk doordat de tijdens plaatsen van de luchtbuizen ingebrachte luchtzuurstof op 4 mei nog niet in evenwicht was met de plaatselijke bodemlucht. De toename is te verklaren uit het dalen van de grondwaterstand en het daarmee samenhangende droger worden van de bodem in de lange droge periode na plaatsing van de luchtbuizen. In een drogere bodem verloopt de zuurstofdiffusie sneller (zie 2.4.2.2). Toch kan niet met zekerheid worden uitgesloten dat er lekkage van luchtzuurstof naar grotere diepten heeft plaatsgevonden. Opvallend is dat locatie 21 – met diepe grondwaterstand en relatief weinig organische stof in het profiel (figuur 2.3) en om die redenen gekozen is als 'worst case' – inderdaad de grootste zuurstofgehalten tot grote diepten laat zien.

De grote toename van de luchtzuurstof met de diepte onder luchtkamertjes met relatief lage waarden op locaties 38, 12, 9 en 21 is moeilijk te verklaren. De bodemzuurstof verplaatst zich in principe door diffusie vanaf maaiveld verticaal naar beneden, gedreven door concentratieverschillen, met de atmosferische lucht als zuurstofbron. In dat algemene beeld is een afname met de diepte gevolgd door weer een toename met de diepte moeilijk te verklaren. Opvallend bij deze situatie is dat het altijd het laagste kamertje was dat deze toename liet zien. Meestal lag dat niet ver boven de grondwaterstand. Mogelijk was er een relatie met de grondwaterstand of de volcapillaire zone, doordat er in die zeer natte bodem weinig biologische activiteit was en bijna geen zuurstof werd gebruikt uit de omgeving waaronder het luchtkamertje.

Een andere optie is dat er toch aanvoer door preferentiële stroming heeft plaatsgevonden door preferente banen, mogelijk veroorzaakt door het plaatsen van de buizen of vroegere activiteiten gerelateerd aan het bouwen van huizen. Bij Loc 38 onder een stoep is het laatste mogelijk een verklaring. Bij Loc 9 en Loc 21 zouden bomen een rol hebben kunnen gespeeld; de buizen stonden hier onder de kroon van een boom dus mogelijk ook in de invloedssfeer van de boomwortels.

Het consequent zeer lage gehalte in het bovenste kamertje van luchtbuis 9 doet vermoeden dat er iets bijzonders was met dat kamertje, bijvoorbeeld dat het volledig omsloten was door bodemmateriaal met veel makkelijk afbreekbare organische stof. Op die locatie met een bijna-bosgrond met veel jonge organische stof was dat heel goed mogelijk.

Belangrijke constatering voor de kalibratie van ANIMO op zuurstofgehalten was dat het verloop van de zuurstofgehalten op 19 juni in de meeste gevallen ongeveer of nagenoeg lineair met de diepte was. Figuur 3.12 laat zeven voor de kalibratie van ANIMO geselecteerde locaties zien waarbij door de metingen een rechte lijn is gefit. Voor twee van die zeven locaties – Loc 38 en Loc 9 - moest daarvoor de meting van het onderste kamertje worden genegeerd; bij Loc 9 ook die van het bovenste kamertje. Bij de kalibratie is van dat gegeven gebruikgemaakt.

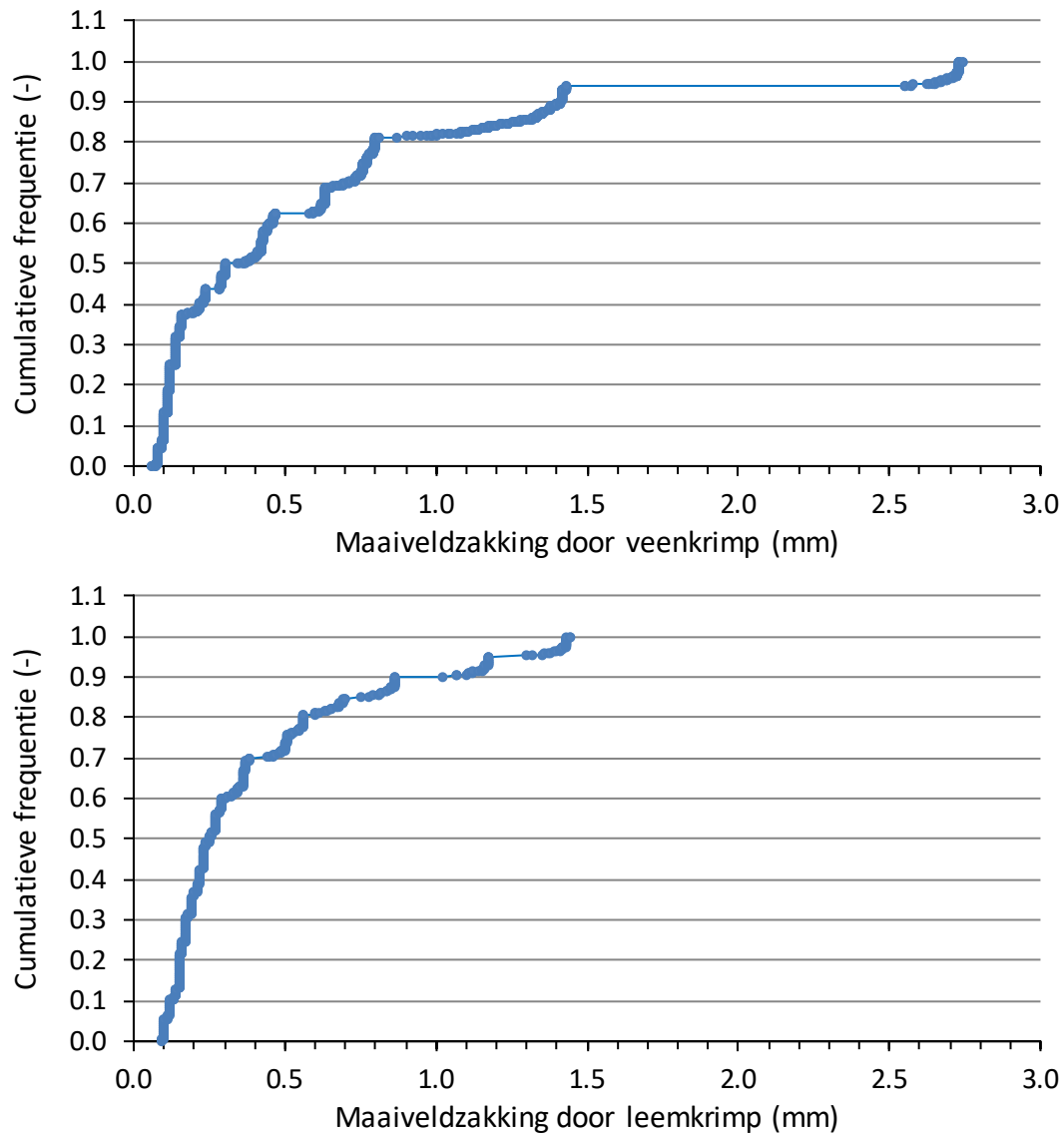
## 3.5 Modelberekeningen

De bespreking van de resultaten van de modellering beperkt zich voornamelijk tot de resultaten die zijn aangeleverd aan de opdrachtgever voor het opstellen van zijn rekenregels. Detailresultaten van fitprocedures en kalibratie zijn in de relevante bijlagen beschreven.

De bespreking van de modelresultaten is opgedeeld in de Berekeningsfase en Verfijningsfase, de twee relevante fasen van de drie fasen die de opdrachtgever onderscheidde.

### 3.5.1 Berekeningsfase

In de berekeningsfase waren de producten van de modellering de resultaten van de statistische analyses van modelresultaten. Deze heeft de opdrachtgever gebruikt om rekenregels op te stellen.

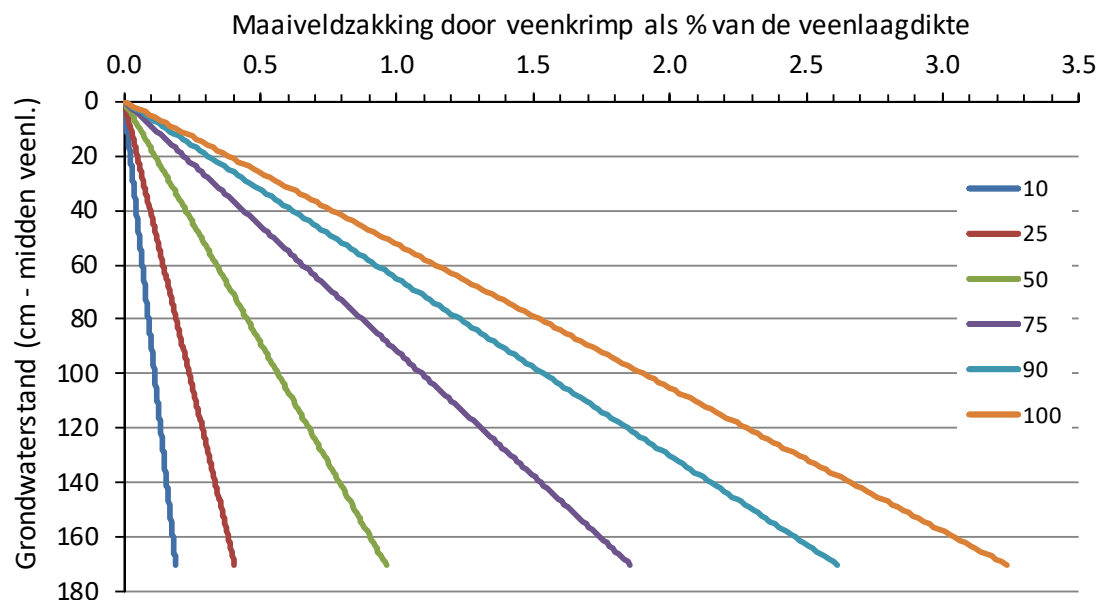


**Figuur 3.13** Frequentiediagrammen van de SWAP-modelresultaten van veenkrimp (boven) en leemkrimp (onder). De waarde 0,9 op de y-as is het 90<sup>e</sup>-percentiel dat aangeeft aan dat van 90% van de doorgerekende varianten de krimp kleiner is dan de bijbehorende waarde op de x-as.

Per onderwerp – veenkrimp, leemkrimp en veenoxidatie – is in de Berekeningsfase eerst een frequentiediagram opgesteld. Op basis daarvan is besloten welke nadere analyses uit te voeren. Dit wordt achtereenvolgens besproken voor krimp en oxidatie.

#### 3.5.1.1 Krimp

De frequentiediagrammen van veenkrimp en leemkrimp zijn getoond in figuur 3.13. De aandacht ging bij deze diagrammen vooral uit naar het 90<sup>e</sup> percentiel, omdat de methode van de opdrachtgever gebaseerd was op het aftasten van de 'conservatieve' situatie waarbij de grotere kansen op maaiveldzakking werden gebruikt in de rekenregels.



**Figuur 3.14** Grafische weergave van het statistische model voor maaiveldzakking door veenkrimp als functie van grondwaterstand na grondwaterdaling en percentiel van het frequentiediagram van veenkrimp, zoals afgeleid uit de SWAP-berekeningen. De resultaten zijn de maaiveldzakkingen als % van de veenlaagdikte. De zes lijnen zijn de berekeningen voor de percentielen (in %) in de legenda.

Het 90<sup>e</sup> percentiel (de x-waarde bij de waarde 0,9 op de y-as) van de maaiveldzakking door krimp geeft aan dat in 90% van de doorgerekenende varianten de krimp kleiner is dan de aangegeven waarde op de x-as. Het 90<sup>e</sup> percentiel was bij veen bijna twee keer zo groot als bij leem: 1,4 mm tegen 0,9 mm. Daarnaast toonde veen een grote uitschieter van 2,7 mm als maximum, waar leem bleef steken op maximaal 1,4 mm. De medianen van beide bodemmaterialen waren gelijk: 0,3 mm.

De hoogste waarden, zowel bij veen als leem, zijn consequent berekend voor de extreme grondwaterstanddaling van 2,0 m ten opzichte van de huidige grondwaterstand. De patronen zijn goed te herkennen in de diagrammen: elk afgebakend groepje van 30 punten – een 'subcurvetje' – is één combinatie van grondwaterscenario, krimpkarakteristiekvariant en veendikte of leemprofiel met daarin de 30 weerjaren die een eigen frequentiediagram laten zien. Onderin de diagrammen zijn de subcurven nog moeilijk van elkaar te onderscheiden. De grafiek van veenkrimp is opgebouwd uit 48 subcurves met 30 punten (4 krimpkarakteristieken x 3 veendikten x 4 varianten van grondwaterstanddaling = 48 combinaties die voor 30 jaar zijn doorgerekend). Voor krimp van leem zijn dat 20 subcurves met elk 30 punten (5 leemlaagprofielen x 4 varianten van gedaalde grondwaterstanden). De twee groepjes bij veen en de vier bij leem boven in het diagram behoren allemaal tot het extreme grondwaterscenario. Bij veen komt de krimpkarakteristiek op de tweede plaats als bepalende factor en bij leem de combinatie van de krimpkarakteristiek van de humeuze leem in combinatie met het dikste leemprofiel (profielvariant 2, 2.4.3.1).

Omdat de waarde van het 90<sup>e</sup> percentiel van leem kleiner was dan 1 mm (0,9 mm), besloot de opdrachtgever dat een nadere uitwerking van de leemkrimp in een rekenregel niet nodig was: leem kreeg standaard 0,9 mm als krimpwaarde in hun 'rekenregel'. Statistisch gezien is dit toch een zeer conservatieve waarde omdat 90% van de modeluitkomsten kleiner is.



Voor veen is wel een nadere analyse gedaan voor het ontwikkelen van een rekenregel (zie bijlage 1, B1.2.6). Daaruit kwam een relatie van maaiveldzakking door veenkrimp met de grondwaterstand en met het gekozen percentiel van het frequentiediagram. De laatste is een gecombineerde invloed van krimpkarakteristiek met veendikte. De wiskundige beschrijving is:

$$p_{z,k} = 0,0003h_{g,m} e^{(0,415\sqrt{P})} \quad (3.2)$$

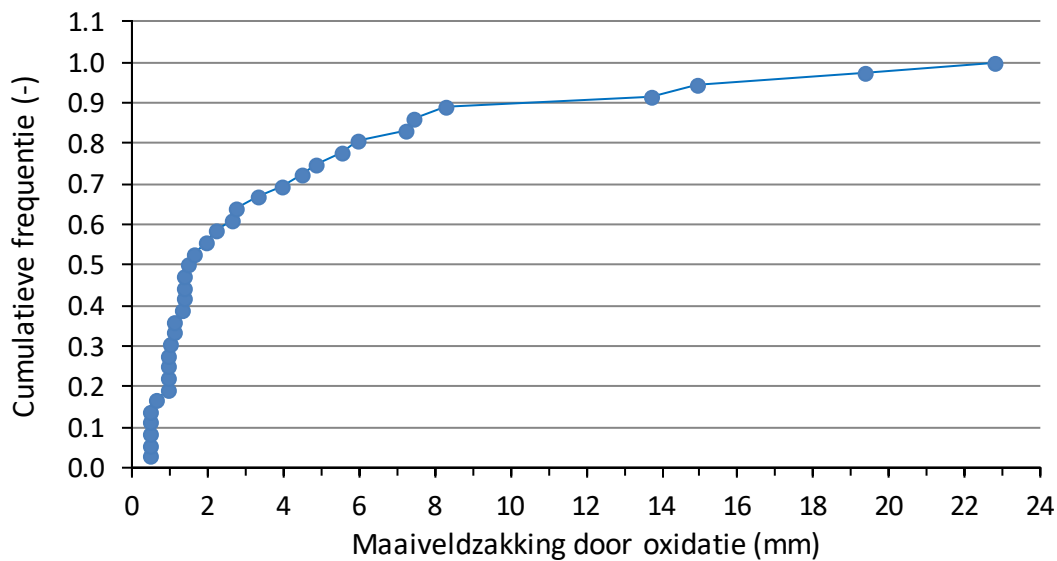
met:

- $p_{z,k}$  = maaiveldzakking door krimp van veen als % van de veenlaagdikte (%);
- $h_{g,m}$  = grondwaterstanddiepte na daling t.o.v. het midden van de veenlaag (cm);
- $P$  = percentiel (%).

Door een percentiel te kiezen kan met de vergelijking de maaiveldzakking door veenkrimp worden berekend afhankelijk van de gedaalde grondwaterstand. Bij elk percentiel is de relatie tussen krimp en grondwaterstand lineair. Figuur 3.14 geeft grafische resultaten van het statistische model.

### 3.5.1.2 Oxidatie

Figuur 3.15 toont het frequentiediagram van maaiveldzakking door vijftig jaar veenoxidatie. Hierin komen geen individuele weerjaren naar voren als bij krimp, omdat elk scenario voor een 50-jarige weerperiode geldt. Het eerste dat opvalt is dat de veenoxidatie van de Berekeningsfase een orde groter is dan de veenkrimp: de mediaan is 1,3 mm tegen 0,3 mm bij krimp, het maximum is 22,8 mm tegen 2,7 mm bij krimp.



**Figuur 3.15** Frequentiediagram van de SWAP-ANIMO-modelresultaten van maaiveldzakking door vijftig jaar veenoxidatie.

Nadere analyse wees uit dat ook bij veenoxidatie de grondwaterstand sterk bepalend was. Daarnaast bleek ook de dikte van de veenlaag een voorspellende factor. Daarom is een tweevoudige lineaire regressiemodel gefit op de krimpresultaten met grondwaterstand na daling en veendikte als verklarende variabelen. Hiervoor zijn van elke combinatie grondwaterstand-veendikte ( $4 \times 3 = 12$  punten in figuur 3.15) de hoogste berekende waarden genomen. Deze hoorden op één na allemaal bij veenlaagprofiel 3 met 75% organische stof en de hoogste oxidatiesnelheid (zie verder bijlage 1, B1.2.6).

Door een fout zijn er twee modellen ontstaan waarvan de foutieve aan de opdrachtgever is geleverd die er zijn rekenregels mee heeft opgesteld. De fout was dat bij het fitten niet de juiste veendikten waren gebruikt: namelijk 10, 20 en 30 cm in plaats van 10, 30 en 50 cm. Beide modellen zijn hieronder wiskundig beschreven :

$$\Delta z_o = 0.1358D_v + 0.1027h_{g,m} - 2.6403 \quad (3.3a)$$

$$\Delta z_o^* = 0.2715D_v + 0.1027h_{g,m} - 3.9978 \quad (3.3b)$$

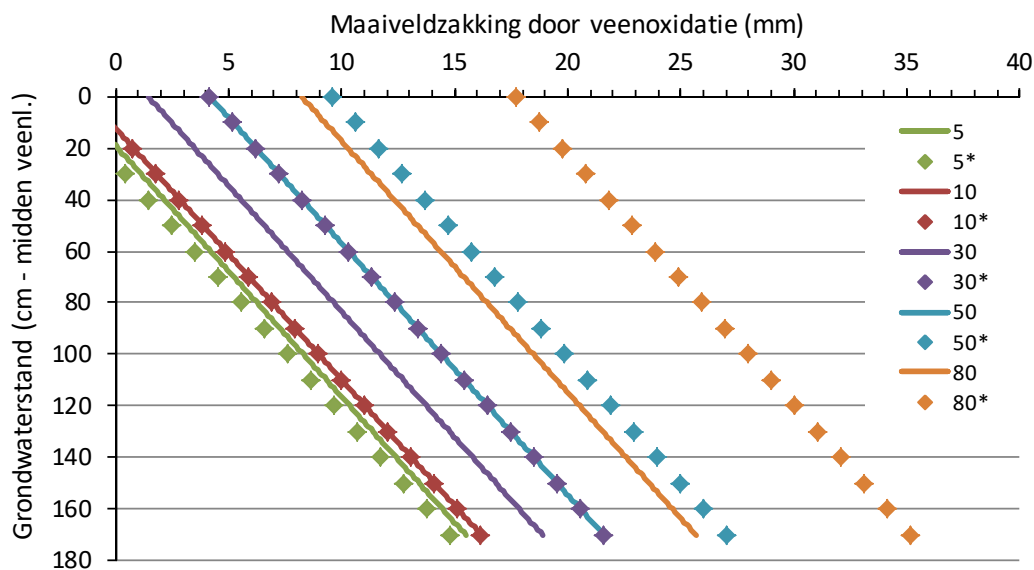
met:

$\Delta z_o$  = correct regressiemodel: maaiveldzakking door vijftig jaar oxidatie van veen (mm);

$\Delta z_o^*$  = fout regressiemodel: maaiveldzakking door vijftig jaar oxidatie van veen (mm);

$D_v$  = dikte van de veenlaag (cm);

$h_{g,m}$  = grondwaterstanddiepte na daling t.o.v. het midden van de veenlaag (cm).



**Figuur 3.16** Grafische weergave van het regressiemodel voor maaiveldzakking door vijftig jaar veenoxidatie (in mm) als functie van de grondwaterstand na grondwaterdaling en de veenlaagdikte, zoals afgeleid uit de SWAP-ANIMO-berekeningen. Het correcte en foute model zijn beide gegeven voor vijf dikten. De dikten zijn aangegeven in de legenda in cm; de getallen met asterisk (\*) gemarkeerd en bijbehorende stippellijnen representeren het foute model.

Ook in dit model is de invloed van de gedaalde grondwaterstand op de maaiveldzakking lineair. Bij veendikten van 50 en 80 cm is er bij een grondwaterstand van 0 cm ten opzichte van het midden van het veen toch nog een substantiële maaiveldzakking. Die treedt op, omdat er bij deze grondwaterstand een substantieel deel van de veenlaag boven het grondwaterpeil ligt.

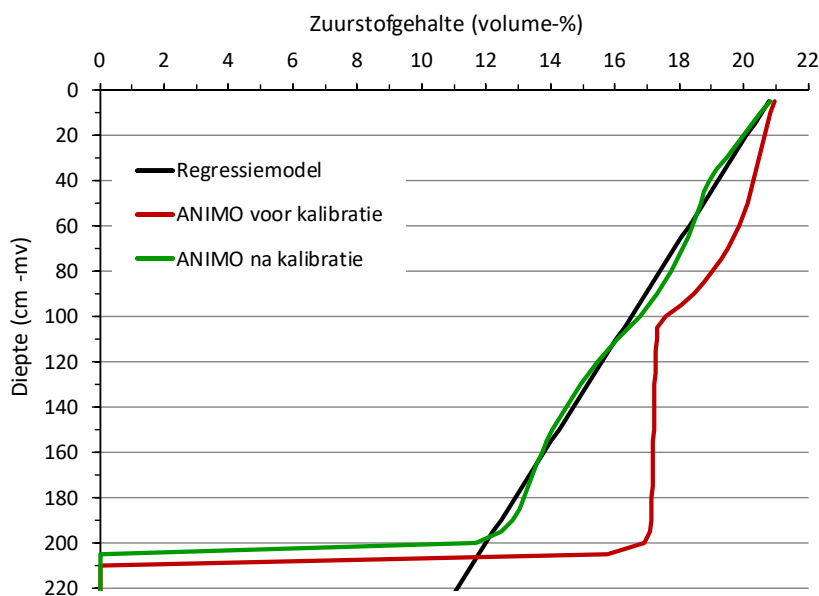
De fout had tot gevolg dat door de opdrachtgever met het foute model (veel) te hoge maaiveldzakkingen zijn berekend. Figuur 3.16 is een grafische representatie van uitkomsten van beide modellen. Hierin is te zien dat bij veendikten groter dan 10 cm de verschillen in berekende zakking tussen beide modellen snel toenemen met de dikte van de veenlaag. Het maximale verschil bij een dikte van 80 cm bedroeg een overschatting van 84% door het foute model. Bij dikten kleiner dan 10 cm onderschatte het foute model de maaiveldzakking. Absoluut gezien was deze fout zeer gering en van geen betekenis.

In het proces van inschatting van gevolgen van maaiveldzakking voor schade aan huizen door de opdrachtgever met een Berekeningsfase en een Verfijningsfase was een overschatting van

maaiveldzakking door oxidatie in de Berekeningsfase in principe geen probleem, omdat deze alleen maar leidde tot een overschatting van het aantal locaties met te hoge maaiveldzakking. Dat betekent dat mogelijk te veel locaties kandidaat zijn geworden voor een meer gedetailleerde berekening in de Verfijningsfase. Deze kandidaten zouden met het correcte model zijn gemist. In de Verfijningsfase zijn alle locaties met te hoge zakking in het systeem van de opdrachtgever met een verbeterd en daardoor realistischer model doorgerekend voor hun maaiveldzakking door oxidatie.

### 3.5.2 Verfijningsfase

In de Verfijningsfase waren de producten van de modellering de resultaten van de 27 individuele locaties die zijn doorgerekend. De resultaten betreffen maaiveldzakking door krimp en door oxidatie. Een eerder belangrijk resultaat in deze fase was een uitkomst van de kalibratie van de zuurstofdiffusieparameters van ANIMO op de gemeten zuurstofgehalten. Dat was het inzicht dat de toch al scherp afgestelde parameters, met waarden die kenmerkend zijn voor gronden met slechte diffusie van zuurstof in het bodemprofiel, nog scherper moesten worden afgesteld. Dit terwijl de metingen van zuurstofgehalten in de bodemlucht juist waarden lieten zien die hoger waren dan verwacht op basis van de literatuur (zie 3.4.6). Blijkbaar was zuurstofdiffusie in de werkelijkheid van ANIMO op de meetlocaties dus geringer dan in de Berekeningsfase was aangenomen. De standaard zuurstofdiffusieparameters voor bodems met slechte zuurstofdiffusie gaven voor de bodems in het onderzoeksgebied toch nog substantiële zuurstofdiffusie die tot hogere zuurstofgehalten in de bodem leidde dan de gemeten gehalten. Door bijstelling naar beneden van de zuurstofdiffusieparameters konden de gemeten zuurstofgehalten goed worden benaderd zoals is getoond in figuur 3.17. Dit was een cruciaal resultaat voor de oxidatieberekeningen van individuele locaties in deze fase. De gevolgen daarvan voor de zuurstofconcentraties in de bodem toont figuur 3.17.



**Figuur 3.17** Zuurstofgehalte als functie van de diepte berekend met ANIMO vóór het kalibreren van de zuurstofdiffusieparameters en ná het kalibreren, vergeleken met een regressiemodel op basis van de gemeten zuurstofgehalten (zie bijlage 1, B1.2.8).

**Tabel 3.6** Modelresultaten van maaiveldzakking door krimp en oxidatie van de individuele locaties in de Verfijningsfase. De krimpwaarden zijn gegeven als de mediaan, 92<sup>e</sup>-percentiel en maximale waarde van de frequentieverdeling van de 25-jarige reeks doorgerekende weerjaren. Ook gegeven zijn de gemeten organische-stofgehalten, als gemiddelden van duplo's. Vetgedrukte regels zijn de locaties met lemig veen.

Locatie	Organische- stofgehalte %	Zakking door krimp			Zakking door oxidatie	
		mediaan (mm)	92 <sup>e</sup> perc (mm)	max (mm)	mediaan-model (mm)	bovengrens-model (mm)
8311001004	75,0	0,3	0,3	0,3	0,9	5,2
8311001007	60,0	0,2	0,2	0,2	2,8	8,3
8311001027	20,0	0,1	0,1	0,1	0,6	0,7
8311001033	42,1	0,5	0,5	0,5	3,5	15,8
<b>2-015</b>	<b>31,4</b>	<b>1,0</b>	<b>1,0</b>	<b>1,0</b>	<b>0,3</b>	<b>1,4</b>
<b>2-017</b>	<b>16,0</b>	<b>0,1</b>	<b>0,1</b>	<b>0,1</b>	<b>0,0</b>	<b>0,1</b>
2-021	74,4	0,3	0,3	0,3	0,0	0,2
2-023	36,8	0,5	0,5	0,5	0,0	0,4
<b>2-034</b>	<b>26,9</b>	<b>0,8</b>	<b>0,8</b>	<b>0,8</b>	<b>0,3</b>	<b>1,5</b>
2-036	60,1	0,4	0,4	0,4	0,0	0,0
2-064	40,7	0,5	0,5	0,5	0,0	0,2
2-066	28,4	0,4	0,4	0,4	0,0	0,1
<b>2-068</b>	<b>16,8</b>	<b>1,5</b>	<b>1,5</b>	<b>1,5</b>	<b>0,3</b>	<b>1,9</b>
<b>2-141</b>	<b>32,9</b>	<b>0,1</b>	<b>0,1</b>	<b>0,1</b>	<b>0,0</b>	<b>0,2</b>
2-143	21,4	1,2	1,2	1,2	0,0	0,8
5-001	29,8	0,3	0,3	0,3	0,0	2,1
<b>5-003</b>	<b>26,6</b>	<b>3,4</b>	<b>3,4</b>	<b>3,4</b>	<b>0,0</b>	<b>0,5</b>
5-005	22,1	0,8	0,8	0,8	1,3	2,0
5-006	29,0	2,2	2,2	2,2	0,8	1,3
5-007	24,1	1,3	1,4	1,4	1,4	1,7
5-009	31,6	0,7	0,7	0,7	0,1	1,4
<b>5-019</b>	<b>19,8</b>	<b>3,9</b>	<b>3,9</b>	<b>3,9</b>	<b>0,9</b>	<b>1,2</b>
5-021	26,1	1,2	1,3	1,3	0,8	0,8
<b>5-023</b>	<b>25,5</b>	<b>2,7</b>	<b>2,7</b>	<b>2,7</b>	<b>4,3</b>	<b>6,6</b>
B05 (Begemann)	19,6	0,6	0,6	0,6	1,9	2,2
HB103	25,0	0,1	0,1	0,1	0,1	0,8
HB114	50,0	0,3	0,3	0,3	0,1	3,5

De resultaten van de Verfijningsfase zijn gegeven in tabel 3.6. De sterke vermindering van de maaiveldzakking door krimp en door oxidatie ten opzichte van de resultaten in de Berekeningsfase heeft de eerste twee volgende oorzaken voor krimp en alle drie de volgende oorzaken voor oxidatie:

1. de individuele grondwaterstanden van de locaties na daling waren veel minder extreem dan het extreme scenario uit de Berekeningsfase van 2 m daling;
2. de individuele gemeten organische-stofgehalten waren (meestal) veel lager dan het gehalte van 75% waarop de hoge waarden van de Berekeningsfase zijn gebaseerd;
3. de zuurstofdiffusie in de ANIMO-berekeningen was sterk verlaagd.

---

## 4 Bespreking Resultaten en Conclusies

Dit rapport geeft de methodieken en resultaten weer van een uitgebreid veld-, laboratorium- en modelonderzoek om te komen tot een betrouwbare voorspelling van de te verwachten bodemkundige maaiveldzakking als gevolg van de plaatselijke grondwaterstandverlaging. Het onderzoek is onder te verdelen in drie fasen:

1. Veldonderzoek (Kartering en monstername)
2. Laboratoriummetingen
3. Modelberekeningen met SWAP-ANIMO
  - a. Berekeningsfase met statistische benadering
  - b. Verfijningsfase met plekspecifieke benadering van een aantal onderzoekslocaties

### **Veldonderzoek**

Het veldonderzoek heeft geresulteerd in:

- 66 uitgebreid beschreven profielbeschrijvingen van handboringen tot maximaal 4 m diep
- 56 tussenboringen, met minder uitgebreide profielbeschrijvingen
- Een kaart van de begrenzing van het gebied met veenlagen
- Een indicatieve kaart met de leemlaagdikten in het gebied
- Monstername 14 bodemhorizonten in 5 profielkuilen
- Monstername van bodemlucht in 10 buizen elk met 3 tot 5 luchtkamers

De profielbeschrijvingen en tussenboringen zijn gebruikt voor het definiëren van geschikte monsterlocaties, het vervaardigen van de veen- en leemkaarten en het samenstellen van de modelprofielen voor de SWAP-ANIMO-berekeningen.

De kaarten betreffen het gebied waarin:

- Het veen dat zich nu nog onder de grondwaterstand bevindt, maar na peilverlaging erboven komt. Deze restrictie is gehanteerd, omdat krimp en oxidatie van alleen deze veengronden toe te schrijven zijn aan de peilverlaging. De toename van krimp en oxidatie in de lagen boven de huidige grondwaterstand door grondwaterstanddaling zal vooral voor krimp zeer gering zijn en voor oxidatie ook beperkt.
- Het veen of leem zich op een maximale diepte van 4 m onder maaiveld bevindt. Dit is de maximale diepte waarop op betrouwbare wijze met de beschikbare middelen kon worden gekarteerd.
- De veenlaag minimaal 5 cm dik is. Sporadische locaties waar ondiep veen voorkomt, of slechts een dunne laag, zijn buiten beschouwing gelaten.
- Het veen of leem zich bevindt binnen het gebied zoals door de opdrachtgever aangegeven op hun polygoonkaarten.

De locaties met (zandige of kleiige) veenlagen (> 22.5% organische stof, afhankelijk van het lutumgehalte) beperken zich uitsluitend tot de wijk Gesworen Hoek en hebben een dikte die varieert tussen de 0 en 70 cm.

Locaties met leemlagen (> 50% leem) zijn te vinden in de wijk Gesworen Hoek met een dikte van 0 tot 1 m; in de wijk Wandelbos-Zuid en juist ten noorden van de wijk Het Wandelbos met een dikte die varieert van 0-2.6 m. Klei (> 25% lutum) komt in het onderzochte gebied (paragraaf 2.2) niet voor.

### **Laboratoriumanalyses**

De grondmonsters die genomen zijn in het veld zijn geanalyseerd op organische-stofgehalte (gloeiverlies), dichtheid, textuurverdeling (korrelgrootteverdeling), krimp als functie van het vochtgehalte onder belasting, waterretentie en waterdoorlatendheid bij verschillende vochtgehalten en oxidatiesnelheden. De resultaten van deze analyses zijn gebruikt als invoer voor de SWAP-ANIMO-modelberekeningen om water- en luchttransport in de bodem, en daarmee vochtgehalten, krimp en oxidatie in de bodem te kunnen voorspellen voor het gebied in de situatie na grondwaterstandverlaging.

---

De krimpeigenschappen en oxidatiesnelheden van het veen in de Gesworen Hoek wijken af van meer gangbare veeneigenschappen zoals die in de literatuur te vinden zijn. Zowel de krimp als de oxidatiesnelheden zijn beduidend lager. Het is niet duidelijk wanneer het veen is gevormd. Meest aannemelijk is dat dit is gebeurd in het Bølling-interstadiaal, een warmere periode in de Weichselien-ijstijd. Niet alle eigenschappen bevestigen echter deze aanname. De krimp bedroeg maximaal 18% van de oorspronkelijke hoogte in ovendroge toestand (105 °C). In de literatuur is een krimp van 50% of meer niet ongebruikelijk. Verder was het opvallend dat bij alle veenmonsters de structuur intact bleef, ook na volledige uitdroging. De monsters klaptten niet in elkaar, ook niet onder belasting. Dit komt waarschijnlijk door de grote samendrukkende belasting die het veen op die diepte gedurende lange tijd heeft ondergaan. De oxidatiesnelheidsconstanten in de veenlagen bedroegen rond de 0.01 (-) per jaar. In een standaard veenlandbouwgrond bedraagt deze 0.015-0.020 per jaar bij 10 °C.

De zuurstofgehalten van de monsters van bodemlucht zijn gemeten op diverse diepten en tijdstippen in de bodem. Deze namen zoals verwacht in het algemeen af met de diepte. De profielen met weinig organisch stof en vochtige condities hadden de grootste afname van het zuurstof met de diepte (gemiddeld 0.03-0.07% per cm). De profielen met veel organische stof en droge condities hadden de kleinste afname van het zuurstof met de diepte (gemiddeld 0.01-0.06% per cm). Deze metingen zijn gebruikt om het model ANIMO te kalibreren voor de situatie in de Gesworen Hoek.

### **Modelberekeningen**

Op basis van de profielbeschrijvingen, meteo- en grondwaterstandgegevens en meetgegevens zijn modelsimulaties met SWAP-ANIMO uitgevoerd voor bodemprofielen in het gebied. De modelsimulaties hadden ten doel om de mate van krimp in veen en leem te kwantificeren, evenals de mate van oxidatie over een periode van 50 jaar. Dit is gedaan voor verschillende weerjaren, grondwaterstanden en bodemprofielen in het gebied.

#### **a. Berekeningsfase (statistische analyse)**

Omdat het onmogelijk is om alle mogelijke bodemprofielen in het gebied apart door te rekenen, is deze fase gedefinieerd. Op basis van de verzamelde gegevens in het veld en in het laboratorium is een grote verzameling modelresultaten gecreëerd voor maaiveldzakking door krimp en oxidatie als gevolg van de grondwaterstanddaling in het gebied. Daarmee kon een gedegen beeld worden verkregen van de ernst en verspreiding van de maaiveldzakking. Bij het genereren van deze verzameling zijn inputparameters gebruikt die de gehele range aan mogelijk voorkomende situaties in het gebied voorstellen. Voor krimp van veen zijn er 48 modellen gerund voor elk 30 jaar (4 krimpkarakteristieken x 3 veendikten x 4 varianten van grondwaterstanddaling = 48 combinaties die voor 30 jaar zijn doorgerekend). Voor krimp van leem zijn dat 20 modellen met elk 30 punten (5 leemlaagprofielen x 4 varianten van gedaalde grondwaterstanden).

De resultaten zijn uitgezet in frequentiediagrammen, waarbij bijvoorbeeld het 90<sup>e</sup> percentiel (0.9 op de y-as) aangeeft dat in 90% van de doorgerekende varianten de krimp kleiner is dan de waarde op de x-as. Het 90<sup>e</sup> percentiel was bij veen bijna twee keer zo groot als bij leem: 1,4 mm tegen 0,9 mm. Daarnaast toonde veen een grote uitschieter van 2,7 mm als maximum, waar leem bleef steken op maximaal 1,4 mm. De medianen van beide bodemmaterialen verschilden slechts weinig: beiden circa 0,3 mm.

Veenoxidatie blijkt in deze statistische benadering 11 mm te bedragen voor het 90<sup>e</sup> percentiel. De mediaan bedraagt 1,5 mm en de maximale oxidatie is 22,8 mm. Nadere analyse wees uit dat bij veenoxidatie de grondwaterstand of oxidatiesnelheid, en daarmee ook het organische-stofgehalte, sterk bepalend was. Een andere, maar minder sterk bepalende factor was de dikte van de veenlaag.

Uit deze populatie van resultaten zijn rekenregels afgeleid voor de ruimtelijke berekening van maaiveldzakking door grondwaterstanddaling. De rekenregels bevatten als output krimp en oxidatie. De input van de regels zijn voor oxidatie: 1) de grondwaterstand ten opzichte van de veenlaag en 2) het organische-stofgehalte. Voor krimp zijn de input voor de rekenregels, a) de grondwaterstandverlaging en b) de dikte van de leem- en/of veenlagen. Omdat de ongunstigste situaties zowel extreem zijn in hun parameterinput als zeer sporadisch voorkomen (bijvoorbeeld de 2 m grondwaterstanddaling), is het 90<sup>e</sup> percentiel uit de frequentiediagrammen als verantwoorde maat beschouwd voor het opstellen van de rekenregels.

---

**b. Verfijningsfase (plekspecifieke analyse)**

Om de werkelijke zakking voor deze specifieke onderzoeklocaties te kunnen bepalen, is in de Verfijningsfase, de tweede berekeningsfase, een niet-statistische benadering gevolgd. Daarbij zijn de tijdens het veldwerk beschreven bodemprofielen in de directe nabijheid van deze woningen in SWAP-ANIMO gesimuleerd en opnieuw doorgerekend. Dit is gedaan voor 27 verschillende profielen. Omdat de oxidatiesnelheden een maatgevend karakter hadden in het optreden van zakking in de vorige berekeningsfase, is de betrouwbaarheid van het model in deze fase verder vergroot door het te kalibreren op basis van zuurstofmetingen in het veld. De zuurstofdiffusie was in werkelijkheid op de gemeten locaties geringer dan in de Berekeningsfase was aangenomen. Het is daarom aannemelijk, en dit blijkt ook uit de modelresultaten, dat de maaiveldzakking op de onderzoeklocaties lager is dan in de statistische benadering was voorspeld.

De vermindering van de maaiveldzakking door krimp en oxidatie ten opzichte van de resultaten in de statistische analyse wordt veroorzaakt door de geringere daling van de grondwaterstand op de individuele plaatsen, de geringere organische-stofgehalten en de geringere zuurstofdiffusie.

Uit de gedetailleerde modelberekeningen van de Verfijningsfase blijkt dat in de profielen met de grootste kans op zakking, de bodemdaling door krimp kleiner is dan 3,9 mm en door 50-jarige oxidatie kleiner dan 15,8 mm op één onderzoeklocatie. Dit zijn maximale waarden (25 waarden voor krimp over 25 jaar modelberekening; en hoogste te verwachten zuurstofgehalten gebaseerd op naar het model doorvertaalde veldmetingen). De maximale oxidatie op alle andere punten blijft onder de 8,3 mm. Zodra de mediaan wordt beschouwd, blijven de krimp en oxidatie allen onder de 3,9 mm en 4,3 mm. De grondwaterstanddaling geeft tevens een belastingverhoging in de ondergrond, waardoor mogelijk (geotechnische) zetting kan optreden. Deze zetting is niet meegenomen in voorliggend rapport.

**Opmerking**

Een aandachtspunt is de aanwezigheid van bomen in het onderzochte bebouwde gebied. Diep wortelende bomen en struiken kunnen plaatselijk eventueel aanwezige veenlagen droger trekken dan op basis van de berekeningen zou worden verwacht. Er zijn in het bebouwde gebied bomen aanwezig, maar deze staan vrijwel allen direct langs een waterpartij, of op voldoende afstand van de fundering van woningen, waardoor de kans op beïnvloeding klein is. In enkele voorkomende gevallen wordt een korte extra beoordeling aanbevolen.

---

# Literatuur

- Bakker, J.W., J.J.H. van den Akker, P. Cornelissen, D. Boels, 1995. Oorzaak en preventie van schade aan wegen door vochtonttrekking door bomen. Wageningen, DLO-Staring Centrum, Rapport 318.
- Bakker, G., R.A.L. Kselik, 2017. Quick Scan – Krimp Bodem Wilhelminakanaal Tilburg – Update GWS200. Wageningen, Wageningen UR – Alterra.
- Bronswijk, J.J.B., 1991. Relation between Vertical Soil Movements and Water-Content 864 Changes in Cracking Clays. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 55:1220-1226
- Buurman, P., Th. Pape, J. A. Reijneveld<sup>1</sup>, F. de Jong and E. van Gelder, 2001. Laser-diffraction and pipette-method grain sizing of Dutch sediments: correlations for fine fractions of marine, fluvial, and loess samples. Wageningen, Wageningen University. *Geologie en Mijnbouw, Journal of Geosciences* 80 (2): 49-57
- Cate, J.A.M. ten, A.F. van Holst, H. Kleijer en J. Stolp, 1995. Handleiding bodemgeografisch onderzoek; richtlijnen en voorschriften. Deel A: Bodem. Wageningen, DLO-Staring Centrum. Technisch Document 19A
- Durner, W., 1992. Predicting the unsaturated hydraulic conductivity using multi-porosity water retention curves. *In: M. Th. van Genuchten, F.J. Leij, and L.J. Lund (eds.), Proc. Int. Workshop, Indirect Methods for Estimating the Hydraulic Properties of Unsaturated Soils.* pp. 185-202, University of California, Riverside.
- Genuchten, M.Th. van, 1980. A Closed-form Equation for Predicting the Hydraulic Conductivity of Unsaturated Soils. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 44:892-898.
- Genuchten, M.Th. van, F.J. Leij and S.R. Yates, 1991. The RETC code for quantifying the hydraulic functions of unsaturated soils. USDA, US Salinity Laboratory, Riverside, CA
- Heinen, M & G. Bakker, 2016. Implications and Application of the Raats Superclass of Soils Equations. Wageningen, Alterra, *Vadose Zone J.* doi:10.2136/vzj2016.02.0012
- Hendriks, R.F.A., 1991. Afbraak en mineralisatie van veen. Literatuuronderzoek. Rapport 199, DLO-Staring Centrum, Wageningen.
- Hendriks, R.F.A. en J.J.H. van den Akker, 2012. Effecten van onderwaterdrains op de waterkwaliteit in veenweiden. Modelberekeningen met SWAP-ANIMO voor veenweide-eenheden naar veranderingen van de fosfor-, stikstof- en sulfaatbelasting van het oppervlaktewater bij toepassing van onderwaterdrains in het westelijke veenweidegebied. Wageningen, Alterra Wageningen UR, Alterra-rapport 2354.
- Hutten, J.F. 1835. Kaart op schaal 1: 20 000. <https://www.tilburgopdekaart.nl/kaarten/oude-kaarten/1835/>
- Kroes, J.G., J.C. Van Dam, P. Groenendijk, R.F.A. Hendriks & C.M.J. Jacobs, 2008. SWAP version 3.2. Theory description and user manual. Wageningen, Alterra. Alterra Report 1649.
- Leij, F.J., M.Th. van Genuchten, S.R. Yates and W.B. Russell, 1992. RETC: a computer program for analyzing soil water retention and hydraulic conductivity data. *In: M. Th. van Genuchten, F.J. Leij, and L.J. Lund (eds.), Proc. Int. Workshop, Indirect Methods for Estimating the Hydraulic Properties of Unsaturated Soils.* pp. 263-272, University of California, Riverside.



- 
- Mualem, Y., 1976. A new model for predicting the hydraulic conductivity of unsaturated porous media. Israel. Water Resources Research, Vol. 12, No. 3.
- Peters, A. and W. Durner, 2008. Simplified evaporation method for determining soil hydraulic properties. Journal of Hydrology 356: 147– 162.
- Schokker, J., 2003. Patterns and processes in a Pleistocene fluvio-aeolian environment - Roer Valley Graben, south-eastern Netherlands, Utrecht, Universiteit Utrecht. Thesis, Nederlandse Geografische Studies 314.
- Schothorst, C.J., 1977. Subsidence of low moor peat in the western Netherlands. Geoderma 17: 265-291.
- Vermeulen, J. en R.F.A. Hendriks, 1996. Ademhalingsmetingen aan ongestoorde veenmonsters in het laboratorium. Wageningen, DLO-Staring Centrum. Rapport 288.
- Wösten, J.H.M., G.J. Veerman, W.J.M. de Groot en J. Stolte, 2001. Waterretentie- en doorlatendheidskarakteristieken van boven- en ondergronden in Nederland: de Staringreeks. Vernieuwde uitgave 2001. Wageningen, Alterra, Research Instituut voor de Groene Ruimte. Alterra-rapport 153
- Zijnen, D., 1760. Kaart van de heerlijkheid Tilburg en Goirle.  
<https://www.tilburgopdekaart.nl/kaarten/oude-kaarten/1760/>

---

# Bijlage 1 Nadere beschrijving methoden modellering

## B1.1 Karakteristiek-parametrisering met Mualem-Van Genuchten

De metingen van de drukhoogten, vochtgehalten en tijd van de verschillende meetmethoden en de verzadigde waterdoorlatendheden zijn gebruikt om de retentie- en onverzadigde waterdoorlatendheidskarakteristiek te bepalen. Daarbij is in dit project gebruikgemaakt van het Mualem-Van Genuchten-model (Mualem, 1976; Van Genuchten, 1980). Dit model geeft beide curves weer door middel van een klein aantal fit-parameters. In deze bijlage (1.1) zijn de details van deze procedure weergegeven. In bijlage 6 en in tabel 3.4 zijn de resultaten van de fits weergegeven.

### **Gangbare methode: Mualem-Van Genuchten-concept**

De metingen van de drukhoogten, vochtgehalten en tijd van de verschillende meetmethoden en de verzadigde waterdoorlatendheden zijn gebruikt om de retentie- en onverzadigde waterdoorlatendheidskarakteristiek te bepalen. Daarbij is in dit project gebruikgemaakt van het Mualem-Van Genuchten-model (Mualem, 1976; Van Genuchten, 1980). In het laboratorium wordt met zeer korte tijdsintervallen gemeten, zodat verstoringen en temperatuurinvloeden duidelijker zichtbaar worden. Dit resulteert in grote databestanden. Het is daarom wenselijk het aantal datapunten te ontdoen van ruis en te reduceren voorafgaand aan verdere verwerking. Omdat kleine schommelingen in de data (ruis, of temperatuurinvloeden) tot grote afwijkingen kunnen zorgen in de afgeleide data (met name de onverzadigde waterdoorlatendheid in het natte traject), wordt via een filter de meetset gereduceerd tot een kleinere set met essentiële data. Er worden geen data aangepast, alleen selectief volgens een vast protocol weggelaten. Vervolgens wordt deze gereduceerde dataset gebruikt in het Excelrekenstool dat op strategische momenten gebruikmaakt van het RETC-programma (Van Genuchten et al. 1991; Leij et al. 1992). Het grote voordeel van de gevolgde werkwijze is dat de fitprocedure op een veel kleiner detailniveau geanalyseerd kan worden. Te denken valt daarbij aan uitbijters of berekende en gemeten gewichtsafnamen in de tijd. Vooral de prefit-fase, waarin de puntenwolk van de onverzadigde doorlatendheid wordt afgeleid, moet altijd kritisch door een expert worden beschouwd, omdat met name in het natte traject door modellering fouten kunnen ontstaan in de afgeleide gegevens vanwege beperkingen van het model en meetnauwkeurigheid. Het filter voorkomt voor een groot deel afwijkingen in het natte traject.

### **Prefit – De eerste Van Genuchten-retentiefit**

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

De geoptimaliseerde prefit wordt vervolgens gebruikt om de waterbeweging tussen de vier bodemlagen in de tijd te berekenen. Met de vergelijking van Darcy worden vervolgens voor elke set van twee tensiometers de doorlatendheden als functie van de drukhoogte berekend, resulterend in drie datasets van drie tensiometerparen. Deze methode is gebaseerd op de zogenaamde 'instantaneous profile method' en is bijvoorbeeld beschreven in Peters and Durner (2008). In het natte bereik kunnen in de praktijk door kleine meetfouten  $dh/dz$ -waarden, die dicht bij de waarde 1 liggen, resulteren in negatieve waarden van  $k$ , of in waarden die grote uitschieters vertonen. Met het filter

---

worden deze problemen grotendeels ondervangen. Mochten er toch nog dergelijke fouten optreden, dan worden deze waarden in dit project als uitbijters beschouwd en niet meegenomen in de verdere analyse. In de literatuur wordt in deze context veelvuldig gewezen op de onzekere uitkomsten van  $k$ - $h$ -relaties in het natte gebied. Afhankelijk van de grondsoort is het in de praktijk daarom lastig om betrouwbare  $k$ - $h$ -relaties te vinden in het gebied  $h = 0$  tot  $-50$  cm. Er zal daarom niet altijd een meting van de doorlatendheid berekend kunnen worden in het gebied  $h = 0$  tot  $-10$  cm.

#### **Uiteindelijke Mualem-Van Genuchten-fit**

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

De Mualem-Van Genuchten-fits zijn belangrijke gegevens die uiteindelijk worden gebruikt in het hydrologisch model SWAP en Animo om de vochtgehalten, krimp en oxidatie te berekenen.

## B1.2 Modelberekeningen

### B1.2.1 Statistische analyse van veen- en leemprofielen uit de bodemkartering

Om modelkolommen te kunnen bouwen die kenmerkende bodemprofielen vertegenwoordigen zijn de profielgegevens uit de bodemkartering (bijlage 3 en 4) van de veenlaagprofielen en de leemlaagprofielen statistisch geanalyseerd. De aanpak van de veenlaagprofielen en van de leemlaagprofielen verschilt in details. Voor beide begon het proces met het selecteren van profielen met een veen- of leemlaag van minstens 10 cm dik beneden de huidige grondwaterstand.

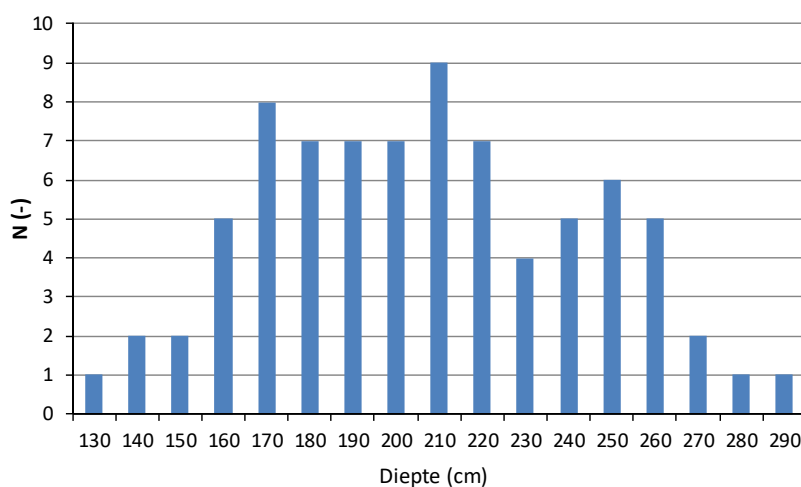
Met een daarvoor geschreven Fortran-programma werd de laag-informatie (bijlage 4) van de geselecteerde profielen geanalyseerd en voor alle profielen samen met een resolutie van 10-cm-stappen in de diepte per aspect weggeschreven in een bestand. De geanalyseerde aspecten waren: organische-stofgehalte, leemgehalte, lutumgehalte en M50 van de zandfractie. De aparte bestanden werden ingeladen in een Excel-bestand en daarmee verder geanalyseerd.

Algemene informatie over de profielen zoals grondwaterstand, Gt, GHG en GLG, maaiveldhoogte enz. werd van bijlage 3 verkregen.

#### B1.2.1.1 Veenlaagprofielen

Er waren 28 geschikte veenlaagprofielen. Bij de veenlaagprofielen is vooral veel aandacht besteed aan de diepte van voorkomen en de dikte van de veenlagen. Maar ook naar organische-stofgehalte van de veen- en bovenliggende lagen en leem- en lutumgehalten en M50 van boven- en onderliggende lagen.

Het hoofdbestand voor de veenlaagprofielen was het bestand met de organische-stofgehalten. Dat is opgenomen in figuur B1.1.

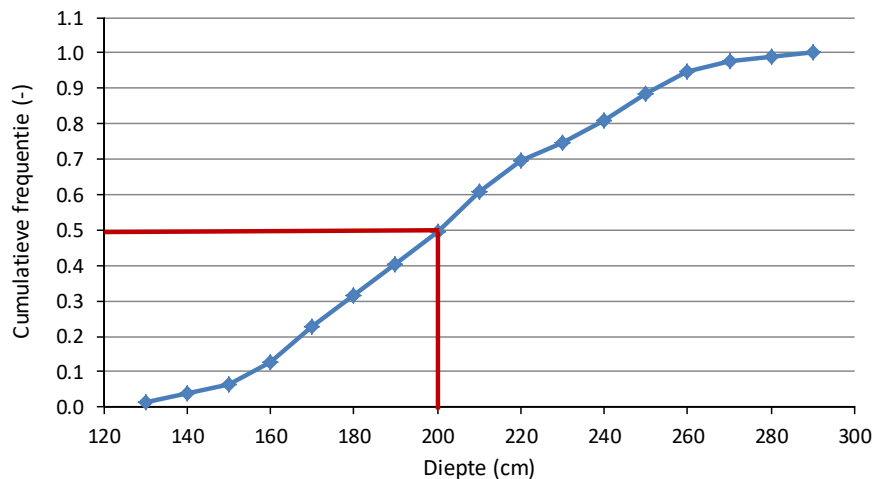


**Figuur B1.2** Frequentie(N)-verdeling van het voorkomen van veen met de diepte.

Figuur B1.2 geeft de verdeling van de frequentie van het voorkomen van veen met de diepte. De verdeling is een bijna-normaalverdeling waarvan het zwaartepunt iets links van het midden ligt. Het midden van het dieptetraject is 210 cm dat ook de grootste frequentie heeft. De cumulatieve frequentieverdeling van figuur B1.3 laat echter zien dat niet 210 cm de mediaan is maar 200 cm.

Diepte (cm)	ORGANISCHE STOF (%)										N-veen (cm)	diepte																			
	4	5	6	7	8	14	15	16	17	18			22	28	30	32	33	35	36	38	39	41	42	48	49	53	55	57	58	59	
10	3	4	3	0.1	3	3	2	2	2	0.1	1.5	4	3	2	0.1	0.1	0.1	0.5	0.7	0.1	1	0.1	1	0.2	4	3	2	1			
20	3	4	3	0.1	3	3	2	2	2	0.1	1.5	4	3	2	0.1	0.1	0.1	0.5	0.7	0.1	1	0.1	1	0.2	4	3	1	1			
30	3	4	3	0.1	3	3	2	2	2	0.1	1.5	4	3	2	0.1	0.1	0.1	0.5	0.7	1	1	2	1	2	4	3	1	4			
40	0.5	4	3	0.1	3	2	2	2	2	0.1	1.5	4	1	2	0.1	0.1	3	0.7	1	1	2	1	2	4	3	1	4	4			
50	0.5	2	3	3	3	2	2	2	2	2	1.5	4	1	0.1	0.1	0.1	3	2	0.3	0.3	2	1	4	4	0.5	1	4	4			
60	0.5	2	3	3	3	2	2	2	0.1	2	1.5	4	1	0.1	0.1	0.1	0.5	2	0.3	0.3	2	1	4	4	0.5	1	1	1			
70	0.5	2	3	3	3	2	0.1	2	0.1	0.1	2	1.5	4	1	0.1	0.1	0.1	0.5	2	0.2	0.3	2	1	4	4	0.5	1	0.1			
80	0.1	2	3	3	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.5	0.1	4	1	0.1	0.1	0.1	0.2	2	0.1	0.3	0.1	1	1	4	0.5	1	0.1	0.1			
90	0.1	2	3	0.5	3	0.1	0.1	0.1	0.1	0.5	0.1	4	1	0.1	0.1	0.1	0.2	0.1	0.1	0.1	0.1	1	1	0.1	0.5	4	0.1	0.1			
100	0.1	0.1	3	0.5	3	0.1	0.1	0.1	0.1	0.5	0.1	0.1	1	0.1	0.1	0.1	0.2	0.1	0.1	0.1	0.1	1	1	0.1	0.5	4	0.1	0.1			
110	0.1	0.1	3	1	3	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.5	0.1	0.2	0.1	0.1	0.1	1	1	0.1	0.5	4	0.1	0.1			
120	0.1	0.1	3	0.1	3	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.3	0.1	0.1	0.2	0.1	0.1	0.1	0.1	1	1	0.1	0.5	4	0.1	0.1			
130	0.1	1	5	2	3	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.3	0.1	0.1	0.2	0.1	0.1	0.1	0.1	1	1	0.1	0.5	20	0.1	0.1			
140	0.1	1	50	2	3	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.3	0.1	0.1	0.2	0.1	0.1	0.1	0.1	1	1	0.2	0.1	0.5	20	0.1	0.1		
150	0.1	1	50	2	3	1	0.1	3	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.3	0.1	0.1	0.2	0.1	0.1	0.1	0.1	1	1	0.2	0.1	0.5	20	0.1	0.1		
160	0.1	1	60	2	3	30	0.1	40	0.1	0.1	0.5	0.1	0.1	0.3	0.1	0.1	0.2	0.1	0.1	0.1	0.1	1	1	0.2	0.1	40	0.5	0.1	0.1		
170	0.1	1	60	2	3	3	40	65	0.1	0.1	65	0.1	0.5	0.3	0.1	0.1	0.1	0.2	0.1	0.1	0.1	1	1	0.2	0.1	40	0.5	0.1	0.1		
180	0.1	1	5	2	3	65	40	65	50	0.1	65	0.1	0.5	0.7	0.1	0.1	0.2	0.1	0.1	0.1	0.1	5	0.3	0.7	5	40	0.5	0.1	0.1		
190	0.1	1	0.1	60	3	65	10	5	10	0.1	65	0.1	0.5	0.7	40	0.1	0.1	0.2	0.1	0.1	0.1	5	0.3	0.7	30	2	40	0.5	0.1	0.1	
200	0.1	0.1	0.1	60	3	10	1	5	2	0.1	65	30	40	0.7	40	0.1	0.1	0.2	0.1	0.1	0.1	5	0.3	0.7	5	2	40	0.5	0.1	0.1	
210	60	0.1	0.1	10	3	10	1	0.5	2	0.1	50	0.5	1	60	40	0.1	60	50	60	1	0.5	0.7	5	50	2	20	0.5	40	0.1	0.1	
220	60	0.1	0.1	10	3	5	1	0.5	2	0.1	2	0.5	1	60	5	0.1	60	50	60	1	0.5	0.7	5	50	1	1	0.5	40	0.1	0.1	
230	60	0.1	0.1	10	3	1	1	0.5	2	1	1	0.5	1	0.5	0.1	0.1	60	50	1	1	0.5	0.7	2	50	1	1	1	1	0.1	0.1	
240	5	10	0.1	10	3	1	1	0.5	0.5	20	1	0.5	1	0.5	0.1	0.1	60	2	1	1	60	65	2	50	1	1	1	1	0.1	0.1	
250	5	30	0.1	10	0.1	1	1	0.5	0.5	5	1	0.5	1	0.5	0.1	50	60	2	1	1	60	65	2	50	1	1	1	1	0.1	0.1	
260	5	30	0.1	10	0.1	1	1	3	0.5	5	1	0.5	0.5	1	0.1	50	1	2	1	1	60	65	2	50	1	1	1	1	0.1	0.1	
270	5	0.5	0.1	10	0.1	1	1	3	0.5	5	1	5	0.5	1	0.1	1	1	2	1	1	60	1	2	50	1	1	1	1	0.1	0.1	
280	0.5	0.1	10	30	1	1	2	0.5	5	1	5	0.5	1	0.5	0.1	1	1	1	1	1	60	1	2	0.5	1	1	1	1	0.1	0.1	
290	0.5	0.1	10	30	1	1	2	0.5	1	1	5	0.5	1	0.5	0.1	1	1	1	1	1	60	1	2	0.5	1	1	1	1	0.1	0.1	
300	0.5	0.1	10	0.5	1	1	2	0.5	1	1	5	0.5	1	5	0.5	1	1	1	1	1	1	2	0.5	1	1	1	1	1	0.1	0.1	
310	0.5	0.1	10	0.5							5											1	2	0.5							
320	0.5	0.1	10	0.5							5																				
330	0.5	0.1	10	0.5							5																				
340	0.5	0.1	10	0.5							0.3																				
350	0.5	0.1	10	0.5							0.3																				
360	1	0.1	10	0.5							0.3																				
370	1	0.1	10	0.5							0.3																				
380	1	0.1									0.3																				
390	0.1										0.3																				
400																															

**Figuur B1.1** Hoofdbestand van de veenlaagprofielen met overzicht van organische-stofgehalten per 10 cm diepte van de 28 profielen. De paarse kleuren geven de veenlagen aan, waarbij de donkere kleuren de lagen met hoog organisch-stofgehalte weergeven. De roodgekleurde cellen markeren de diepste gekarteerde bodemlaag. De blauwe kolom rechts van de tabel geeft binnen het dieptetraject van voorkomen van veenlagen het aantal keren dat op die diepte veen voorkomt.



**Figuur B1.3** Cumulatieve frequentieverdeling van het voorkomen van veen met de diepte. De mediaan is 200 cm.

Tabel B1.1 geeft de statistische analyse van de veendikten van de 28 veenlaagprofielen.

**Tabel B1.1** Statistische waarden van de analyse van de veendikten.

Statistische parameter	Waarde (cm)
Gemiddelde	30
Standaardafwijking	16
Maximum	70
Minimum	10
Mediaan	30
90 <sup>e</sup> percentiel	50
10 <sup>e</sup> percentiel	10

### B1.2.1.2 Leemlaagprofielen

Bij de leemlaagprofielen ging het vooral om het onderscheid tussen humeus en humusarm leem, vanwege de twee gemeten krimp karakteristieken. Daarnaast waren ook het onderliggende bodemmateriaal, de diepte van voorkomen en de dikte van de leemlagen belangrijk. Dit is weergegeven in het hoofdbestand van de leemlaagprofielen waarin de leemgehalten zijn aangegeven (figuur B1.4).

Figuur B1.4 toont hoe de vijf samengestelde leemlaagprofielen zijn voortgekomen uit de profielinformatie van de elf profielen. Ook geeft dit figuur de berekening van de mediane grondwaterstand van de leemlaagprofielen.



## B1.2.2 Veenlaagprofielen en leemlaagprofielen in SWAP-ANIMO

Om de vier veenlaagprofielen en vijf leemlaagprofielen door te rekenen met SWAP-ANIMO zijn ze als modelkolom opgebouwd uit de bouwstenen voor kenmerkende bodemhorizonten. De bouwstenen zijn verkregen door laboratoriumbepalingen aan bodemmonsters uit de drie veenprofielkuilen en twee leemprofielkuilen. De bepalingen gaven waarden van bodemhydrofysische en krimpkarakteristieken, organische-stofgehalten, textuurgegevens, bulkdichtheden en oxidatiesnelheden die zijn gebruikt in de modellen. In de volgende beschrijvingen van de modelkolommen worden de bouwstenen aangeduid met het nummer van de profielkuil en een hoofdletter. Tabel B1.2 geeft de sleutel tussen deze codering en de reguliere codering van de presentatie van de resultaten in hoofdstuk 3 (en die wat minder handig is in onderstaande tabellen). Met deze sleutel kunnen de bodemeigenschappen van de bouwstenen worden opgezocht in het hoofdstuk van de resultaten. De Staringsreeks bouwstenen zijn eenheden van bodemfysische karakteristieken die als klassen zijn bepaald voor Nederlands gronden (Wösten et al. 2001). In de bouwsteencode staat B voor Bovengrond en O voor Ondergrond.

**Tabel B1.2** Sleutel tussen codering van de in de modellering gebruikte bouwstenen en de reguliere codes die in de hoofdtekst worden gebruikt bij de resultaten.

Code bouwstenen	Reguliere code	Omschrijving horizont
4A	4-40-i	matig humeus zwak lemig zeer fijn zand
4B	4-135-i	humusarm matig grof zand
<b>4C</b>	<b>4-180-i</b>	<b>veen: hoog org.stofgehalte</b>
5A	5-45-i	humusarm matig grof zand
<b>5B</b>	<b>5-230-i</b>	<b>veen: laag org.stofgehalte</b>
5C	5-270-i	zwak lemig zand, gelaagd
6A	6-80-i	heterg. matig hum./ hum. z.lemig f. zand
<b>6C</b>	<b>6-155-i</b>	<b>lemig veen: zeer laag org.stofgehalte</b>
11A	11-40-i	heterogeen sterk lemig zeer fijn zand
1B	11-80-i	humusarme leem roestig rond oude wortel
12A	12-80-i	humusarme leem
12B	12-190-i	humeuze leem (oude wortelgangen)
B2	Staringsreeks bouwsteen	wortelzone, zwak lemig zeer fijn tot matig fijn zand
O3	Staringsreeks bouwsteen	sterk lemig zeer tot matig fijn zand

### B1.2.2.1 Veenlaagprofielen

De volgende vier tabellen geven de beschrijving van de vier veenlaagprofielen. De beschrijving bevat de begin- en einddiepte van de zes onderscheiden horizonten, de omschrijving van de horizonten, de bouwsteencode die verwijst naar de bodemeigenschappen in hoofdstuk resultaten via tabel B1.2 en het organische-stofgehalte. De diepte van horizont 5, de veenlaag, wordt gegeven voor de diktevariant van 30 cm. Voor de andere varianten is de profielopbouw rond de veenlaag iets afwijkend. Als in een tabel een combinatie van twee bouwsteencodes voorkomt zoals 4A-5A betekent dat dat de bodemfysische eigenschappen zijn gemiddeld.

**Tabel B1.3** Veenlaagprofiel 1: veen uit profielkuil 4, veen met hoog organische-stofgehalte.

Horizont nummer	Diepte (cm) begin	Diepte (cm) eind	Omschrijving	Bouwsteen-code	Org.stofgeh. (%)
1	0	40	wortelzone	B2	6,7
2	40	75	matig humeus zwak lemig zeer fijn zand	4A	1,7
3	75	120	heterg. matig hum./ hum. z.lemig f. zand	6A	1,9
4	120	185	humusarm matig grof zand	4B	0,4
<b>5</b>	<b>185</b>	<b>215</b>	<b>veen: hoog org.stofgehalte</b>	<b>4C</b>	<b>75</b>
6	215	400	zwak lemig zand, gelaagd	5C	3,0



**Tabel B1.4** Veenlaagprofiel 2: veen uit profielkuil 5, veen met laag organische-stofgehalte.

Horizont nummer	Diepte (cm)		Omschrijving code	Bouwsteen-code	Org.stofgeh. (%)
	begin	eind			
1	0	40	wortelzone	B2	6,7
2	40	75	matig humeus zwak lemig fijn zand	5A	1,7
3	75	120	heterg. matig hum./ hum. z.lemig f. zand	6A	1,9
4	120	185	humusarm matig grof zand	4B	0,4
<b>5</b>	<b>185</b>	<b>215</b>	<b>veen: laag org.stofgehalte</b>	<b>5B</b>	<b>24,4</b>
6	215	400	zwak lemig zand, gelaagd	5C	3,0

**Tabel B1.5** Veenlaagprofiel 3: veen uit profielkuil 6, lemig veen met laag organische-stofgehalte.

Horizont nummer	Diepte (cm)		Omschrijving code	Bouwsteen-code	Org.stofgeh. (%)
	begin	eind			
1	0	40	wortelzone	B2	6,7
2	40	75	matig humeus zwak lemig fijn zand	4A-5A	1,7
3	75	120	heterg. matig hum./ hum. z.lemig f. zand	6A	1,9
4	120	185	humusarm matig grof zand	4B	0,4
<b>5</b>	<b>185</b>	<b>215</b>	<b>lemig veen: zeer laag org.stofgehalte</b>	<b>6C</b>	<b>14,7</b>
6	215	400	sterk lemig zeer tot matig fijn zand	O3	3,0

**Tabel B1.6** Veenlaagprofiel 4: variant op 1 en 2, veen met middelhoog organische-stofgehalte.

Horizont nummer	Diepte (cm)		Omschrijving code	Bouwsteen-code	Org.stofgeh. (%)
	begin	eind			
1	0	40	wortelzone	B2	6,7
2	40	75	matig humeus zwak lemig zeer fijn zand	4A-5A	1,7
3	75	120	heterg. matig hum./ hum. z.lemig f. zand	6A	1,9
4	120	185	humusarm matig grof zand	4B	0,4
<b>5</b>	<b>185</b>	<b>215</b>	<b>veen: middel hoog org.stofgehalte</b>	<b>4C-5B</b>	<b>45</b>
6	215	400	zwak lemig zand, gelaagd	5C	3,0

### B1.2.2.2 Leemlaagprofielen

De volgende vijf tabellen geven de beschrijving van de vijf leemlaagprofielen. De beschrijving bevat de begin- en einddiepte van de zes onderscheiden horizonten, de omschrijving van de horizonten, de bouwsteencode die verwijst naar de bodemeigenschappen in hoofdstuk resultaten via tabel B1.2. Organische-stofgehalten zijn niet relevant voor krimpberoeeningen met SWAP en zijn daarom niet opgenomen.

**Tabel B1.7** Leemlaagprofielvariant 1: humusarm leem onder huidige mediane grondwaterstand.

Horizont nummer	Diepte (cm)		Omschrijving code	Bouwsteen-code
	begin	eind		
1	0	40	wortelzone	B2
2	40	80	matig humeus zwak lemig zeer fijn zand	4A
3	80	120	heterg. matig hum./ hum. z.lemig f. zand	6A
4	120	150	humusarm matig grof zand	4B
5	150	210	humusarm leem	12A
6	210	400	humusarm leem	12A

**Tabel B1.8** *Leemlaagprofielvariant 2: humeus leem onder huidige mediane grondwaterstand.*

Horizont nummer	Diepte (cm)		Omschrijving code	Bouwsteen-code
	begin	eind		
1	0	40	wortelzone	B2
2	40	80	matig humeus zwak lemig zeer fijn zand	4A
3	80	120	heterg. matig hum./ hum. z.lemig f. zand	6A
4	120	150	humusarm matig grof zand	4B
5	150	210	humeus leem	12B
6	210	400	humeus leem	12B

**Tabel B1.9** *Leemlaagprofielvariant 3: humeus leem op humusarm leem.*

Horizont nummer	Diepte (cm)		Omschrijving code	Bouwsteen-code
	begin	eind		
1	0	40	wortelzone	B2
2	40	80	matig humeus zwak lemig zeer fijn zand	4A
3	80	120	heterg. matig hum./ hum. z.lemig f. zand	6A
4	120	150	humusarm matig grof zand	4B
5	150	210	humeus leem	12B
6	210	400	humusarm leem	12A

**Tabel B1.10** *Leemlaagprofielvariant 4: humeus leem op sterk lemig zand.*

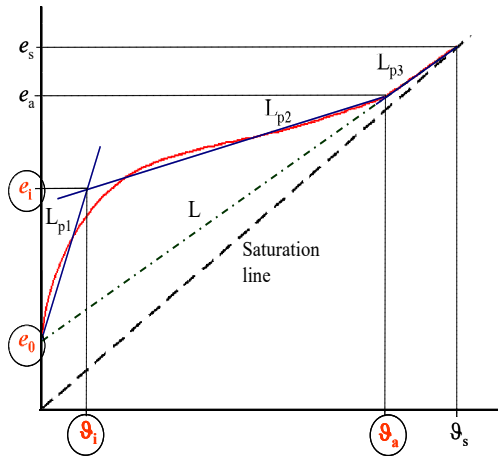
Horizont nummer	Diepte (cm)		Omschrijving code	Bouwsteen-code
	begin	eind		
1	0	40	wortelzone	B2
2	40	80	matig humeus zwak lemig zeer fijn zand	4A
3	80	120	heterg. matig hum./ hum. z.lemig f. zand	6A
4	120	150	humusarm matig grof zand	4B
5	150	210	humeus leem	12B
6	210	400	heterogeen sterk lemig zeer fijn zand	11A

**Tabel B1.11** *Leemlaagprofielvariant 5: humusarm leem op grof zand.*

Horizont nummer	Diepte (cm)		Omschrijving code	Bouwsteen-code
	begin	eind		
1	0	40	wortelzone	B2
2	40	80	matig humeus zwak lemig zeer fijn zand	4A
3	80	120	heterg. matig hum./ hum. z.lemig f. zand	6A
4	120	150	humusarm matig grof zand	4B
5	150	210	humusarm leem	12A
6	210	400	humusarm matig grof zand	4B

### B1.2.3 Invoerwaarden van krimp karakteristieken voor SWAP

De zes gemeten krimp karakteristieken zijn geïnterpreteerd tot invoer voor SWAP. SWAP maakt onderscheid tussen invoer voor krimp karakteristieken van klei en van veen. Voor klei kent SWAP twee opties voor invoer van krimp waarden, voor veen zijn dat er drie. In deze studie is gekozen om de krimp karakteristieken van zowel veen als leem in te voeren volgens de derde optie van veenkrimp: '3 straight line-pieces'. Hierbij wordt de krimp curve benaderd door drie rechte lijnstukken (figuur B1.5). Dit vereist de invoer van vier waarden. Deze optie kan ook voor leem worden gebruikt.



**Figuur B1.5** Invoer van vier waarden – in rood en omcirkeld – van de invoeroptie '3 straight line-pieces' voor krimp van veen in SWAP.

Voor het invoeren van krimp karakteristieken in SWAP moeten de meetgegevens eerst worden omgerekend naar de formele vorm van krimp karakteristieken waarin de porieverhouding een functie is van de vochtverhouding. De definitie van de vochtverhouding is het volume van het bodemvocht gedeeld door het volume van de vaste delen. De porieverhouding is het volume van de poriën gedeeld door het volume van de vaste delen. In formules:

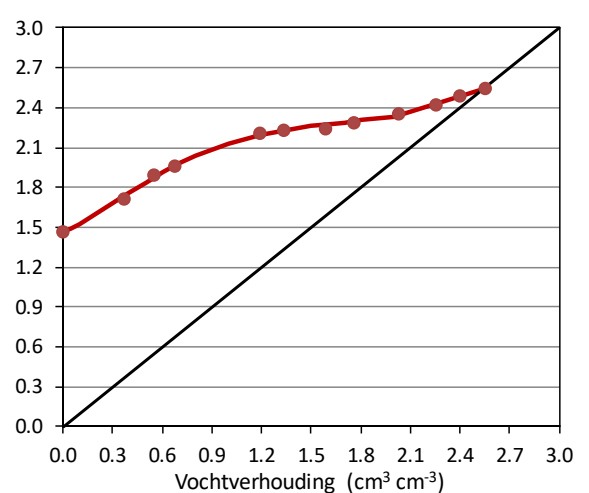
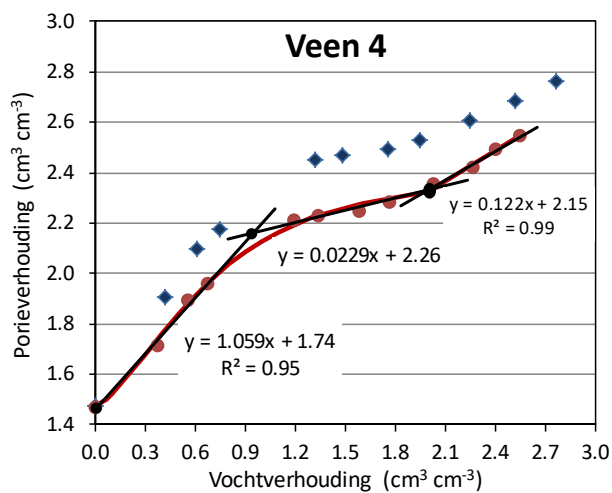
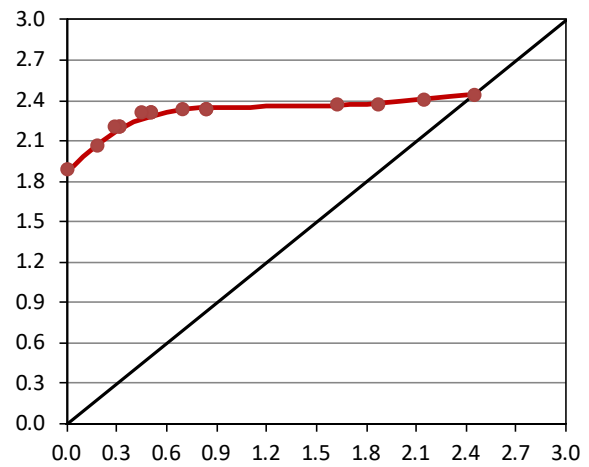
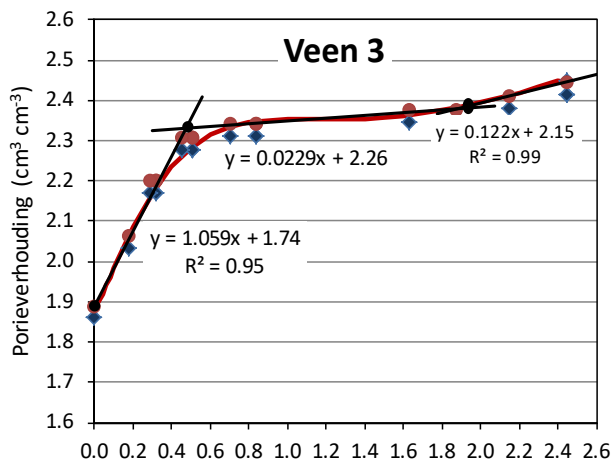
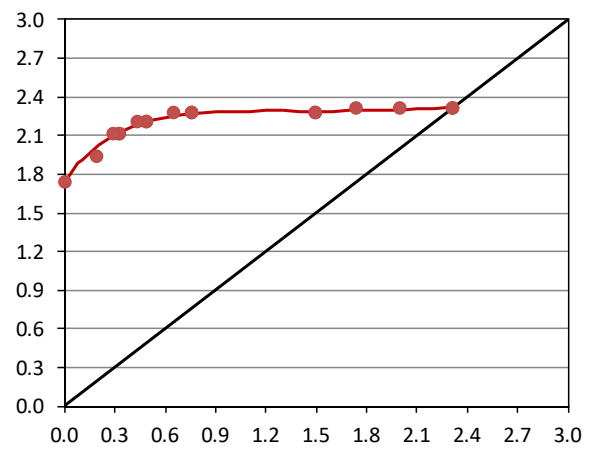
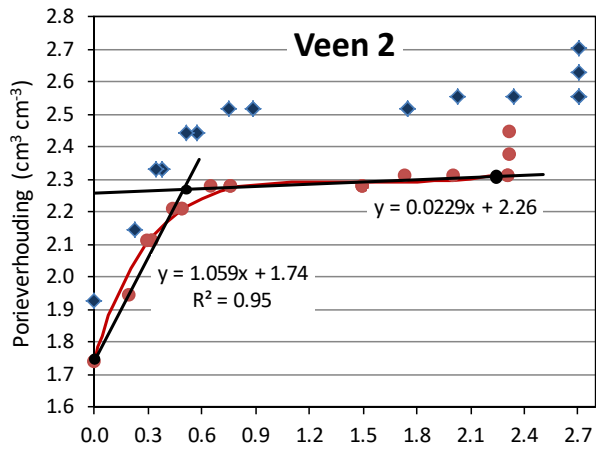
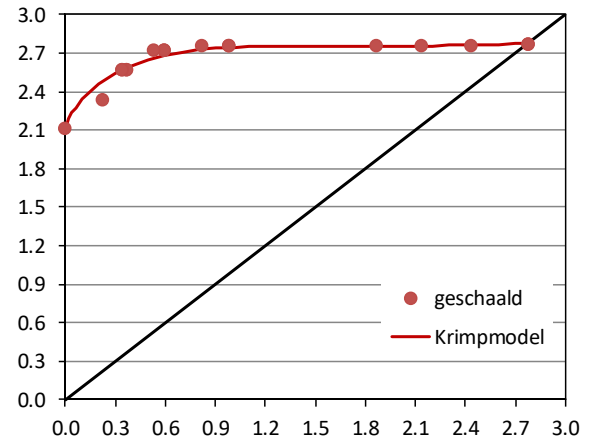
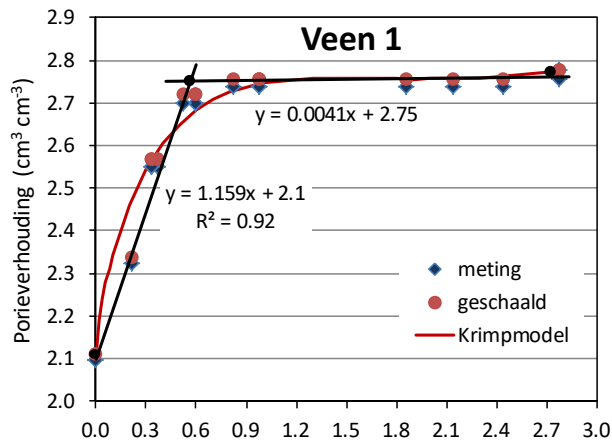
$$\vartheta = \frac{V_v}{V_s} = \frac{\theta}{1 - \theta_{\text{sat}}} \quad (\text{B1.1a})$$

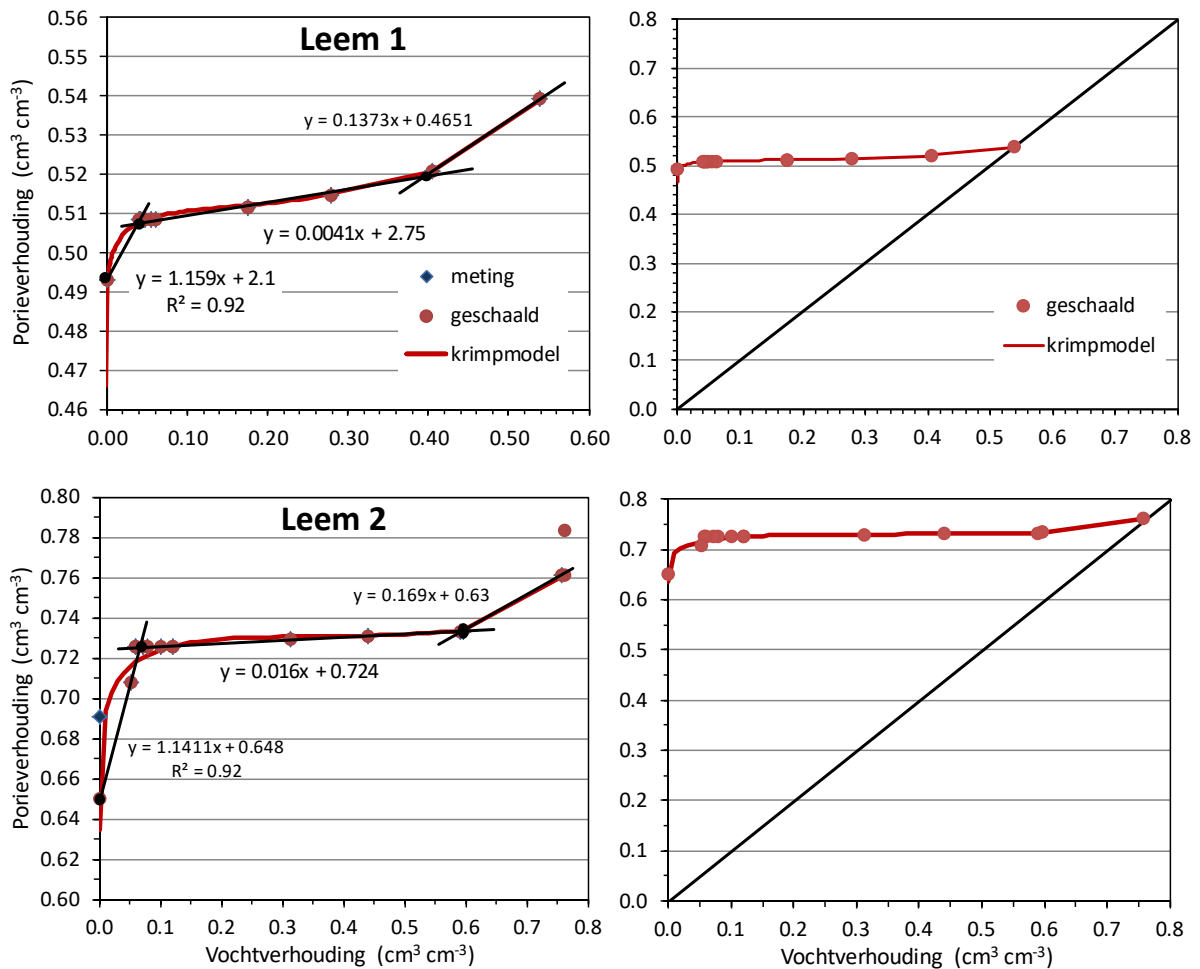
$$e = \frac{V_p}{V_s} \quad (\text{B1.1b})$$

waarin:

- $\vartheta$  = vochtverhouding ( $\text{m}^3 \text{m}^{-3}$ );
- $V_v$  = volume vocht ( $\text{m}^3 \text{m}^{-3}$ );
- $V_s$  = volume vaste delen ( $\text{m}^3 \text{m}^{-3}$ );
- $V_p$  = volume poriën ( $\text{m}^3 \text{m}^{-3}$ );
- $\theta$  = volumetrisch vochtgehalte ( $\text{m}^3 \text{m}^{-3}$ );
- $\theta_{\text{sat}}$  = volumetrisch vochtgehalte bij verzadiging ( $\text{m}^3 \text{m}^{-3}$ );
- $e$  = porieverhouding.

De veenkrimp karakteristieken kunnen worden gefit met de vergelijking van Hendriks (2004). De fitparameters daarvan zijn de eerste invoeroptie voor veenkrimp in SWAP. Hoewel de gemeten curven later zijn gefit met het krimpmodel van Hendriks is in eerste instantie gekozen voor de eenvoudige optie met drie rechte lijnstukken. Hiervoor zijn net als in figuur B1.5 drie rechte lijnstukken door een deel van de meetpunten gefit. De x- en y-waarden van de snijpunten met de y-as en van twee lijnstukken vormden de invoer van SWAP. De resultaten van de fits worden gegeven in figuur B1.6. Een overzicht van de invoerwaarden geeft tabel B1.12.





**Figuur B1.6** Resultaten van het fitten van lijnstukken door meetwaarden van krimpkaracteristieken van veen (pagina links) en leem. In de linker kolom is een uitvergroete versie getoond om de fitprocedure duidelijk zichtbaar te maken; in de rechterkolom de resulterende krimpkaracteristiek in de juiste verhouding. De zwarte punten zijn de snijpunten die in SWAP moeten worden ingevoerd. De rode lijn is een fit met het krimpmodel van Hendriks (2004). Voor het verband tussen 'meting' en 'geschaald', zie de tekst. Let op het verschil in schaal van de y-as tussen linker en rechter figuur.

Het punt van de krimpkaracteristiek rechtsboven is het punt bij verzadiging. SWAP berekent dat punt zelf uit het volumetrische vochtgehalte  $\theta_{\text{sat}}$  bij verzadiging van de ingevoerde waterretentiekaracteristiek. Omdat de laatste bepaald is aan een ander monster dan het monster waaraan de krimpkaracteristiek is bepaald, moeten beide karakteristieken 'aan elkaar worden geknoopt' via  $\theta_{\text{sat}}$ . Dat is gedaan door meetpunten van figuur B1.6 indien nodig te schalen. Omdat de monsters na steken niet meer de bovenbelasting hadden van het veld en mogelijk enigszins waren 'teruggeveerd' is pragmatisch gehandeld en gekozen voor de kleinste  $\theta_{\text{sat}}$  van krimpmeting en vochtmeting. Aangenomen werd dat die het beste de veldsituatie onder bovenbelasting zou weergeven. Als dat de  $\theta_{\text{sat}}$  van de vochtmeting was dan werden krimpmeetpunten geschaald zoals bij veen 1 en veen 4 goed te zien is. Was de  $\theta_{\text{sat}}$  van de krimpmeting het kleinste dan werd de  $\theta_{\text{sat}}$  van de waterretentiekaracteristiek aangepast. Deze aanpassing was kleiner dan 10%.

Bij de interpretatie van de meetresultaten werden alleen de punten aan het begin van de meting meegenomen die waren bepaald bij maximale belasting van het monster. De drie punten bij veen 2 en het ene punt bij leem 2 die een afnemende porieverhouding laten zien bij verzadiging zijn niet meegenomen omdat ze zijn veroorzaakt door een geleidelijk opvoeren van de belasting.

Het gefitte krimpmoedel laat goed zien dat de krimp bij de meeste monsters in het vochttraject dat in het veld verwacht kan worden voor de drooggevalven veen- en leemlagen – tussen verzading en ongeveer een kwart van verzading – zeer gering tot nihil is, vooral bij de leemmonsters: de lijn van de krimpkarakteristiek loopt bijna horizontaal wat wil zeggen dat bij vochtverlies geen afname van het porievolumie optreedt en dus geen krimp. Uitzondering is veemonster 4 dat wel duidelijke krimp laat zien. Dat gaf in de modelberekeningen dan ook de grootste krimp. Bij de overige krimpmonsters trad er alleen aan het begin van het vochtverlies enige porievolumie-afname op.

**Tabel B1.12** *Uit de krimpmetingen afgeleide invoerparameters voor SWAP.*

Krimp-code	Bouwsteen-code	SWAP krimpparameters				Organische-stofgehalte (%)
		ShrParA	ShrParB	ShrParC	ShrParD	
Veen 1	4B	2.11	2.76	0.57	2.76	75,0
Veen 2	5B	1.74	2.20	0.50	2.27	24,0
Veen 3	6C	1.89	1.88	0.49	2.33	14,7
Veen 4	B8	1.47	2.10	0.94	2.16	45,0
Leem 1	12A	0.49	0.41	0.04	0.51	0,5
Leem 2	12B	0.61	0.60	0.07	0.73	2,7

---

## B1.2.4 Relevante invoerwaarden van SWAP en ANIMO

**Tabel B1.13** Overzicht van aanvullende invoergegevens van ANIMO met de bronnen waarvan ze in dit onderzoek zijn verkregen

Hoofdgroep	Invoerparameter	Gebruikte waarde	Bron
1 model-parameters	Q <sub>10</sub> (omgerekend naar Arrhenius activeringsenergie)	3,3	dit onderzoek
	referentietemperatuur, gemiddelde temperatuur Ned.	10 °C	standaard
	pH veen	5,5	expert kennis
	pH overige bodemlagen	7,0	expert kennis
3 randvoorwaarden	zuurstofgehalte atmosferische lucht:	21 vol.-%	standaard
	droge atmosferische depositie van ammonium-N	25 kg/ha/j	RIVM
	nitraat-N	7 kg/ha/j	RIVM

### B1.2.5 Oxidatie-zakkings-modellen

In de Berekeningsfase en Verfijningsfase zijn voor het omrekenen van oxidatie naar maaiveldzakking twee verschillende oxidatie-zakkings-modellen gebruikt. Deze worden hier kort beschreven en vergeleken.

De twee modellen gaan uit van dezelfde aanname: alle oxidatie leidt tot verticaal volumeverlies oftewel zakking. De onderbouwing hiervan is dat het proces van oxidatie zo langzaam verloopt dat de grote bovenbelasting van de ongeveer 2 m dikke, vochtige minerale bodem op de veenlaag het 'vrijgekomen lege volume' direct corrigeert naar een nieuwe evenwichtscompactie.

#### B1.2.5.1 Berekeningsfase

Voor de Berekeningsfase is in overleg met de opdrachtgever gekozen voor de eenvoudige benadering dat de zakking per modelcompartiment gelijk is aan de fractie organische stof die is geoxideerd maal de massafractie organische stof maal de compartimentdikte. In formule:

$$\Delta z_{\text{ox}} = 10 f_{\text{ox}} f_{\text{os}} d_{\text{cp}} \quad (\text{B1.2})$$

waarin:

- $\Delta z_{\text{ox}}$  = maaiveldzakking door oxidatie van veen (mm);
- $f_{\text{ox}}$  = fractie geoxideerde organische stof (-);
- $f_{\text{os}}$  = massafractie organische stof van het veen (kg kg<sup>-1</sup>);
- $d_{\text{cp}}$  = dikte van het ANIMO-compartiment (cm);
- 10 = omrekeningsfactor cm naar mm (mm cm<sup>-1</sup>).

Dit model impliceert dat de droge bulkdichtheid vóór en ná de oxidatie gelijk zijn. Wiskundig kan dat als volgt worden aangetoond door vergelijking (B1.2) driedimensionaal in plaats van verticaal weer te geven:

$$\Delta V_{\text{ox}} = f_{\text{ox}} f_{\text{os}} V_{\text{cp}} \quad \text{en} \quad V_{\text{cp,no}} = (1 - f_{\text{ox}} f_{\text{os}}) V_{\text{cp}} \quad (\text{B1.3})$$

waarin:

- $\Delta V_{\text{ox}}$  = volumeverlies ANIMO-compartiment door oxidatie van veen (m<sup>3</sup>);
- $V_{\text{cp}}$  = volume ANIMO-compartiment vóór oxidatie (m<sup>3</sup>);
- $V_{\text{cp,no}}$  = volume ANIMO-compartiment na oxidatie (m<sup>3</sup>).

Voor de massa geldt een vergelijkbare formule:

$$\Delta M_{\text{ox}} = f_{\text{ox}} f_{\text{os}} M_{\text{cp}} \quad \text{en} \quad M_{\text{cp,no}} = (1 - f_{\text{ox}} f_{\text{os}}) M_{\text{cp}} \quad (\text{B1.4})$$

met:

$M$  = massa droge stof in ANIMO-compartiment (subscripts als bij  $V$ ) (kg).

Omdat droge bulkdichtheid gelijk is aan Massa droge stof gedeeld door bulk Volume geldt:

$$\frac{M_{\text{cp,no}}}{V_{\text{cp,no}}} = \frac{(1 - f_{\text{ox}} f_{\text{os}}) M_{\text{cp}}}{(1 - f_{\text{ox}} f_{\text{os}}) V_{\text{cp}}} = \frac{M_{\text{cp}}}{V_{\text{cp}}} \quad (\text{B1.5})$$

waaruit blijkt dat droge bulkdichtheid vóór en ná de oxidatie gelijk zijn.

#### B1.2.5.2 Verfijningsfase

In de Verfijningsfase is een model gebruikt waarin oxidatie van organische stof ook leidt tot toename van de droge bulkdichtheid. Dit is een realistischer model, omdat bekend is van veenlagen uit veenweiden dat hun bulkdichtheid toeneemt door oxidatie van veen (Schothorst, 1977). Aangezien de bovenbelasting van veenlagen in veenweiden veel geringer is dan die van de hier beschreven lagen mag worden aangenomen dat deze wetmatigheid zeker ook voor de hier beschreven lagen geldt.



De wiskundige beschrijving van het model is:

$$\Delta z_{ox} = 10 \left( 1 - (1 - f_{ox} f_{os}) \frac{B_{cp}}{B_{cp,no}} \right) d_{cp} \quad (B1.6)$$

waarin (overige symbolen zie boven):

$B_{cp}$  = droge bulkdichtheid van ANIMO-compartiment vóór oxidatie ( $\text{kg m}^{-3}$ );

$B_{cp,no}$  = droge bulkdichtheid van ANIMO-compartiment ná oxidatie ( $\text{kg m}^{-3}$ ).

Voor de afleiding van vergelijking (B1.6) wordt deze net als bij vergelijking (B1.2) eerst driedimensionaal geschreven:

$$\Delta V_{ox} = \left( 1 - (1 - f_{ox} f_{os}) \frac{B_{cp}}{B_{cp,no}} \right) V_{cp} \quad (B1.7)$$

Het volumeverlies van het compartiment na oxidatie is gelijk aan het oorspronkelijke minus het nieuwe volume na oxidatie. Dat laatste kan worden geschreven als functie van de nieuwe massa organische stof  $M_{os,cp,no}$ , de (oude) massa van de minerale delen  $M_{mi,cp}$  - die immers niet afneemt - en de nieuwe droge bulkdichtheid  $B_{cp,no}$ :

$$\Delta V_{ox} = V_{cp} - V_{cp,no} = V_{cp} - \frac{M_{os,cp,no} + M_{mi,cp}}{B_{cp,no}} = V_{cp} - \frac{(1 - f_{ox}) f_{os} M_{cp} + (1 - f_{os}) M_{cp}}{B_{cp,no}} \quad (B1.8)$$

Daarbij geldt:

$$M_{cp} = B_{cp} V_{cp} \quad (B1.9)$$

Substitueren van (B1.9) in vergelijking (B1.8) geeft:

$$\Delta V_{ox} = V_{cp} - \frac{(1 - f_{ox}) f_{os} B_{cp} V_{cp} + (1 - f_{os}) B_{cp} V_{cp}}{B_{cp,no}} \quad (B1.10)$$

Uitwerking van vergelijking (B1.10) geeft het volumeverlies van vergelijking (B1.7) :

$$\Delta V_{ox} = \left( 1 - \frac{(1 - f_{ox}) f_{os} B_{cp} + (1 - f_{os}) B_{cp}}{B_{cp,no}} \right) V_{cp} = \left( 1 - (1 - f_{ox} f_{os}) \frac{B_{cp}}{B_{cp,no}} \right) V_{cp} \quad (B1.11)$$

Om dit model te kunnen toepassen, is het nodig de nieuwe droge bulkdichtheid na oxidatie te weten. Omdat van de nieuwe situatie na oxidatie alleen het nieuwe organische-stofgehalte bekend is, kan dit de enige voorspeller zijn van de nieuwe droge bulkdichtheid. Hiervoor is vergelijking (B1.11) gefit op gemeten droge bulkdichtheden als functie van gemeten organischestofgehalten:

$$B_{cp} = B_0 + f_B \left( 1 + (\alpha f_{os})^{m1} \right)^{-m2} \quad (B1.12)$$

waarin:

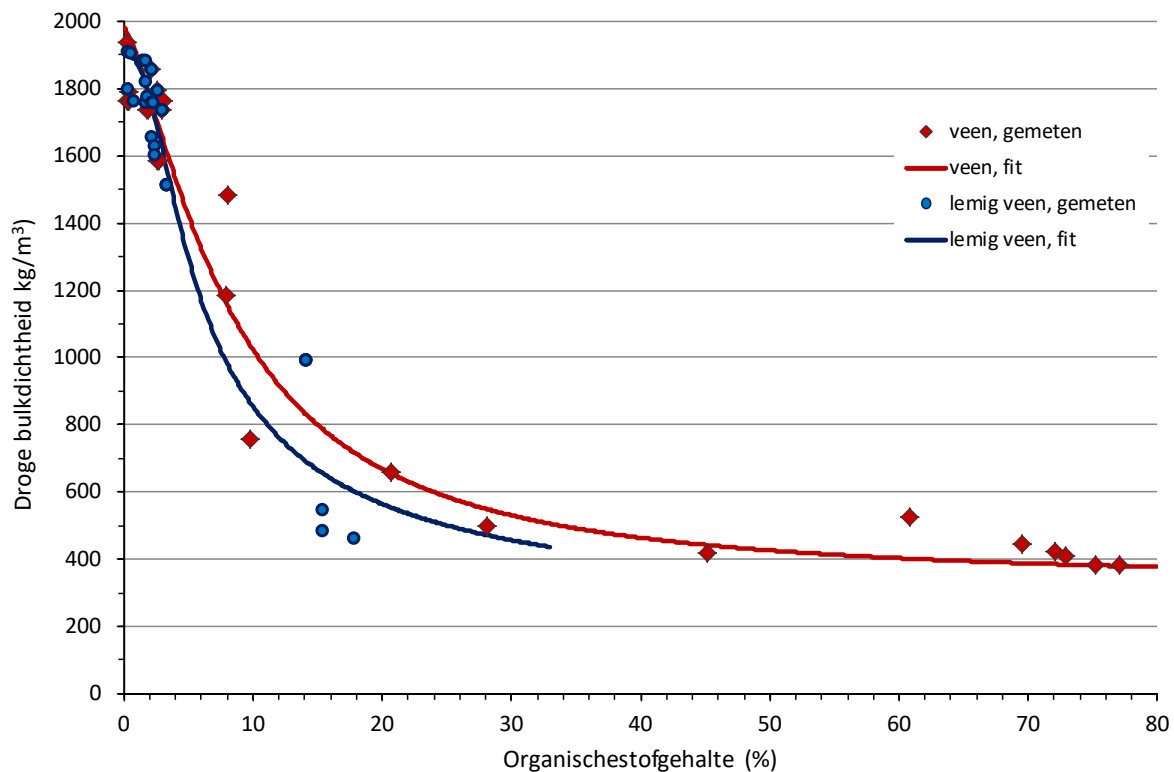
$f_{os}$  = massafractie organische stof in het veen ( $\text{kg kg}^{-1}$ );

$B_0$  = de limietwaarde van de droge bulkdichtheid bij oneindig grote  $f_{os}$  ( $\text{kg m}^{-3}$ );

$f_B$  = een coëfficiënt ( $\text{kg m}^{-3}$ );

$\alpha$  = een vormfactor (-);

$m1, m2$  = exponenten (-).



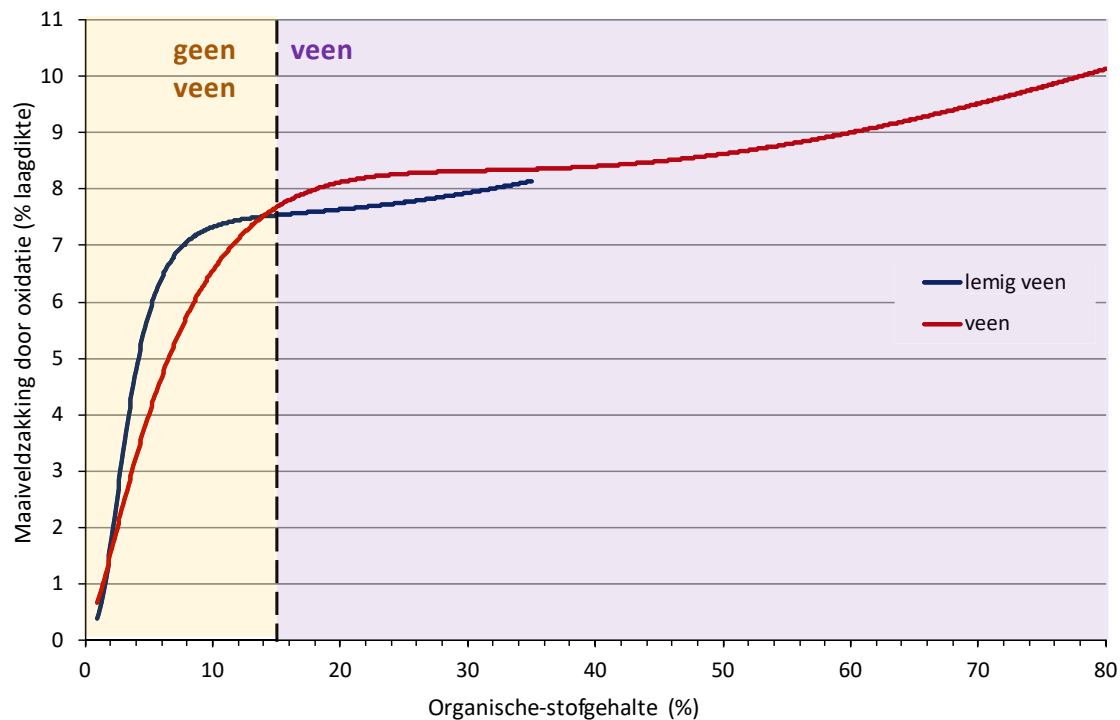
**Figuur B1.7** Droge bulkdichtheden van veen en lemig veen als functie van organische-stofgehalten, gemeten en gefit met vergelijking (B1.12). Alleen organische-stofgehalten groter dan 15% representeren veen.

Figuur B1.7 laat de resultaten zien van de fit van vergelijking (B1.12) voor veen en lemig veen. De gemeten waarden gaven aanleiding om onderscheid te maken tussen veen en lemig veen. Het gemeten maximale organische-stofgehalte van lemig veen was 33% (van dit monster was geen bulkdichtheid beschikbaar). Tabel B1.14 geeft de gefitte parameterwaarden. Daarin is tevens een maat voor de afwijking tussen meetwaarden en fits opgenomen: de Root Mean Squared Error.

**Tabel B1.14** Waarden van de parameters van vergelijking B1.12 gefit op gemeten waarden van veen en lemig veen en bijbehorende fout van de fit als Root Mean Squared Error (RMSE).

Parameters fitmodel	Eenheid parameters	Bodemmateriaal	
		Veen	Lemig veen
$B_0$	kg m <sup>-3</sup>	330	200
$f_b$	kg m <sup>-3</sup>	1650	1700
$a$	-	10,35	29,42
$m1$	-	1,368	2,588
$m2$	-	1,171	0,335
<b>RMSE</b>	<b>kg m<sup>-3</sup></b>	<b>134</b>	<b>86</b>

In figuur B1.8 zijn als voorbeeld de resultaten gegeven van de oxidatie-zakkings-modellen (vergelijking (B1.6)) voor veen en lemig veen bij een afname van het organische-stofgehalte met 10%. De maaiveldzakking is gegeven als % van de laagdikte. Als bijvoorbeeld het organische-stofgehalte van een veenlaag 75% bedraagt en door oxidatie verdwijnt 10% van deze organische stof dan is bij een laagdikte van bijvoorbeeld 10 cm de zakking 10,1 mm. Hetzelfde voorbeeld maar dan voor lemig veen met 25% organische stof geeft een zakking van 7,8 mm. De ondergrens van het organische-stofgehalte om het bodemmateriaal 'veen' te kunnen noemen, bedraagt 15%.



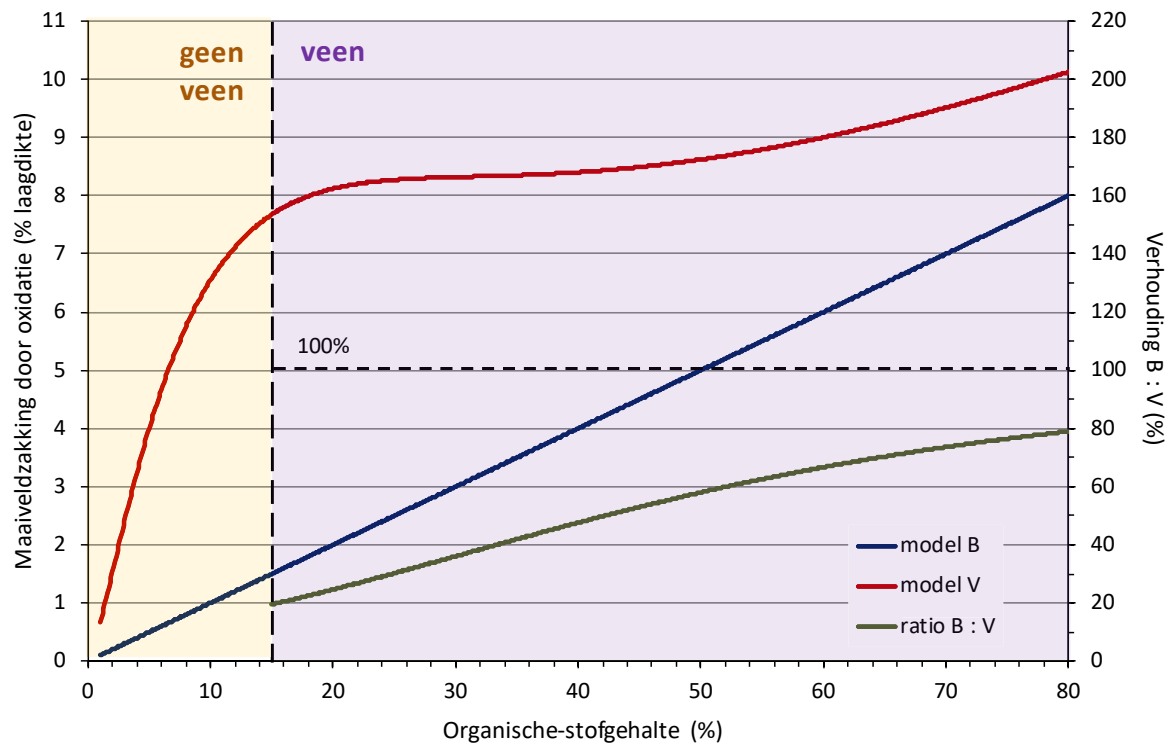
**Figuur B1.8** Voorbeelden van de maaiveldzakking veen als functie van het organische-stofgehalte zoals berekend door de Oxidatie-zakkings-modellen (B1.6) van veen en lemig veen als het verlies aan organische stof 10% bedraagt. De maaiveldzakking is gegeven als % van de laagdikte. Alleen organische-stofgehalten groter dan 15% representeren veen.

Uit vergelijking B1.6 in combinatie met vergelijking B1.12 is af te leiden dat de relatie tussen verlies aan organische stof door oxidatie en maaiveldzakking niet lineair is in het oxidatie-zakkings-model van de Verfijningsfase. Toch benadert deze relatie zeer sterk een uiterst eenvoudige lineaire relatie. Het is daarom heel eenvoudig om de curven van figuur B1.8, die gelden voor een verlies van 10%, te transformeren naar een ander verlies-% door de y-waarden te schalen met de verhouding nieuw-% : 10%. De curve van 1% wordt dan uit figuur B1.8 afgelezen door de y-waarden door 10 te delen, die van 5% door te delen door 2 enz.

### B1.2.5.3 Vergelijking modellen Berekeningsfase en Verfijningsfase

Figuur B1.9 vergelijkt de oxidatie-zakkings-modellen van de Berekeningsfase (B) en van de Verfijningsfase (V) voor het voorbeeld van figuur B1.8. Het model van de Verfijningsfase V is het model van veen zonder leem. Het simpele model van de Berekeningsfase is een lineair model met een lineaire relatie van de zakking met zowel het % organische stof als het % organische-stof-verlies door oxidatie. Bij een gegeven verlies-% neemt de door dit model voorspelde zakking lineair af met het % organische stof. Figuur B1.9 laat zien dat daardoor het verschil tussen beide modellen groter is naarmate het organische-stofgehalte kleiner is. Bij 80% organische stof bedraagt model B 80% van model V; bij 15% organische stof is dat slechts 20%. Door de volledig respectievelijk nagenoeg lineaire relatie tussen maaiveldzakking en verlies-% van modellen B en V geldt de verhoudingslijn tussen B en V van figuur B1.9 voor alle verlies-%.

Ervan uitgaand dat model V realistischer is dan model B is de conclusie dat in de Berekeningsfase de maaiveldzakking door oxidatie is onderschat; althans de vertaling van verlies aan organische stof door oxidatie naar maaiveldzakking. Omdat de oxidatie zelf is overschat in deze fase door een fout regressiemodel dat te hoge zakkingen door oxidatie gaf en door een te gunstige zuurstofdiffusie in model ANIMO. Daarom zijn de maaiveldzakkingen door oxidatie in de Berekeningsfase waarschijnlijk eerder overschat dan onderschat.



**Figuur B1.9** Voorbeelden van de maaiveldzakking veen als functie van het organische-stofgehalte zoals berekend door de Oxidatie-zakkings-modellen (B1.6) van veen en lemig veen als het verlies aan organische stof 10% bedraagt. De maaiveldzakking is gegeven als % van de laagdikte. Alleen organische-stofgehalten groter dan 15% representeren veen.

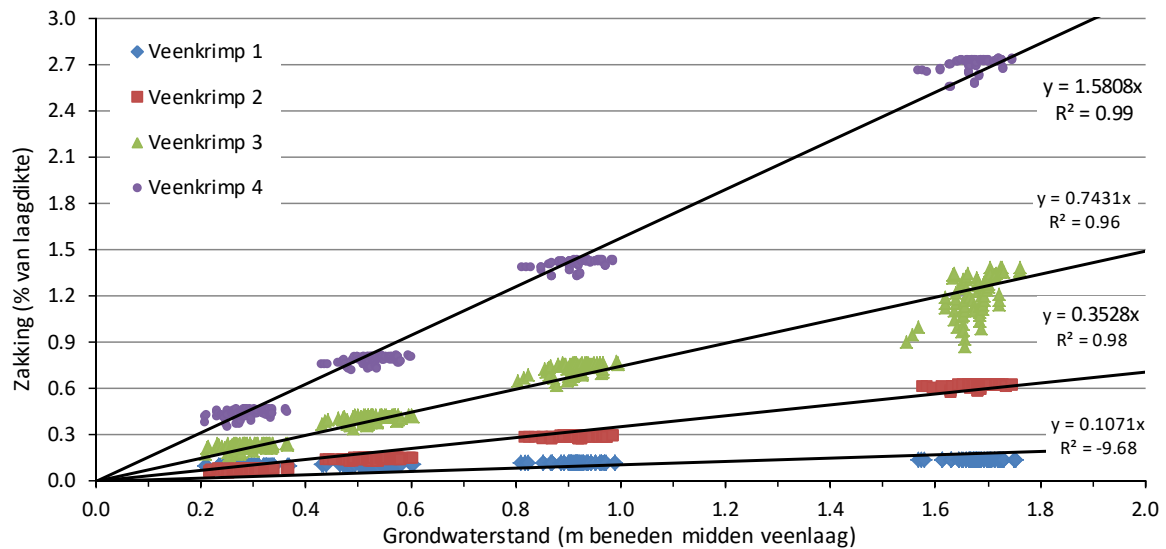
#### B1.2.5.4 Realiteitswaarde model Verfijningsfase

De realiteitswaarde van het oxidatie-zakkings-model van de Verfijningsfase is theoretisch groot. Mits er een eenduidige relatie bestaat tussen de droge bulkdichtheid en het organische-stofgehalte. De indruk is dat het algemene beeld van deze relatie wel realistisch is.

## B1.2.6 Regressiemodellen van veenkrimp en veenoxidatie

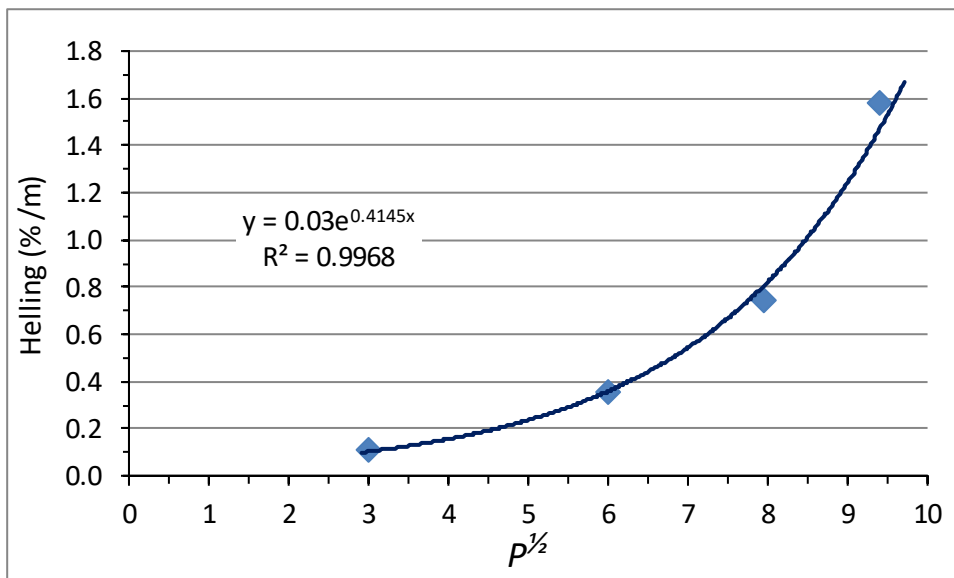
### B1.2.6.1 Maaiveldzakking door veenkrimp

Figuur B1.10 geeft de resultaten van de populatie van maaiveldzakking door veenkrimp als % van de laagdikte uitgezet tegen de grondwaterstand. Op deze manier uitgezet vertonen de resultaten twee patronen: een voor de veenkrimpvariant en de ander voor de grondwaterdalingsscenario's. De door de krimpvarianten gefitte rechte lijnen geven een spreiding voor het effect van krimprelatie. Verondersteld is dat de bovenste lijn het 90<sup>e</sup> percentiel vertegenwoordigt en de onderste lijn het 10<sup>e</sup> percentiel. Voor de populatie van 4 x 30 punten van elk grondwaterstandscenario zijn de lijnen met de rode punten en die met de groene het 37<sup>e</sup> respectievelijk het 64<sup>e</sup> percentiel.



**Figuur B1.10** Relatie tussen maaiveldzakking door krimp (% van veenlaagdikte) en grondwaterstand (m beneden midden veenlaag). De vier groepen met verschillende kleuren verbeelden de vier veenkrimpkarakteristieken. De vier kolommen bij verschillende grondwaterstanden vertegenwoordigen de vier grondwaterstanddalingsscenario's. De groepjes punten zijn de 30 weerjaren. Door de resultaten van elke veenkrimpvariant zijn rechte lijnen gefit. De bovenste lijn is het 90<sup>e</sup> percentiel, de lijn daaronder het 63<sup>e</sup> percentiel, de lijn daaronder het 37<sup>e</sup> percentiel en de onderste lijn het 10<sup>e</sup> percentiel.

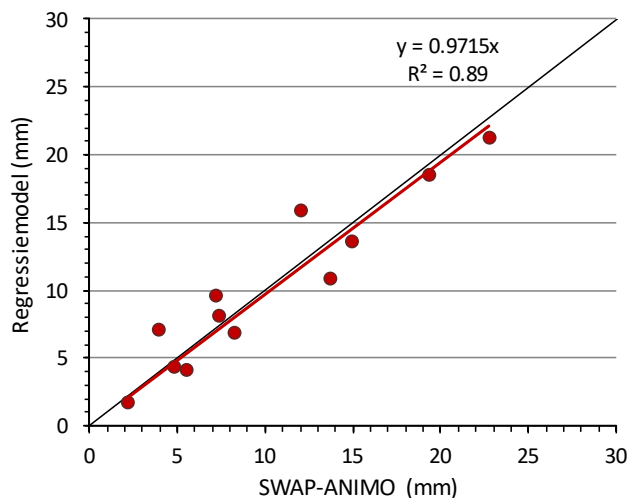
In figuur B1.11 zijn de hellingen van de vier lijnen uitgezet tegen de wortel van hun bijbehorende percentielen. Hierdoor is een exponentiële relatie gefit. Met deze relatie kan voor een percentiel een helling worden verkregen. Als de helling van een percentiel bekend is, kan daarmee eenvoudig een maaiveldzakking door veenkrimp bij een gegeven grondwaterstand worden berekend. De relatie vormt de basis van vergelijking (3.2a) in 3.5.1.1 in de hoofdttekst.



**Figuur B1.11** De helling (%  $m^{-1}$ ) van de lijnen die het verband tussen maaiveldzakking en grondwaterstand beschrijven uitgezet tegen de wortel van de percentielen.

### B1.2.6.2 Maaiveldzakking door veenoxidatie

Voor de berekening van de maaiveldzakking door veenoxidatie als functie van grondwaterstand en veenlaagdikte is een tweezijdig lineair regressiemodel opgesteld door fitten op de twaalf hoogste waarden uit de modelberekeningen (vergelijking (3.3) in de hoofdtekst). De determinatie coëfficiënt  $R^2$  van de fit bedroeg 0,87. Het scatter plot van figuur B1.12 laat de resultaten van de fit zien als vergelijking tussen SWAP-ANIMO-resultaten met resultaten van regressiemodel.



**Figuur B1.12** Scatter plot als vergelijking van SWAP-ANIMO-voorspellingen met regressiemodel-voorspellingen van maaiveldzakking door veenoxidatie.

## B1.2.7 Veenlaagprofielen van de individuele locaties in SWAP-ANIMO

**Tabel B1.15** De doorgerekende individuele locaties van de Verfijningsfase. Hun profielen zijn digitaal beschikbaar.

Locatie	Organische- stofgehalte
8311001004	75,0
8311001007	60,0
8311001027	20,0
8311001033	42,1
<b>2-015</b>	<b>31,4</b>
<b>2-017</b>	<b>16,0</b>
2-021	74,4
2-023	36,8
<b>2-034</b>	<b>26,9</b>
2-036	60,1
2-064	40,7
2-066	28,4
<b>2-068</b>	<b>16,8</b>
<b>2-141</b>	<b>32,9</b>
2-143	21,4
5-001	29,8
<b>5-003</b>	<b>26,6</b>
5-005	22,1
5-006	29,0
5-007	24,1
5-009	31,6
<b>5-019</b>	<b>19,8</b>
5-021	26,1
<b>5-023</b>	<b>25,5</b>
B05 (Begemann)	19,6
HB103	25,0
HB114	50,0

## B1.2.8 Kalibratie van ANIMO tegen metingen van zuurstofgehalten in bodemlucht

### B1.2.8.1 Opstellen lineaire-regressiemodellen uit metingen voor kalibratie

In de Verfijningsfase is ANIMO gekalibreerd tegen de resultaten van de metingen van zuurstofgehalte in bodemlucht op verschillende diepten van verschillende locaties met bemonsteringsbuizen voor bodemlucht. Hierbij zijn de twee parameters  $p_1$  en  $p_2$  voor zuurstofdiffusie in bodemlagen aangepast (zie bijlage B2.2 vergelijking B2.1). In de hoofdtekst in het onderschrift van figuur 3.12 is aangegeven dat er twee groepen van locaties met lucht bemonsteringsbuizen zijn gevormd:

1. de groep 'veenlaag met ondiepe grondwaterstand en weinig organische stof in het profiel boven de veenlaag': locaties Loc 4, Loc 5, Loc 36 en Loc 38;
2. de groep 'diepe grondwaterstand met veel organische stof in het profiel boven de grondwaterstand': locaties Loc 8, Loc 9 en Loc 13.

Omdat ANIMO de processen van zuurstofverbruik en zuurstofdiffusie afhankelijk van het vochtgehalte in bodemlagen beschrijft, zou het model met dezelfde set zuurstofdiffusieparameters de situatie van beide groepen moeten kunnen simuleren. Om die reden is besloten om ANIMO onafhankelijk op beide groepen te kalibreren. Omdat dit een resultaatgericht onderzoek was, was de intentie om de zuurstofdiffusieparameters verkregen uit beide groepen achteraf te middelen.

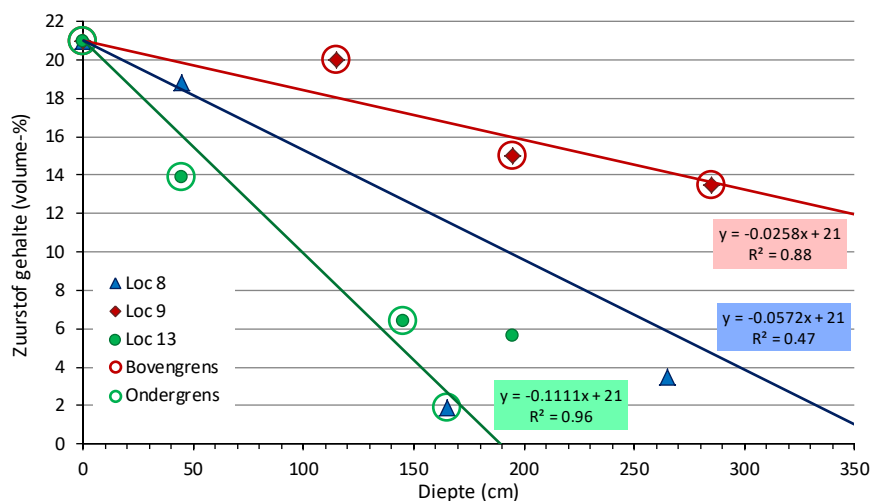
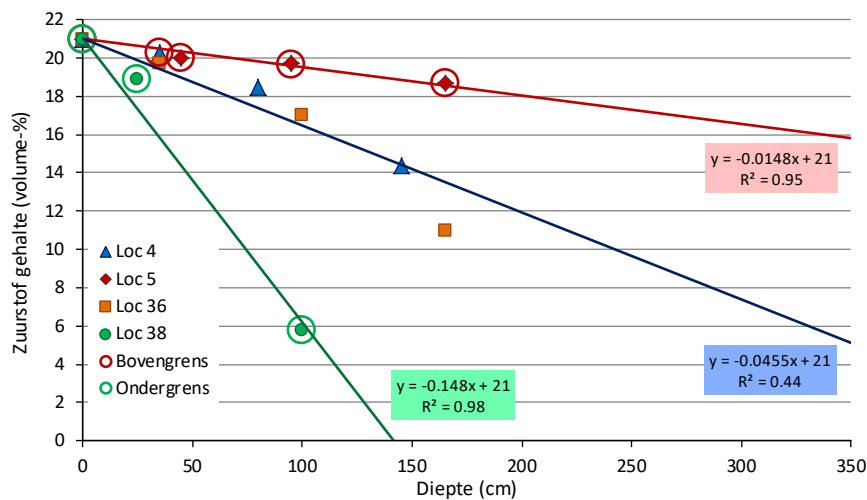
Omdat de zuurstofmetingen aan de monsters van 19 juni het meest betrouwbaar waren, is besloten deze te gebruiken voor de kalibratie. Daarvoor zijn eerst lineaire-regressiemodellen voor beide groepen opgesteld. In 3.4.6 van de hoofdtekst is geconstateerd dat voor de zeven geselecteerde buizen de zuurstofmetingen ongeveer een lineair verloop met de diepte vertoonden (figuur 3.12). Alleen bij Loc 9 en Loc 38 moest het meetresultaat van het diepste luchtkamertje worden genegeerd. Daarom is de aanpak van fitten van een lineair-regressiemodel geoorloofd geacht.

Figuur B1.2.13 geeft de resultaten van het fitten van de lineaire-regressiemodellen. De determinatie coëfficiënten  $R^2$  van het mediaan-model zijn erg laag. Dit is het gevolg van de grote spreiding in zuurstofgehalten tussen de locaties. Opmerkelijk is dat de locaties met ondiepe grondwaterstand en weinig organische stof in het profiel geringere negatieve hellingen vertonen dan die van de andere groep. In die ondiep ontwaterde profielen loopt het zuurstofgehalte minder sterk terug met de diepte ondanks de vochtigere bodem. De conclusie daaruit is duidelijk: een organische-stofrijke, relatief droge bodem heeft een groter vermogen om zuurstof op geringere diepte 'af te vangen' dan een nattere, organische-stofarme bodem. De gemiddelde organische-stofgehalten van beide groepen zijn gegeven in tabel B1.16.

**Tabel B1.16** Gemiddelde organische-stofgehalten met de diepte in de twee groepen van locaties met bodemluchtbuizen. Groep 1 heeft een ondiepe grondwaterstand en weinig organische stof in het profiel; groep 2 het omgekeerde.

Diepte (cm)		Organische-stofgehalte (%)	
begin	eind	groep 1	groep 2
0	30	3,5	2,6
30	40	2,7	3,2
40	70	1,0	2,5
70	100	1,0	2,1
100	110	0,6	1,3
110	140	0,4	1,3
140	150	0,4	1,2
150	220	0,4	1,0
220	230	veen	1,0
230	270		0,7
veen/grondwater			



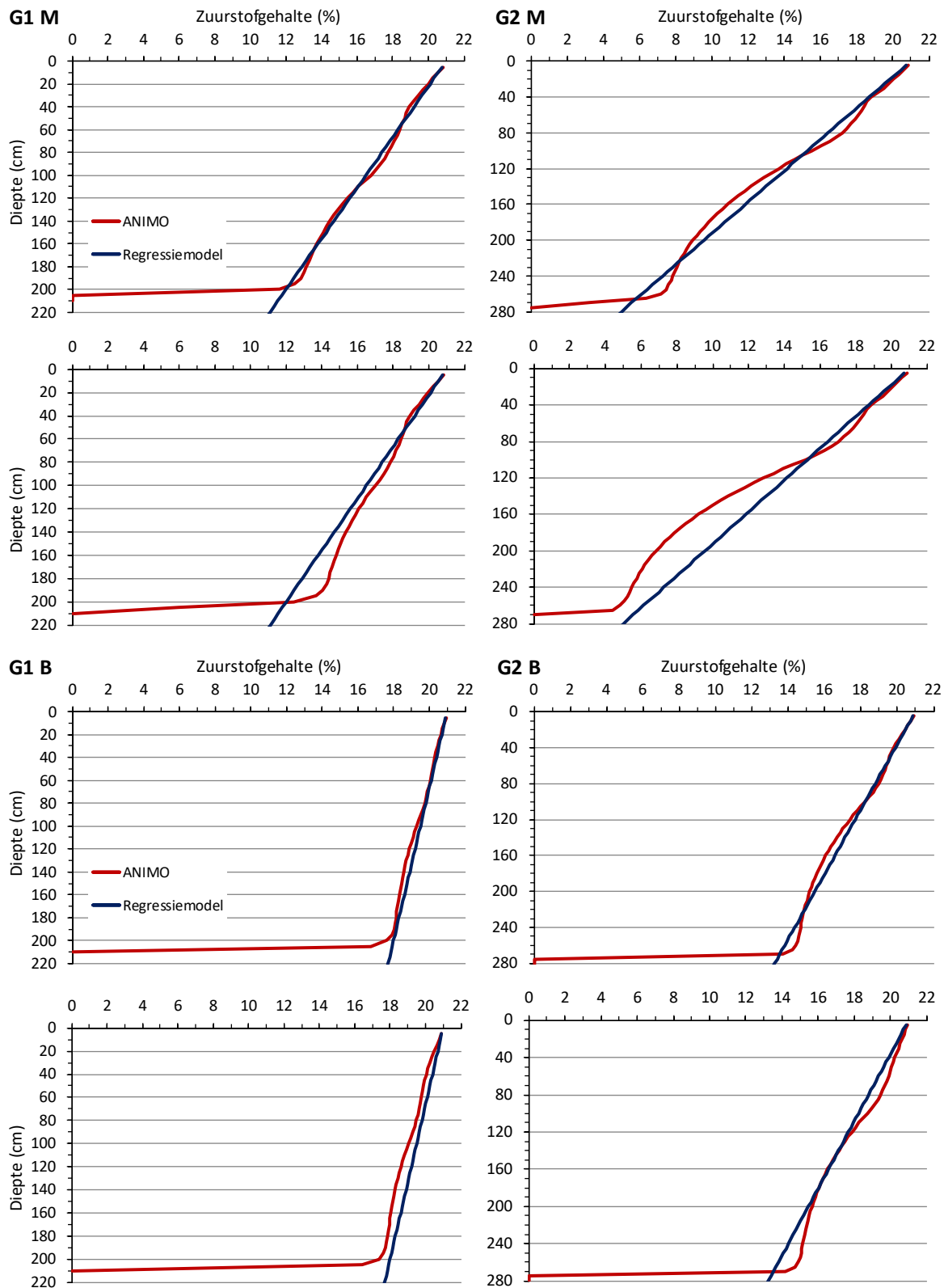


**Figuur B1.13** Lineaire-regressiemodellen voor het verloop met de diepte van zuurstofgehalten in bodemlucht van de twee groepen van locaties met luchtbemonsteringsbuizen; boven de groep van ondiepe grondwaterstanden met weinig organische stof in het profiel en boven de groep van diepe grondwaterstanden met veel organische stof in het profiel. Voor elke groep zijn twee modellen afgeleid: het **mediaan-model** (blauwe lijn) en het **bovengrens-model** (rode lijn) (het model van de groene lijn is niet gebruikt).

### B1.2.8.2 Kalibratie ANIMO

ANIMO is apart gekalibreerd aan gegevens van beide groepen. Dit is gedaan voor het **mediaan-model** en het **bovengrens-model**. Na de gescheiden kalibratie van de groepen zijn voor beide regressiemodellen de gekalibreerde zuurstofdiffusieparameters van de twee groepen gemiddeld. Ter controle is voor elke groep bij beide regressiemodellen een berekening gedaan met de gemiddelde waarden van de zuurstofdiffusieparameters.

Voor de kalibratie is voor beide groepen een SWAP-ANIMO-model gebouwd met de organische stofgehalten van tabel B1.16. Voor beide groepen is het profiel samengesteld met de bouwstenen uit profielkuil 4. Het verschil was dat bij groep 1 de veenlaag op 200 cm diepte begon en bij groep 2 op 250 cm. Het zandpakket van groep 2 was dus 50 cm dikker. De gemiddelde grondwaterstand was uit de locaties van de groepen afgeleid en bedroeg 230 cm-mv voor groep 1 en 300 cm-mv voor groep 2. SWAP-ANIMO is doorgerekend voor de periode 1 januari 2017 tot 21 juni 2017 met het werkelijke weer van KNMI weerstation Gilze-Rijen. De berekende zuurstofgehalten van 19 juni 2017 werden geëvalueerd. Een grafische weergave van de kalibratieresultaten in termen van door ANIMO berekende zuurstofgehalten is gegeven in figuur B1.14. Tabel B1.17 geeft de waarden van de gekalibreerde zuurstofparameters.



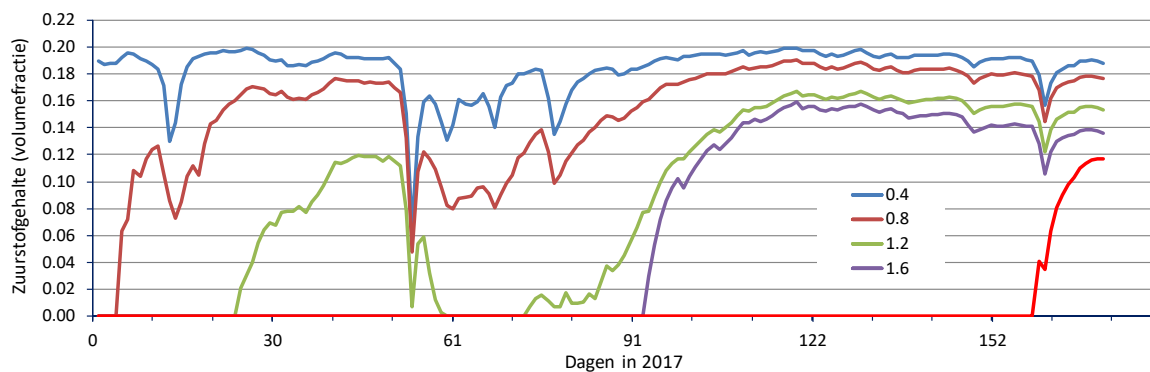
**Figuur B1.14** Resultaten van de kalibratie van ANIMO aan gemeten zuurstofgehalten in bodemlucht van 19 juni 2017 in de vorm van een lineair-regressiemodel van zuurstofgehalten met de diepte. Twee lineaire-regressiemodellen zijn gebruikt: het **mediaan-model** (M in bovenste vier figuren) en het **Bovengrens-model** (B in onderste vier figuren). Linker kolom geeft de resultaten van Groep 1, rechterkolom van Groep 2. Van beide regressiemodellen zijn de bovenste twee figuren de optimale kalibratie van elke groep, en de onderste twee figuren de berekeningen met de gemiddelde 'compromis' waarden van de zuurstofparameters.

**Tabel B1.17** Resultaten van de kalibratie als nieuwe waarden van de twee zuurstofdiffusieparameters  $p_1$  en  $p_2$  voor de bovenste drie horizonten van het profiel. Horizont 4 is de veenlaag. De waarden zijn gegeven voor de situatie vóór de kalibratie en die na kalibratie voor de twee regressiemodellen mediaan-model en bovengrens-model.

Bodem-horizont	Voor kalibratie		Mediaan-model		Bovengrens-model	
	$p_1$	$p_2$	$p_1$	$p_2$	$p_1$	$p_2$
1	2,50	3,00	1,00	3,20	1,10	2,50
2	7,50	3,65	3,50	3,00	3,75	2,68
3	7,50	4,00	0,30	3,50	0,36	2,95
<b>4</b>	<b>2,50</b>	<b>3,00</b>	<b>2,50</b>	<b>3,00</b>	<b>2,50</b>	<b>3,00</b>
5	7,50	4,00	7,50	4,00	7,50	4,00
6	7,50	4,00	7,50	4,00	7,50	4,00

De kalibratie is succesvol verlopen op grond van de visuele vergelijking van door ANIMO berekende zuurstofgehalten met de diepte en de zuurstofgehalten van de twee regressiemodellen. De gekalibreerde parameters gaven in de simulaties met ANIMO veel geringere zuurstofdiffusie en daardoor zuurstofgehalten dieper in het profiel boven de veenlaag, met als gevolg een (veel) lagere oxidatie van de veenlagen. In de hoofdtekst is daar een voorbeeld van gegeven in figuur 3.17.

Figuur B1.2.15 geeft een voorbeeld van het zuurstofverloop in de tijd op verschillende diepten zoals door ANIMO gesimuleerd voor dezelfde periode die is gebruikt voor de kalibratie. De berekening is met de zuurstofdiffusieparameters van het mediaan-model.



**Figuur B1.15** Voorbeeld van het verloop in de tijd van het zuurstofgehalte op verschillende diepten zoals gesimuleerd door ANIMO voor het profiel van Groep 1 en de zuurstofdiffusieparameters van het mediaan-model.

---

## Bijlage 2 Beschrijving van de modellen

De modellen SWAP en ANIMO zijn ontwikkeld en worden onderhouden en beheerd door WENR (Website SWAP; Website ANIMO). SWAP en de combinatie SWAP-ANIMO worden veelvuldig ingezet in projecten van WENR. SWAP wordt wereldwijd toegepast. SWAP-ANIMO vormt de kern van het model STONE dat de nationale mestwetgeving evalueert.

### B2.1 SWAP

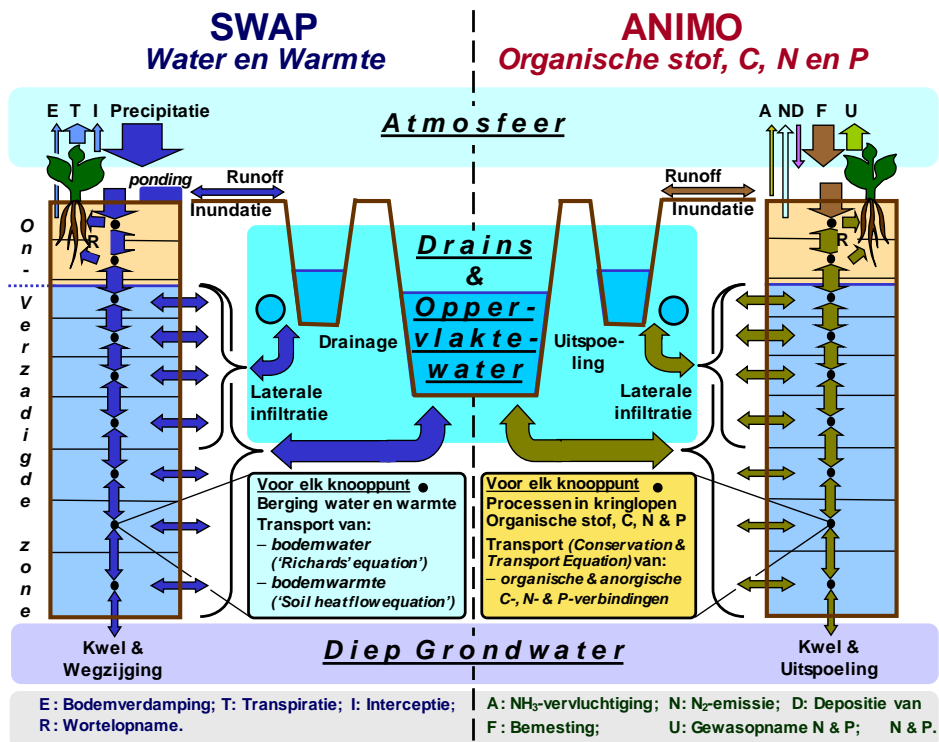
SWAP (Soil-Water-Atmosphere-Plant) wordt vaak aangeduid als 'agrohydrologisch', 'bodempysisch' of 'onverzadigde zone' model. Het eerste om de belangrijke en sterke relatie met de waterhuishouding van de plant (het gewas). Het tweede omdat SWAP veel fysische bodemprocessen bevat; dat zijn naast waterstroming en -berging ook warmtestroming en -opslag (bodemtemperatuur), transport van opgeloste stoffen, en zwel en krimp van bodemlagen. Het derde omdat het model zich richt op het deel van de bodem dat afwisselend verzadigd en onverzadigd met water is. Dat is het bovenste deel van de bodem waarin zich de grondwaterspiegel bevindt die meestal fluctueert in de tijd en zo de afwisseling in verzadigd en onverzadigd veroorzaakt.

SWAP is een dynamisch model en beschrijft de fluctuerende grondwaterspiegel en de daarmee samenhangende veranderingen in het vochtgehalte van de bodem in de tijd. Daarvoor berekent SWAP de verticale waterbeweging in een bodemkolom op veldschaal. De verticale waterbeweging wordt aangedreven door processen aan de randen van de bodemkolom: aan de bovenrand met de atmosfeer zijn dat neerslag en verdamping door bodem en plant, aan de onderrand stroming van water naar en vanuit het diepe grondwater, en aan de zijrand af- en aanvoer van water naar en vanuit sloten en drainbuizen (figuur B2.1).

SWAP berekent de verticale waterbeweging in de bodemkolom met de welbekende, fysisch-gebaseerde Richards-vergelijking. SWAP lost deze vergelijking numeriek op door de complexe wiskundige vergelijkingen die vaak analytisch onoplosbaar zijn, te benaderen met eenvoudigere vergelijkingen. Daarvoor is het nodig dat de tijd en de ruimte – de lengte van de verticale bodemkolom – opgeknipt worden in kleine stukjes. SWAP past de grootte van de tijdstapjes voortdurend aan (tussen 0,1 seconde en 0,2 dag) aan de dynamiek van het moment. De dikten van de 'modelcompartimenten' – de lengtestapjes van de bodemkolom – zijn vast en bedragen in dit onderzoek 1 cm. De frequentie van uitvoer van modelresultaten is flexibel: van per kwartier tot per decade; in dit onderzoek is een frequentie van één keer per dag genomen.

Voor de berekeningen van waterstroming en -berging heeft SWAP invoerwaarden nodig voor de belangrijke bodemeigenschappen waterretentie- en waterdoorlatendheidskarakteristiek (zie 2.3.3). Voor berekening van warmtestroming en bodemtemperatuur gebruikt SWAP daarnaast nog textuurgegevens en organische-stofgehalten (zie 2.3.1 en 2.3.2). Krimp en zwel berekent SWAP met de krimp-karakteristiek op basis van het vochtgehalte. Hiervoor zijn waarden van krimp-karakteristieken noodzakelijk (zie 2.3.6). De gebruiker moet al deze waarden opgeven voor elke bodemhorizont die hij onderscheidt. Alleen door bodemhorizonten in de bodemkolom af te wisselen kan hij variatie in bodemeigenschappen in het model inbrengen.

In dit onderzoek is SWAP versie 3.2 gebruikt (Van Dam et al., 2008; Kroes et al., 2008). Daarvoor is het model op één punt aangepast: het berekenen en uitvoeren van krimp en zwel is mogelijk gemaakt zonder dat met preferentieel transport door krimpscheuren (macroporiën) wordt gerekend. Het oorspronkelijke model gebruikt krimp en zwel alleen om de breedte en diepte van krimpscheuren te berekenen. SWAP gebruikt deze kennis in de module die macroporiestroming simuleert. Die was voor dit onderzoek niet nodig. Krimpscheuren komen in de onderzochte bodems niet voor. Alle krimp en zwel is uitsluitend in verticale richting (zakking).



**Figuur B2.1** Schematische weergave van de modellering met SWAP-ANIMO van het bodemsysteem op veldschaal. SWAP simuleert de water- en warmtebalans en het water- en warmtetransport. ANIMO simuleert processen van de organische stof/koolstof(C)-, stikstof(N)- en fosfor(P)kringloop en transport en uitspoeling van opgeloste C-, N- en P-verbindingen en gebruikt daarvoor de SWAP-simulaties van water en warmte (uit: Hendriks en Van den Akker, 2012).

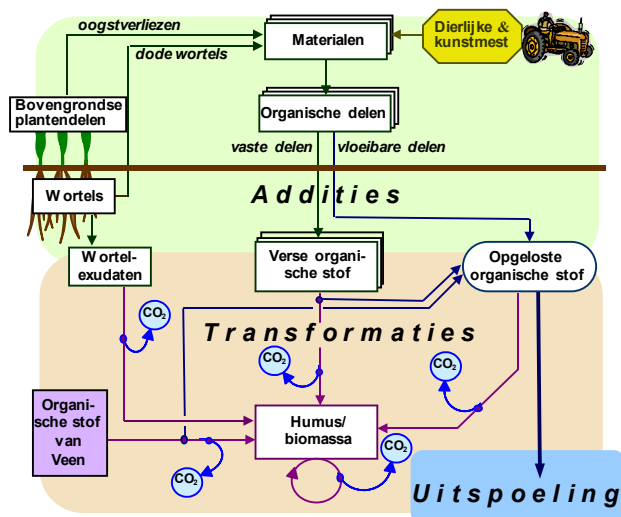
## B2.2 ANIMO

ANIMO (Agricultural Nutrient Model) is een dynamisch model dat is ontwikkeld om de uitspoeling van de nutriënten stikstof en fosfor naar grond- en oppervlaktewater te berekenen, afhankelijk van het bemestingsniveau en het bodemgebruik. Het model is geschikt voor een groot bereik van bodemtypen onder zeer verschillende hydrologische condities (Groenendijk et al., 2005). ANIMO heeft waterbalansgegevens en bodemtemperaturen nodig voor de berekeningen. Deze levert SWAP aan op dagbasis. In dit onderzoek is ANIMO 4.0 gebruikt (Renaud et al., 2005).

ANIMO is net als SWAP een numeriek model, maar met een semi-analytische wiskundige benadering waardoor het model met relatief grote tijdstappen van minimaal 1 dag kan rekenen (in dit onderzoek 1 dag). Daardoor rekt het model zeer snel. ANIMO heeft dikkere modelcompartimenten nodig dan SWAP, in de orde van 5-10 cm. SWAP aggregereert daarvoor zijn berekeningsuitkomsten tot de dikte van de ANIMO-compartimenten.

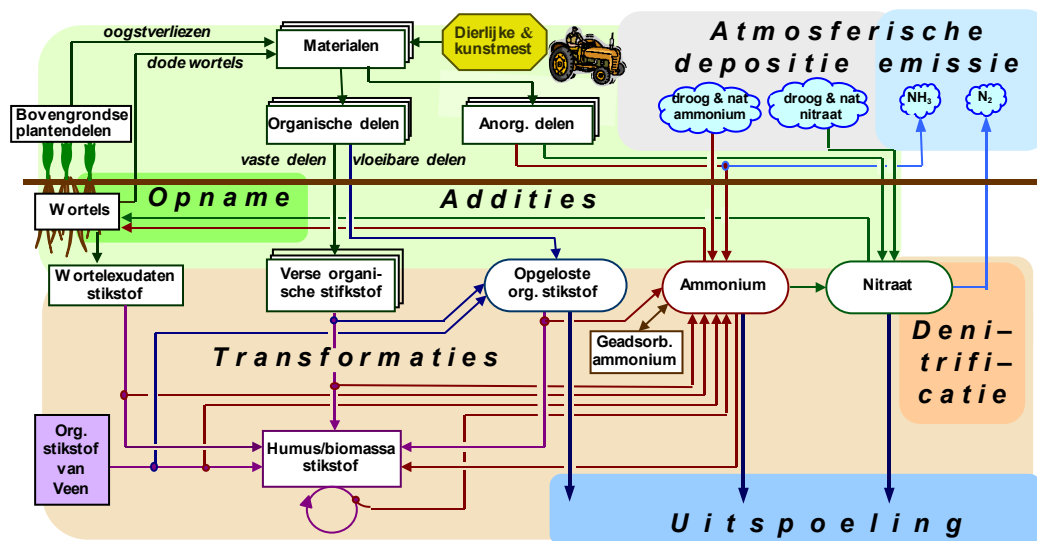
De organische stof-/koolstof(C)kringloop is de hoofdkringloop in ANIMO; de kringlopen van stikstof (N) en fosfor (P) zijn gebaseerd op de C-kringloop. Transformatie, accumulatie en transport zijn de belangrijke interne processen van de kringlopen (figuren B2.2 en B2.3). Het hier beschreven onderzoek richtte zich primair op de transformatie van organische stof in droogvallende veenlagen. De belangrijkste transformatievorm voor dit onderzoek was de 'oxidatie': de afbraak van organische stof door micro-organismen met gebruik van zuurstof, door omzetting van organische C in minerale (anorganische) C in de vorm van koolzuurgas (CO<sub>2</sub>). Een andere transformatievorm van organische stof is denitrificatie. Hierbij gebruiken gespecialiseerde bacteriën nitraat als vervanger van zuurstof om organische stof af te breken. Kwantitatief is denitrificatie minder belangrijk dan oxidatie. De snelheid van denitrificatie is de helft van de oxidatiesnelheid, maar belangrijker is dat nitraat meestal niet in voldoende mate beschikbaar is voor substantiële organischestof-afbraak.

## Organischestof- en C-kringloop



**Figuur B2.2** De kringloop van organische stof en koolstof (C) in ANIMO, met transformatie-, accumulatie- en transportprocessen. Veen is als een apart organisch materiaal beschreven (uit: Hendriks en Van den Akker, 2012).

## N-kringloop



**Figuur B2.3** De kringloop van stikstof (N) in ANIMO, met transformatie-, accumulatie- en transportprocessen. Veen is als een apart organisch materiaal dat organisch-N bevat beschreven (uit: Hendriks en Van den Akker, 2012).

Nitrificatie is naast denitrificatie een ander transformatieproces van de N-kringloop in ANIMO (figuur B2.3). Nitrificatie is kwantitatief belangrijker voor de berekening van de organischestofomzetting dan denitrificatie. In het nitrificatieproces zetten gespecialiseerde bacteriën ammonium om in nitraat waarbij zij zuurstof verbruiken. Het is een zeer snel verlopend proces waardoor in de bodem zuurstof eerst wordt aangewend voor nitrificatie en dan pas voor oxidatie. Nitrificatie is daarmee een grote concurrent van oxidatie voor zuurstof, vooral in de toplaag van de bodem.

Giften (addities) en initiële voorraden van organische stof aan/in de bodem – zoals veen – beschrijft beschrijft ANIMO als 'organische materialen' (figuur B2.2). De gebruiker geeft deze materialen

specifieke eigenschappen door ze op te bouwen uit 'organische klassen'. De organische klassen stelt de gebruiker zelf samen door kenmerkende waarden in te voeren voor de grootheden oxidatiesnelheid (eerste-orde-afbraaksnelheidsconstante), 'oxidatie-efficiëntie' (assimilatie-efficiëntie) en N-gehalte. De gebruikelijke benadering bij simuleren van veengronden met ANIMO is de organische stof van veen te definiëren als een organisch materiaal dat uit twee (of meer) organische klassen bestaat met verschillende oxidatiesnelheden en N-gehalten (Hendriks, 1993; Hendriks en Van den Akker, 2012). In werkelijkheid neemt de oxidatiesnelheid van organische materialen als veen voortdurend af in de tijd, omdat de snel afbreekbare delen eerst verdwijnen. Dit kan de gebruiker simuleren door een relatief snel afbreekbare organische klasse te combineren met een langzaam afbreekbare klasse.

In ANIMO worden (bio)chemische transformatieprocessen in de bodem beïnvloed door de omgevingsfactoren aeratie (zuurstofvoorziening), vochtvoorziening, temperatuur en zuurgraad. Vochtgehalte en temperatuur levert SWAP aan; zuurgraad (pH) is invoer. In dit onderzoek was de zuurstofvoorziening cruciaal voor de oxidatie van de droogvallende veenlagen. ANIMO bepaalt de zuurstofvoorziening door de verticale neerwaartse diffusie van atmosferische luchtzuurstof in het bodemprofiel te berekenen, gegeven de zuurstofvraag voor oxidatie en nitrificatie door het gehele bodemprofiel. Hierdoor kan ANIMO simuleren dat zuurstof in het profieldeel boven de veenlaag wordt verbruikt voordat het de veenlaag bereikt. Als de zuurstofvoorziening in een bodemcompartiment niet optimaal is, verlaagt ANIMO de potentiële oxidatiesnelheid met een factor die de 'fractie anaerobie' (zuurstofloze fractie) weergeeft (voor berekening van deze fractie, zie Groenendijk et al., 2015).

De verticale zuurstofdiffusie in de bodem is een functie van het luchtgehalte op elke diepte. Het luchtgehalte berekent ANIMO uit het vochtgehalte dat SWAP voor elke diepte aanlevert. De potentie voor zuurstofdiffusie is een eigenschap van elke bodemlaag die de gebruiker bepaalt door waarden voor twee parameters in te voeren: de coëfficiënt  $p_1$  (-) en de exponent  $p_2$  (-). Hiermee berekent ANIMO een actuele zuurstofdiffusiecoëfficiënt uit het vochtgehalte op elke diepte:

$$D_g = p_1 (\theta_{\text{sat}} - \theta)^{p_2} D_0 \quad (\text{B2.1})$$

- $D_g$  = actuele zuurstofdiffusiecoëfficiënt ( $\text{cm}^2 \cdot \text{d}^{-1}$ );
- $D_0$  = zuurstofdiffusiecoëfficiënt in vrije lucht, temperatuurafhankelijk ( $\text{cm}^2 \cdot \text{d}^{-1}$ );
- $\theta$  = actueel volumetrisch vochtgehalte ( $\text{cm}^3 \cdot \text{cm}^{-3}$ );
- $\theta_{\text{sat}}$  = volumetrisch vochtgehalte bij verzadiging ( $\text{cm}^3 \cdot \text{cm}^{-3}$ ).

Net als bij SWAP voert de gebruiker waarden van bodemeigenschappen in voor elke bodemhorizont die hij onderscheidt. De ANIMO- en SWAP-horizonten zijn gelijk. In dit onderzoek zijn voor ANIMO gemeten organische-stofgehalten, droge bulkdichtheden en oxidatiesnelheden (zie 2.3.7) van het onderzoeksgebied gebruikt.

## B2.3 Modelinvoer

De modelinvoer voor modellen als SWAP en ANIMO kan worden onderverdeeld in drie hoofdgroepen:

1. waarden van modelparameters: dat zijn invoerwaarden die meestal constant blijven gedurende de berekeningen en die de processen in het model sturen. Het zijn de bodemeigenschappen, zoals bodemhydrofysische karakteristieken in SWAP en oxidatiesnelheden in ANIMO, die worden gemeten in het lab. Het zijn ook de knoppen waaraan de gebruiker draait bij het kalibreren, zoals boven beschreven zuurstofdiffusieparameters  $p_1$  en  $p_2$ .
2. initiële waarden van toestandsvariabelen: dat zijn de waarden die de begintoestand van het systeem aangeven, bijvoorbeeld vochtgehalten en temperaturen in SWAP en voorraden van organische stof, zoals veenlagen, in ANIMO.
3. randvoorwaarden (forcing variables): dat zijn de processen aan de randen die het model aandrijven (forceren) zoals neerslag en verdamping en grondwaterstanden in SWAP en intrede van atmosferische zuurstof aan maaiveld, atmosferische depositie van ammonium en nitraat, en bemesting in ANIMO.

---

En één extra groep voor ANIMO:

4. hydrologische gegevens van SWAP: het gaat om vochtgehalten, drukhoogten, waterstromen tussen compartimenten onderling en de randdomeinen atmosfeer, plant, drains, sloten, diepe grondwater.



## Bijlage 3 Profielbeschrijvingen: Algemene informatie

In deze bijlage is de algemene informatie van de profielbeschrijvingen gegeven van de boringen die in het gebied zijn gedaan. De headers in de file hebben de volgende betekenis. Voor een nadere toelichting bij de profielbeschrijvingen verwijzen we naar ten Cate et al., 1995. Voor de kartering zijn in totaal 66 profielen uitgebreid beschreven (BPK\_ID 8311001001 t/m 8311001066). Voor de volledigheid zijn in deze bijlage eveneens 16 profielen beschreven die in het kader van het natuuronderzoek in het gebied zijn uitgevoerd (BPK\_ID 8311001067 t/m 8311001082).

BPK_ID	code van de profielbeschrijving in het Bodeminformatiesysteem (BIS)
DATUM	datum van profielbeschrijving
standaardpuntencode	code voor de typering van de bodem
Gt	grondwatertrap
GHG	Gemiddeld hoogste grondwaterstand
GLG	Gemiddeld laagste grondwaterstand
BEW	Bewortelbare diepte
OPMERKING	opmerking bij het profiel
A	code voor de diepte van het veen, bv.V10-12: veen van 100 -120cm -mv.
B	code voor de diepte van een leemlaag, bv.L10-12: leem van 100 -120cm -mv.
HOOGTE m NAP	hoogte van maaiveld bij het punt van de profielbeschrijving afgeleid van de AHN2 hoogtekaart
X (m)	x-coördinaat volgens RD stelsel
Y (m)	y-coördinaat volgens RD stelsel

BPK_ID	DATUM	standaard-puntencode	Gt	GHG	GLG	BEW	OPMERKING	A	B	HOOGTE m+NAP	X (m)	Y (m)
8311001001	27-3-2017	4s422	VIIId	160	260	70	25 bomen plantsoentje, gws 167cm		L10-12	8.98	129715	399511
8311001002	27-3-2017	c4i422	VIIId	140	240	30	gws 140, 10 bomen		L12-20	8.60	129691	399527
8311001003	27-3-2017	4i422F	VIIId	120	220	50	8 bomen, gws 115cm			8.39	129682	399551
8311001004	27-3-2017	5k432	VIIId	100	200	30	veen op 200cm, 8 bomen, gws 135 cm	V20-23	L23-26	9.10	129844	399407
8311001005	27-3-2017	5k422F	VIIId	110	200	30	foto 12:30u, 3 bomen, gws 167	V24-26	L23-24	9.15	129695	399241
8311001006	27-3-2017	4s422H	VIIId	150	250	120	gws 170cm	V13-17	L17-18	9.21	129778	399193
8311001007	27-3-2017	5k422H	VIIId	140	240	20	parkeerplek, gws 156cm, geen bomen	V10,V18	L20-29	9.25	129825	399309
8311001008	28-3-2017	c4i422H	VIIId	200	300	100	4 bomen, gws 267cm	V27-29		10.29	129696	398960
8311001009	28-3-2017	4s422H	VIIId	300	400	80	lijkt dijkichaam kanaal, pot2, 10 bomen vlakbij, geen berm pot			11.85	130414	399215
8311001010	28-3-2017	2q422	VIIId	100	200	40	foto 13:23, pot voor klei, 100 bomen, gws 240, stijgend		L15-36	9.84	130324	399398
8311001011	28-3-2017	c4i42*2t8F	Vto	60	160	40	gws 130cm, 100 populieren, klei boven gw niveau		L8-12	9.63	129998	398880
8311001012	28-3-2017	2r422t8	Vto	50	150	30	gws 228 nog in te stellen, grasveld, rand bosje		L8-34	10.76	130137	398328
8311001013	28-3-2017	5k432H	VIIId	220	320	100	langs kanaal, tegen talud, gws 200cm, enkele bomen hoger op talud		L28-36	11.72	130156	399326
8311001014	29-3-2017	5k422H	VIIId	90	190	70	gws 157cm	V15-19		9.21	129796	399177
8311001015	29-3-2017	5k432H	VIIId	90	180	65	speeltuin met 16 bomen, gws 162	V16-18		9.29	129804	399169
8311001016	29-3-2017	5k422F	VIIId	90	190	120	boomwortels in Cg, gws 157			9.17	129788	399186
8311001017	29-3-2017	5k432H	Vto	80	170	60	veen wigt uit, 10 bomen, gws 165cm	V17-18		9.28	129803	399158
8311001018	29-3-2017	5k432H	Vto	80	165	60	12 bomen, gws160	V23-24	L27-29	9.26	129820	399140
8311001019	29-3-2017	5k432H	Vto	90	170	50	gws 180			9.38	129831	399132
8311001020	29-3-2017	5k422F	VIIId	90	190	50	gws 163		L13-15	9.25	129814	399145
8311001021	29-3-2017	5k432H	VIIId	350	420	200	gws 400cm		L38-48	12.12	130467	399354
8311001022	29-3-2017	5k422	Vto	100	150	10	parkeerplek, gws 180cm	V16-22		9.08	129766	399205
8311001023	31-3-2017	5k422H	Vto	100	170	50	10 bomen, gws 140		L10-12	8.48	129586	399369
8311001024	31-3-2017	5k422H	VIIId	100	190	50	gws 155cm, 10 bomen		L15-18	8.47	129616	399339
8311001025	31-3-2017	5k422v9H	Vto	90	170	60	gws 143cm, 10 bomen	V9-11	L13-18	8.93	129627	399325
8311001026	31-3-2017	5k432H	Vto	90	170	60	gws 152cm, 10 bomen		L15-17	8.45	129620	399331
8311001027	31-3-2017	5k432H	Vto	90	160	40	diep verstoord, veenlaag mogelijk verplaatst, gws 153, 10 bomen	V9-10		8.40	129673	399281
8311001028	31-3-2017	5k432H	Vto	90	170	70	10 bomen, gws 130cm	V19	L20-L25	8.50	129635	399319
8311001029	31-3-2017	5k432H	Vto	90	170	70	10 bomen, gws 150cm			8.44	129687	399269
8311001030	31-3-2017	4s423H	VIIId	110	190	90	gws 158cm, 3 bomenveel opgehoogd	V19-20		9.23	129717	399236
8311001031	31-3-2017	4s423H	Vto	100	170	100	veel opgehoogd mat, gws 155cm			9.23	129746	399268
8311001032	31-3-2017	c4i433H	Vto	100	170	100	2 bomen, gws 165cm	V21-22		9.19	129784	399305
8311001033	3-4-2017	5k422F	Vto	100	170	40		V18-20	L20-29	9.05	129852	399424
8311001034	5-4-2017	5k51it10H	VIIId	140	210	100	gws 175cm		L10-12	9.13	129688	399409

BPK_ID	DATUM	standaard-puntencode	Gt	GHG	GLG	BEW	OPMERKING	A	B	HOOGTE m+NAP	X (m)	Y (m)
8311001035	5-4-2017	5k422H	VIIId	110	210	20	gws 160cm	V24-26	L11-12	9.25	129730	399368
8311001036	5-4-2017	5k422H	VIIId	110	200	10	stoep, geen bomen, gws 170cm	V20-25	L11-12	9.18	129705	399389
8311001037	5-4-2017	5k432F	VIIId	100	200	10	gws 169 cm-mv		L13	9.29	129769	399441
8311001038	5-4-2017	5k431F	VIIId	110	200	10	gws 190 cm-mv	V20	L7	9.23	129807	399392
8311001039	5-4-2017	5k432H	VIIId	100	190	10	gangpad, gws 175cm	V19-23		9.26	129759	399401
8311001040	5-4-2017	5k432H	VIo	70	150	40	gws 140cm			8.77	129835	399460
8311001041	6-4-2017	2r432H	VIo	70	160	30	onthoofde podzol met stoepzand parkeerplek, gws 165cm	V16-17	L12-16	9.03	129824	399205
8311001042	6-4-2017	5k431H	VIo	70	175	30	onthoofd en opgehoogd onder parkeerplek, gws 155cm	V23-27		9.29	129781	399254
8311001043	6-4-2017	5k511H	VIIo	90	160	80	stoep, gws 155cm			9.14	129842	399189
8311001044	6-4-2017	5k432G	VIIo	100	160	10	Chor is homogeen, is afgegraven gws 160cm	V27dun		9.16	129894	399216
8311001045	6-4-2017	5k432G	VIIo	80	160	20	gangpad, 2 opgebracht op onthoofd profiel 0cm			9.32	129851	399225
8311001046	6-4-2017	2r432F	VIIo	100	170	30	gangpad, gws168cm		L19-21	9.28	129882	399258
8311001047	6-4-2017	5k431G	VIIo	90	170	20	gangpad, gws 155cm		L25-50	9.21	129847	399262
8311001048	6-4-2017	5k431H	VIIo	90	160	10	podzolresten, stoep, gws 142cm	V23-26		9.23	129918	399305
8311001049	10-4-2017	5k431H	VIIo	100	160	40	veen gelaagd, straat, voortuinen met wat begroeiing gws 145cm	V16-19	L22-23	9.08	129920	399366
8311001050	10-4-2017	5k431H	VIIo	80	140	20	dunne veenlaagjes, stoep met voortuinen wat groen, gws 145cm	V20dun		9.27	129970	399326
8311001051	10-4-2017	5k431F	VIIId	90	180	20	gws 195	Vrest16		9.57	129641	399126
8311001052	10-4-2017	5k431F	VIIo	100	170	20	gws 167cm, parkeerterrein 2 bomen			9.19	129628	399232
8311001053	10-4-2017	5k422H	VIIo	90	170	20	parkeerplek bij boom, gws 173cm	V20-27	L27	9.40	129688	399335
8311001054	10-4-2017	5h423H	VId	70	180	60	beekerd, gangpad		L16-22	9.29	129665	399375
8311001055	11-4-2017	5k511H	VIIo	120	170	80	gws 205cm, parkeerplek, enkele bomen	V16-18	L14-16	9.55	129704	399048
8311001056	11-4-2017	5k431F	VIIId	130	190	100	stoep, enkel bomen in voortuin, gws 205cm	V17-18	L15-17	9.48	129795	399118
8311001057	11-4-2017	c4i511F	VIIId	110	215	40		V16-22		9.49	129639	399033
8311001058	11-4-2017	c4i431v12H	VIIId	130	210	20	gazon met 8 bomen, gws 200cm	V12-15	L11-12	9.44	129545	399070
8311001059	11-4-2017	2r431H	VIIId	120	220	60	gangpad, gws 220cm	V20-22		9.52	129590	399110
8311001060	11-4-2017	5k431H	VIIId	120	210	120	speeluin, gws 185 cm, 10 kleine bomen		L15-21	9.16	129475	399118
8311001061	12-4-2017	5k431F	VIIId	110	190	20	veen is hout van bomen, stoep, gws 155cm			8.79	129627	399546
8311001062	12-4-2017	5k431F	VIIId	100	200	60	straat enkele bomen, gws 190cm	V25dun	L7-12	9.36	129493	399006
8311001063	12-4-2017	2r431	VIIId	100	200	40	bos		L6-9	9.56	129575	398955
8311001064	12-4-2017	5k431H	VIIId	240	340	30	gws 338 cm-mv			12.02	130414	399040
8311001065	12-4-2017	5h431H	VIIId	250	310	20	straat, gws 260cm		L27-39	12.32	130208	398490
8311001066	12-4-2017	c4i422F	VIo	60	150	70	tot 70cm verwerkt, gws 150cm		L8-17	10.97	130013	397994
8311001067	10-5-2017	2r422	VIIId	110	200	40	gws 185cm			11.12	130056	398416
8311001068	10-5-2017	c4i422t11	VIIo	90	170	69			L11-32	11.12	129996	398399

BPK_ID	DATUM	standaard-puntencode	Gt	GHG	GLG	BEW	OPMERKING	A	B	HOOGTE m+NAP	X (m)	Y (m)
8311001069	10-5-2017	2q422	VIIId	110	200	50	gws 225			11.45	129896	398438
8311001070	10-5-2017	2q422H	VIIIId	210	310	60	gws 300cm			12.43	129835	398433
8311001071	10-5-2017	c4i422t8H	VId	70	200	40			L8-22	10.95	129731	398528
8311001072	10-5-2017	k2q422t11H	VIIId	100	200	80	35cm leem uit poel opgebracht		L0-4,L12-22	10.84	129695	398500
8311001073	10-5-2017	4s422H	VIIId	90	290	70			L15-30	11.05	129903	398581
8311001074	10-5-2017	5k431H	VIIIId	150	300	20	gws 195 cm		L19-32	11.25	129875	398630
8311001075	12-5-2017	c4i423F	Vbo	35	160	90	tot 90 cm vergraven, gws		L23-32	10.27	130026	398586
8311001076	12-5-2017	2r422F	Vto	45	140	65	tot 65cm verwerkt, leem deels humeus		L9-32	10.46	130032	398610
8311001077	12-5-2017	2r423t7	Vto	60	150	40	leem deels humeus		L7-32	10.80	129950	398353
8311001078	12-5-2017	c4k422	Vto	60	160	35				10.92	129981	398334
8311001079	12-5-2017	5k423g3t7	IIIa	10	100	20	leemondergrond zeer dicht		L7-22	10.33	130039	398265
8311001080	12-5-2017	2r423t6F	Vao	25	150	35			L6-26	10.44	130079	398276
8311001081	12-5-2017	4s432H	VIIo	90	150	80	vergraven of opgehoogd tot 130cm		L20-32	10.89	129796	398226
8311001082	12-5-2017	c4i422F	Vto	60	150	60				11.50	129759	398193

## Bijlage 4 Profielbeschrijvingen: Laag-informatie

In deze bijlage is de laaginformatie van de profielbeschrijvingen gegeven van de boringen die in het gebied zijn gedaan. De headers in de file hebben de volgende betekenis. Voor een nadere toelichting bij de profielbeschrijvingen verwijzen we naar ten Cate et al., 1995. Voor de kartering zijn in totaal 66 profielen uitgebreid beschreven (BPK\_ID 8311001001 t/m 8311001066). Voor de volledigheid zijn in deze bijlage eveneens 16 profielen beschreven die in het kader van het natuuronderzoek in het gebied zijn uitgevoerd (BPK\_ID 8311001067 t/m 8311001082).

BPK_ID	code van de profielbeschrijving in het Bodeminformatiesysteem (BIS)
LAAG_NR	laagnummer in de profielbeschrijving
BOVENGRENS	bovenkant van de laag tov maaiveld (cm)
ONDERGRENS	onderkant van de laag tov maaiveld (cm)
HOR_CODE	code van de horizont (bodemkundige typering van de laag)
ORG_STOF	geschat organische-stofgehalte (%)
VEEN_C	code voor de veensoort
LUTUM	geschat lutumgehalte in % (0 - 2µm)
SILT	geschat siltgehalte in % (2 - 63µm)
LEEM	geschat leemgehalte in % (0 - 50 µm)
M50	mediaan van de zandfractie
GEO_FOR_C	code voor de geologische indeling
OPMERKING	opmerking bij de laag

BPK_ID	LAAG_NR	BOVENGRENS	ONDERGRENS	HOR_CODE	ORG_STOF	VEEN_C	LUTUM	SILT	LEEM	M50	GEO_FOR_C	OPMERKING
8311001001	1	0	70	1Aa	4.0		2	16	16	140	693	wat heterogeen
8311001001	2	70	100	1Cg1	0.1		1	16	16	140	412	
8311001001	3	100	120	1Cg2	0.1		6	30	30	125	412	gelaagd, wat hout
8311001001	4	120	170	1Cg3	0.1		1	6	6	170	412	
8311001001	5	170	400	1Cg4	0.1		1	3	3	230	411	
8311001002	1	0	30	1Ah	3.0		2	16	16	140	693	
8311001002	2	30	50	1Cg	0.1		1	12	12	160	411	
8311001002	3	50	70	2Cg	0.1		10	60	60	100	422	
8311001002	4	70	120	3Cg	0.1		1	4	4	200	412	
8311001002	5	120	200	4Cg	2.0		9	60	60	100	422	wat humeuze banden
8311001002	6	200	240	5Cer	1.0		2	20	20	160	412	gelaagd, onderin restjes venig
8311001002	7	240	400	5Cr	0.1		1	4	4	300	412	
8311001003	1	0	45	1Ah	3.0		1	15	15	140	693	
8311001003	2	45	60	1Cg	0.5		1	15	15	140	411	verwerkt
8311001003	3	60	120	1Ce	2.0		4	25	25	140	412	
8311001003	4	120	160	2Ce	0.1		1	10	10	250	411	
8311001003	5	160	180	2Cer	0.1		1	12	12	160	411	
8311001003	6	180	400	2Cr	0.1		1	4	4	300	411	
8311001004	1	0	30	1Ah	3.0		1	16	16	160	411	
8311001004	2	30	70	1Ce	0.5		1	16	16	160	411	
8311001004	3	70	90	2Cg	0.1		4	40	40	100	412	
8311001004	4	90	140	2Ce	0.1		1	16	16	140	412	
8311001004	5	140	200	2Cr	0.1		1	5	5	300	412	
8311001004	6	200	230	3Cr	60.0	BM	10	20	0	0	132	wat hout
8311001004	7	230	255	4Cr	5.0		7	60	60	100	422	
8311001005	1	0	45	1Ah	4.0		1	16	16	140	693	puin
8311001005	2	45	90	1ACg	2.0		1	16	16	140	411	verwerkt
8311001005	3	90	120	1Ce	0.1		1	12	12	160	411	
8311001005	4	120	190	2Cer	1.0		1	5	5	300	411	bruin
8311001005	5	190	230	2Cr	0.1		1	10	10	170	411	
8311001005	6	230	240	3Cr	10.0		7	40	40	100	422	zeer compact
8311001005	7	240	260	4Cr	30.0	DK	10	30	0	0	111	
8311001005	8	260	350	5Cr1	0.5		1	14	14	180	412	
8311001005	9	350	370	5Cr2	1.0		1	11	11	230	412	wat houtresten

BPK_ID	LAAG_NR	BOVENGRENS	ONDERGRENS	HOR_CODE	ORG_STOF	VEEN_C	LUTUM	SILT	LEEM	M50	GEO_FOR_C	OPMERKING
8311001006	1	0	45	1Ah	3.0		1	12	12	140	693	
8311001006	2	45	120	1ACe	3.0		1	12	12	140	693	
8311001006	3	120	130	1Cg	5.0		1	12	12	160	411	boomwortels
8311001006	4	130	150	2Cw	50.0	BM	10	30	0	0	132	ingedroogd, wortels
8311001006	5	150	170	2Cer	60.0	BM	10	30	0	0	132	
8311001006	6	170	180	3Cr	5.0		10	60	60	100	422	
8311001006	7	180	300	4Cr1	0.1		5	35	35	120	411	
8311001006	8	300	400	4Cr2	0.1		1	5	5	400	411	
8311001007	1	0	40	1Ce1	0.1		1	12	12	160	693	trottoirzand
8311001007	2	40	85	1Ahb	3.0		1	14	14	160	693	
8311001007	3	85	95	1Ce2	0.5		1	8	8	170	411	
8311001007	4	95	105	2Cw	30.0	DK	8	60	60	100	112	
8311001007	5	105	110	3Ce1	1.0		3	30	30	125	412	
8311001007	6	110	120	3Ce2	0.1		1	10	10	160	412	
8311001007	7	120	180	3Cer	2.0		1	5	5	300	412	boomwortels
8311001007	8	180	200	4Cr	60.0	BM	10	30	0	0	132	veel hout
8311001007	9	200	290	5Cr	10.0		10	60	60	90	422	
8311001008	1	0	240	1Ah/Ce	3.0		1	16	16	145	693	verwerkt
8311001008	2	240	260	1Cg	0.1		1	20	20	140	412	
8311001008	3	260	270	2Cer	0.1		9	40	40	130	422	
8311001008	4	270	290	3Cr	30.0	GL	10	60	0	0	112	met lemige lagen, compact
8311001008	5	290	340	4Cr1	0.5		1	14	14	190	412	
8311001008	6	340	360	4Cr2	0.5		1	20	20	140	412	
8311001009	1	0	60	1Ah	3.0		1	12	12	140	411	
8311001009	2	60	80	1Ah/B	2.0		1	12	12	140	411	
8311001009	3	80	100	1Ahb	4.0		1	12	12	140	411	zeer stug
8311001009	4	100	260	1Ah/C1	3.0		1	12	12	140	411	
8311001009	5	260	290	1Ah/C2	2.0		1	12	12	140	411	wat steenpuin, stug
8311001009	6	290	340	1Bh/Cg	1.0		1	16	16	140	411	koffiebruin
8311001009	7	340	380	1Cg	0.1		1	16	16	160	413	war fijn grid
8311001010	1	0	35	1Ah	2.0		1	14	14	140	693	
8311001010	2	35	70	1Bh	1.0		1	10	10	140	411	
8311001010	3	70	110	1Ce	0.1		1	12	12	140	411	
8311001010	4	110	150	1Cg	0.1		1	12	12	140	411	

BPK_ID	LAAG_NR	BOVENGRENS	ONDERGRENS	HOR_CODE	ORG_STOF	VEEN_C	LUTUM	SILT	LEEM	M50	GEO_FOR_C	OPMERKING
8311001010	5	150	215	2Cg	0.1		10	65	65	90	422	
8311001010	6	215	285	2Cr1	0.5		12	75	75	90	422	
8311001010	7	285	370	2Cr2	4.0		12	75	75	90	422	wat humeuzeere lagen
8311001011	1	0	30	1Ah	3.0		1	14	14	160	693	
8311001011	2	30	80	1Bh/Cg	1.0		3	25	25	140	412	verwerkt
8311001011	3	80	120	2Cg	0.1		10	65	65	90	422	
8311001011	4	120	200	3Cg	0.1		1	16	16	160	412	
8311001011	5	200	290	3Cr	0.1		1	20	20	140	412	gelaagd
8311001012	1	0	30	1Ah	3.0		1	16	16	140	693	
8311001012	2	30	45	1BCg	0.3		1	16	16	140	411	
8311001012	3	45	80	1Ce	0.1		1	16	16	140	411	
8311001012	4	80	160	2Cg	0.1		10	65	65	90	422	
8311001012	5	160	190	2Cr1	2.0		10	75	75	90	422	houtresten
8311001012	6	190	220	2Cr2	6.0		10	75	75	90	422	donkergrijs
8311001012	7	220	340	2Cr3	0.3		10	75	75	90	422	
8311001012	8	340	370	3Cr	1.0		1	14	14	180	412	cement
8311001013	1	0	160	1Ah/AC	3.0		1	15	15	160	411	heterogeen
8311001013	2	160	280	1ACg	3.0		1	15	15	180	411	opgebracht
8311001013	3	280	300	2Cr	0.5		10	65	65	90	422	
8311001013	4	300	320	3Cr	2.0		2	16	16	180	412	
8311001013	5	320	360	4Cr	1.0		10	60	60	90	422	
8311001014	1	0	30	1Ah	3.0		1	16	16	160	411	verwerkt
8311001014	2	30	70	1Ah/Ce	2.0		1	12	12	165	411	verwerkt
8311001014	3	70	90	1Ce	0.1		1	10	10	170	411	
8311001014	4	90	120	1Cg	0.1		1	8	8	190	411	
8311001014	5	120	140	2Cg	0.1		1	4	4	260	413	fijn grind
8311001014	6	140	150	3Cer	1.0		9	60	60	90	422	
8311001014	7	150	155	4Cer	30.0	DK	8	60	60	90	112	
8311001014	8	155	160	5Cer	3.0		5	40	40	100	422	
8311001014	9	160	190	6Cer	65.0	BM	10	20	0	0	132	
8311001014	10	190	215	7Cr1	10.0		3	35	35	100	412	wat riet
8311001014	11	215	225	7Cr2	5.0		5	35	35	100	412	
8311001014	12	225	290	8Cr	1.0		2	10	10	180	412	
8311001015	1	0	30	1Ah	3.0		1	12	12	160	411	



BPK_ID	LAAG_NR	BOVENGRENS	ONDERGRENS	HOR_CODE	ORG_STOF	VEEN_C	LUTUM	SILT	LEEM	M50	GEO_FOR_C	OPMERKING
8311001015	2	30	65	1Ah/Ce	2.0		1	12	12	160	411	verwerkt
8311001015	3	65	90	1Cg	0.1		1	12	12	145	411	wat fossiele roest
8311001015	4	90	155	1Cu	0.1		1	10	10	155	411	
8311001015	5	155	165	2Cg	0.1		6	40	40	120	411	onder een dun grover laagje
8311001015	6	165	180	3Cr	40.0	GL	10	60	0	0	160	geen herkenbare plantendelen
8311001015	7	180	195	4Cr	10.0		3	25	25	145	412	
8311001015	8	195	235	5Cr1	1.0		3	30	30	140	412	
8311001015	9	235	290	5Cr2	1.0		1	12	12	220	412	cementachtig
8311001016	1	0	75	1Ah/Ce	2.0		1	14	14	160	411	
8311001016	2	75	90	1Ce	0.1		1	12	12	160	411	
8311001016	3	90	110	1Cg1	0.1		1	10	10	160	411	
8311001016	4	110	140	1Cg2	0.1		1	5	5	300	411	
8311001016	5	140	145	2Cg	3.0		10	60	60	100	422	
8311001016	6	145	155	3Cw	40.0	DK	10	60	0	0	160	
8311001016	7	155	180	3Cr	65.0	BM	10	20	0	0	132	
8311001016	8	180	200	4Cr1	5.0		6	35	35	120	412	
8311001016	9	200	250	4Cr2	0.5		1	12	12	145	412	
8311001016	10	250	270	4Cr3	3.0		2	22	22	140	412	wat wortels
8311001016	11	270	290	4Cr4	2.0		1	16	16	140	412	wat hout
8311001017	1	0	55	1Ah/Ce	2.0		1	12	12	170	411	
8311001017	2	55	80	1Ce	0.1		1	10	10	155	411	
8311001017	3	80	170	1Cg	0.1		1	10	10	180	411	
8311001017	4	170	175	2Cr	50.0	BM	10	70	0	0	132	wat hout
8311001017	5	175	185	3Cr	10.0		6	60	60	100	422	wat hout
8311001017	6	185	230	4Cr1	2.0		1	20	20	170	412	waterhardkleur, stug
8311001017	7	230	290	4Cr2	0.5		1	12	12	170	412	gelaagd
8311001018	1	0	65	1Ah/C	2.0		1	12	12	155	411	
8311001018	2	65	80	1Ce	0.1		1	12	12	155	411	
8311001018	3	80	165	1Cg	0.1		1	10	10	190	411	
8311001018	4	165	190	1Cr1	0.1		1	8	8	200	411	
8311001018	5	190	220	1Cr2	0.1		1	20	20	140	412	gelaagd
8311001018	6	220	225	2Cr	1.0		2	30	30	125	412	
8311001018	7	225	240	3Cr	20.0	DK	8	60	0	0	112	weinig hout
8311001018	8	240	285	4Cr1	5.0		1	16	16	190	412	

BPK_ID	LAAG_NR	BOVENGRENS	ONDERGRENS	HOR_CODE	ORG_STOF	VEEN_C	LUTUM	SILT	LEEM	M50	GEO_FOR_C	OPMERKING
8311001018	9	285	290	4Cr2	1.0		2	20	20	180	412	
8311001019	1	0	10	1Ah	3.0		1	12	12	160	411	
8311001019	2	10	60	1Ah/Ce	1.0		1	12	12	160	411	opgebracht
8311001019	3	60	100	1Cu	0.1		1	10	10	160	411	los
8311001019	4	100	105	2Ahb	2.0		1	12	12	140	411	
8311001019	5	105	145	2Cg	0.1		1	10	10	140	411	
8311001019	6	145	170	2Cr1	0.1		3	20	20	140	412	
8311001019	7	170	220	2Cr2	0.1		1	14	14	160	412	
8311001019	8	220	270	2Cr3	0.1		1	7	7	220	412	
8311001019	9	270	290	3Cr	0.1		7	45	45	100	412	
8311001020	1	0	20	1Ah	3.0		1	12	12	150	411	
8311001020	2	20	50	1Ah/Ce	2.0		1	12	12	150	411	
8311001020	3	50	90	1Ce	0.2		1	10	10	160	411	
8311001020	4	90	130	1Cg	0.5		1	14	14	150	411	
8311001020	5	130	150	2Cg	1.0		4	60	60	90	422	
8311001020	6	150	190	3Cg	1.0		1	16	16	150	412	
8311001020	7	190	210	3Cr1	0.5		1	10	10	150	412	
8311001020	8	210	225	3Cr2	3.0		2	25	25	140	412	org. stof vlekken
8311001020	9	225	280	3Cr3	0.2		1	8	8	210	412	
8311001020	10	280	290	3Cgr	0.2		1	20	20	150	412	
8311001021	1	0	20	1Ah	3.0		1	12	12	160	693	wat bosstrooisel
8311001021	2	20	45	1Ah/BCe	2.0		1	12	12	160	411	
8311001021	3	45	100	1ACe1	1.0		1	12	12	160	411	
8311001021	4	100	160	1Ce1	0.1		1	10	10	160	411	
8311001021	5	160	250	1ACe2	1.0		1	10	10	160	411	
8311001021	6	250	290	1BCe	2.0		1	10	10	160	411	
8311001021	7	290	320	1Ce2	1.0		1	16	16	140	411	met dunne humeuze laag
8311001021	8	320	380	1Cg	0.1		1	8	8	190	411	
8311001021	9	380	460	2Cr1	5.0		10	70	70	90	422	wat hout
8311001021	10	460	480	2Cr2	0.5		12	80	80	90	422	grijs
8311001022	1	0	45	1Cu	0.1		1	10	10	145	411	stoepzand
8311001022	2	45	75	2Ah	2.0		1	12	12	160	411	
8311001022	3	75	100	2EBh	0.5		1	6	6	180	411	
8311001022	4	100	155	2Cu	0.1		1	6	6	200	411	

BPK_ID	LAAG_NR	BOVENGRENS	ONDERGRENS	HOR_CODE	ORG_STOF	VEEN_C	LUTUM	SILT	LEEM	M50	GEO_FOR_C	OPMERKING
8311001022	5	155	160	2Cr	0.5		1	6	6	200	411	
8311001022	6	160	200	3Cr1	65.0	BM	10	60	0	0	132	wat hout
8311001022	7	200	215	3Cr2	50.0	GL	10	60	0	0	160	
8311001022	8	215	225	4Cr1	2.0		1	14	14	180	412	
8311001022	9	225	270	4Cr2	1.0		1	25	25	140	412	gelaagd
8311001022	10	270	290	4Cr3	1.0		1	14	14	170	412	
8311001023	1	0	45	1Ah/Ce	2.0		1	12	12	145	411	
8311001023	2	45	85	1Ce	0.1		1	8	8	180	411	dicht
8311001023	3	85	105	1Cg	0.1		1	8	8	180	411	scherpe overgang met ondergr
8311001023	4	105	115	2Cg	4.0		8	60	60	90	422	bruingrijs
8311001023	5	115	180	3Cer	0.5		4	45	45	110	412	wat roest, humeuze resten
8311001023	6	180	200	3Cr1	0.5		1	25	25	140	412	
8311001023	7	200	265	3Cr2	0.5		2	16	16	190	412	wat veenresten
8311001023	8	265	275	3Cr3	1.0		1	8	8	220	412	
8311001023	9	275	290	3Cr4	1.0		1	16	16	140	412	gelaagd
8311001024	1	0	50	1Ah/Ce	2.0		1	12	12	160	411	
8311001024	2	50	110	1Ce	0.1		1	10	10	145	411	
8311001024	3	110	150	1Cg	0.1		1	10	10	145	411	
8311001024	4	150	180	2Cg	0.5		6	55	55	100	422	wat veenresten
8311001024	5	180	210	3Cer	0.5		2	25	25	155	412	gelaagd
8311001024	6	210	270	3Cr1	0.5		1	14	14	180	412	
8311001024	7	270	290	3Cr2	1.0		1	4	4	280	412	
8311001025	1	0	60	1Ah/Ce	1.0		1	12	12	160	411	
8311001025	2	60	90	1Ce	0.1		1	12	12	145	411	onderkant scherpe overgang
8311001025	3	90	105	2Cw	35.0	GL	10	60	0	0	160	verweerd
8311001025	4	105	130	3Cer1	4.0		2	25	25	160	412	bruingrijs wat venige resten
8311001025	5	130	180	3Cer2	0.5		6	40	40	100	412	
8311001025	6	180	200	3Cr	0.5		6	35	35	100	412	wat hout, gelaagd
8311001025	7	200	260	4Cr1	1.0		1	16	16	180	412	wat veenresten
8311001025	8	260	290	4Cr2	1.0		1	6	6	220	412	wat veenresten
8311001026	1	0	60	1Ah/Ce	2.0		1	10	10	160	411	
8311001026	2	60	90	1Ce	0.1		1	10	10	160	411	
8311001026	3	90	150	1Cg	0.1		1	7	7	190	411	
8311001026	4	150	170	2Cg	1.0		8	60	60	100	422	veenresten, bruingrijs

BPK_ID	LAAG_NR	BOVENGRENS	ONDERGRENS	HOR_CODE	ORG_STOF	VEEN_C	LUTUM	SILT	LEEM	M50	GEO_FOR_C	OPMERKING
8311001026	5	170	200	3Cer	0.5		2	30	30	120	412	
8311001026	6	200	240	3Cr	0.5		1	14	14	170	412	gelaagd
8311001026	7	240	290	4Cr	0.5		1	6	6	240	412	wat houtresten
8311001027	1	0	40	1Ah/Ce1	2.0		1	12	12	160	411	
8311001027	2	40	85	1Ah/Ce2	1.0		1	2	12	160	411	verwerkt
8311001027	3	85	90	2Cw	20.0	DZ	10	40	0	0	112	wat wortels in veen
8311001027	4	90	120	3Cw/Cg	1.0		1	10	10	170	412	wat veenresten, verwerkt
8311001027	5	120	160	3Cg	0.1		1	8	8	190	412	
8311001027	6	160	220	3Cr	1.0		1	6	6	240	412	
8311001028	1	0	70	1Ah/Ce	1.5		1	12	12	160	411	
8311001028	2	70	100	1Ce	0.1		1	12	12	140	411	
8311001028	3	100	190	1Cg	0.1		1	7	7	180	411	onderkant zeer scherpe vergang
8311001028	4	190	193	2Cr	30.0	GL	20	60	0	0	160	stug veen laagje
8311001028	5	193	230	3Cr	0.5		6	45	45	110	422	
8311001028	6	230	260	4Cr1	0.5		3	25	25	140	412	
8311001028	7	260	330	4Cr2	5.0		4	25	25	140	412	met zeer dunne veenlaagjes
8311001028	8	330	380	5Cr	0.3		1	3	3	300	412	
8311001029	1	0	100	1Ah/Ce	2.0		1	12	12	170	411	
8311001029	2	100	120	1Ce	0.5		1	8	8	180	411	
8311001029	3	120	150	1Cg	0.1		1	8	8	200	411	wat heterogeen
8311001029	4	150	180	1Cr1	1.0		1	8	8	200	411	
8311001029	5	180	210	1Cr2	0.5		1	10	10	160	411	
8311001029	6	210	290	2Cr1	1.0		3	35	35	130	412	wat veenresten, gelaagd
8311001029	7	290	370	2Cr2	1.0		1	4	4	240	412	
8311001030	1	0	90	1Ah	4.0		2	20	20	145	693	opgebrachte teeltlaag in plantbed
8311001030	2	90	110	1Ce	0.1		1	14	14	140	411	
8311001030	3	110	160	1Cg	0.1		1	14	14	140	411	
8311001030	4	160	190	1Cer	0.5		1	10	10	180	413	wat fijn grind
8311001030	5	190	200	2Cr	40.0	GL	20	60	0	0	160	
8311001030	6	200	250	3Cr1	1.0		2	25	25	140	412	gelaagd
8311001030	7	250	290	3Cr2	0.5		1	16	16	160	412	wat venige restjes
8311001031	1	0	20	1Ah1	2.0		1	8	8	160	411	
8311001031	2	20	100	1Ah2	4.0		2	20	20	145	411	met puin
8311001031	3	100	170	1Cg	0.1		1	10	10	170	411	

BPK_ID	LAAG_NR	BOVENGRENS	ONDERGRENS	HOR_CODE	ORG_STOF	VEEN_C	LUTUM	SILT	LEEM	M50	GEO_FOR_C	OPMERKING
8311001031	4	170	210	1Cr1	0.5		1	14	14	140	411	wat houtresten
8311001031	5	210	250	1Cr2	0.5		1	6	6	230	411	
8311001031	6	250	290	1Cr3	1.0		1	16	16	220	411	met leemige laagjes en wat veenrest
8311001032	1	0	30	1Ah/Ce1	3.0		1	18	18	160	693	
8311001032	2	30	100	1Ah/Ce2	1.0		1	16	16	170	693	wat bekeerdkleuren
8311001032	3	100	115	1Ce	0.1		1	8	8	170	411	
8311001032	4	115	130	1Cg	0.3		1	8	8	170	411	
8311001032	5	130	170	1Cer	0.3		1	6	6	230	411	
8311001032	6	170	205	2Cr	0.7		1	4	4	230	411	wat hout
8311001032	7	205	220	3Cr	60.0	BM	10	20	0	0	132	veel hout
8311001032	8	220	250	4Cr1	0.5		1	6	6	230	412	
8311001032	9	250	290	4Cr2	1.0		1	16	16	160	412	leemlaagjes en wat hout
8311001033	1	0	40	1Ah/Ce	2.0		1	12	12	140	411	
8311001033	2	40	90	1Ce	0.1		1	12	12	140	411	
8311001033	3	90	160	1Cg	0.1		1	6	6	160	411	
8311001033	4	160	180	1Cr	0.1		1	6	6	220	411	
8311001033	5	180	215	2Cr	40.0	DK	10	60	0	0	112	leemige tussenlaag
8311001033	6	215	220	3Cr	5.0		10	60	60	90	422	
8311001033	7	220	370	4Cr	0.1		1	8	8	180	412	
8311001034	1	0	10	1Ce	0.1		1	4	4	300	693	
8311001034	2	10	100	2Ahb	7.0		2	10	10	400	693	bommezand
8311001034	3	100	125	3Cg	0.1		2	35	35	130	412	
8311001034	4	125	210	4Cg	0.1		1	4	4	240	412	
8311001034	5	210	370	4Cr	0.1		1	4	4	400	412	
8311001035	1	0	70	1Ah/Ce	0.1		1	16	16	140	411	wat humeuze lagen
8311001035	2	70	105	1Cg	0.1		1	11	11	160	411	
8311001035	3	105	115	2Cg	0.5		9	70	70	90	422	
8311001035	4	115	150	3Cg1	0.1		2	18	18	135	412	
8311001035	5	150	210	3Cg2	0.1		1	8	8	220	412	
8311001035	6	210	240	3Cr	0.1		1	8	8	220	412	
8311001035	7	240	260	4Cr	50.0	DK	10	40	0	0	112	met leemige bovendeel
8311001035	8	260	350	5Cr	1.0		2	12	12	170	412	
8311001036	1	0	60	1Ce	0.1		1	12	12	140	411	
8311001036	2	60	110	1Cg	0.1		1	14	14	145	411	heterogeen met leem, fossiele roest

BPK_ID	LAAG_NR	BOVENGRENS	ONDERGRENS	HOR_CODE	ORG_STOF	VEEN_C	LUTUM	SILT	LEEM	M50	GEO_FOR_C	OPMERKING
8311001036	3	110	120	2Cg	0.1		15	80	80	90	422	
8311001036	4	120	200	3Cg	0.1		1	16	16	170	412	
8311001036	5	200	250	4Cr	60.0	BM	10	30	0	0	132	
8311001036	6	250	350	5Cr	1.0		2	20	20	140	412	
8311001037	1	0	40	1Ce1	1.0		1	12	12	160	693	verwerkt puinrestjes
8311001037	2	40	100	1Ce2	0.2		1	16	16	140	693	
8311001037	3	100	130	1Cg	0.5		1	16	16	140	411	
8311001037	4	130	170	2Cg	0.2		10	50	60	90	422	
8311001037	5	170	200	3Cg	0.2		1	11	11	160	412	
8311001037	6	200	280	3Cr	0.2		1	11	11	160	412	
8311001037	7	280	290	4Cr	0.2		1	9	9	300	412	
8311001038	1	0	30	1Ce	0.5		1	8	8	160	693	grindjes
8311001038	2	30	50	1Ahb	3.0		1	12	12	160	411	
8311001038	3	50	70	1Cg	0.5		1	20	20	140	411	
8311001038	4	70	85	2Cg	0.2		14	70	70	90	422	
8311001038	5	85	110	3Cg1	0.2		1	14	14	150	411	
8311001038	6	110	150	3Cg2	0.2		1	16	16	140	411	
8311001038	7	150	200	4Cg	0.2		1	4	4	300	412	onderin de punt leemlaagje 2 cm
8311001038	8	200	230	5Cr	50.0	DK	8	50	50	90	112	
8311001038	9	230	250	6Cr	2.0		2	20	20	140	412	
8311001039	1	0	40	1Ce	0.7		1	12	12	160	693	
8311001039	2	40	80	1Ahb	2.0		1	16	16	160	693	
8311001039	3	80	110	2Ce	0.1		1	16	16	140	412	
8311001039	4	110	160	2Cg	0.1		1	10	10	170	412	
8311001039	5	160	190	3Cg	0.1		1	6	6	300	412	
8311001039	6	190	225	4Cr	60.0	BM	10	60	0	0	132	
8311001039	7	225	280	5Cr	1.0		2	25	25	140	412	
8311001040	1	0	45	1Ah	2.0		1	12	12	170	693	
8311001040	2	45	90	1Ce	0.1		1	8	8	170	411	
8311001040	3	90	170	1Cg	0.1		1	6	6	190	411	
8311001040	4	170	370	2Cr	0.1		1	4	4	300	413	
8311001041	1	0	20	1Ce	0.1		1	8	8	170	693	ophoog zand tegel
8311001041	2	20	40	2Bhs	1.0		1	12	12	160	411	wat grindjes
8311001041	3	40	60	2Bce	0.3		1	10	10	160	411	

BPK_ID	LAAG_NR	BOVENGRENS	ONDERGRENS	HOR_CODE	ORG_STOF	VEEN_C	LUTUM	SILT	LEEM	M50	GEO_FOR_C	OPMERKING
8311001041	4	60	70	2Ce	0.2		1	10	10	160	411	
8311001041	5	70	115	2Cg	0.1		1	8	8	180	411	
8311001041	6	115	155	3Cg	0.1		6	45	45	110	422	
8311001041	7	155	170	4Cr	40.0	DK	10	50	0	0	112	wat hout
8311001041	8	170	190	5Cr1	5.0		4	30	30	140	412	
8311001041	9	190	220	5Cr2	1.0		4	30	30	140	412	
8311001042	1	0	45	1Ce1	1.0		1	8	8	170	693	
8311001042	2	45	80	1Ce2	0.3		1	8	8	155	411	lichtbruin
8311001042	3	80	145	1Cg1	0.1		1	8	8	160	411	
8311001042	4	145	175	1Cg2	0.1		1	6	6	240	413	wat grind
8311001042	5	175	200	1Cr1	0.3		1	6	6	240	412	dgr
8311001042	6	200	230	1Cr2	0.5		1	12	12	180	412	
8311001042	7	230	270	2Cr	60.0	BM	10	40	0	0	132	wat verweerde bovenkant
8311001043	1	0	90	1ACe	2.0		1	3	3	400	693	bomenzand
8311001043	2	90	100	2Cg	0.1		1	12	12	170	411	
8311001043	3	100	120	3Cg	0.5		10	60	60	90	422	
8311001043	4	120	150	4Cr1	0.3		1	4	4	300	413	
8311001043	5	150	200	4Cr2	0.5		1	4	4	300	413	
8311001043	6	200	240	4Cr3	0.5		2	20	20	140	412	
8311001043	7	240	290	5Cr	0.5		1	6	6	260	412	
8311001044	1	0	100	1Ce	0.1		1	12	12	160	411	
8311001044	2	100	160	1Cg	0.1		1	12	12	160	411	
8311001044	3	160	250	2Cr	0.1		1	4	4	300	413	
8311001044	4	250	275	3Cr	0.1		1	16	16	140	412	
8311001044	5	275	280	4Cr	10.0		2	16	16	140	412	dun bijna moerig laagje
8311001044	6	280	290	5Cr	0.1		1	4	4	240	412	
8311001045	1	0	20	1Ah	2.0		1	12	12	160	693	
8311001045	2	20	70	1Ce	0.1		1	12	12	140	411	
8311001045	3	70	150	1Cg	0.1		1	8	8	170	411	
8311001045	4	150	160	1Cr	0.1		1	6	6	200	411	
8311001045	5	160	180	2Cr1	4.0		1	16	16	160	412	humeuze laag
8311001045	6	180	200	2Cr2	0.1		1	16	16	160	412	
8311001046	1	0	10	1Ce1	0.1		1	12	12	160	693	opgehoogd
8311001046	2	10	25	1Ahb	3.0		1	12	12	160	693	

BPK_ID	LAAG_NR	BOVENGRENS	ONDERGRENS	HOR_CODE	ORG_STOF	VEEN_C	LUTUM	SILT	LEEM	M50	GEO_FOR_C	OPMERKING
8311001046	3	25	60	1BCe	0.7		1	12	12	160	411	verwerkt
8311001046	4	60	110	1Ce2	0.1		1	7	7	170	411	
8311001046	5	110	170	1Cg	0.1		1	4	4	190	411	
8311001046	6	170	190	1Cr	0.1		1	4	4	220	413	wat grind
8311001046	7	190	210	2Cr	0.1		6	40	40	140	412	gelaagd
8311001046	8	210	215	3Cr	12.0		7	40	40	120	412	
8311001046	9	215	260	4Cr1	0.5		2	20	20	160	412	gelaagd
8311001046	10	260	290	4Cr2	0.2		1	10	10	200	412	
8311001047	1	0	40	1Ce1	1.0		1	8	8	170	693	
8311001047	2	40	100	1Ce2	0.1		1	8	8	170	411	
8311001047	3	100	170	1Cg	0.1		1	4	4	190	411	
8311001047	4	170	250	2Cr	0.1		1	4	4	300	413	
8311001047	5	250	260	3Cr1	4.0		4	35	35	120	412	
8311001047	6	260	290	3Cr2	3.0		2	20	20	160	412	gelaagd met veenresten
8311001048	1	0	25	1Ce	0.1		1	8	8	160	693	stoepzand
8311001048	2	25	70	1Ah/BCe	2.0		1	12	12	160	693	heterogeen
8311001048	3	70	160	2Cg	0.1		1	8	8	170	411	
8311001048	4	160	230	2Cr	0.7		1	6	6	230	413	wat hout en grind
8311001048	5	230	260	3Cr	65.0	BM	10	40	0	0	132	
8311001048	6	260	290	4Cr	1.0		3	25	25	170	412	
8311001049	1	0	100	1Ah/Ce	1.0		1	8	8	160	693	opgebracht heterogeen
8311001049	2	100	150	1Cg	1.0		1	6	6	220	411	
8311001049	3	150	160	1Cr	1.0		1	4	4	240	413	wat grindjes
8311001049	4	160	165	2Cr	20.0	DZ	10	20	0	0	112	gelaagd veen
8311001049	5	165	180	3Cr	5.0		1	8	8	220	413	
8311001049	6	180	190	4Cr	30.0	DZ	10	20	0	0	112	
8311001049	7	190	220	5Cr	5.0		3	25	25	160	412	
8311001049	8	220	240	6Cr	2.0		7	45	45	140	412	stug
8311001049	9	240	290	7Cr	2.0		3	25	25	160	412	wat veenresten
8311001050	1	0	40	1Ah/Ce	1.0		1	8	8	160	693	stoepzand
8311001050	2	40	75	1Ce	0.3		1	8	8	150	411	
8311001050	3	75	140	1Cg	0.1		1	8	8	180	411	
8311001050	4	140	200	2Cr	0.1		1	4	4	280	413	wat grind
8311001050	5	200	203	3Cr	30.0	DZ	10	30	0	0	112	



BPK_ID	LAAG_NR	BOVENGRENS	ONDERGRENS	HOR_CODE	ORG_STOF	VEEN_C	LUTUM	SILT	LEEM	M50	GEO_FOR_C	OPMERKING
8311001050	6	203	270	4Cr	0.1		1	6	6	240	412	
8311001050	7	270	273	5Cr	50.0	BM	5	10	0	0	132	hout
8311001050	8	273	290	6Cr	0.1		1	3	3	280	412	
8311001051	1	0	30	1Ce1	0.5		1	8	8	170	693	
8311001051	2	30	60	1Ah/Ce	2.0		1	12	12	160	693	
8311001051	3	60	80	1Ce2	0.5		1	12	12	160	411	
8311001051	4	80	120	1Cg1	0.2		1	10	10	170	411	
8311001051	5	120	150	1Cg2	0.2		1	12	12	160	411	
8311001051	6	150	180	1Cg3	1.0		1	14	14	150	411	restjes veen op 160
8311001051	7	180	200	1Cr1	4.0		2	25	25	140	412	
8311001051	8	200	220	1Cr2	1.0		2	25	25	140	412	
8311001051	9	220	250	1Cr3	0.5		1	8	8	170	412	
8311001052	1	0	45	1Ce	0.1		1	8	8	170	693	stoepzand
8311001052	2	45	110	1Ahb/Ce	1.0		1	8	8	180	693	wat fijn grind
8311001052	3	110	150	1Cg	0.3		1	10	10	155	693	
8311001052	4	150	180	2Cg	0.1		1	6	6	240	412	
8311001052	5	180	230	2Cr1	0.1		1	4	4	300	412	
8311001052	6	230	290	2Cr2	0.1		3	25	25	160	412	
8311001053	1	0	20	1Cg1	0.2		1	10	10	140	693	
8311001053	2	20	40	1Ah/Cg	2.0		1	12	12	150	693	
8311001053	3	40	70	1Ahb	4.0		1	15	15	140	411	
8311001053	4	70	90	1Eb	1.0		1	6	6	160	411	
8311001053	5	90	130	1Bhs	1.0		1	12	12	150	411	
8311001053	6	130	150	1B/Cg	0.2		1	12	12	180	411	
8311001053	7	150	170	1Cg2	0.2		1	8	8	190	413	
8311001053	8	170	200	1Cr	0.2		1	6	6	250	413	
8311001053	9	200	270	2Cr	50.0	BM	4	40	40	100	131	
8311001053	10	270	290	3Cr	0.5		2	25	25	100	412	
8311001054	1	0	20	1Ce	0.3		1	12	12	160	693	stoepzand
8311001054	2	20	70	2Ahg	2.0		3	25	25	140	693	beekeerd
8311001054	3	70	160	3Cg	0.1		1	4	4	300	411	
8311001054	4	160	190	4Cg	0.1		10	70	70	100	422	roest
8311001054	5	190	220	4Cr	0.1		10	70	70	100	422	
8311001054	6	220	290	5Cr	0.1		1	6	6	180	412	

BPK_ID	LAAG_NR	BOVENGRENS	ONDERGRENS	HOR_CODE	ORG_STOF	VEEN_C	LUTUM	SILT	LEEM	M50	GEO_FOR_C	OPMERKING
8311001055	1	0	80	1Ah/Ce	4.0		1	10	10	300	693	bomenzand
8311001055	2	80	120	1Ce	0.1		2	40	40	100	412	gelaagd
8311001055	3	120	140	1Cg	0.1		1	20	20	140	412	
8311001055	4	140	160	2Cer	0.1		9	60	60	90	422	
8311001055	5	160	180	3Cer	50.0	GL	10	60	0	0	160	
8311001055	6	180	210	4Cr1	2.0		2	25	25	140	412	
8311001055	7	210	260	4Cr2	1.0		2	20	20	160	412	wat hout, gelaagd
8311001056	1	0	20	1Cu	0.1		1	8	8	170	693	stoepzand
8311001056	2	20	120	1Ah/Ce	2.0		1	10	10	180	693	
8311001056	3	120	150	2Cg	0.1		1	4	4	240	411	
8311001056	4	150	165	3Cg	0.1		7	40	40	100	422	
8311001056	5	165	175	4Cw	40.0	DK	10	60	0	0	160	
8311001056	6	175	195	5Cr1	3.0		3	25	25	140	412	wat roest
8311001056	7	195	210	5Cr2	0.7		1	20	20	140	412	gelaagd
8311001056	8	210	290	5Cr3	0.7		1	6	6	220	412	wat hout
8311001057	1	0	40	1Ah	3.0		1	3	4	230	411	
8311001057	2	40	80	2Cg1	0.5		2	4	15	160	411	
8311001057	3	80	155	2Cg2	0.5		4	6	40	120	412	
8311001057	4	155	200	3Cw1	40.0	BM	10	60	0	0	132	
8311001057	5	200	215	3Cw2	20.0	GL	10	60	0	0	160	
8311001057	6	215	240	4Cr	1.0		4	6	30	120	412	
8311001058	1	0	10	1Ah	2.0		1	4	4	170	693	wortelmat in gazon
8311001058	2	10	80	1Ah/Ce	1.0		1	4	4	240	693	heterogeen
8311001058	3	80	110	1Aab	4.0		1	12	12	160	692	stug
8311001058	4	110	120	1Cg	0.1		4	40	40	140	412	stug
8311001058	5	120	150	2Cw	20.0	DK	12	60	0	0	112	stug
8311001058	6	150	220	3Cer	0.5		1	20	20	140	412	
8311001058	7	220	290	3Cr	1.0		1	16	16	170	412	gelaagd, verspoeld hout
8311001059	1	0	25	1Cu	1.0		1	10	10	170	693	ophoogzand
8311001059	2	25	50	2Aab	4.0		1	12	12	170	692	
8311001059	3	50	60	2Bce	1.0		1	8	8	170	411	wat verwerkt
8311001059	4	60	90	2Ce	0.1		1	8	8	170	411	
8311001059	5	90	190	2Cg1	0.1		1	12	12	140	411	
8311001059	6	190	200	2Cg2	0.1		2	20	20	140	412	

BPK_ID	LAAG_NR	BOVENGRENS	ONDERGRENS	HOR_CODE	ORG_STOF	VEEN_C	LUTUM	SILT	LEEM	M50	GEO_FOR_C	OPMERKING
8311001059	7	200	220	3Cw	40.0	BM	10	40	0	0	132	
8311001059	8	220	240	4Cr	1.0		3	25	25	140	412	
8311001060	1	0	80	1Ah/Ce	1.0		1	10	10	160	411	opgebracht
8311001060	2	80	120	1Ahb	2.0		1	12	12	160	411	heterogeen
8311001060	3	120	150	1Cg	0.5		1	6	6	200	411	
8311001060	4	150	210	2Cer	0.1		7	55	55	100	422	groengrijs
8311001060	5	210	240	3Cr	0.1		1	6	6	240	412	
8311001061	1	0	60	1Ce	0.1		1	6	6	180	693	ophoogzand
8311001061	2	60	90	2Ahb/Cg	2.0		3	20	20	170	693	wat leem
8311001061	3	90	180	2Cg	0.1		1	12	12	160	412	gelaagd
8311001061	4	180	195	2Cr	0.1		1	3	3	250	412	
8311001061	5	195	200	3Cr1	10.0		1	12	12	170	412	veenrest met zand
8311001061	6	200	230	3Cr2	0.5		1	6	6	220	412	
8311001061	7	230	270	3Cr3	2.0		1	12	12	170	412	houtnesten
8311001061	8	270	280	4Cr	50.0	VV	1	10	0	0	160	alleen hout
8311001061	9	280	370	5Cr	0.5		1	3	3	300	412	
8311001062	1	0	65	1Ah/Ce	2.0		1	8	8	170	693	verwerkt
8311001062	2	65	115	2Cg	0.1		20	70	70	120	422	taai, zwaar
8311001062	3	115	200	3Cg	0.1		2	16	16	140	412	gelaagd
8311001062	4	200	255	3Cr	0.1		1	16	16	140	412	
8311001062	5	255	260	4Cr	30.0	DK	10	60	0	0	160	dun veenlaagje
8311001062	6	260	290	5Cr	0.1		1	8	8	220	412	
8311001063	1	0	20	1Ah/Eu	4.0		1	8	8	170	411	strooisellaag
8311001063	2	20	45	1Bhs	1.0		1	8	8	170	411	
8311001063	3	45	60	1Cg	0.1		1	8	8	170	411	
8311001063	4	60	85	2Cg	0.1		10	60	60	100	422	
8311001063	5	85	180	3Cg	0.1		2	20	20	140	412	
8311001063	6	180	370	4Cr	0.1		1	4	4	280	412	
8311001064	1	0	30	1Ah	3.0		1	9	9	170	693	afvalresten
8311001064	2	30	70	1Ah/Cg	2.0		1	9	9	170	693	verwerkt
8311001064	3	70	80	1Ahb	4.0		1	9	9	160	411	
8311001064	4	80	100	1Eb	0.5		1	6	6	160	411	
8311001064	5	100	120	1Bhs	2.0		1	12	12	160	411	leembrokjes
8311001064	6	120	190	1Cg1	0.5		1	8	8	190	412	

BPK_ID	LAAG_NR	BOVENGRENS	ONDERGRENS	HOR_CODE	ORG_STOF	VEEN_C	LUTUM	SILT	LEEM	M50	GEO_FOR_C	OPMERKING
8311001064	7	190	200	1Cg2	0.2		1	16	16	130	412	
8311001064	8	200	280	2Cg	0.2		4	50	50	100	422	
8311001064	9	280	340	3Cg	0.2		1	8	8	200	412	
8311001064	10	340	360	4Cr	0.2		4	50	50	100	422	
8311001065	1	0	40	1Cu	0.1		1	8	8	170	693	straatzaand
8311001065	2	40	75	1Ahb/Cg	4.0		1	12	12	160	693	verwerkte bovengrond
8311001065	3	75	270	1Cg	0.1		1	12	12	160	411	
8311001065	4	270	310	2Cer	0.1		10	80	80	100	422	grijze leem met roest
8311001065	5	310	390	3Cr	5.0		10	80	80	100	422	bruine leem
8311001065	6	390	400	4Cr	0.1		1	10	10	70	412	
8311001066	1	0	35	1Aep	4.0		1	16	16	145	692	
8311001066	2	35	75	1Ah/Cg	2.0		1	20	20	140	693	
8311001066	3	75	120	1Cg	0.1		1	16	16	140	412	
8311001066	4	120	140	2Cer	0.3		7	70	70	100	422	bruingrijs
8311001066	5	140	165	2Cr	3.0		7	60	60	110	422	donkergrijsbruin
8311001066	6	165	200	3Cr1	1.0		1	12	12	140	412	
8311001066	7	200	290	3Cr2	0.3		1	4	4	250	412	
8311001067	1	0	20	1Aa	5.0		1	12	12	145	692	
8311001067	2	20	30	1Bhs	1.0		1	10	10	145	411	
8311001067	3	30	45	1BCg	1.0		1	12	12	145	411	
8311001067	4	45	90	1Cg1	0.1		1	12	12	145	411	gley fossiel
8311001067	5	90	140	1Ce	0.1		1	12	12	145	411	
8311001067	6	140	150	1Cg2	0.1		2	22	22	140	411	
8311001067	7	150	165	1Cg3	0.1		1	8	8	180	411	wit
8311001067	8	165	210	1Cg4	0.1		1	12	12	145	411	
8311001067	9	210	270	1Cr1	0.1		1	12	12	145	411	
8311001067	10	270	300	1Cr2	0.1		5	35	35	130	412	
8311001068	1	0	30	1Aa	5.0		1	12	12	145	692	
8311001068	2	30	60	1ACg	3.0		1	12	12	145	693	
8311001068	3	60	75	1Cg1	0.1		3	23	23	140	412	
8311001068	4	75	110	1Cg2	0.1		1	10	10	145	412	
8311001068	5	110	170	2Cg	0.1		12	80	80	90	422	
8311001068	6	170	320	2Cr	2.0		10	70	70	90	422	
8311001069	1	0	30	1Aa	6.0		1	16	16	140	692	

BPK_ID	LAAG_NR	BOVENGRENS	ONDERGRENS	HOR_CODE	ORG_STOF	VEEN_C	LUTUM	SILT	LEEM	M50	GEO_FOR_C	OPMERKING
8311001069	2	30	40	1Bh	2.0		1	14	14	140	411	
8311001069	3	40	60	1BCe	1.0		1	12	12	140	411	
8311001069	4	60	110	1Ce	0.1		1	12	12	140	411	
8311001069	5	110	200	1Cg	0.1		1	12	12	140	411	
8311001069	6	200	280	1Cr1	0.1		1	17	17	140	411	
8311001069	7	280	320	1Cr2	0.1		3	35	35	135	412	
8311001070	1	0	20	1ACe	2.0		1	12	12	140	693	opgebracht
8311001070	2	20	50	1Aab	5.0		1	12	12	140	692	
8311001070	3	50	70	1BCe	1.0		1	12	12	140	411	
8311001070	4	70	160	1Ce	0.1		1	12	12	140	411	
8311001070	5	160	310	1Cg	0.1		1	10	10	160	411	
8311001070	6	310	320	1Cr	0.1		1	8	8	160	411	
8311001071	1	0	15	1ACe	2.0		1	14	14	145	693	opgebracht
8311001071	2	15	40	1Aab	5.0		1	14	14	145	692	
8311001071	3	40	75	1Cg	0.1		1	12	12	140	411	
8311001071	4	75	200	2Cg	0.1		12	70	70	90	422	
8311001071	5	200	220	2Cr	10.0		12	85	85	90	422	
8311001072	1	0	35	1Cg	0.1		12	70	70	90	422	
8311001072	2	35	80	2Aab	6.0		1	14	14	145	692	
8311001072	3	80	115	2BCg	1.0		1	14	14	145	411	
8311001072	4	115	220	3Cg	0.1		10	85	85	90	422	
8311001073	1	0	70	1Aa	5.0		1	14	14	150	692	stukjes puin
8311001073	2	70	150	1Cg	0.5		1	20	20	140	411	
8311001073	3	150	290	2Cg	0.2		10	70	70	90	422	
8311001073	4	290	300	2Cr	18.0	OV	10	80	80	90	422	bruin
8311001074	1	0	10	1Aa	1.0		10	50	50	90	693	
8311001074	2	10	20	1Ahb	2.0		1	10	10	160	413	steentjes
8311001074	3	20	60	1Cg1	0.5		1	10	10	160	413	grindjes
8311001074	4	60	120	1Cg2	0.2		1	10	10	150	411	
8311001074	5	120	190	1Cg3	0.2		1	14	14	140	412	gelaagd
8311001074	6	190	300	2Cg	0.2		10	70	70	90	422	zandlensje
8311001074	7	300	320	2Cr	12.0		10	80	80	90	422	
8311001075	1	0	30	1Aa	5.0		1	18	18	145	692	met puin
8311001075	2	30	90	1Ah/Cg	4.0		1	18	18	140	693	heterogeen

BPK_ID	LAAG_NR	BOVENGRENS	ONDERGRENS	HOR_CODE	ORG_STOF	VEEN_C	LUTUM	SILT	LEEM	M50	GEO_FOR_C	OPMERKING
8311001075	3	90	160	1Ce	0.1		1	12	12	140	411	
8311001075	4	160	190	1Cr	0.1		1	12	12	140	411	
8311001075	5	190	230	2Cr	0.1		4	35	35	130	412	
8311001075	6	230	290	3Cr1	0.1		9	80	80	90	422	lichtgrijs
8311001075	7	290	320	3Cr2	8.0		10	90	90	90	422	lichtbruin
8311001076	1	0	15	1Aa	6.0		1	14	14	145	692	
8311001076	2	15	65	1Ah/Bh	3.0		1	14	14	145	693	verwerkt
8311001076	3	65	90	1Cg	0.1		1	14	14	145	411	
8311001076	4	90	140	2Cg	0.1		9	80	80	90	422	
8311001076	5	140	300	2Cr	4.0		10	80	80	90	422	wat bruin
8311001076	6	300	320	3Cr	1.0		5	60	60	90	422	
8311001077	1	0	20	1Aa	6.0		1	18	18	140	692	
8311001077	2	20	50	1Bhs	1.0		2	23	23	140	412	
8311001077	3	50	60	1BCg	0.3		1	12	12	140	412	
8311001077	4	60	70	2Ce	0.1		1	10	10	145	412	bijna wit, wat grind
8311001077	5	70	150	3Cg	0.3		10	80	80	90	422	grijs met roest
8311001077	6	150	190	3Cr1	1.0		10	80	80	90	422	
8311001077	7	190	240	3Cr2	6.0		10	80	80	90	422	bruin
8311001077	8	240	290	3Cr3	0.3		10	80	80	90	422	
8311001077	9	290	320	3Cr4	0.3		5	60	60	100	422	
8311001078	1	-10	0	1Lv	30.0	L	10	20	0	0	171	
8311001078	2	0	35	2Aa	6.0		1	16	16	145	692	
8311001078	3	35	45	2Cg1	0.5		1	16	16	145	412	
8311001078	4	45	75	2Cg2	0.1		3	30	30	130	412	
8311001078	5	75	150	2Cg3	0.1		1	8	8	170	412	
8311001078	6	150	180	2Cr	0.1		2	20	20	145	412	
8311001079	1	0	10	1Cw	30.0	OV	10	20	0	0	190	
8311001079	2	10	25	2Cg1	0.3		2	25	25	140	412	
8311001079	3	25	70	2Cg2	0.1		1	4	4	300	412	met fijn grind
8311001079	4	70	100	3Cg	0.1		9	70	70	90	422	
8311001079	5	100	130	3Cr1	0.1		10	90	90	85	422	zeer stug
8311001079	6	130	180	3Cr2	10.0		10	90	90	85	422	zeer stug
8311001079	7	180	220	3Cr3	0.3		10	90	90	90	422	stug
8311001080	1	0	30	1Ah/BCg	3.0		1	25	25	140	412	

BPK_ID	LAAG_NR	BOVENGRENS	ONDERGRENS	HOR_CODE	ORG_STOF	VEEN_C	LUTUM	SILT	LEEM	M50	GEO_FOR_C	OPMERKING
8311001080	2	30	60	1Cg	0.1		1	10	10	160	413	wat grind
8311001080	3	60	150	2Cg	0.1		10	80	80	90	422	stug
8311001080	4	150	200	2Cr1	5.0		10	90	90	85	422	donkergrijs
8311001080	5	200	260	2Cr2	0.1		6	75	75	90	422	
8311001081	1	0	70	1Aa	4.0		1	12	12	160	692	puin
8311001081	2	70	110	1Ce	0.1		1	12	12	140	411	
8311001081	3	110	130	1Ah/Cg	0.1		1	8	8	160	411	met puin
8311001081	4	130	160	1Cg	0.1		1	14	14	140	411	
8311001081	5	160	200	1Cr	0.1		1	10	10	145	411	grijs
8311001081	6	200	240	2Cr1	0.1		8	70	70	90	422	
8311001081	7	240	310	2Cr2	8.0		10	90	90	85	422	bruingrijs
8311001081	8	310	320	2Cr3	4.0		7	70	70	90	422	zwart
8311001082	1	0	30	1Aa	6.0		1	16	16	145	692	
8311001082	2	30	60	1Ah/Cg	2.0		1	10	10	160	411	verwerkt
8311001082	3	60	150	1Cg	0.1		1	12	12	160	411	
8311001082	4	150	170	1Cr1	0.1		1	9	9	160	411	
8311001082	5	170	220	1Cr2	0.1		1	5	5	190	413	wat grind

## Bijlage 5 Tussenboringen

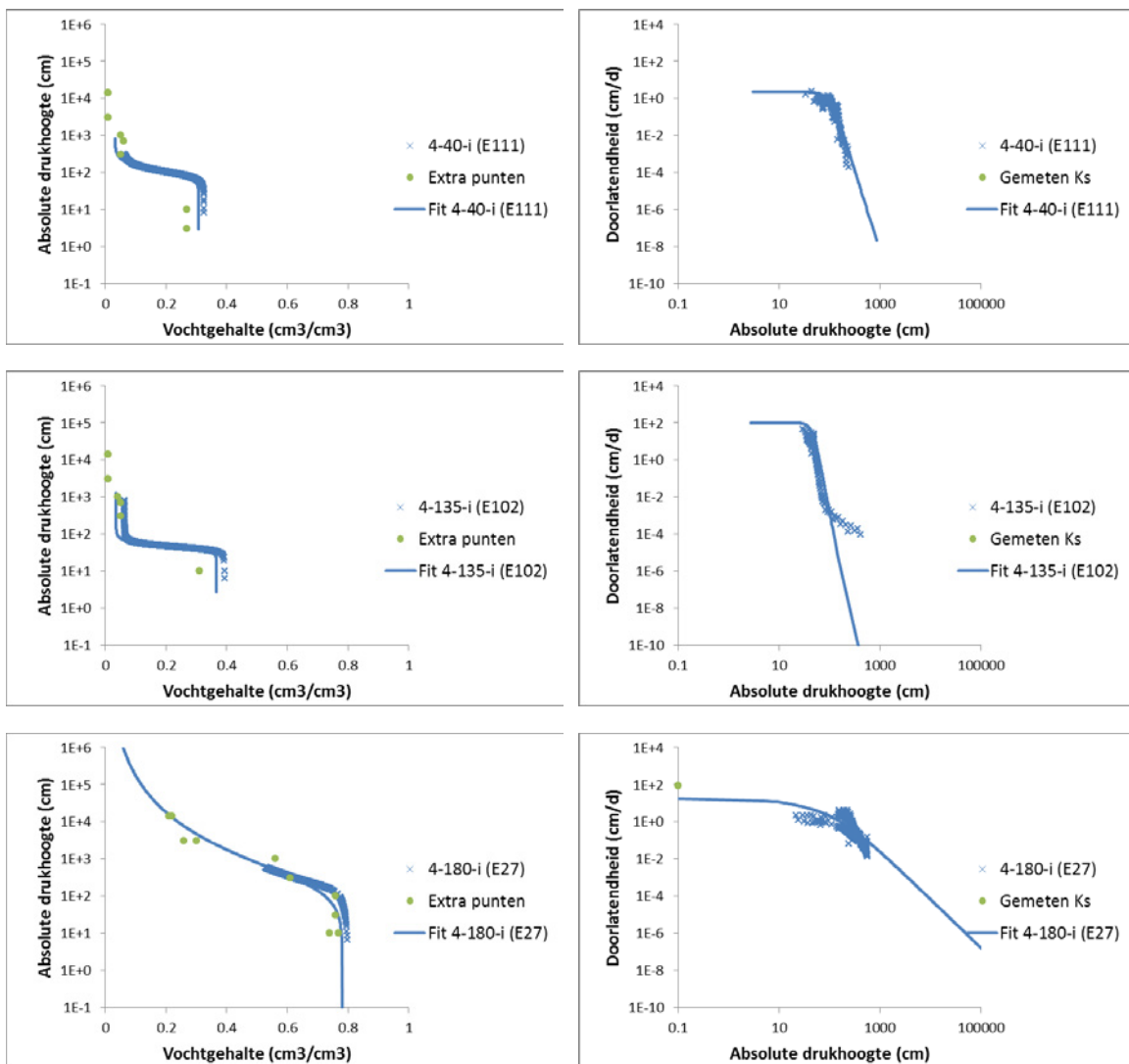
OBJECTID	Code	x	y	Hoogte+NAP (m)	leemdiepte (m)	leemdikte (m)	veendiepte (m)	veendikte (m)
1	5KF6-V14-15	129808	399152	9.25			1.4	0.1
2	gws 160cm	129808	399152	9.25				
3	5kH L11 geen veen	129624	399328	8.91	1.1			
4	5k V11-12, V22-24	129771	399295	9.06				
5	2rF L18-30venige leem30-34	130188	398754	11.34	1.8	1.2	2.2	0.2
6	1m lager dan weg	130186	398752	11.34			3.0	0.4
7	4SH6 L17-30L27-30	132712	398880	14.01	1.7	1.3		
8	gws 240cm	132711	398878	14.17				
10	5kH L11-12gz	129693	399400	9.14	1.1	0.1		
11	5kH L6-7, V19-23	129796	399398	9.10	0.6	0.1	1.9	0.4
12	5kH L6-7 V19-22	129788	399406	9.04	0.6	0.1	1.9	0.3
13	5kH	129833	399461	8.97				
14	5kH-V15-20sterkleinig	129843	399438	9.02			1.5	0.5
15	gws 210cm	129841	399438	9.02				
16	5kH V15-20	129842	399451	8.96			1.5	0.5
17	5kH-L7-8, V18-22	129812	399438	9.28	0.7	0.1	1.8	0.4
18	gws in pbuis 163cm	129796	399233	9.18				
19	5kH, L6-8, gws160	129850	399177	9.14	0.6	0.2		
20	5kH L10-14, V14-15	129837	399193	9.17	1.0	0.4	1.4	0.1
21	5kH9 L17-20, V23-25	129922	399248	9.12	1.7	0.3	2.3	0.2
22	gws 163cm	129920	399248	9.23				
23	5kH4, gws145cm	129906	399235	9.15				
24	2rA-sterkleinig20-24	129868	399242	9.27				
25	2rF7 humeuze leem, L19-21	129857	399253	9.20	1.9	0.2		
26	gws 153cm	129884	399312	9.17				
27	5kA V23-27	129830	399247	9.21			2.3	0.4
28	c4IH6 V22-23, 433	129887	399287	9.27			2.2	0.1
29	5kH	129909	399263	9.33				

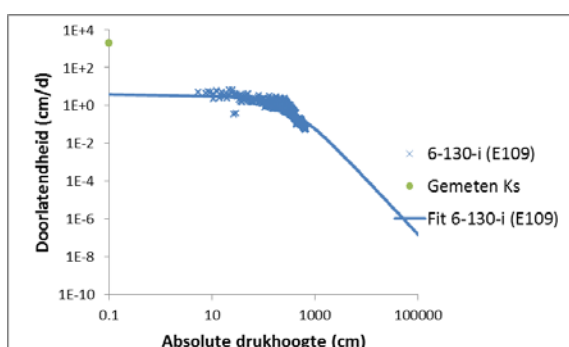
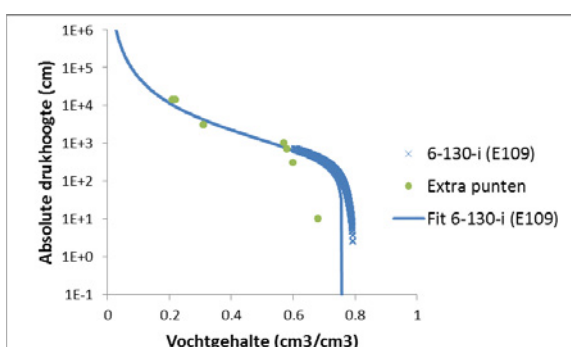
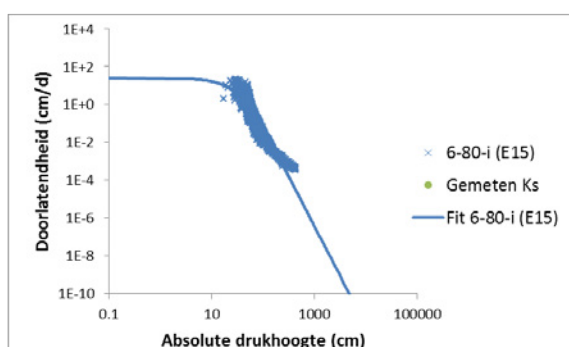
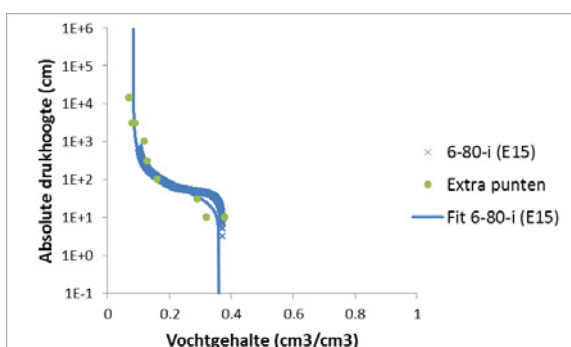
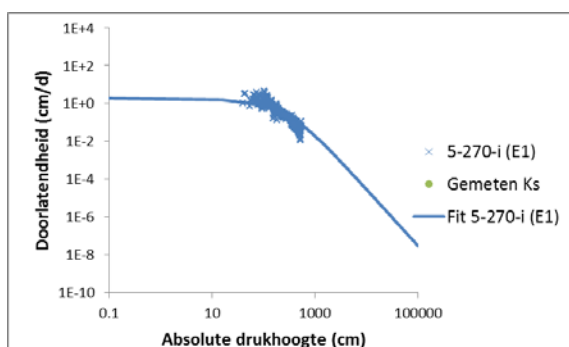
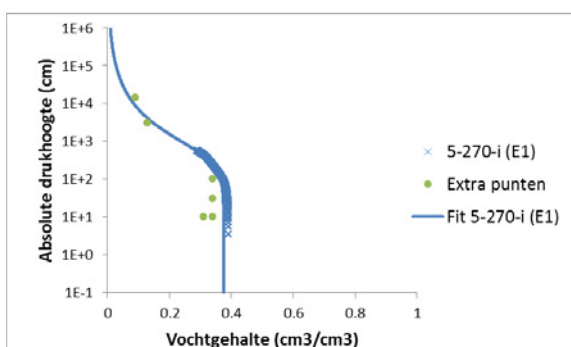
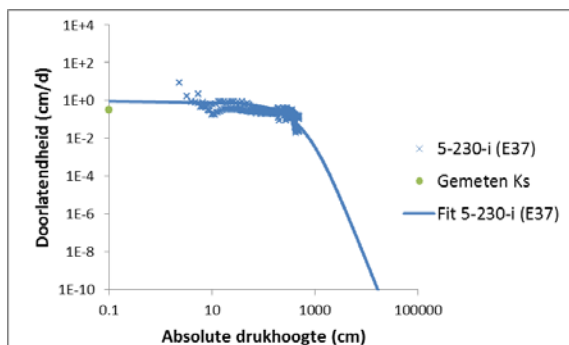
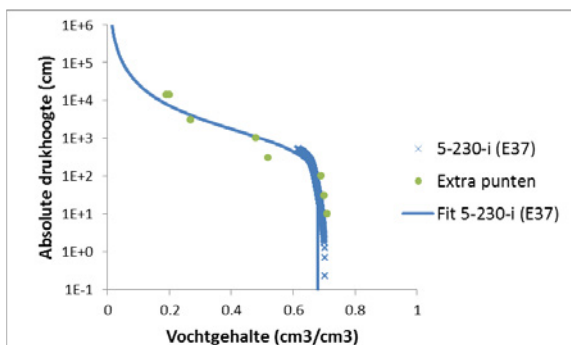
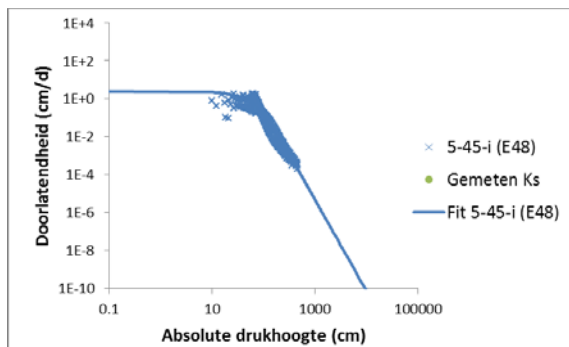
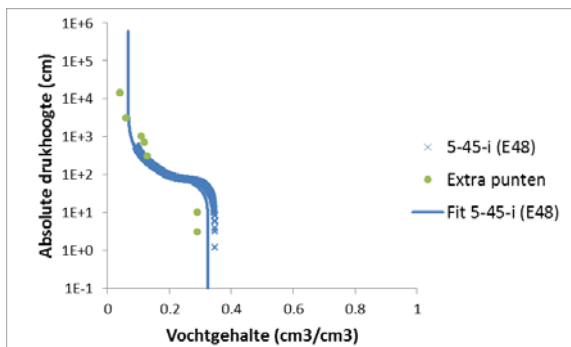


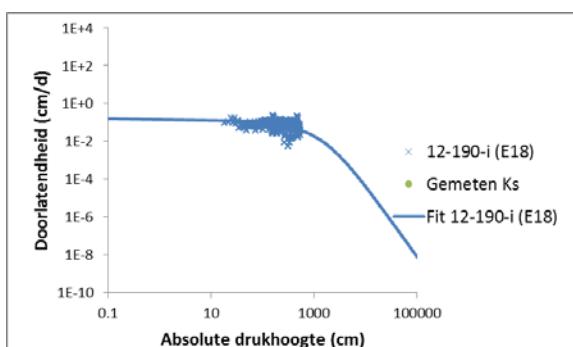
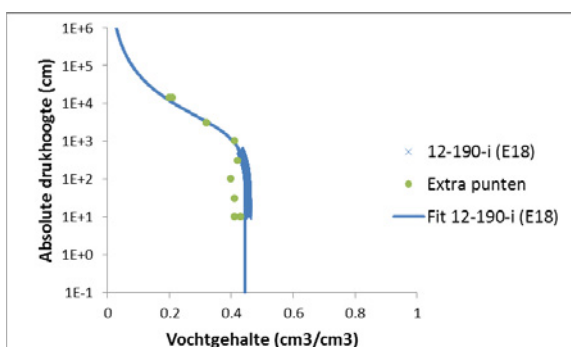
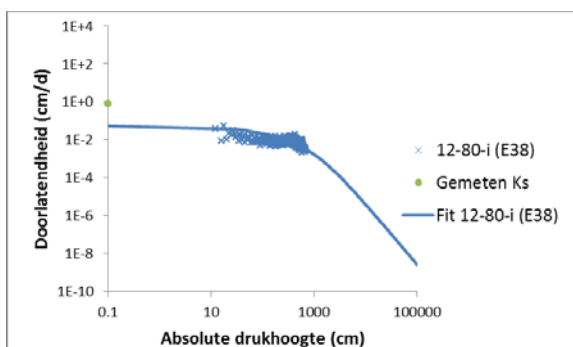
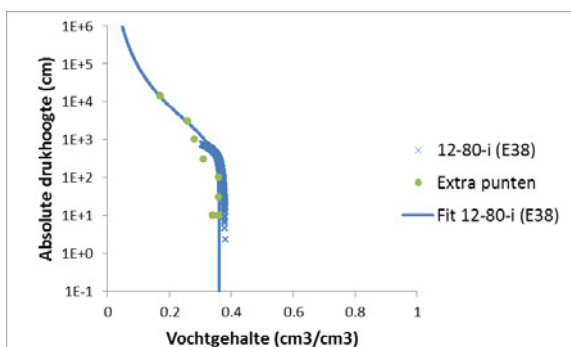
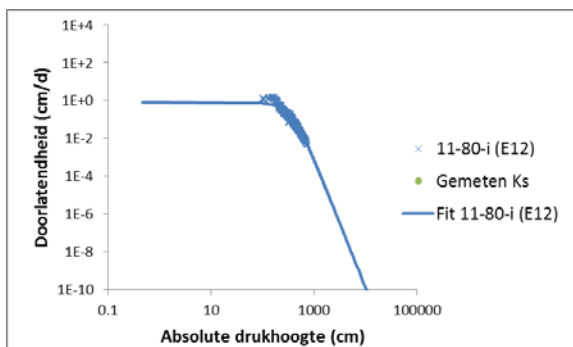
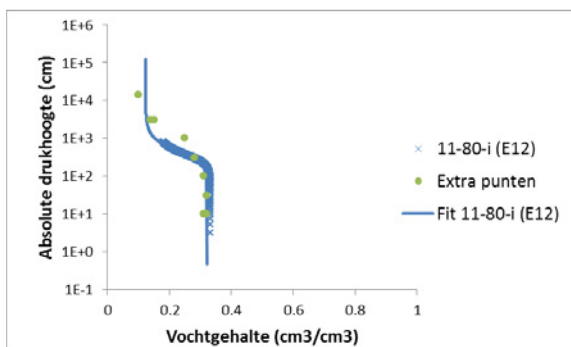
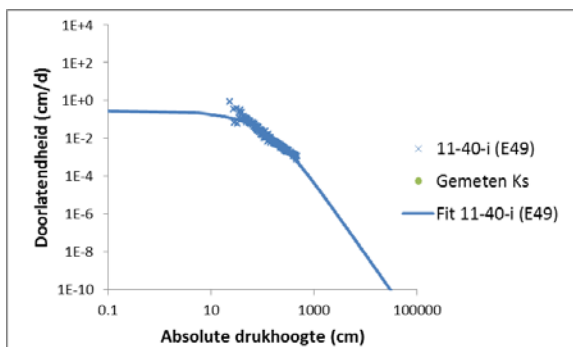
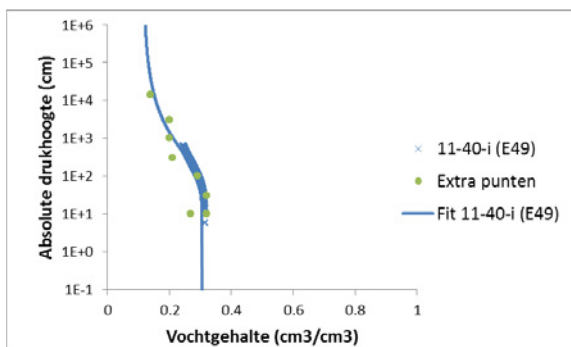
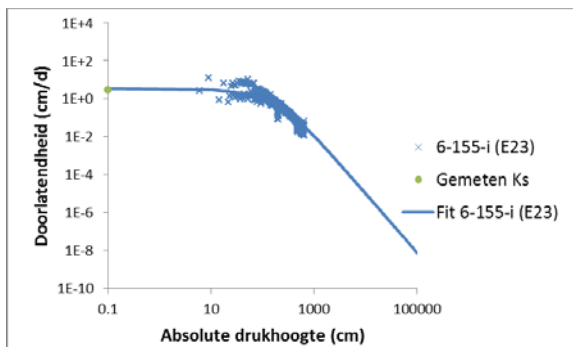
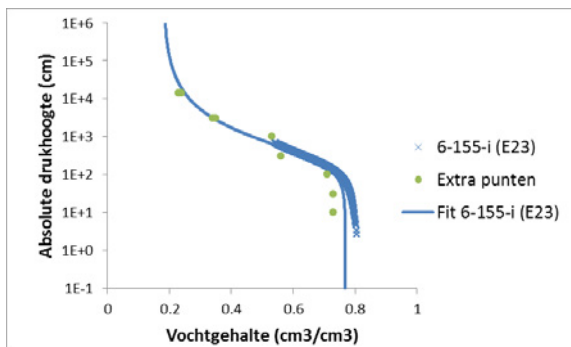
OBJECTID	Code	x	y	Hoogte+NAP (m)	leemdiepte (m)	leemdikte (m)	veendiepte (m)	veendikte (m)
30	5kH, sterklemig26-28	129943	399347	9.14				
31	5kH-L27-30, restveen	129938	399312	9.16	2.7	0.3	3.0	0.1
32	5k	130001	399275	7.68				
33	5k L17, V18-23	129715	399180	9.39	1.7	0.1	1.8	0.5
34	5k L15, V16-20	129677	399123	9.45	1.5	0.1	1.6	0.4
35	5kF15 L15-16, veenrest	129600	399162	9.21	1.5	0.1	1.6	0.1
36	c4IF15 V13, V16-17	129646	399192	9.22			1.6	0.1
37	5kF10	129643	399236	9.16				
38	c4i V16-23, sterk lemig	129675	399366	9.26			1.6	0.5
39	c4IH L8-9, L16-18, stI29	129645	399393	9.18	1.6	0.2		
40	c4IH2 V11-12, L12-19	129667	399373	9.26	1.2	0.7	1.1	0.1
41	5k L15, V16, 18sterkl	129741	399080	9.54	1.5	0.1	1.6	0.2
42	gws 205cm	129742	399073	9.50				
43	V15-17	129789	399054	7.59			1.5	0.2
44	2rH V20-22	129622	399082	9.59			2.0	0.2
45	c4IH V16-18, L18-21	129591	398996	9.55	1.8	0.3	1.6	0.2
46	5kF15 L20-21	129564	399146	9.09	2.0	0.1		
48	jongveen12-14	129468	399165	8.18			1.2	0.2
49	c4IF12, L14-17	129532	399139	9.07	1.4	0.3		
50	5kH12 V12-13, Sterk lemig /hout	129491	399097	9.24			1.2	0.1
51	C4IF HumZ19-24, L24-27	129935	398979	9.13	2.4	0.3		
52	F370cm	130360	398895	11.82				
53	5kF12	129624	399549	8.88				
54	5kF10 hout in zand	129631	399543	8.76				
55	5k, L6-8	129479	398969	9.46	0.6	0.2		
56	gws 187cm	129481	398969	9.41				

# Bijlage 6 Bodemhydrofysische gegevens - $\theta$ - $h$ - $k$

In de figuren van deze bijlage zijn links de retentie- en rechts de waterdoorlatendheidskarakteristieken gegeven. De puntenwolken (blauwe kruisjes) zijn afkomstig uit de prefit van de verdampingsmethode. Verder zijn in de retentiekarakteristiek nog extra meetpunten opgenomen vanuit de zandbak- en drukpanmethode (groene stippen). In de doorlatendheidskarakteristiek zijn extra meetpunten opgenomen van de apart gemeten verzadigde waterdoorlatendheid (groene stippen). De retentie- en doorlatendheidskarakteristieken zijn per monster gefit met een enkele Mualem-Van Genuchten-fit. Dat betekent dat soms concessies zijn gedaan in de retentiecurve om de doorlatendheidscurve beter te kunnen fitten en vice versa. De Mualem-Van Genuchten-parameters bevatten een rekenkundig verzadigde waterdoorlatendheid die vaak veel kleiner is dan de werkelijk gemeten verzadigde waterdoorlatendheid. Dit komt omdat de verdampingsmethode over het algemeen alleen betrouwbare doorlatendheden geeft bij drukhoogten kleiner dan -50 cm. De MvG-fit is dan ook voornamelijk op die punten gebaseerd. De macroporiën in het monster, die het gedrag in het erg natte deel bepalen, kunnen in de opstelling voor de verzadigde doorlatendheid wel worden beschouwd, maar in de verdampingsmethode voor de onverzadigde waterdoorlatendheid niet. De MvG-vergelijkingen zijn onvoldoende in staat om deze discontinuïteit in het natte bereik te modelleren.





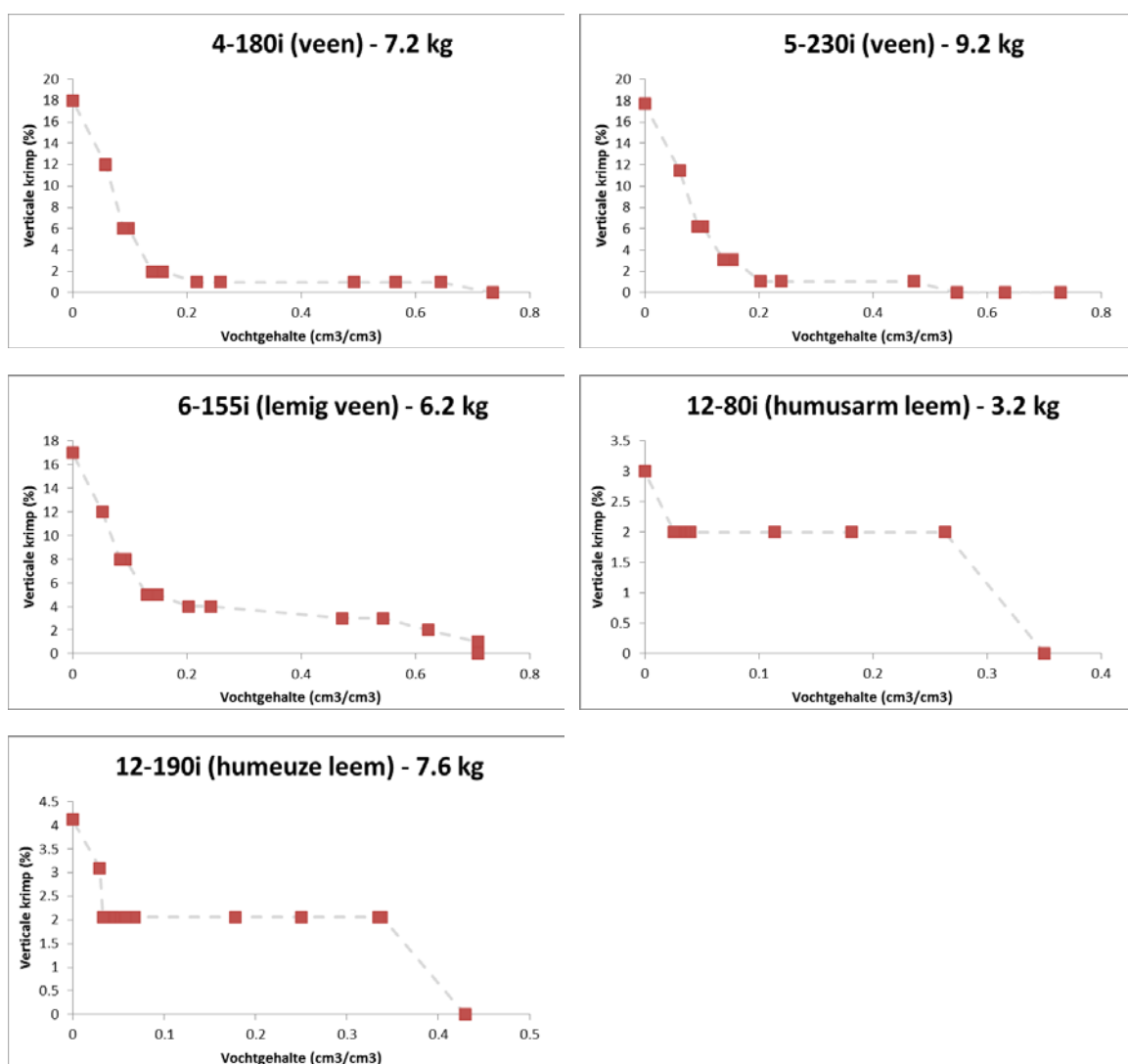


# Bijlage 7 Bodemhydrofysische gegevens - Verticale krimp

In de onderstaande figuren is de relatieve verticale krimp (%) weergegeven als functie van het volumetrisch vochtgehalte (cm<sup>3</sup>/cm<sup>3</sup>). De verticale krimp is gerelateerd aan de oorspronkelijke monsterhoogte ná aanbrengen van de belasting volgens:

$$\text{VerticaleKrimp} = \frac{L_{\text{oorspronkelijk}} - L(\text{vochtgehalte})}{L_{\text{oorspronkelijk}}} * 100\%,$$

waarbij L (cm) de hoogte van het monster is. Het eerste getal in de kop van de figuren geeft het profielnummer weer; het tweede getal de bovenkant van de laag waarin het monster is genomen; daarachter is de belasting (in kg) gegeven die aan het monster is opgelegd.



---

Wageningen Environmental Research  
Postbus 47  
6700 AA Wageningen  
T 0317 48 07 00  
[www.wur.nl/environmental-research](http://www.wur.nl/environmental-research)

Wageningen Environmental Research  
Rapport 2826  
ISSN 1566-7197

---

De missie van Wageningen University & Research is 'To explore the potential of nature to improve the quality of life'. Binnen Wageningen University & Research bundelen Wageningen University en gespecialiseerde onderzoeksinstituten van Stichting Wageningen Research hun krachten om bij te dragen aan de oplossing van belangrijke vragen in het domein van gezonde voeding en leefomgeving. Met ongeveer 30 vestigingen, 5.000 medewerkers en 10.000 studenten behoort Wageningen University & Research wereldwijd tot de aansprekende kennisinstellingen binnen haar domein. De integrale benadering van de vraagstukken en de samenwerking tussen verschillende disciplines vormen het hart van de unieke Wageningen aanpak.





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



---

Wageningen Environmental Research  
Postbus 47  
6700 AB Wageningen  
T 317 48 07 00  
[www.wur.nl/environmental-research](http://www.wur.nl/environmental-research)

Rapport 2826  
ISSN 1566-7197

De missie van Wageningen University & Research is 'To explore the potential of nature to improve the quality of life'. Binnen Wageningen University & Research bundelen Wageningen University en gespecialiseerde onderzoeksinstituten van Stichting Wageningen Research hun krachten om bij te dragen aan de oplossing van belangrijke vragen in het domein van gezonde voeding en leefomgeving. Met ongeveer 30 vestigingen, 5.000 medewerkers en 10.000 studenten behoort Wageningen University & Research wereldwijd tot de aansprekende kennisinstellingen binnen haar domein. De integrale benadering van de vraagstukken en de samenwerking tussen verschillende disciplines vormen het hart van de unieke Wageningen aanpak.

