

Herstel van biodiversiteit en landschapsecologische relaties in het natte zandlandschap

***Over de dynamiek van peilen en fluxen in vennen en
veentjes***

Eindrapport deel 2

Jos von Asmuth
Ab Grootjans
Sake van der Schaaf

KWR
Watercycle Research Institute



Ministerie van Economische Zaken,
Landbouw en Innovatie

© 2011 Directie Kennis en Innovatie, Ministerie van Economische Zaken,
Landbouw en Innovatie

Rapport nr. 2011/OBN147-2-NZ
Den Haag, 2011

Deze publicatie is tot stand gekomen met een financiële bijdrage van het
Ministerie van Economische Zaken, Landbouw en Innovatie.

Teksten mogen alleen worden overgenomen met bronvermelding.

Deze uitgave kan schriftelijk of per e-mail worden besteld bij het Bosschap
onder vermelding van code 2011/OBN147-2-NZ en het aantal exemplaren.

Oplage 150 exemplaren

Samenstelling J. van Asmuth, A. Grootjans, S. van der Schaaf

Druk Ministerie van EL&I, directie IFZ/Bedrijfsuitgeverij

Productie Bosschap, bedrijfsschap voor bos en natuur
Bezoekadres : Princenhof Park 9, Driebergen
Postadres : Postbus 65, 3970 AB Driebergen
Telefoon : 030 693 01 30
Fax : 030 693 36 21
E-mail : algemeen@bosschap.nl

Opgedragen aan Hans Esselink
(1955-2008)



Voorwoord

Het doel van het Kennisnetwerk Ontwikkeling en Beheer Natuurkwaliteit (O+BN) is het ontwikkelen, verspreiden en benutten van kennis voor terreinbeheerders over natuurherstel, Natura 2000, leefgebiedenbenadering en ontwikkeling van nieuwe natuur.

Het onderzoek "Herstel van biodiversiteit en landschapsecologische relaties in het natte zandlandschap" is uitgevoerd in de Natura 2000 gebieden De Groote Heide, Dwingelderveld, Haaksbergervveen en in de boswachterij Gieten. Er is vooral gekeken naar de habitattypen heideveentjes en aangetast hoogveen. Daarnaast zijn er tijdens het onderzoek ook veel met uitsterven bedreigde soorten aangetroffen.

Voor een verder en duurzaam herstel van deze gebieden, habitattypen en soorten is herstel op landschapsschaal noodzakelijk. Daarom wordt in dit onderzoek achtereenvolgens de volgende vier delen besproken:

- Deel 1A: landschapsecologische systeemanalyse (LESA)
- Deel 1B: verschillende landschapsvormen
- Deel 2: dynamiek van peilen en fluxen
- Deel 3: herkomst van kooldioxide (CO₂)
- Deel 4: betekenis van milieugradiënten en waardplantenkwaliteit voor fauna

Kortom, dit rapport biedt de natuurbeheerder een groot aantal handvatten om een goed beheerplan op te stellen. Daarnaast biedt het rapport een dieper inzicht in het functioneren van hoogveensystemen.

Drs. E.H.T.M. Nijpels
Voorzitter Bosschap

Inhoudsopgave

1	Inleiding	8
1.1	Over heideveentjes, ketelveentjes en pingoruïnes	8
1.2	Onderzoekskader	11
1.3	Onderzoeksvraag	11
1.4	Aanpak en leeswijzer	12
2	Methodiek	15
2.1	Hydrologische opbouw van vennen en veentjes en ontwerp meetnet	15
2.2	Geohydrologische dwarsprofielen	17
2.2.1	Inleiding	17
2.2.2	Hoogtemetingen	17
2.2.3	De 'grondwater-Box-plot'	18
2.3	Modellering van de dynamiek van peilen en fluxen	20
3	Validatie en correctie van de meetreeksen	23
3.1	Een ongeluk bij een ongeluk	23
3.2	Hulp van een sterke, oudere broer.....het KNMI	23
3.3	Correctie luchtdruk a.d.h.v. KNMI-gegevens	25
3.4	Correctie waterdruk a.d.h.v. handmetingen	26
3.5	'Correctie' van (grond)waterstanden voor meteorologische variatie	27
4	Resultaten meetnet en dwarsprofielen	30
4.1	Pingoruïne (Gasselterveld / Gieten)	30
4.2	Poort II (Lheebroekerzand / Dwingelerveld)	32
4.3	Barkmansveen (Lheebroekerzand / Dwingelerveld)	35
4.4	Ronde Vlaas (Groote Heide / Leende)	38
4.5	Groene Plas (Haaksbergerveen)	40
5	Resultaten analyse en modellering	42
5.1	Visuele analyse	42
5.2	Tijdreeksanalyse en modellering	43

6	Relevantie voor water- en natuurbeheer	46
6.1	Interactie tussen regionaal grondwater, veenwater en veenbasis	46
6.1.1	Grondwaterstand onder de veenbasis	46
6.1.2	Grondwaterstand in of boven de veenbasis	47
6.1.3	Grondwaterstand boven het veenpeil, een bijzondere situatie	48
6.2	Afleiden herstelmaatregelen uit model- en systeemanalyses	49
6.3	Softwarematige implementatie	51
7	Conclusies en aanbevelingen	53
7.1	Functioneren van de onderzochte veentjes	53
7.2	Antwoord op de kennisvragen	54
7.3	Methode voor het schatten van lekverliezen	55
7.4	Openstaande vragen en aanbevelingen voor vervolgonderzoek	55
7.5	Aanbevelingen van praktische aard	56
8	Literatuur	58
Bijlage 1:	Achtergronden tijdreeksmodel met drempelovergangen	60
Bijlage 2:	Resultaten validatie en correctie luchtdrukreeksen	63
Bijlage 3:	Resultaten validatie en correctie waterdrukreeksen	64
Bijlage 4:	Bodembeschrijvingen	68

Deelrapporten

De volgende andere deelrapporten zijn verschenen over de resultaten van het OBN-onderzoek 'Herstel van biodiversiteit en landschapsecologische relaties in het natte zandlandschap':

Deelrapport 1A: Landschapsanalyse

Gert Jan Baaijens, Peter van der Molen & Ab Grootjans

Deelrapport 1B: Catalogus Landschapsvormen

Gert Jan Baaijens & Peter van der Molen

Deelrapport 2: Over de dynamiek van peilen en fluxen in vennen en veentjes

Jos von Asmuth, Ab Grootjans & Sake van der Schaaf

Deelrapport 3: Herkomst van CO₂ voor hoogveengroei en basenverzadiging in hoogveentjes

Hilde Tomassen, Ab Grootjans & Fons Smolders

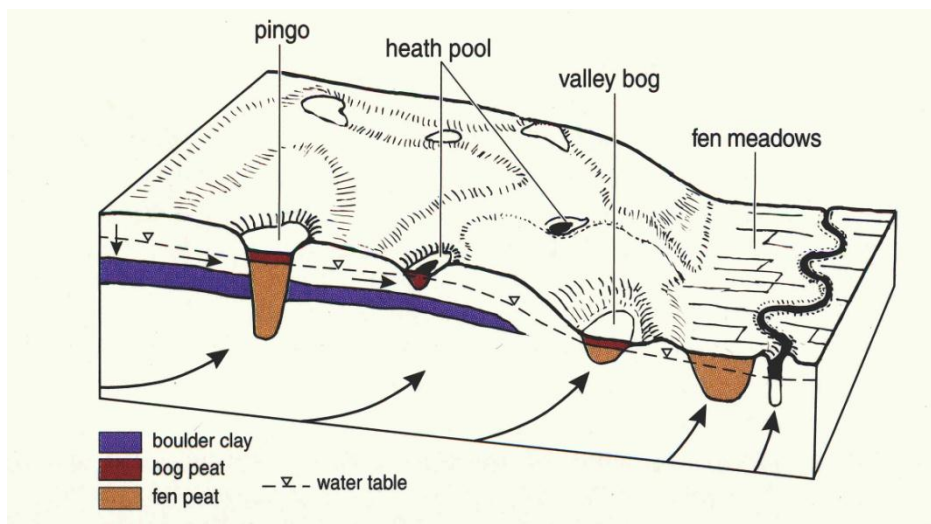
Deelrapport 4: Betekenis van milieugradiënten en waardplantenkwaliteit voor herstel van de fauna van het natte zandlandschap

Gert-Jan van Duinen, Hein van Kleef, Michiel Wallis de Vries & Arnold van den Burg

1 Inleiding

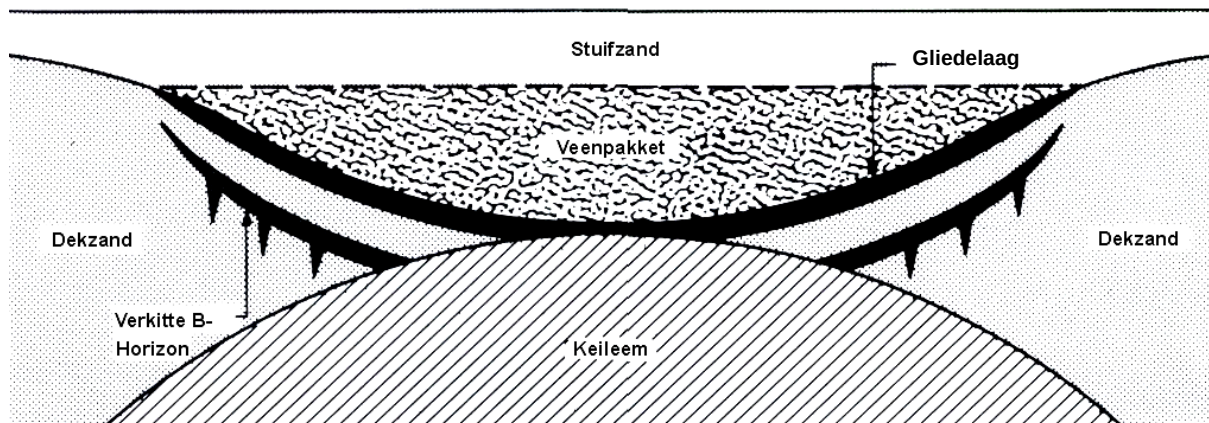
1.1 Over heideveentjes, ketelveentjes en pingoruïnes

Heidevennen, in Drenthe ook wel veentjes genoemd, zijn in het Pleistocene deel van Nederland heel karakteristieke elementen binnen een heidelandschap. Buiten Nederland komen dergelijke veentjes voor in de Noord-Duitse Laagvlakte. Meer naar het Oosten, in Oost-Duitsland en Polen komen vergelijkbare systemen voor, in de vorm van Ketelvenen. Ketelvenen zijn veel groter en dieper en hebben een andere ontstaanswijze; ze werden pas na de laatste ijstijd gevormd (die ons land niet heeft bereikt), in doodijsgaten die tot 20 meter diep kunnen zijn (Timmerman, 1999). Qua vegetatie hebben Ketelvenen en Heideveentjes veel gemeen, maar de ontstaansgeschiedenis is heel verschillend. Veentjes die gelegen zijn in zgn pingoruïnes kunnen wel een aanzienlijke diepte bereiken (8-10 meter). Het gaat hier echter niet om doodijsgaten, maar om restanten van vroegere stromingsstelsels, gelegen in een landschap dat nog sterk door permafrost werd beïnvloed. (De Gans, 1981) meent dat pingo's ontstaan zijn door bevriezende kwelplekken, die in de loop der tijd meters hoge ijsbulten vormden, die in een later stadium weer afsmolten en een diepe depressie vormden waarin zich veen kon gaan vormen. Pingo's zijn dus onder invloed van grondwaterstroming ontstaan en liggen in delen van stromingstelsels waar de keileem is weggeërodeerd. Dit in tegenstelling tot de ondiepere heideveentjes die meestal boven de keileem liggen (figuur 1).



figuur 1. Verschillende typen veentjes in een heidelandschap (Grootjans & Van Diggelen, 1998).

De Heideveentjes zijn in hun voorkomen beperkt tot gebieden met een relatief groot neerslagoverschot. Het water wordt vastgehouden door verschillende slecht doorlatende lagen. Behalve keileem treffen we vaak een dikke verkitte B-horizont aan, met daarboven een gliedelaag. De verkitte B-horizont is ontstaan door inspoeling van verspoelde humus na het kappen van de oorspronkelijke bossen door de mens. Door vervanging van bos door een korte vegetatie neemt het neerslagoverschot toe en verspoelt een deel van de vroegere strooisellaag. De gliedelaag ontstond als gevolg van het afzetten van fijn organisch materiaal in ondiepe meertjes of vennetjes, waarin later veenvorming optrad. De B-horizonten worden overigens ook op de kopjes gevormd, als podzolen. Podzolvorming werd sterk door menselijk handelen bevorderd, wellicht zelfs veroorzaakt (Verschoor et al., 2003). Ook deze lagen dragen bij aan een versterkt transport van neerslagwater door de grond naar de veentjes. Tenslotte kunnen verkitte ijzerlaagjes (mede)verantwoordelijk zijn voor het ontstaan van een heideveentje. Dit zijn zeer dunne ijzerlaagjes ("iron pans") die door podsolidering zijn ontstaan (Dekker et al., 1997, Peerboom et al., 2003).



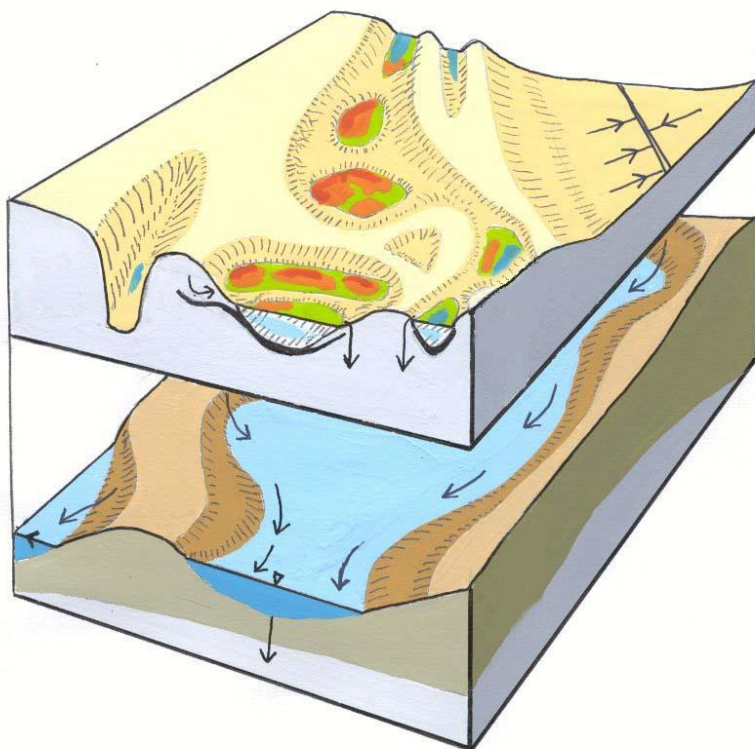
figuur 2. Het profiel van een overstoven veentje, blootgelegd bij de aanleg van de A28 (Baaijens in (Everts, 1984))

Bovengenoemde lagen zijn ervoor verantwoordelijk dat het water in de veentjes een hogere stand heeft dan het lokale grondwater in de omgeving. Van belang daarbij is dat vooral de verkitte inspoelingslaag als voornaamste weerstandsbiedende laag moet worden aangewezen (Dekker et al., 1996), en niet de gliede laag (Tabel 1).

Tabel 1. Verschillende weerstandbiedende lagen met hun doorlatendheden (Verschoor et al., 2003).

Weerstandbiedende laag	Verzadigde doorlatendheid (cm/dag)
Kazige B-laag	0.001- 0.010
Zwarte Gliede	0.08 - 0.80
Zwarte gliede, uitgedroogd	5 - 8
Waterhard (20 cm dik)	0.0 - 0.7
Zeer fijn zand, zwak lemig	0.70 - 2.6
Matig fijn zand	38 - 56
Matig fijn zand, sterk lemig	11.5 - 24

In (Verschoor et al., 2003) wordt een conceptueel model gepresenteerd van de hydrologie van heideveentjes in het dekzandlandschap van het Dwingelerveld (figuur 3). Deze figuur geeft een serie veentjes weer gelegen in een fossiel stromingstelsel. In het geulenstelsel komen dikke verkitte B-horizonten voor die een grotere verspreiding hebben dan de huidige omvang van de veentjes. De veentjes liggen dus in "schotels", die lokaal grondwater aanvoeren naar het veentje. Dit kan grondwater zijn dat uit hoger gelegen gebieden over de keileem afstroomt, maar het kan ook lokaal water zijn dat op podsollagen in hogere gronden stagneert. Deze toestroming van "omgevingswater" vindt meestal alleen in de winter en het vroeger voorjaar plaats. Deze verschillende schijnwaterstanden liggen in de natte periode boven het niveau van het eigenlijke grondwater dat water uit een veel groter gebied afvoert. Het veentje licht meestal met de "buik" in het grondwater (Verschoor et al., 2003), maar niet altijd. Soms ligt het regionale grondwater vele meters dieper dan de "schijnwaterspiegel" (Peerboom et al 2003). 's Zomers kan de grondwaterstand zelfs ver onder de venbodem wegzakken, en er kunnen grote verschillen optreden in de grondwaterstanden boven de keileem. De keileemlaag is niet overal even dik. Soms is de laag geheel weggeërodeerd (Anonymous, 1999). Het grondwater stroomt dan versneld weg door zo'n gat en waterstanden kunnen daar diep wegzakken onder invloed van de diepe peilen van de omliggende beekdalen (Bakker et al., 1986).



figuur 3. Ligging van de hoogveentjes in een geulensysteem waarin zich verkitte B-horizonten en gliedelaagjes bevinden, waarop het neerslagwater stagneert. Daaronder is het reliëf van de slechtdoorlatende keileemlaag aangegeven. De grondwaterstanden in de 'keileemkommen' kunnen sterk verschillen van de omliggende waterstanden (Anonymous, 1999).

1.2 Onderzoekskader

Dit rapport beschrijft de opzet en resultaten van de hydrologische component van een breder, integraal onderzoeksproject getiteld 'herstel van biodiversiteit en landschapsecologische relaties in het natte zandlandschap'. Het onderzoek is gefinancierd en uitgevoerd in het kader van het programma Ontwikkeling + Beheer Natuurkwaliteit (OBN) van de Directie Kennis van het Ministerie van LNV. De uitvoering is begeleid door het OBN-deskundigenteam Nat Zandlandschap. Voor de uitvoering is een onderzoeksconsortium gevormd bestaande uit de Stichting Bargerveen, RU Nijmegen afd. dierecologie, Baaijens Advies, Rijksuniversiteit Groningen, KWR Watercycle Research Institute, de Vlinderstichting en Dienst Landelijk Gebied. Stichting Bargerveen is hoofdaannemer en penvoerder van dit consortium, KWR de hoofdverantwoordelijke voor de hydrologische component van het onderzoek.

Water is één van de belangrijkste vectoren die de landschapsecologische relaties in het natte zandlandschap vormgeven. Het hydrologische onderzoek stond dan ook ten dele in dienst van de landschapsecologische systeemanalyse en andere componenten van dit onderzoek. We verwijzen in dit verband naar de andere deelrapporten die in het kader van dit onderzoek zijn verschenen (zie Baaijens et al., 2011, Tomassen et al., 2011, Van Duinen et al., 2011). Dit rapport behandelt verder de specifiek hydrologische componenten uit het onderzoek.

1.3 Onderzoeksvraag

Een aantal van de kennisvragen die door de Directie Kennis van LNV en het OBN-deskundigenteam Nat Zandlandschap zijn geformuleerd, hadden een specifiek hydrologische component. De volgende vragen hieruit hebben ten grondslag gelegen aan dit deelonderzoek:

- Wat is de betekenis van waterverzadiging van de veenbasis op het grondwaterregime en de levensgemeenschappen van hoogvenen?
- Hoe worden waterpeilen, biogeochemie, vegetatie en fauna in en om hoogveenvennen, en hoogveenrestanten, andere ventypen en de omliggende delen van het natte zandlandschap beïnvloed door het lokaal en regionaal hydrologisch systeem? Geef hiervoor een methodische systeembeschrijving die in concrete gevallen kan worden toegepast en waarmee de gewenste herstelmaatregelen kunnen worden afgeleid.

Om deze kennisvragen zo goed mogelijk in te vullen is door het onderzoeksconsortium een project gedefinieerd waarin de genoemde kennisvragen zijn aangescherpt en afgebakend, wat geleid heeft tot de volgende specifiek hydrologische onderzoeksvraag (Van Duinen & Tomassen, 2007):

- Hoe schat je de lekverliezen in en om vennen en hoogveenrestanten, en de invloed van het locale en regionale hydrologische systeem daarop?

De onderzoeksvraag is hiermee in zoverre verder afgebakend dat een specifieke aanpak wordt voorgesteld en uitgewerkt om lekverliezen en

interacties in vennen en veentjes te schatten, die vervolgens in de praktijk wordt uitgetest. De afbakening betekent niet dat de andere facetten uit de geformuleerde kennisvragen hiermee geheel uit beeld zijn. Het onderzoek en onderhavige rapport gaan waar mogelijk in op de breder geformuleerde kennisvragen, maar pretenderen alleen niet deze volledig te beantwoorden.

1.4 Aanpak en leeswijzer

In de uitwerking van de onderzoeksvraag tot een eindresultaat zijn de volgende stappen gezet:

- 1) Keuze en uitwerking methode: voor het schatten van fluxen en interacties tussen verschillende delen van een hydrologisch systeem bestaan globaal twee typen instrumenten:
 - a. ruimtelijk gedifferentieerde hydrologische modellen die de stroming tussen verschillende compartimenten beschrijven op basis van een schatting van de hydrologische eigenschappen en opbouw van de ondergrond,
 - b. tijdreeksmodellen, die relaties schatten tussen meetreeksen van de (grond)waterstand en de factoren die haar beïnvloeden, op basis van de (in principe statistische) samenhang daartussen.

Zoals bij wel meer classificaties, is het onderscheid hiertussen in feite gradueel en kunstmatig. Wanneer een ruimtelijk grondwatermodel zoals MODFLOW gekalibreerd wordt aan de hand van gemeten standen, gaan ook daar de uitkomsten zich voegen naar de statistische relaties in de data. De respons van de grondwaterstand op neerslag en verdamping is vooral in gebieden met hoge grondwaterstanden vaak afhankelijk van de hoogte van de grondwaterstand zelf. Doorgaans is dit het gevolg van ontwateringsprocessen die pas optreden bij een grondwaterstand boven een bepaald peil. Men kan hierbij denken aan droogvallende sloten die alleen invloed hebben op de grondwaterstand als ze water voeren, periodieke afvoer via drains, afstroming over maaiveld, enz. Wanneer men tijdreeksanalyse toepast in dergelijke situaties moet men rekening houden met drempels als het niveau van slootbodems of drains. Zodra de grondwaterstand een drempel passeert, verandert het afvoergedrag van het systeem. Tussen opeenvolgende drempels en buiten het traject van de drempels is het systeem in beginsel bij benadering lineair. Wanneer de grondwaterstand een drempel overschrijdt verandert de respons van het systeem, en wordt het systeem de facto niet-lineair. Bij doorgaande grondwaterstandsstijging of -daling zal het systeem zich vervolgens weer lineair gedragen, tot het niveau van een eventuele volgende drempel wordt bereikt. In zulke gevallen is een tijdreeksmodel nodig dat voorziet in drempels tussen lineaire deeltrajecten. De modelvergelijkingen van dit soort tijdreeksmodellen zijn ook fysisch gebaseerd, en beschrijven per tijdstap de verschillende fluxen (neerslag, verdamping, wegzijging) in een systeem.

We kiezen voor het beantwoorden van de onderzoeksvraag hier primair voor de inzet van een dergelijk tijdreeksmodel met drempelovergangen (zie paragraaf 2.3 en bijlage A), onder meer omdat de hydrologische opbouw en eigenschappen van (grond)watersystemen in natuurgebieden vaak zeer complex zijn en niet in voldoende detail bekend. Tegelijkertijd doen we een poging om de hydrologische opbouw van de onderzoeksgebieden in beeld te

brenge middels beschrijvingen van ter plaatse gemaakte grondboringen en constructie van geohydrologische dwarsprofielen (zie paragraaf 2.2).

- 2) Keuze onderzoekslocaties en ontwerp meetnet: Voor het toepassen en toetsen van de voorgestelde methoden sluiten we qua gebiedskeuze aan bij de overige deelonderzoeken (zie Baaijens et al., 2011). Voor het inrichten van een gericht hydrologisch meetnet is de keuze gevallen op een vijftal veentjes:
 - a. PoortII en het Barkmansveen in het Dwingelerveld (Drenthe). Van dit gebied zijn al veel gegevens beschikbaar en het gebied omvat vennen met een verschillende mate van hoogveenvorming. De veentjes fungeren periodiek als schijnspiegelsysteem, maar staan periodiek ook in contact met het regionale grondwater.
 - b. Een (naamloze) pingoruïne in de boswachterij Gieten (Drenthe): Van dit gebied is reeds een goede start gemaakt met een de systeemanalyse in het kader van een milieueffectrapport voor een zandwinning. De pingoruïne is veel dieper dan de andere veentjes en staat permanent in contact met het omliggende, regionale grondwater.
 - c. De Groene Plas in het Haaksbergerveen (Overijssel): Dit is een veentje dat in tegenstelling tot de andere onderdeel is van een groter hoogveenrestant, en dat hydrologisch minder geïsoleerd is. Het peil van de Groene Plas staat ook lager dan dat van het aangrenzende grondwater in het Haaksbergerveen.
 - d. De Ronde Vlaas op de Groote Heide (Brabant): De Groote Heide is representatief voor vennencomplexen in Zuid-Nederland en omvat natte heide, vennen en veentjes met verschillende ontstaanswijzen (o.a. laagten op Brabantse leem, in afgesnoerde beeklopen) en in diverse stadia van ontwikkeling. Ook de Ronde Vlaas staat periodiek in contact met het regionale grondwater.

Om de interactie en lekverliezen tussen verschillende onderdelen van het hydrologische systeem te kunnen kwantificeren, is systematisch op elke onderzoekslocatie hieraan gemeten. Hiertoe is per gebied een regenmeter, en zijn per veentje een aantal peilbuizen met automatische drukopnemers geïnstalleerd. De drukopnemers registreren de variatie in de druk op een bepaalde hoogte in een peilbuis, waaruit de (grond)waterstanden zijn af te leiden. De peilbuisfilters of meetpunten zijn zoals gezegd in verschillende onderdelen van het systeem geplaatst, bijvoorbeeld zowel in het veen als in het grondwatersysteem daarbuiten. Er zijn bovendien meetpunten geïnstalleerd boven en onder de veenbasis en/of op verschillende dieptes in het veen. (Referentie)verdampingsgegevens zijn betrokken van het KNMI. Het verdere hoe en waarom achter het ontwerp van de lokale meetnetten wordt beschreven in paragraaf 2.1.

- 3) Correctie en validatie meetgegevens: Voor het beantwoorden van welke onderzoeksvraag dan ook zijn te allen tijde betrouwbare meetgegevens nodig. Tegen de verwachting in (ze wordt immers door de meeste waterbeheerders algemeen toegepast) bleek de hydrologische meetapparatuur veel problemen met zich mee te brengen. Het ging daarbij enerzijds om storingen (verschillende regenmeters en drukopnemers waren niet meer uit te lezen), en anderzijds om afwijkingen (bijv. uitbijters, drift, ongewenste temperatuurafhankelijkheid) en zelfs om vandalisme (één peilbuis is in zijn geheel verdwenen). Dit heeft helaas extra tijd en energie gekost, maar heeft wel ook tot een algemeen toepasbare methode voor het corrigeren en valideren drukopnemergegevens geleid. Deze methode

c.q. de manier waarop we hier uiteindelijk toch gekomen zijn tot een nette en betrouwbare set meetgegevens is beschreven in hoofdstuk 3.

- 4) Resultaten: Uit elk van de onderzoekslocaties zijn allereerst meetreeksen van (grond)waterpeilen en boorbeschrijvingen voortgekomen. Beide worden per onderzoekslocatie beschreven en gecombineerd in geohydrologische dwarsprofielen in hoofdstuk 4. Uit de dwarsprofielenvolgen direct kwalitatieve, algemene conclusies over het hydrologische functioneren van de veentjes, incl. de interactie met het omliggende regionale grondwater. Om lekverliezen en andere fluxen in te kunnen schatten wordt het peil van de veentjes gemodelleerd met een niet-lineair tijdreeksmodel. Hieruit volgen kwantitatieve conclusies over lekverliezen en fluxen, incl. een oordeel over de toepasbaarheid van de methode (zie paragraaf 5.2).

Zoals gezegd is dus een deel van de voor dit onderzoek beschikbare tijd en energie gaan zitten in het komen tot een methode voor het valideren en corrigeren van afwijkingen in drukopnemerreeksen. Een geluk bij een ongeluk is dat zowel voor deze post als voor de modellering van de interactie tussen lokale en regionale (grond)waterpeilen aanvullende financiering is gevonden. Dit betekent ook dat de resultaten daarvan deels in andere, aanvullende rapporten of artikelen gepubliceerd zullen worden (e.g. (Von Asmuth et al., in prep; Von Asmuth, 2010)).

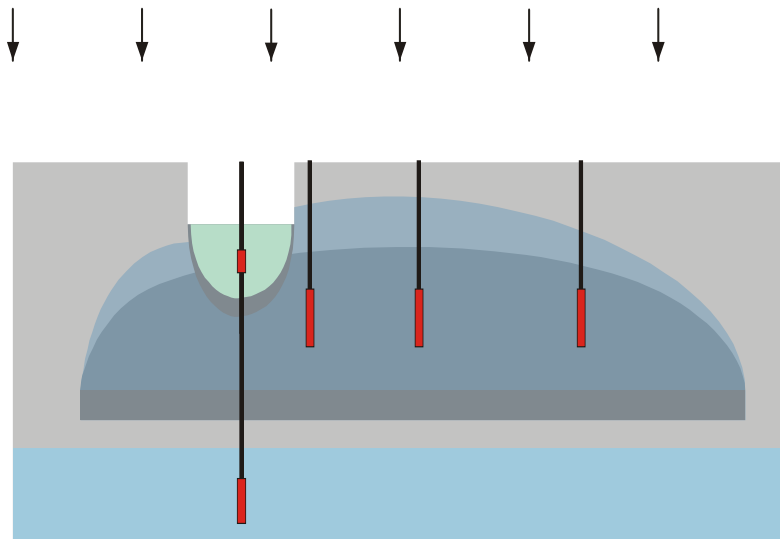
2 Methodiek

2.1 Hydrologische opbouw van vennen en veentjes en ontwerp meetnet

'Elke variabele in een systeem vereist een meting.....'

In figuur 4 wordt een schematische dwarsdoorsnede door een hypothetisch vensysteem getoond, dat als leidraad heeft gediend voor het ontwerpen van de meetnetten op de verschillende onderzoekslocaties. De dwarsdoorsnede laat een ven zien met een weerstandbiedende laag tussen het ven en het omringende lokale (schijn)grondwatersysteem, en een weerstandbiedende laag tussen het lokale en onderliggende regionale grondwatersysteem.

De hydrologische parameters die de dynamiek en uitwisseling van een dergelijk systeem bepalen zijn de bergingscoëfficiënt $S[-]$, de doorlatendheid van het topsysteem $K [LT^{-1}]$ en de weerstand van de weerstandbiedende lagen $c [T]$. In open water geldt $S=1$, in grond $0 < S < 1$. Voor vennen is S dus 1. In (deels) dichtgegroeide veentjes geldt $0 < S < 1$. In geheel of deels dichtgegroeide veentjes is er een weerstand c waarmee rekening gehouden moet worden. In de praktijk zal bovendien vaak sprake zijn van zogenaamde niet-lineariteit, veroorzaakt door het feit dat (grond)water soms wel over een weerstandbiedende laag heen stroomt, en soms niet. De genoemde grootheden worden nader beschouwd in bijlage A.



figuur 4. Schematische dwarsdoorsnede van een vensysteem, met daarin de locatie van de in te richten meetpunten. In grijs tinten zijn slechtdoorlatende lagen weergegeven, in blauw de grondwaterstand in verschillende situaties en in zwart de peilbuizen met in rood hun filters.

Wanneer van een systeem een model gemaakt dient te worden, is het aantal en de locatie van de meetpunten van groot belang om systeemgrootheden (parameters) goed te kunnen schatten. Elke parameter vereist een meting om de waarde ervan te kunnen schatten. Per definitie moet het aantal metingen gelijk zijn aan het aantal vrijheidsgraden of parameters in het model en bij voorkeur hoger om eventuele meetfouten te kunnen opsporen en de onzekerheid omtrent de parameterwaarden te kunnen kwantificeren en verminderen. De meetpunten moeten daarnaast onafhankelijke informatie opleveren, ofwel elk punt moet een ander aspect van het grondwatersysteem meten. Zo geven twee peilbuizen die elk op dezelfde afstand staan van de hydrologische rand van een systeem geen extra informatie (behalve dan over inhomogeniteiten en eventuele fouten in metingen en model). In een systeem dat voldoet aan de doorsnede uit figuur 4 zijn in ieder geval 5 meetpunten nodig, onder de aanname dat de begrenzing van de weerstandbiedende laag bekend is of vastgesteld kan worden met grondboringen:

1. Een meetpunt in het midden van het (schijn)grondwatersysteem. Wanneer de begrenzing van de weerstandbiedende laag bekend is én wanneer deze geheel ondoorlatend is, volgt hieruit direct de K-waarde van het topsysteem.
2. Een meetpunt op ongeveer een $\frac{1}{4}$ van de afstand vanaf de rand van het grondwatersysteem. Wanneer de weerstandbiedende laag niet geheel ondoorlatend is, is deze nodig om samen met punt 1) de c-waarde en dus de wegzijging te berekenen, onder aanname dat het systeem homogeen is.
3. Een meetpunt om het venpeil te meten
4. Een meetpunt vlak naast het ven, om daarmee de weerstand tussen het ven en het omringende lokale grondwater in te schatten
5. Een meetpunt onder de weerstandbiedende laag, om daarmee de invloed en stijghoogte van het regionale grondwater vast te kunnen stellen en zo ook de wegzijging te kunnen kwantificeren in combinatie met de gegevens uit 1 en 2.

In figuur 4 is getracht, het hoe en waarom hiervan schematisch weer te geven. De doorlatendheid van het topsysteem komt tot uitdrukking in de opbolling in het midden van het systeem. De wegzijging door de weerstandbiedende laag komt tot uitdrukking in een afvlakking van de opbolling van het grondwatersysteem (donkerblauw). De weerstand van het ven zelf komt tot uitdrukking in een sprong van de grondwaterstand direct naast het ven t.o.v. het venpeil zelf. Op de doorsnede die in figuur 4 getoond wordt, zijn natuurlijk allerlei variaties mogelijk, die al dan niet complexer of eenvoudiger zijn en navenant meer of minder metingen vergen. De beschreven situatie dient dan ook vooral als illustratie van de werkwijze waarop uiteindelijk in het veld de lokale meetnetten zijn ingericht, overigens vaak zonder dat de opbouw van het systeem op voorhand bekend was. Zowel bij de Pingo in het Gasselterveld als bij PoortII zijn later dan ook peilbuizen bijgeplaatst, toen het functioneren en de opbouw van die veentjes duidelijker was geworden.

Nota bene: we willen hier de indruk vermijden dat elke variabele noodzakelijkerwijs met behulp van peilbuizen en drukopnemers gekwantificeerd dient te worden. Er zijn wat dat betreft meerdere wegen die naar Rome leiden. Om een concreet voorbeeld te noemen: de c-waarde van een weerstandbiedende laag kan ook op verschillende puntlocaties gemeten worden, bijvoorbeeld met behulp van de door Van der Schaaf eerder in OBN-kader ontwikkelde kokermethode. Het voordeel van het gebruik van

peilbuizen is echter a) dat je direct meet aan de variabele waar het in feite om gaat, en b) dat de bodemopbouw in het algemeen ruimtelijk vaak erg heterogeen is qua ligging, dikte en hydrologische eigenschappen, en daarmee onzeker. De grondwaterstanddynamiek integreert deze ruimtelijke heterogeniteit en levert op zichzelf de meest 'harde' informatie. Om deze redenen geven we in eerste instantie de voorkeur aan peilbuizen en drukopnemers, omdat op die manier de hydrologische relevante parameters met meer nauwkeurigheid vastgesteld kunnen worden.

2.2 Geohydrologische dwarsprofielen

2.2.1 Inleiding

In de vorige paragraaf is de situatie behandeld van een hypothetisch ven of veentje in een grondwatersysteem met verschillende componenten. Om inzicht te krijgen in de werkelijke opbouw en het werkelijke functioneren van de onderzochte veentjes zijn zowel boorbeschrijvingen als (grond)waterpeilgegevens verzameld. Weergave van beide typen gegevens in een geohydrologisch dwarsprofiel (na correctie van de waterpeilen voor meteorologische variatie), kan een goed, kwalitatief beeld hiervan opleveren. Uit dit beeld kan bovendien ingeschat worden in hoeverre het systeem voldoet aan de veronderstellingen van het tijdreeksmodel dat toegepast zal worden op de gemeten waterpeilen.

2.2.2 Hoogtemetingen

De basis voor het maken van de dwarsprofielen wordt gevormd door de hoogte- c.q. diepteligging van alle objecten. In eerste instantie is de relatieve hoogte van alle peilbuizen en (grotendeels) de boorbeschrijvingen opgemeten met behulp van waterpassing. De hoogte van de bovenkant van de peilbuizen dient hierbij als referentie, omdat de maaiveldhoogte in hoogveen een slecht te definiëren grootheid is en omdat handmetingen altijd ten opzichte van bovenkant buis plaatsvinden. Via de bovenkant van de buis wordt de diepteligging van de filters afgeleid. Het uitwerken van de waterpassingen bleek veel tijd te kosten, vooral vanwege onduidelijkheden in de gegevensbestanden. Zo was vaak niet duidelijk welke hoogte precies opgemeten was (b.v. maaiveld of bovenkant buis), was niet altijd duidelijk vanuit welk standpunt welke meting gedaan was, en was er verwarring over het teken en de eenheid van de hoogte. Het maken en gebruiken van een eenvoudig standaardformulier (e.g. Excel) voor waterpassingsgegevens kan in de toekomst veel tijd besparen. Bij verschillende locaties zijn de relatieve hoogtes in de tweede instantie omgezet naar NAP-hoogtes. In Gasselte gebeurde dat door koppeling aan de hoogte van de peilbuizen van de Grontmij, in het Dwingelerveld en het Haaksbergerveen door koppeling aan die van Staatsbosbeheer. Alleen voor de Groote Heide heeft de omzetting naar NAP-hoogtes niet plaatsgevonden.

2.2.3 Boorbeschrijvingen

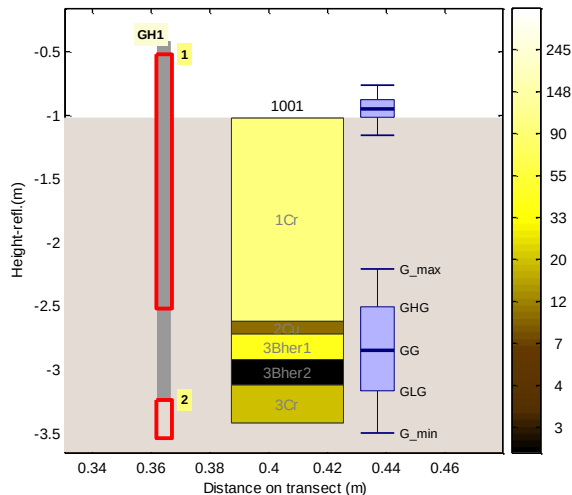
Bij alle venetjes en veentjes is een aantal boorbeschrijvingen gemaakt door Ebbing Kiestra (Alterra, team bodemgeografie). Binnen dit deelonderzoek zijn vooral de hydrologische eigenschappen van de verschillende bodemhorizonten van belang, naast het organische stofgehalte met het oog op eventuele

oxidatie en CO₂-productie. Bij elk boorprofiel zijn van alle horizonten de verschillende bodemfracties én de doorlatendheid K (cm/dag) op de hand ingeschat. Wanneer echter het organische stofgehalte in een bodemlaag meer dan 15% bedraagt, wordt geen lutum-fractie meer ingeschat. Dit omdat lutum en organische stof in dat geval niet meer op de hand uit elkaar te houden zijn. K wordt niet door elke bodemkarterder geschat en in kaart gebracht. Hydrologisch gezien is deze waarde echter zeer bruikbaar, omdat het een natuurlijke maat is die in zulke gevallen het effect van zowel lutum als fijn organisch materiaal kan combineren. Zelfs als de geschatte waarden in absolute zin onnauwkeurig zouden zijn, is de relatieve waarde toch relevant. We gebruiken in de dwarsprofielen dan ook de geschatte K als parameter om de verschillende bodemhorizonten in te kleuren (op log-schaal).

2.2.3 De 'grondwater-Box-plot'

Een van de kernvragen uit dit onderzoek is de vraag of de regionale grondwaterspiegel lokaal al dan niet (en hoe vaak) tot in de veenbasis reikt. Het onderzoeksdoel vanuit het OBN is natuurlijk niet het geohydrologisch functioneren zelf, maar het effect daarvan op het ecosysteem. Het in beeld brengen van de relatie tussen het regionale grondwater en de veenbasis is zo gezien een eerste stap naar het geven van een adequaat antwoord op de achterliggende vraag naar de ecologische effecten daarvan. Met dit doel voor ogen combineren we in de dwarsprofielen de gemaakte boorbeschrijvingen met de verzamelde grondwaterstands-informatie, dit laatste in de vorm van een aangepaste versie van de zogenaamde Box-plot, die we 'grondwater- of gBox-plot' dopen.

In de beschrijvende statistiek worden Box-plots (ook bekend onder de naam Box-Whisker-plot of -diagram) gebruikt als compacte, grafische weergave van de numerieke verdeling van verschillende groepen meetwaarden. Hiertoe worden vijf verschillende karakteristieken geplot: de kleinste meetwaarde (steekproef minimum), het onderste kwartiel (Q1), de mediaan (Q2), het bovenste kwartiel (Q3), en de hoogste meetwaarde (steekproef maximum). Eventueel worden sommige waarnemingen als 'uitbijter' geclassificeerd en als zodanig geplot. Verschillende box-plots naast elkaar laten op deze manier verschillen tussen populaties zien, zonder aannamen te maken over de onderliggende statistische verdeling: ze zijn niet-parametrisch. De ligging van de Box-plot geeft daarbij het niveau van de meetwaarden weer, terwijl de afstanden tussen de verschillende onderdelen de mate van spreiding en scheefheid in de data weerspiegelen.



figuur 5. Voorbeeld van een peilbuis met diepteligging van de filters, boorbeschrijving met horizont-code, en gBox-plot. De kleurschaal weerspiegelt de geschatte K-waarde (mm/dag) van de horizonten.

Een probleem bij het toepassen van eenvoudige beschrijvende statistiek op (al dan niet hydrologische) tijdreeksen, is dat de waarnemingen daarvan vaak onderling afhankelijk zijn. Er is vaak sprake van autocorrelatie, ofwel correlatie tussen individuele metingen op verschillende tijdstippen, en jaarlijkse of andere periodiciteiten. Om dit bezwaar te ondervangen en tegelijkertijd de sterke punten van de Box-plot te behouden, kiezen we er hier voor om de kwartielen en mediaan van de metingen te vervangen door parameters die de jaarfluctuatie van de grondwaterstand in beeld brengen, te weten respectievelijk de gemiddeld laagste, gemiddelde, en gemiddeld hoogste grondwaterstanden (ofwel de GLG, GG en GHG, naar (Van der Sluijs en De Gruijter, 1985)). Deze keuze is enigszins pragmatisch, omdat GxG-waarden in feite niet alleen de jaarfluctuatie weerspiegelen maar deels ook de extremen (Von Asmuth en Knotters, 2004). We kiezen hier toch voor GxG-waarden, vanwege de algemene toepassing daarvan. Een voorbeeld van een dergelijke gBox-plot is gegeven in figuur 5. Te zien is dat de veenbasis (code 3Bher2) hier in een gemiddeld jaar droog valt.

Naast autocorrelatie kunnen tijdreeksen ook een sterke afhankelijkheid of correlatie met andere factoren hebben, bijvoorbeeld het weer. Omdat de weersomstandigheden niet alleen van dag tot dag variëren, maar ook van jaar tot jaar, geeft een meetreeks met een beperkte lengte ook maar beperkt zicht op de omstandigheden over een langere periode, die een betere afspiegeling van het heersende klimaat zou vormen. Om dit probleem op te lossen, maken we voor de gBox-plot gebruik van een tijdreeksmodel om de gemeten standen te corrigeren voor de meteorologische omstandigheden in de meetperiode (zie paragraaf 3.1). Hoewel de gBox-plot zelf nog steeds non-parametrisch is, zijn de onderliggende data dat niet meer vanwege de tussenkomst van het tijdreeksmodel.

2.3 Modelleren van de dynamiek van peilen en fluxen

Zoals gezegd dienen de geohydrologische dwarsprofielen om van elk van de onderzochte veentjes een goed, beschrijvend beeld te krijgen van hun hydrologisch functioneren en relaties met de omgeving. Om deze relaties te kunnen kwantificeren is inzet van een model nodig. We kiezen hier voor inzet van een tijdreeks- en niet zozeer een ruimtelijk model, om de volgende redenen:

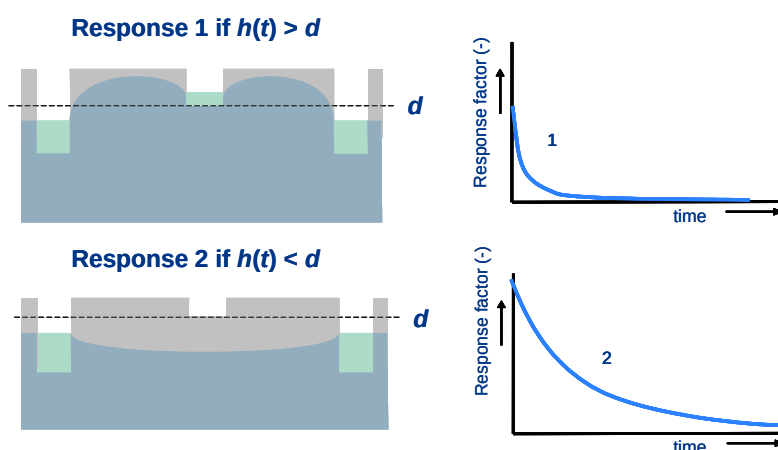
- 1) Tijdreeksmodellen met drempelovergangen zijn gebaseerd op fysische processen. Ze berekenen de verschillende fluxen in een systeem (neerslag, verdamping en wegzijging, met name de laatste wordt in dit onderzoek gevraagd). Het gebruikte modeltype heeft het nadeel dat het niet direct in staat is een ruimtelijke differentiatie in de fluxen aan te brengen.
- 2) De onderzoeksvraag richt zich specifiek op de interacties tussen verschillende onderdelen van een hydrologisch systeem, en tijdreeksanalyse sluit daar als methodiek goed bij aan. Dit in tegenstelling tot metingen van bijvoorbeeld de weerstand op puntlocaties, waarbij zich het probleem voordoet dat extrapolatie van puntschaal naar gebiedsschaal tot onzekerheden leidt. Tijdreeksanalyse levert direct schattingen met een regionale betekenis op die goed te koppelen zijn aan ruimtelijke hydrologische modellen.
- 3) Ruimtelijke modellen bevatten een groot aantal expliciete en impliciete parameters. De hydrologische opbouw van de veentjes is weliswaar in beeld gebracht met behulp van de geohydrologische dwarsprofielen, maar dan alleen nog in grote lijnen en beschrijvend. Parameters als doorlatendheden en bergingscoëfficiënten zijn zonder heel veel laboratoriumwerk of veldwerk alleen met een ruwe schatting te benaderen.
- 4) Vanwege de complexiteit en de vele aannames in ruimtelijke modellen is vaak niet goed duidelijk waarom modelsimulaties afwijken van meetreeksen. Vanwege de eenvoud en de beperkte set aannames is de interpretatie bij tijdreeksmodellen vaak wel relatief eenvoudig.

We kiezen hier dus voor gebruik van een tijdreeksmodel met drempelovergangen. De term 'lineair' wil zeggen dat de reactie op bijvoorbeeld een regenbui altijd dezelfde is, onafhankelijk van de (grond)waterstand. Wanneer er echter een sloot of ontwateringsmiddel droogvalt of water periodiek oppervlakkig afstroomt, klopt deze aanname niet en is het gedrag van het systeem daarmee niet-lineair. Dit type gedrag wordt drempel niet-lineariteit genoemd, en komt veel voor in natte (natuur)gebieden. Ook Van der Schaaf (2005) constateert dergelijk gedrag bij zijn onderzoek in het Wierdense veld. Hij ontwierp en gebruikte de zogenaamde overloopmethode om waterverliezen door wegzijging en de verticale weerstand tussen veen en het onderliggende zand te kwantificeren. Het principe is dat nettoverliezen als gevolg van wegzijging en zijdelings transport van grondwater kunnen worden geschat op basis van neerslag en verdamping over een periode dat afvoer via oppervlaktewater naar verwachting niet optreedt. De verdamping wordt daarbij gelijkgesteld aan de referentieverdamping.

Uitgangspunt is een te kiezen waterstand die in de loop van het voorjaar wordt bereikt en vervolgens onderschreden en waarbij andere afvoer dan verdamping, wegzijging en laterale afvoer via het grondwater afwezig wordt

verondersteld. De meetperiode is die, waarin de gekozen waterstand onderschreden blijft tot aan het tijdstip, waarop deze weer wordt bereikt en vervolgens overschreden. Indien in de periode van onderschrijding geen andere afvoer dan verdamping is opgetreden, moet de som van neerslag en verdamping, opgevat als negatieve neerslag, nul zijn. Is de som positief, dan is meer neerslag nodig dan de absolute waarde van de verdamping om de waterverliezen in de meetperiode te compenseren en zijn deze dus groter dan door de verdamping is verklaard. Als men de verliezen geheel aan wegzijging kan toeschrijven, is deze daarmee gekwantificeerd. Met behulp van het stijghoogteverschil tussen veen en onderliggend zand is dan tevens de verticale weerstand tussen beide te berekenen.

De overloophmethode van Van der Schaaf komt dus in feite neer op het berekenen van een waterbalans over de periode dat een veentje niet overloopt. Het belangrijkste verschil tussen die methode en de inzet van een tijdreeksmodel met drempelovergangen is dat de laatste de fluxen en waterbalans over elke tijdstap berekent. Zo gezien is zo'n tijdreeksmodel dus een generalisatie van de overloophmethode (de waterbalans in een dergelijk model klopt immers over elke willekeurige periode, dus ook over de niet-overloop-periode). Deze benadering c.q. generalisatie heeft een aantal voordelen. Zo hoeven grondwaterstandsreeksen bij de tijdreeksmodelbenadering niet in stukken te worden geknipt, wordt de wegzijging dus direct over de hele meetperiode geschat en wordt bovendien de dynamiek ervan in beeld gebracht. Omdat de parameters uit het model bovendien integraal en in samenhang geschat worden, hoeft een modelleur geen aannames te doen over parameters als de verdampingsfactor en het overloophniveau. Een ander voordeel is dat bij een tijdreeksmodel ook de modelfouten, correlaties en onzekerheden in beeld worden gebracht. Als laatste is een dergelijk model beter in staat om bij de berekening van lekverliezen in willekeurige situaties c.q. het algemeen, ook de standen die zijn opgetreden in de gebruikte niet-overloop-periode te verdisconteren. Bij lagere standen is de wegzijging immers minder, dus in verschillende niet-overloop-periodes kan ook de wegzijging verschillen.



figuur 6. Principe van een tijdreeksmodel met drempel niet-lineariteit. Onder een bepaalde (grond)waterstand vallen ondiepe drainage middelen droog, wat gemodelleerd wordt door over te schakelen op een andere responsfunctie.

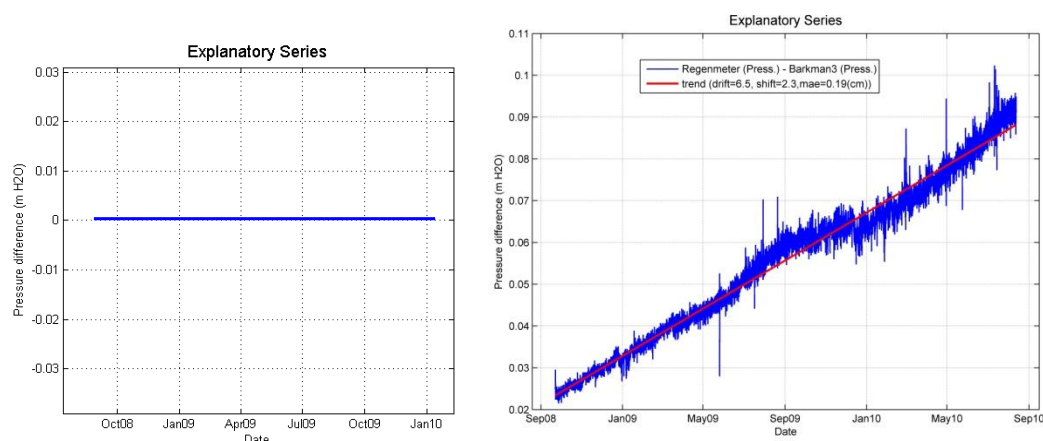
Een oplossing voor het omgaan met niet-lineariteit als gevolg van drempels binnen de tijdreeksanalyse wordt gegeven door (Knotters en De Gooijer, 1999; Berendrecht et al., 2004). Beide methoden zijn in essentie identiek. Beneden een bepaalde (grond)waterstand vallen ondiepe

ontwateringsmiddelen droog, wat gemodelleerd wordt door over te schakelen op een andere responsfunctie (zie figuur 6). Omdat de hydrologie én de gemeten reeksen daarvoor aanleiding geven, zullen we ook hier gebruik maken van een tijdreeksmodel met drempelovergangen, weliswaar op onderdelen aangepast en verbeterd (zie von Asmuth et al., in prep.). De basisvergelijkingen van het model worden toegelicht in bijlage A.

3 Validatie en correctie van de meetreeksen

3.1 Een ongeluk bij een ongeluk

Soms heb je geluk bij een ongeluk, een andere keer lijkt wel de wet van Murphy op te gaan. Hier is het spreekwoordelijke ongeluk een kleine dwaling bij het veldwerk, namelijk het feit dat één van de drukopnemers in het Barkmansveen (buis BM3) abusievelijk droog is komen te hangen. Tijdens het veldwerk leek water ter plekke bovenop de keileem te stagneren. Misschien dat het boorgat deels is ingestort en het filter te hoog geplaatst is, maar misschien ook is het opgeboorde zand abusievelijk als verzadigd bestempeld. Hoe het ook zij, de druksensor in de regenmeter op zo'n 10 meter afstand van buis BM3 was bedoeld voor de barometrische compensatie van alle drukopnemers, dus de beschreven dwaling resulteerde in twee luchtdruksensoren vlak bij elkaar. De 'droge' drukopnemerreeks BM3 ging weliswaar gewoon mee in de daaropvolgende ronde van barometrische compensatie..... maar helaas, de gemaakte rekensom (luchtdruk min luchtdruk) leverde niet de verwachte ideale nullijn op met eventueel wat ruis. Er bleek sprake van een lineair oplopende afwijking, die na +/- 2 jaar is opgelopen tot 6.5 cm, met constante verschuiving van 2.3 cm (figuur 7).

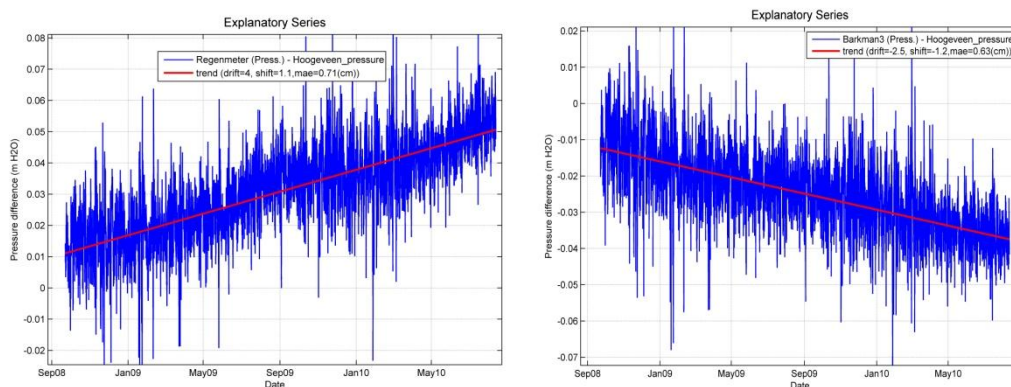


figuur 7. a) verschil tussen luchtdruk en luchtdruk van twee ideale, lokale druksensoren en b) zoals gemeten in de drooghangende drukopnemer in buis BM3 en de lokale regenmeter in het Dwingelerveld.

3.2 Hulp van een sterke, oudere broer.....het KNMI

Als jongste uit een gezin van vijf weet ik uit ervaring hoe goed het kan zijn om een sterke, oudere broer achter de hand te hebben. De eerste gedachte

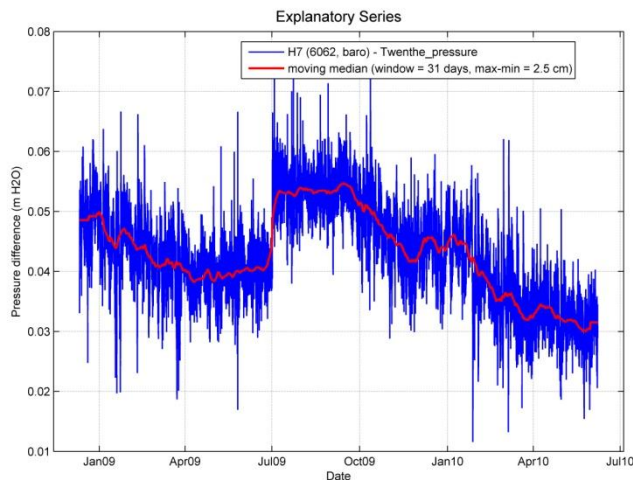
was natuurlijk dat een van beide druksensoren defect was, maar het was de vraag welke. Het toeval wilde dat vlak na het hierboven beschreven voorval, 'plots' de luchtdrukgegevens van alle KNMI-hoofdstations vrij beschikbaar kwamen op internet. Dit allereerst op dagbasis, maar ruim een jaar later ook op uurbasis. Zonder ons al te diep in de meettechniek te verdiepen mag verwacht worden dat het KNMI langer ervaring heeft met het meten van luchtdrukken, en beter instrumentarium daarvoor gebruikt. Op de KNMI-site zijn voor al haar stations lijsten te vinden waarop vermeld staat van wanneer tot wanneer welk type meetinstrument ter plekke gebruikt is. In het verleden ging het daarbij meestal om verschillende typen barografen en kwikbarometers, van meer recente datum is het gebruik van digitale, aneroïde barometers (waarbij de meting berust op het indrukken van een vacuüm metalen doosje). Voor de meest recente reeksen (vanaf begin jaren negentig) is slechts te vinden dat de luchtdrukgegevens berusten op een 'elektrische meting'. Overigens is op de website bovendien te vinden dat het KNMI ook beschikt over zogenaamde microbarometers, die in een array worden geplaatst en waarmee zelfs de oorsprong en oorzaak van minieme luchtdrukveranderingen opgespoord kunnen worden (bijvoorbeeld veroorzaakt door kernproeven).



figuur 8. De luchtdrukmetingen van de regenmeter en drukopnemer in buis BM3 vergeleken met die van het dichtstbijzijnde KNMI-station (Hoogeveen, 14 km afstand), op uurbasis. De geconstateerde drifts van resp. 4 en 2.5 cm tellen perfect op tot de geconstateerde drift van 6.5 cm uit figuur 7. Het zelfde geldt voor de geconstateerde nulpuntsverschuiving of shift.

Het KNMI geeft op haar website ook als tip dat 'amateurs' de eigen barometer kunnen ijken aan die van hen, en dat is precies de strategie die hierna gevolgd is om uit te zoeken welk van de twee druksensoren verantwoordelijk is voor de geconstateerde afwijking. Het resultaat van een vergelijking tussen elk van beide sensoren en het dichtstbijzijnde KNMI-station Hoogeveen is te zien in figuur 8. Helaas leidde deze exercitie tot de conclusie dat niet één, maar beide druksensoren een afwijking hebben, en wel een die in tegengestelde richting oploopt in de tijd. De op deze manier geconstateerde individuele drifts van resp. 4 en 2.5 cm tellen bovendien perfect op tot de geconstateerde drift van 6.5 cm in beide drukopnemers ten opzichte van elkaar, en hetzelfde geldt voor de geconstateerde nulpuntsverschuiving of shift. Overigens is door het vergelijken van figuur 7 en figuur 8 ook goed te zien dat de 'ruis' ofwel 'korte termijn verschillen' tussen de lokale drukreeksen en die van het KNMI-station op 14 kilometer afstand, veel groter zijn (MAE = 0.71 en 0.63 cm) dan die tussen de lokale metingen onderling (MAE = 0.19 cm). Een en ander laat wel mooi zien dat de fouten en afwijkingen waarmee drukopnemers behept zijn goed in beeld te brengen (en dus ook te corrigeren) zijn via vergelijking met KNMI-data. Meer over de fouten en

afwijkingen in drukopnemerdata (er blijken maar liefst 8 verschillende typen afwijkingen te bestaan) is te vinden in (Von Asmuth, 2010).



figuur 9. Luchtdrukreeks uit het Haaksbergerveen, vergeleken met die van KNMI-station Twenthe. De rode lijn toont een lopende mediaan van het verschil.

3.3 Correctie luchtdruk a.d.h.v. KNMI-gegevens

Vanwege de geconstateerde problematiek zijn de verschillende luchtdrukreeksen bij alle onderzoekslocaties vergeleken met die van het dichtstbijzijnde KNMI-station. De gebruikte apparatuur is deels afkomstig van de firma Keller, en deels van Schlumberger, en met name de divers van Schlumberger bleken ook temperatuurgerelateerde afwijkingen te hebben. Figuur 9 laat de afwijking zien van droge diver in het Haaksbergerveen, waarin daarbij ook sprake lijkt te zijn van een sprong in de meetwaarden na de uitleesronde in juli 2009. Door Van der Schaaf (medeauteur) zijn over dit probleem omstreeks 2005 correspondentie en gesprekken gevoerd met de producent. Deze laatste stelde dat als gevolg van de mechanische constructie van de Diver de temperatuursensor vertraagd reageert op uitwendige temperatuurveranderingen. Dat zou leiden tot een tijdelijke onjuiste temperatuurcompensatie van de druksensor en dus tot een tijdelijke afwijking in de registratie. Figuur 6 suggereert echter een meer permanente afwijking. Omdat dit soort afwijkingen niet met een simpele lineaire trend gecorrigeerd kan worden, is hier gebruikt gemaakt van een lopende mediaan. Figuren van alle luchtdrukreeksen die de afwijkingen en correcties tonen zijn te vinden in bijlage B. Hieronder staan de toegepaste correcties samengevat voor de verschillende onderzoekslocaties:

o **Pingo**

- Aanwezig zijn een regenmeter, een Barodiver én een grotendeels drooghangende Diver van de Grontmij.
- De reeks van de regenmeter begint in februari 2010 plots zeer sterk af te wijken, waarna ook nog eens de klok het begeeft en de reeks daarna niet meer te gebruiken is.
- De reeks van de Barodiver vertoont een sterke temperatuurfout.
- Er is zo goed mogelijk een optimale luchtdrukreeks samengesteld uit de beschikbare reeksen:
 - o Regenmeter, gecorrigeerd voor drift (4.7 cm)

- o De Barodiver 44363, mediaancorrectie (max-min = 4 cm)
- o De drooghangende Diver 1730, gecorrigeerd voor drift (2.1 cm)
- o **Poort II en Barkmansveen**
 - Aanwezig zijn een regenmeter en een droge drukopnemer, beide met een drift.
 - Barkman 3 is gecorrigeerd voor drift (2.5 cm) en gebruikt voor de barometrische compensatie.
- o **Groene Plas**
 - Aanwezig zijn een regenmeter en twee droge Divers.
 - De reeks van de regenmeter begint na december 2009 plots zeer sterk af te wijken, waarna hij na februari 2010 in het geheel niet meer uit te lezen is.
 - De reeks van de droge Diver 19886 begint na maart 2010 plots zeer sterk af te wijken
 - De reeks van de droge Diver 6062 is gebruikt, met een mediaancorrectie (max-min = 2.5 cm)
- o **Ronde Vlaas**
 - Aanwezig is een regenmeter, deze vertoont als enige nauwelijks problemen.

Andere tegenslagen:

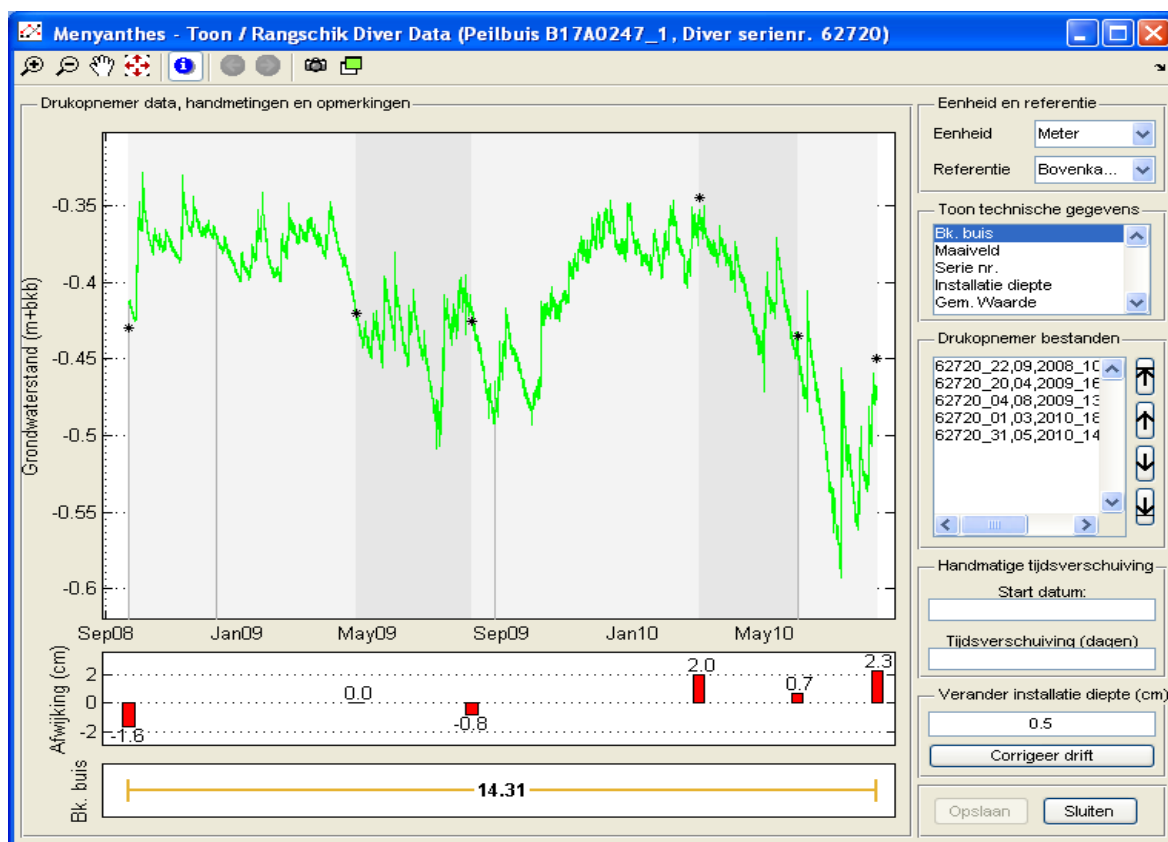
- De regenmeter bij het Barkmansveen bleek vanaf het begin geen regen te meten.
- De regenmeter bij de Groote Heide heeft een tijdlang vol water gestaan. De oorzaak van de verstopping is niet gevonden.
- Buis 1 in het Haaksbergerveen is bij de tweede uitleesronde niet meer teruggevonden, ondanks terugzoeken van de coördinaten met GPS. Mogelijk is hij door vandalen met drukopnemer en al uit de grond getrokken.
- Diver 19894 in het Haaksbergerveen bleek defect. Staatsbosbeheer is zo vriendelijk geweest deze te vervangen door een eigen, nieuwe diver (8305).
- Drukopnemer 62733 bij de Groote Heide bleek bij de laatste uitleesronde niet meer uit te lezen.

In augustus 2010 zijn de defecte regenmeters in zowel het Dwingelerveld als het Haaksbergerveen verwijderd. In het Dwingelerveld en Gieten zijn bovendien extra droge drukopnemers bijgeplaatst.

3.4 Correctie waterdruk a.d.h.v. handmetingen

In de vorige paragraaf is beschreven hoe de afwijkingen in de luchtdrukreeksen zijn gecorrigeerd. Op basis daarvan zijn uiteindelijk voor alle onderzoekslocaties betrouwbare, locale luchtdrukreeksen verkregen. Omdat een deel van de afwijkingen van drukopnemers temperatuur gerelateerd is, en meetapparatuur sowieso gebaat is bij de stabiele omstandigheden en temperatuur van grondwater, verwachten we met het corrigeren van de luchtdrukreeksen het grootste probleem getackeld te hebben. Bij elke peilbuis zijn bij elke uitleesronde echter ook handmetingen van de grondwaterstand gedaan, op basis waarvan de (grond)waterdrukreeksen gevalideerd en eventueel gecorrigeerd kunnen worden. Bij veel peilbuizen bleken de

handmetingen veel beter aan te sluiten bij de (grond)waterdrukreeksen na de beschreven correcties. Een voorbeeld van een drukopnemerreeks met handwaarnemingen wordt gegeven in figuur 14. Figuren van alle waterdrukreeksen met handwaarnemingen zijn te vinden in bijlage C.



figuur 10. Voorbeeld de match tussen handmetingen (zwarte stippen) en de (grond)waterdrukreeks (groen) voor peilbuis B17A0247. De verschillen (rode balkjes) wijzen op een drift van 3 tot 4 cm in drukopnemer 62720.

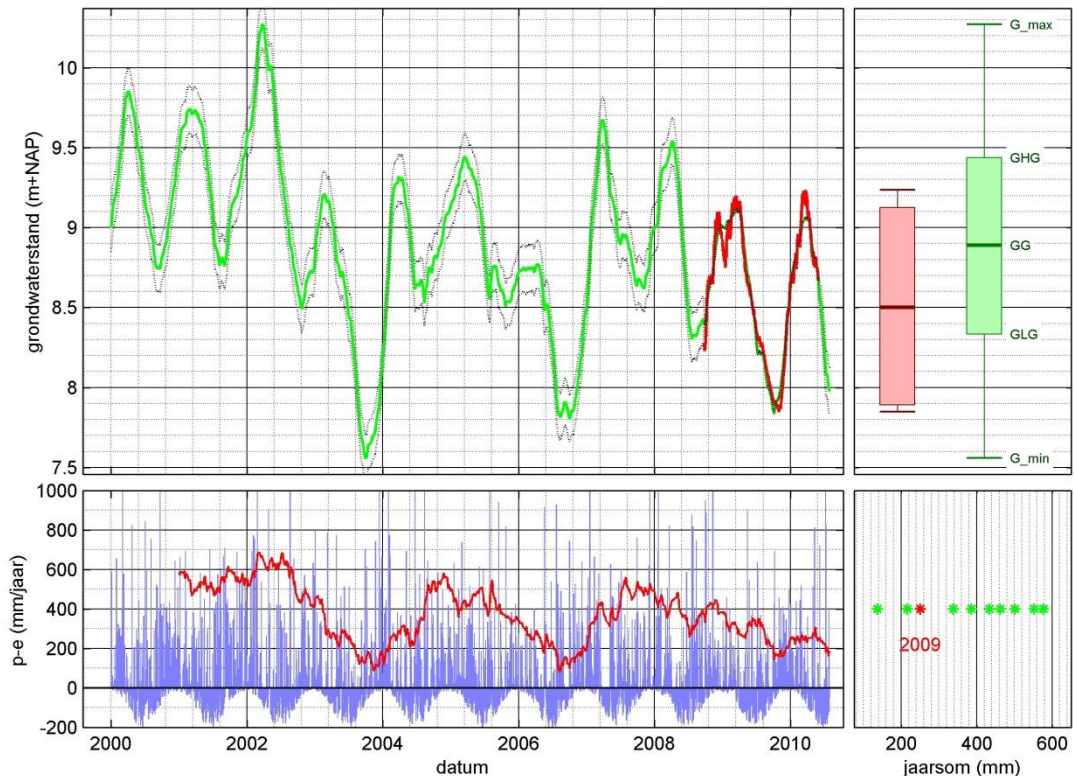
3.5 'Correctie' van (grond)waterstanden voor meteorologische variatie

In peilbuizen die specifiek ingericht worden voor een onderzoek als dit, worden noodzakelijkerwijs slechts over een beperkte periode meetgegevens verzameld. Zoals in paragraaf 2.2.4 ook al aangestipt werd, zullen de grondwaterstanden (gemiddelden en/of extremen) in relatief natte jaren logischerwijze hoger zijn dan in relatief droge jaren. Ecosystemen, en zeker de (hoog)venen en veentjes die zich over lange periodes vormen, moeten echter aangepast zijn aan de omstandigheden over langere periodes. Voor een goed beeld van de landschappelijke c.q. abiotische en biotische relaties, is dus ook een goed beeld van de abiotische omstandigheden over een lange periode nodig. Het feit dat extremen per definitie zeldzaam zijn, en een vaak meer dan evenredig effect hebben op de fitheid van organismen en samenstelling van ecosystemen, versterkt dit principe nog eens.

Om de relatief korte meetreeksen te corrigeren voor de meteorologische omstandigheden in de meetperiode, en zo een betere weerspiegeling te

krijgen van de langjarige dynamiek, zetten we de volgende stappen (Knotters & Van Walsum, 1997):

- 1) Naast de verzamelde (grond)waterstandsreeksen wordt ook informatie over de weersomstandigheden verzameld (met neerslag en verdamping als belangrijkste factoren). In dit onderzoek zijn omwille van de nauwkeurigheid eigen regenmeters geplaatst, maar tegenwoordig zijn meteogegevens ook relatief eenvoudig op te vragen op de KNMI website (zie <http://www.knmi.nl/klimatologie/>).
- 2) De relatie tussen en neerslag en verdamping, en (grond)waterstanden wordt geschat door de zogenaamde impulsresponsfunctie te schatten, die de reactie op een eenheidshoeveelheid neerslag of verdamping weergeeft (Von Asmuth et al., 2002). Wanneer de respons van een grondwatersysteem niet constant is maar afhangt van de (grond)waterstand, bijvoorbeeld in geval van het 'overlopen' van het veentje (Van der Schaaf, 2005), wordt een tijdreeksmodel met drempelovergangen gebruikt (zie paragraaf 2.1).
- 3) Met behulp van deze relatie en van informatie over neerslag en verdamping worden (grond)waterstanden gesimuleerd over een langere periode die beter representatief is voor de heersende klimatologische omstandigheden. Voor 'klimaatsrepresentatief' wordt doorgaans een periode van dertig jaar gehanteerd. Ook hier kiezen we hier enigszins pragmatisch voor een periode van niet 30 maar 10 jaar, omdat de term 'klimaatsrepresentatief' een constant klimaat veronderstelt, wat tegenwoordig vanuit het oogpunt van klimaatverandering niet meer houdbaar lijkt.
- 4) Uit de gesimuleerde reeksen worden vervolgens de langjarige dynamiek en extremen afgeleid.
In het voorbeeld dat uitgewerkt is in figuur 11 is goed te zien dat de grondwaterstanden in de onderzoeksperiode lager zijn dan gemiddeld, samenhangend met het lagere neerslagoverschot. Wat bijvoorbeeld opvalt, is dat het neerslagoverschot meer dan drie keer zo groot kan zijn als dat van het droogste jaar. De gemeten en geschatte extremen verdienen hier bijzondere aandacht, om twee redenen:



figuur 11. Illustratie van het corrigeren van de gemeten grondwaterstanden in peilbuis Barkman1 voor meteorologische variatie. De grafiek linksboven toont de meetreeks (rood), en gesimuleerde standen (groen). De gBoxplots rechts vatten de gemeten en geschatte dynamiek over de jaren 2000 tot 2010 samen. De grafiek linksonder geeft het dagelijkse neerslagoverschot (blauw, neergeschaald met factor 10) en het lopend jaargemiddelde weer (rood). In de grafiek rechtsonder is te zien dat het jaar 2009 het op twee na droogste jaar in deze periode is.

- 1) Extremen, ofwel de mini- en maxima in een set meetwaarden, nemen normaliter toe met het aantal metingen dan wel de lengte van een meetreeks. Dit in tegenstelling tot andere karakteristieken van een verdeling, die alleen nauwkeuriger worden.
- 2) Punt 1) impliceert bovendien dat het tijdreeksmodel de grondwaterstand extrapoleert naar omstandigheden die niet in de meetperiode voorkwamen. Wanneer het grondwatersysteem lineair is en de geschatte responsfunctie betrouwbaar, zullen ook de geschatte extremen betrouwbaar zijn. Met name bij hoge grondwaterstanden kunnen echter relatief makkelijk andere processen een rol gaan spelen, bijvoorbeeld wanneer de geëxtrapoleerde grondwaterstanden boven maaiveld uitkomen. In werkelijkheid zal dan inundatie optreden, en zullen de werkelijke peilen lager liggen dan de geschatte. Hoeveel lager is echter zonder aanvullende informatie over oppervlakkige afvoermogelijkheden niet goed te voorspellen.

4 Resultaten meetnet en dwarsprofielen

4.1 Pingoruïne (Gasselterveld / Gieten)

In de boswachterij Gieten is één veentje uitgekozen als onderzoekslocatie, en wel een voormalige pingoruïne (xy-coördinaten = [245279 553088]). De vegetatie in dit veentje wordt voor het grootste deel gedomineerd door hoge pollen pijpenstrootje. Er zijn enkele veenputjes en ergens halverwege loopt een ondiepe greppel, zoals in figuur 12 te zien is.

In het veentje zelf zijn op een drietal dieptes peilbuizen geplaatst (0.15, 0.75 en 2.45m onder maaiveld). De peilbuizen hebben een filterlengte van 20 cm, en zijn voorzien van een automatische drukopnemer van de firma Keller.

Middenin het veentje is een regenmeter van het "tipping bucket" type geplaatst. De regenmeter bevat een datalogger die het aantal kantelingen van de "bucket", en daarmee het tijdsinterval per eenheid van neerslag registreert. De datalogger heeft bovendien een (lucht)druksensor die kan dienen voor barometrische compensatie van de overige drukopnemers.

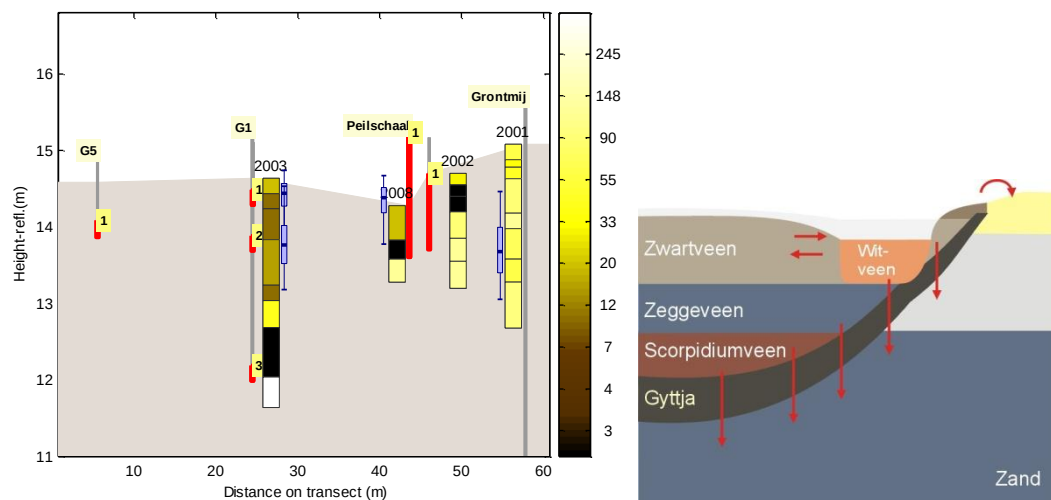


figuur 12. Luchtfoto van de pingoruïne in de boswachterij Gieten, met daarop de locatie van de peilbuizen (witte labels) en boorbeschrijvingen (lichtgele labels). De rode lijn geeft de ligging van het transect uit figuur 13 weer.

In een transect vanuit het midden van het veen naar het bos op de hogere wal ten noorden van het veentje zijn vijf bodemprofielen beschreven (zie

bijlage C). Profiel nr. 2003 bevindt zich in de buurt van de peilbuizen, een tweetal (2001 en 2002) op de rand van het veentje waar ook twee door de Grontmij geplaatste peilbuizen aanwezig zijn. Een vierde profiel (2004) bevindt zich in de bosrand en de laatste (2005) wat dieper in het bos. In de buurt van die laatste plek is bovendien een vierde peilbuis (G4) geplaatst met een filter op 1,62 m – maaiveld. Verder bevindt zich aan de rand van de pingoruïne een peilschaal met drukopnemer, die ook door de Grontmij wordt opgenomen, en is in 2010 een aanvullende peilbuis geplaatst (G5), om beter zicht te krijgen op de laterale verschillen in stijghoogte. Naar aanleiding van problemen met deze regenmeter is bovendien in augustus 2010 een extra 'droge' drukopnemer bijgeplaatst bij buis G4.

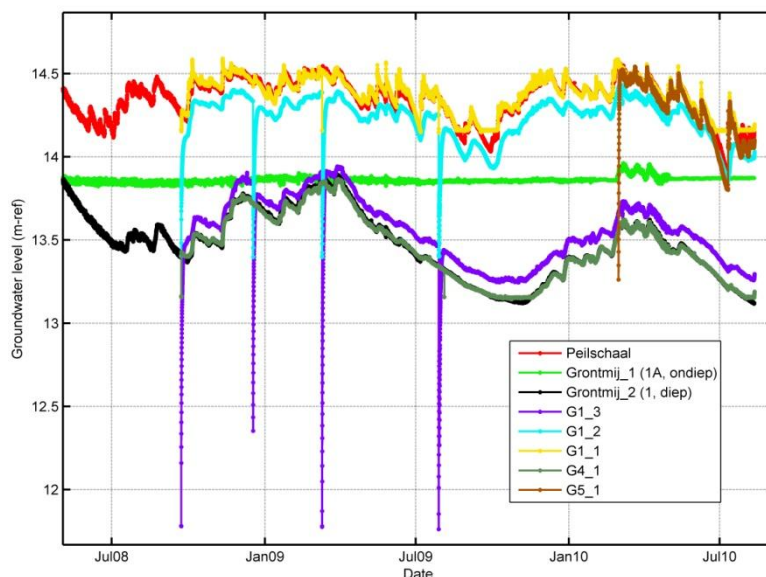
De diepteligging van de peilbuizen t.o.v. elkaar en t.o.v. de verschillende bodemhorizonten is weergegeven in figuur 13. De bodemhorizonten zijn ingekleurd op basis van de in het veld op de hand geschatte verzadigde doorlatendheid of K-waarde. De laag die duidelijk de grootste weerstand heeft in de figuur is de gyttja-laag. De maaiveldhoogtes van bodemprofielen 2001 t/m 2003 en 2005 zijn gelijkgesteld aan die van de dichtstbijzijnde peilbuizen, wat waarschijnlijk niet helemaal correct is. Filter G1_3 lijkt wellicht hierdoor net door de onderste gyttja-laag te steken. Dat dit in werkelijkheid niet het geval is, getuigt de trage reactie van de stijghoogte op het leegpompen van de buis (zie figuur 14, de meetfrequentie is 1 waarneming of punt per uur). Van profielbeschrijving 2004 is geen maaiveldhoogte bekend, dus deze is niet opgenomen in figuur 13.



figuur 13. Transect vanuit het midden van de pingo naar de rand met links peilbuizen, gBox-plots (van peilbuis G1 alleen filter 1 en 3) en boorbeschrijvingen (de kleur weerspiegelt de K-waarde (mm/dag)). Rechts een interpretatie van de bodemopbouw met minimale en maximale stijghoogte (resp. donker- en lichtblauw).

Figuur 14 toont de tijdstijghoogtelijnen die resulteren na het uitlezen en barometrisch compenseren van de drukopnemers en het vergelijken van de gemeten standen met de handmetingen. Een deel van de buizen valt periodiek droog, de ondiepe Grontmij buis zelfs bijna permanent. De 'droge' metingen zijn hier (nog) niet uit de reeks verwijderd. Opvallend is een aantal plotselinge sterke maar kortstondige dalingen in reeksen G1_2, G1_3 en G5 en in lichte mate ook in G1_1. Op één na corresponderen deze dalingen exact met de datums waarop de peilbuizen zijn leeggepompt ten behoeve van het waterkwaliteitsdeel van dit onderzoek. Alleen de eerste 'daling' volgend op het

plaatsen van de buis, is niet hieraan toe te schrijven, maar wordt veroorzaakt door een vergelijkbaar effect. Ook toen is met de uitgeboorde grond water afgevoerd uit het boorgat. Het feit dat de peilbuizen maar langzaam weer vollopen, geeft aan dat het water ter plekke kennelijk een grote weerstand ondervindt. Verder valt aan de stijghoogtes en het dwarsprofiel af te lezen dat de veenbasis van de pingoruïne (waarvan de veen/gyttja lagen een totale dikte hebben van 2.60 m (boring 2003) permanent in het regionale grondwater hangt.



figuur 14. Tijdstijghoogtelijnen van de peilbuizen in en rond de pingoruïne. Opvallend is een aantal sterke, kortstondige dalingen. De reeksen van de Grontmij lopen terug tot 2004.

4.2 Poort II (Lheebroekerzand / Dwingelerveld)

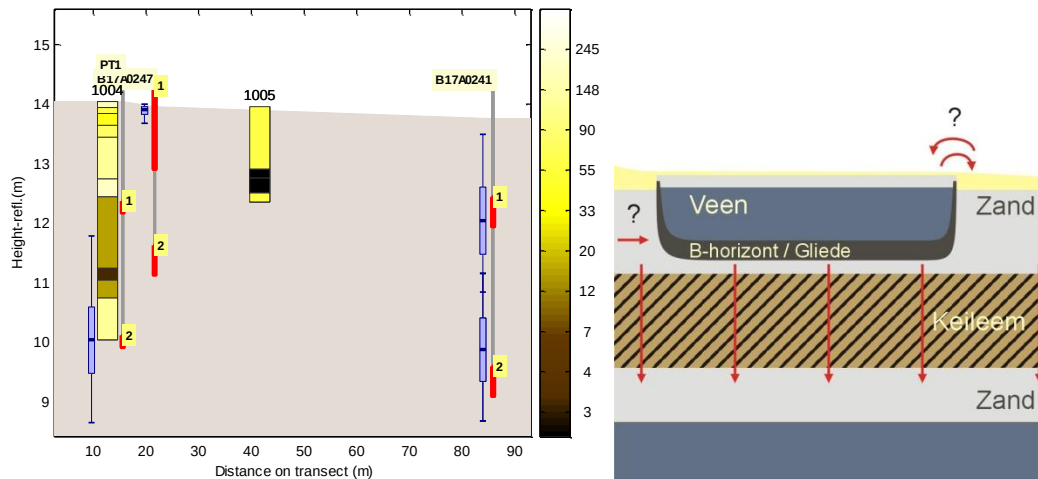
In het Dwingelerveld zijn twee veentjes uitgekozen als onderzoekslocatie, en wel het zogenaamde Poort II (xy-coördinaten = [225449 538505]) en het Barkmansveen (xy-coördinaten = [225821 537829]). In tegenstelling tot de in de vorige paragraaf beschreven pingoruïne, bevindt zich rond beide veentjes in het Dwingelerveld keileem, dat door haar slechte doorlatendheid waarschijnlijk een belangrijke rol speelt in de hydrologie. Beide veentjes zijn ook veel minder diep (veenbasis op 1 a 1,5 meter – maaiveld), nagenoeg volledig dichtgegroeid en hebben een mooi ontwikkelde, open vegetatie met veel veenmos.



figuur 15. Luchtfoto van Poort II in het Lheebroekerzand, met daarop de locatie van de peilbuizen (witte labels) en boorbeschrijvingen (lichtgele labels). De rode lijn geeft de ligging van het transect uit figuur 10 weer.

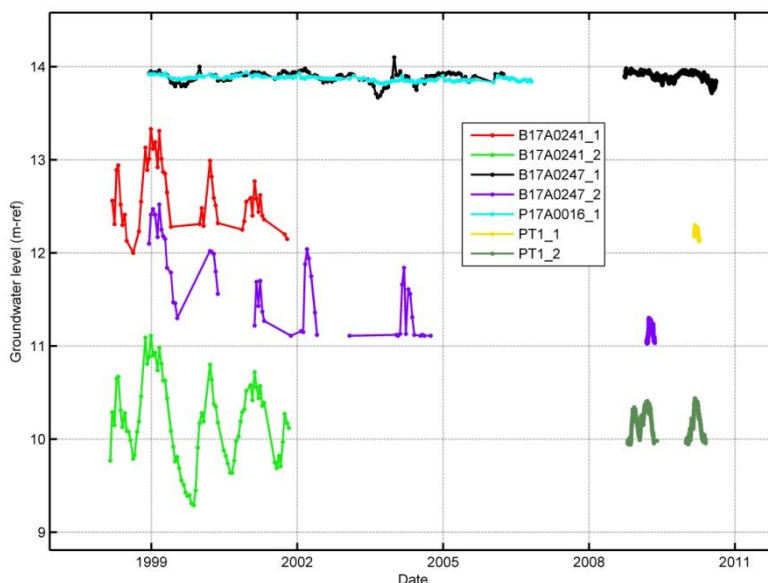
Bij veentje Poort II bevindt zich een groepje peilbuizen van Staatsbosbeheer, te vinden in de nationale database DINO onder de code B17A0247. Van deze buizen is er één over de gehele lengte geperforeerd (tot 1.05 m diep) en heeft er één een filter (bovenkant) op 2.33 m – maaiveld. Daarnaast bleek in DINO ook nog een peilschaal en een peilbuis net ten noordoosten van Poort II aanwezig, met gegevens tot resp. 2007 en 2002. Deze laatste peilbuis met code B17A0241 is ook in het veld teruggevonden, maar lijkt niet meer operationeel.

Bij Poort II is voor dit onderzoek één extra peilbuis geplaatst (PT1), en wel net naast het eigenlijke veentje met een filter (bovenkant) net onder de keileem, op 3.93 m – maaiveld. In 2010 is op deze plek bovendien een extra buis bijgeplaatst, net boven de keileem op 1.67 m – maaiveld. Dit om beter zicht te krijgen op de stijghoogtes c.q. eventueel stagnerend water bovenop de keileem en daarmee onder de veenbasis. De twee Staatsbosbeheer- en de nieuw geplaatste buizen zijn voorzien van een drukopnemer. Voor informatie over de neerslag en luchtdruk wordt gebruik gemaakt van de regenmeter die bij het nabijgelegen Barkmansveen is geplaatst.



figuur 16: Transect over PoortII met links peilbuizen, gBox-plots (voor zover de reeksen voldoende waarnemingen bevatten) en boorbeschrijvingen (de kleur weerspiegelt de K-waarde (mm/dag)). Rechts een interpretatie van de bodemopbouw met minimale en maximale stijghoogte (resp. donker- en lichtblauw).

Zowel bij buis PT1 als in het veentje is een profielbeschrijving gemaakt (1004 en 1005). Figuur 16 toont de diepteligging van de peilbuizen t.o.v. elkaar en t.o.v. de verschillende bodemhorizonten. Opvallend, maar naar het schijnt niet toevallig, is dat de verkitten B-horizont en glijdelaa van boring 1005 vlak boven de keileem beginnen.



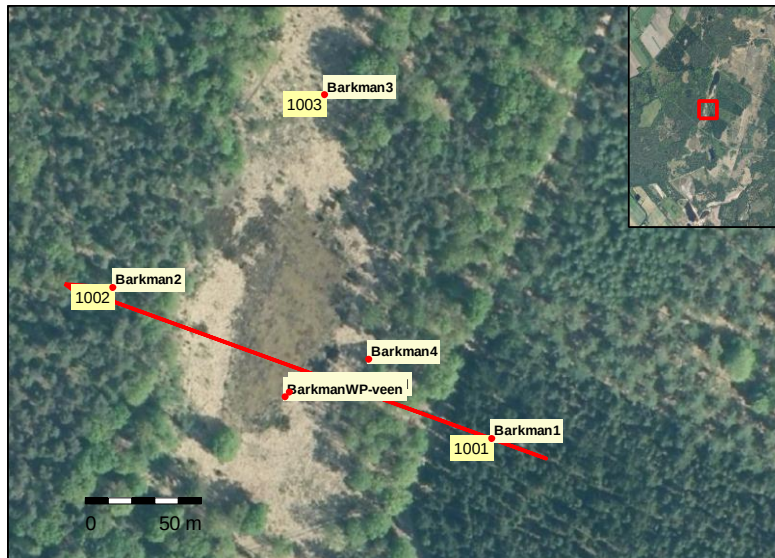
figuur 17. Tijdstijghoogtelijnen van de peilbuizen en peilschaal P17A0016-1 rond Poort II, deels afkomstig uit DINO. Vier van de peilbuizen vallen periodiek droog.

In figuur 17 zijn de tijdstijghoogtelijnen van de peilbuizen en peilschaal rond Poort II te zien. Deze zijn deels afkomstig uit DINO, voor een ander deel komen ze voort uit de geplaatste drukopnemers, na het barometrisch compenseren van de meetreeksen en het ophangen aan de handmetingen. Peilbuisfilter PT1-2 blijkt periodiek droog te vallen, en had kennelijk dieper geplaatst moeten worden. Peilbuisfilter B17A0241_2 die iets dieper ligt, valt

niet droog en laat vergelijkbare standen zien. Ook peilbuis B17A0247 filter 2, en peilbuis B17A0241 filter 1 vallen droog. Beide filters bevinden zich echter (waarschijnlijk) in of boven de keileem, zodat dieper plaatsen hier niet dezelfde en niet perse betere informatie op zou leveren. Deze filters geven in ieder geval een beeld van de stijghoogte op verschillende dieptes in de keileem, en daarmee van het periodiek stagneren van water erbovenop. Als we de verkitte B-horizont uit boring 1005 als hydrologische basis beschouwen (en even de term veenbasis vermijden vanwege het lage percentage organische stof), dan begint deze op +/- 12.50 m + NAP. Uit het dwarsprofiel en de gBox-plot van peilbuisfilter B17A0241_1 blijkt dat de hydrologische basis van Poort II periodiek wel en niet in het (grond)water staat. Ten tijde van het zetten van boring 1005 (april 2008, relatief nat) was het materiaal onder de hydrologische basis in ieder geval droog. Opvallend is ook dat de waterstanden bij peilschaal P17A0016 constanter zijn dan die bij buis B17A0241_1. Mogelijk is de bergingscoëfficiënt c.q. veenstructuur hier anders. In ieder geval is de horizontale doorlatendheid van het topsysteem kennelijk niet groot genoeg om de verschillen snel te vereffenen. Het verschil in bergingscoëfficiënt betekent ook dat er horizontale stroming of herverdeling van water plaats zal vinden.

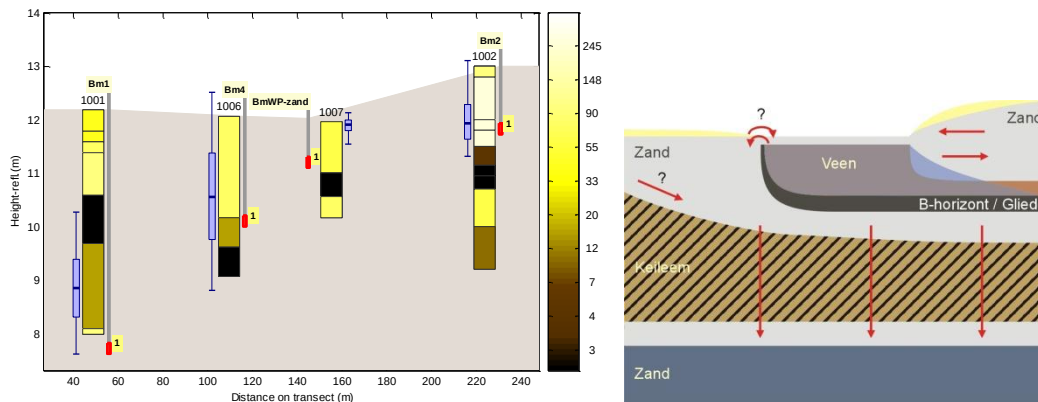
4.3 Barkmansveen (Lheebroekerzand / Dwingelerveld)

Het Barkmansveen is gekozen als tweede onderzoekslocatie in het Dwingelerveld. Ook rond dit veentje is keileem aangetroffen, en wel op variabele dieptes. In en rond het Barkmansveen is een vijftal peilbuizen geplaatst: een 'diepe' buis onder de keileem ten zuidoosten van het veen (filter op 4.37 m – maaiveld), een middeldiepe ten oosten ervan (1.86 m – mv), eentje in een zandruggetje in het veen zelf, en eentje ten westen van het veen (1.07 m – mv). Ten noorden is vlak boven de keileem ook een peilbuis geplaatst (Barkman(BM) 3), maar deze peilbuis heeft sindsdien droog gestaan. De ligging van de peilbuizen is weergegeven in figuur 18. Vlak naast BM3 is een regenmeter met (lucht)druksensor geïnstalleerd. Naar aanleiding van problemen met deze regenmeter is in augustus 2010 een extra 'droge' drukopnemer bijgeplaatst bij buis BM3.



figuur 18: Luchtfoto van het Barkmansveen, met daarop de locatie van de peilbuizen (witte labels) en boorbeschrijvingen (lichtgele labels). De rode lijn geeft de ligging van het transect uit figuur 19 weer.

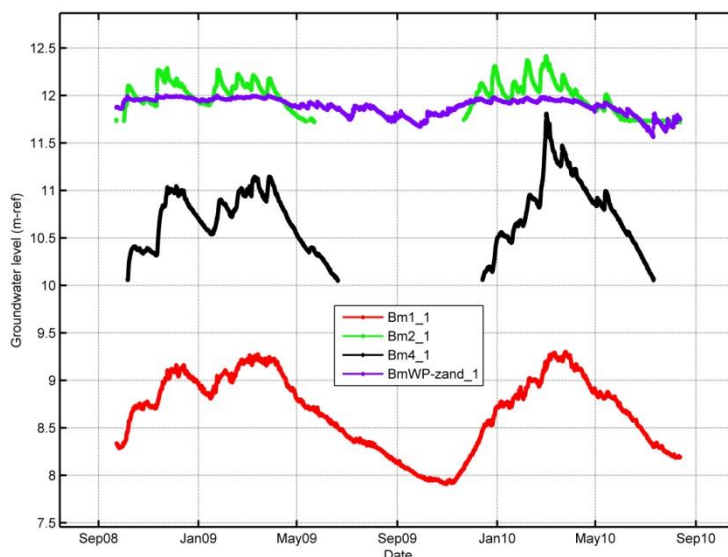
Bij drie van de peilbuizen is ook een profielbeschrijving gemaakt (1001 t/m 1003). Figuur 19 toont de diepteligging van de peilbuizen t.o.v. elkaar en de verschillende bodemhorizonten. Buis BM2 staat waarschijnlijk in een overstoven deel van het oorspronkelijke veen. Onder buis BMWP-zand ligt op +/- dezelfde hoogte een slechtdoorlatende gliedelaag.



figuur 19: Transect over het Barkmansveen met links peilbuizen, gBox-plots en boorbeschrijvingen (de kleur weerspiegelt de K-waarde (mm/dag)). Rechts een interpretatie van de bodemopbouw met minimale en maximale stijghoogte (resp. donker- en lichtblauw).

Figuur 20 toont de tijdstijghoogtelijnen van de peilbuizen in en rond het Barkmansveen, zoals ze resulteren uit dit onderzoek. Peilbuizen BM 2 en 4 vallen periodiek droog, en BM3 zelfs permanent. Laatstgenoemde buis is daarom niet weergegeven in de figuur, maar het is in feite deze drukopnemer die gebruikt is voor de barometrische compensatie na problemen met de regenmeter. De situatie bij buis BM4 is interessant. Het filter van deze buis is net boven de keileem geplaatst, terwijl de keileem hier enigszins naar beneden duikt. Er blijkt bij buis BM4 geregeld water te staan, tot in de hydrologische basis van het Barkmansveen en daarboven. Het is dus duidelijk dat er periodiek water bovenop de keileem stagneert. Omdat de keileem hier

echter een geul vormt (zie paragraaf 1.1), is het ook goed mogelijk dat er periodiek water naar en door deze geul toestroomt vanuit hogere delen, zodat de geul periodiek nog steeds als een soort wadi of 'begraven rivier' fungeert. Een belangrijke aanwijzing hiervoor is de piek in voorjaar 2010, die zelfs bijna het peil in het veentje zelf bereikt. Zowel de andere buizen als tijdreeksmodellen laten deze piek niet zien, wat betekent dat er sprake is van een sterk niet-lineair effect (waaraan periodieke toestrooming over de keileem zou voldoen). Een andere aanwijzing is dat er sporadisch water blijkt te stromen tussen het Barkmansveen en het Zandveen, het volgende veentje 'stroomafwaarts'. De waarnemingen sluiten ook mooi aan bij de eerdere beschrijving door Grootjans et al. (2003) van de ligging van de veentjes in een geulenstelsel in de keileem in het Dwingelerveld. Een belangrijke deelvraag uit dit onderzoek is de vraag hoe het regionale grondwater niet alleen kwantitatief maar ook kwalitatief het water in het veen kan beïnvloeden. De gBox-plot uit figuur 19 van buis BM4 geeft aan dat het grondwater hier niet zozeer van onderaf de kwaliteit van het veenwater beïnvloedt (wat bij een permanent neergaande waterstroom fysisch ook moeilijk te verklaren zou zijn), maar gewoon periodiek van bovenaf er in kan lopen, wat in feite voorjaar 2010 ook al (bijna) gebeurde. Overigens zal het werkelijke maximale peil ter plekke van buis BM4 niet veel hoger zijn dan het maaiveld, doordat dan water over maaiveld zijdelings zal wegstromen.



figuur 20. Tijdstijghoogtelijnen van de peilbuizen in en rond het Barkmansveen. Twee peilbuizen vallen periodiek droog, een derde permanent (Barkman-3, niet getoond).

Het grondwater ter hoogte van buis Barkman 2 heeft gemiddeld gezien +/- hetzelfde niveau als het waterpeil in het veentje zelf, wat overeenkomt met de verwachting. Door (in ieder geval) de lagere bergingscoëfficiënt zijn de fluctuaties ter plekke echter groter. Hierdoor zal er periodiek water naar het veentje toe stromen, dan wel (veen)water infiltreren in het zandlichaam. Uit het feit dat Barkman 2 droogvalt, kan men concluderen dat de infiltratie vanuit het veen in de zomer kleiner is dan de verdamping.

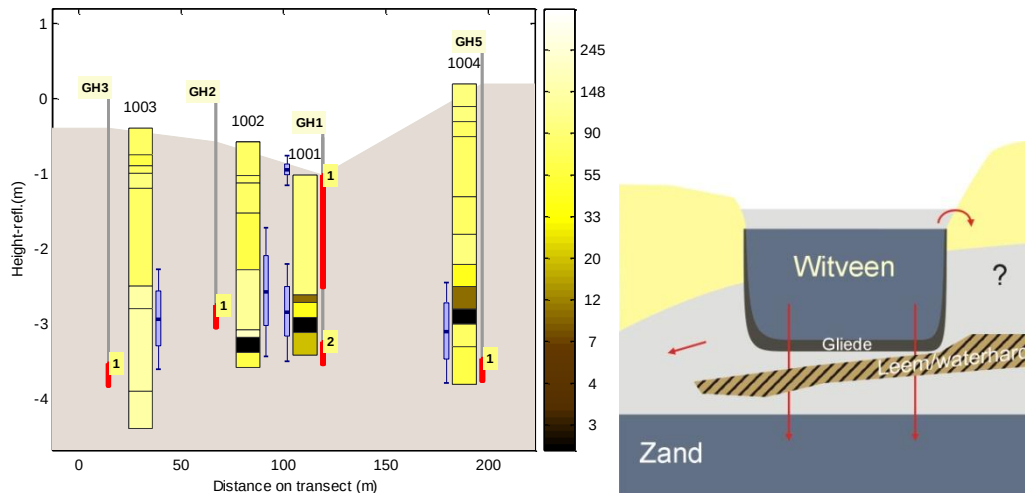
4.4 Ronde Vlaas (Groote Heide / Leende)

In het zuiden des lands nabij Leende is het veentje Ronde Vlaas (xy-coördinaten = [164262 373648]) uitgekozen als onderzoekslocatie. Ook rond dit veentje is leem aangetroffen. Het betreft hier weliswaar geen keileem (het zuiden van het land is nooit bedekt geweest met landijs), maar lössleembandjes en leem van fluviatiele oorsprong. Tot bijna aan de rand van de Ronde Vlaas groeit hoog opgaand bos, terwijl de andere veentjes wat vrijer liggen. De vegetatie in het veentje zelf is ook heterogener dan die van de andere veentjes. Er groeit deels struikgewas, deels een open veen(mos)vegetatie, maar een deel van het veentje bestaat nog uit open water.



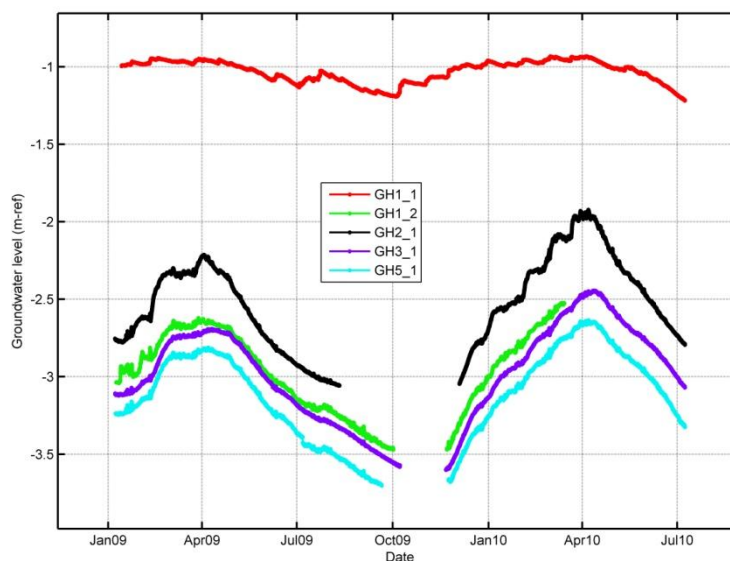
figuur 21. Luchtfoto van de Ronde Vlaas, met daarop de locatie van de peilbuizen (witte labels) en boorbeschrijvingen (lichtgele labels). De rode lijn geeft de ligging van het transect uit figuur 22.

In en rond de Ronde Vlaas is een viertal peilbuizen geplaatst, op verschillende dieptes (figuur 22): een 'diepe' buis aan de zuidoost rand van het veentje onder de aangetroffen leemlaag (filter op 3.66m – maaiveld), een buis in het veentje zelf met een volledig geperforeerd filter tot 1.50m – maaiveld en een filter onder de veenbasis op 2.22 – maaiveld, een buis aan de noordwest rand van het veentje met een filter juist boven de leemlaag (filter op 2.17 – maaiveld), en een buis ook aan de noordwest kant, maar wat verder op in het bos, met een filter op 3.13 – maaiveld. Op deze plek is geen leem aangetroffen. De ligging van de peilbuizen is weergegeven in figuur 21. In het midden van het veentje is bovendien een regenmeter met (lucht)druksensor geïnstalleerd. Bij alle peilbuizen is een profielbeschrijving gemaakt (1001 t/m 1004).



figuur 22. Transect over de Ronde Vlaas met links peilbuizen, gBox-plots en boorbeschrijvingen (de kleur weerspiegelt de K-waarde (mm/dag). Rechts een interpretatie van de bodemopbouw met minimale en maximale stijghoogte (resp. donker- en lichtblauw). De hoogtes zijn gebaseerd op waterpassing en niet gerelateerd aan NAP.

Figuur 22 toont de diepteligging van de peilbuizen t.o.v. elkaar en de verschillende bodemhorizonten. De bodemopbouw rond dit veentje blijkt complex te zijn. In boring 1002 en 1004 is een dikkere leemband (+/- 20 cm) aangetroffen, die in boring 1001 en 1003 niet teruggevonden is.



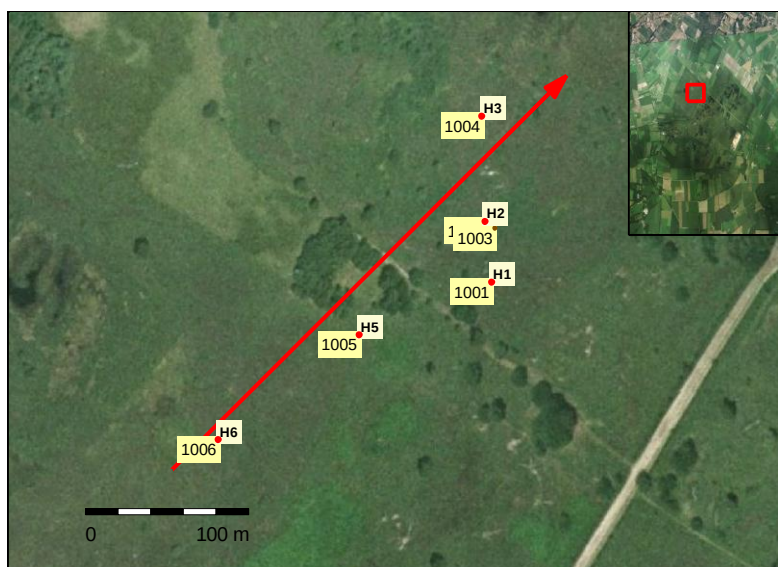
figuur 23. Tijdstijghoogtelijnen van de peilbuizen in en rond de Ronde Vlaas.

Figuur 23 toont de tijdstijghoogtelijnen van de peilbuizen in en rond de Ronde Vlaas. Op de ondiepe buis in het veentje zelf na vallen alle peilbuisfilters periodiek droog. De peilbuisfilters GH1_2 GH3_1 en GH5 hadden achteraf gezien beter dieper geplaatst kunnen worden. Buis GH5_1, die een filter in ieder geval onder de dikkere leemband heeft, laat de laagste stijghoogtes zien. De stijghoogtes bij GH1_2 en GH3_1 komen onderling aardig overeen, maar zijn zo'n 10 cm hoger dan die van GH5. Eventueel zou bij deze boringen een leemband (niet aangetroffen) op iets grotere diepte kunnen zitten, of in ieder geval lijkt er sprake van enige weerstand tussen de filters.

Dat is in ieder geval duidelijk tussen buis GH2 en GH3, omdat wel zeker is dat zich onder filter GH2 een leemlaag bevindt en de stijghoogte daar hoger ligt.

4.5 Groene Plas (Haaksbergerveen)

Als voorbeeld van een veentje dat onderdeel is van een veel groter complex van hoogveenrestanten, is de Groene Plas in het Haaksbergerveen uitgekozen (xy-coördinaten = [250037 46172]). Dit veentje heeft door deze positie een heel ander karakter dan de andere veentjes, die sterker geïsoleerd zijn van hun omgeving en nagenoeg alleen verticale stroming kennen. De Groene Plas bevindt zich in een laagte aan de rand van het eigenlijke, hoger gelegen veencomplex, tegen een zandrug aan (voor een meer gedetailleerde beschrijving zie de landschapsanalyse, Baaijens et al., 2011).

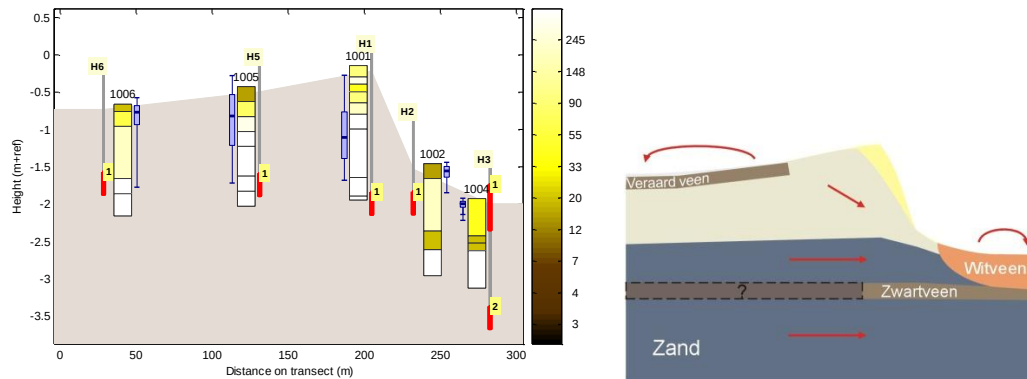


figuur 24: Luchtfoto van de Groene Plas, met daarop de locatie van de peilbuizen (witte labels) en boorbeschrijvingen (lichtgele labels). De rode lijn geeft de ligging van het transect uit figuur 25.

In een transect vanuit het hogere plateau, over de zandrug naar de Groene Plas toe is een zestal peilbuizen geplaatst, op verschillende dieptes (figuur 25): buis H6, H5 en H1 op het plateau met filters op resp. 0.84, 1.09, 1.62m – maaiveld, buis H2 aan de rand van het veentje (filter op 0.3m – maaiveld), en buis H3 met een diep en ondiep filter (op resp. 1.37 en 0.27m – maaiveld), waarbij de eerste zich onder de veenbasis bevindt. De ligging van de peilbuizen is weergegeven in figuur 24. In de laagte ten westen van de Groene Plas is bovendien een regenmeter met (lucht)druksensor geïnstalleerd. Bij alle peilbuizen is ook een profielbeschrijving gemaakt (1001 t/m 1006). Figuur 25 toont de diepteligging van de peilbuizen t.o.v. elkaar en de verschillende bodemhorizonten. Een aantal punten in dit dwarsprofiel valt op:

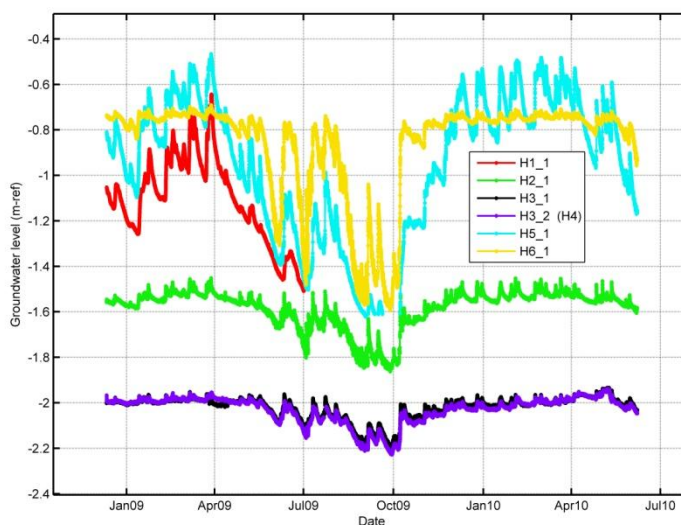
- 1) Er blijkt in de Groene Plas een overstoven veenlaag aanwezig te zijn, die daar de veenbasis vormt. Het is de vraag of deze laag ook doorloopt onder het plateau.

- 2) De genoemde veenlaag is ter plekke van de Groene Plas gliedeachtig, maar is doorlatender dan de veenbasis in de andere veentjes, en isoleert de Groene Plas dus minder.
- 3) Waar het waterpeil in de andere veentjes boven de grondwaterstand in nabije omgeving lag, ligt het hier juist lager. Het lijkt dan ook waarschijnlijk dat de Groene Plas wateraanvoer krijgt vanuit het hogere plateau.



figuur 25. Transect vanuit het plateau naar de Groene Plas met links peilbuizen, gBox-plots en boorbeschrijvingen (de kleur weerspiegelt de K-waarde (mm/dag). Rechts een interpretatie van de bodemopbouw met minimale en maximale stijghoogte (resp. donker- en lichtblauw). De hoogtes zijn gebaseerd op waterpassing en niet gerelateerd aan NAP.

Figuur 26 toont de tijdstijghoogtelijnen van de peilbuizen in en rond de Groene Plas, zoals ze resulteren uit dit onderzoek. Buis H1 is na de eerste uitleesronde helaas niet meer teruggevonden. Vermoedelijk is de buis met drukopnemer en al uit de grond getrokken. Opvallend is dat het stijghoogtepatroon in het diepe filter van buis H3 nagenoeg hetzelfde is als dat van het ondiepe filter. Omdat er wel weerstand is tussen beide filters (de overstoven veenlaag, blijkend uit de boorbeschrijving), houdt dit ofwel in dat de diepe peilbuis lekt, ofwel dat er vrijwel alleen sprake is van horizontale stroming.

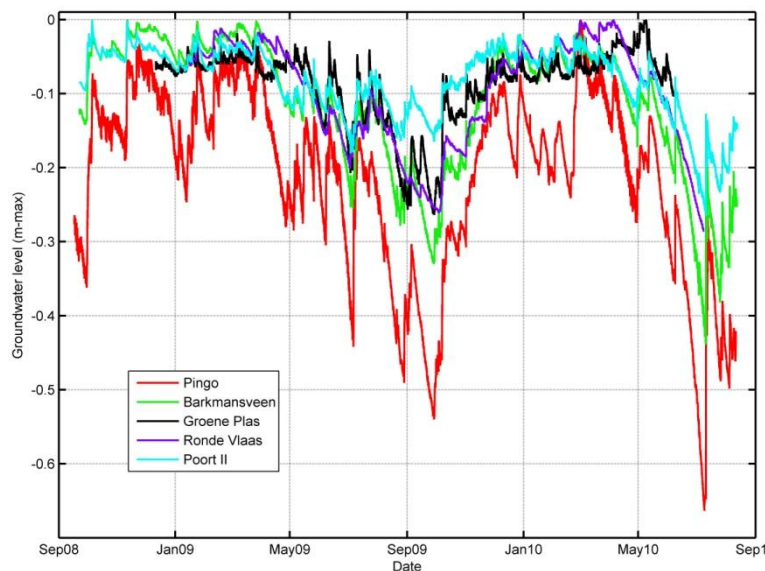


figuur 26. Tijdstijghoogtelijnen van de peilbuizen in en rond de Groene Plas. Buis H1 is na de eerste uitleesronde niet teruggevonden.

5 Resultaten analyse en modellering

5.1 Visuele analyse

Zonder dat we nog met modellen en dergelijke aan de slag gaan, is het illustratief om eenvoudig weg te beginnen met het vergelijken van de gemeten dynamiek c.q. omstandigheden in de onderzochte veentjes. Figuur 27 toont de gemeten waterpeilen in de veentjes t.o.v. hun maximale waarde. Direct valt op dat in de pingoruïne nabij Gieten het waterpeil het verste wegzakt (max – min = 66 cm), terwijl Poort II qua peil het meest stabiel is (max – min = 26 cm). De andere veentjes zitten daar tussenin (Barkmansveen 44 cm, Ronde Vlaas 30 cm). Vanwege het ontbreken van recente gegevens uit de Groene Plas ontbreekt daar ook de minimale stand, maar deze lijkt in de buurt van die van de Ronde Vlaas te liggen. Als je goed kijkt zie je dat het peil in de Groene Plas later dan de andere vier begint te zakken, maar dan wel sneller. Dit is onder andere op te maken uit het feit dat het peil in de Groene Plas zowel in mei 2009 als 2010 relatief het hoogste staat van alle veentjes, maar in de zomer van 2009 uiteindelijk ongeveer even diep uitkomt als de Ronde Vlaas. Aan de reeksen zelf is nog wel meer te zien, bijvoorbeeld dat in de 'natte toestand' het peil van Poort II doorgaans sneller zakt dan dat van het Barkmansveen, terwijl dat in de 'droge toestand' andersom is. Wanneer het tijdreeksmodel de peilen goed weet te beschrijven, zou het ook een verklaring moeten geven voor de beschreven verschillen.

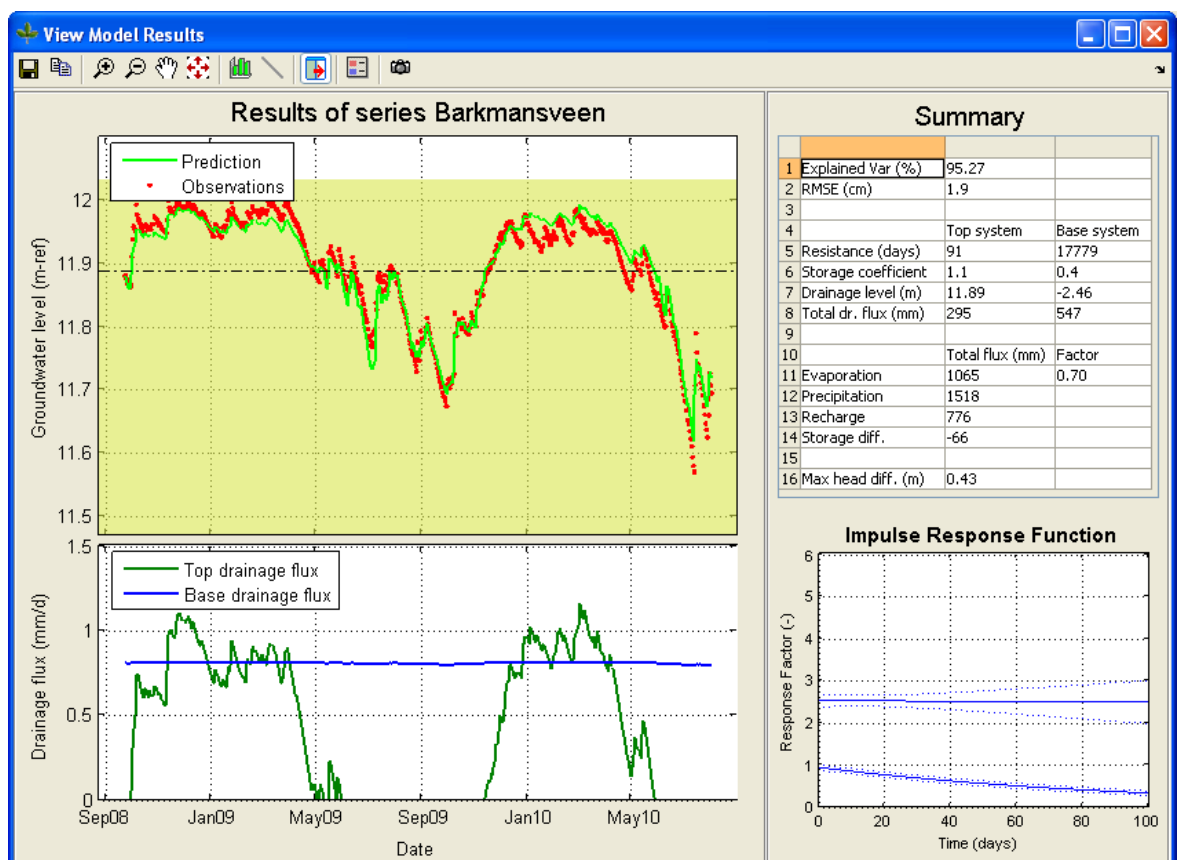


figuur 27. Waterpeilen in de vijf geselecteerde veentjes, ten opzichte van hun maximum.

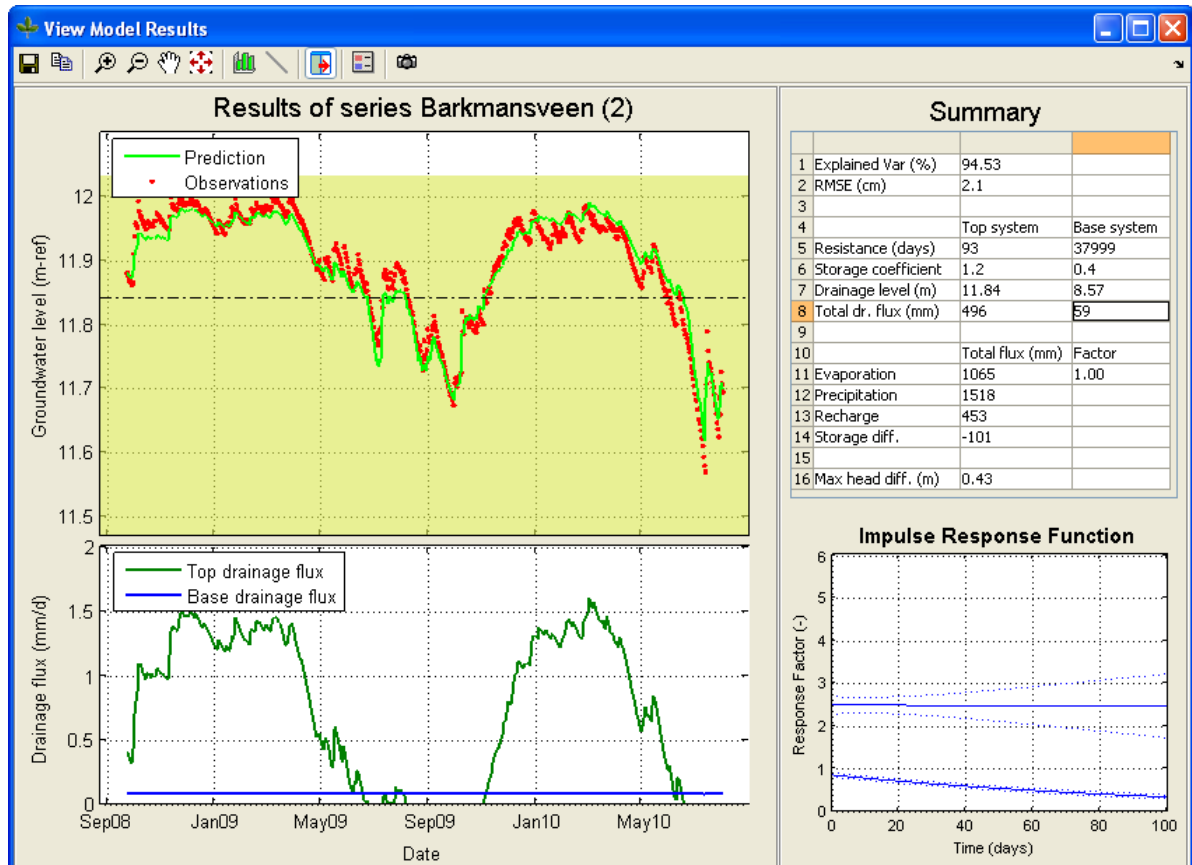
5.2 Tijdreeksanalyse en modellering

Het is vanwege problemen met de meetapparatuur en het in dienst treden van de eerste auteur bij de TU Delft per 1-10-2010 niet gelukt om de modellering van de veenpeilreeksen volledig en bevredigend af te ronden. Dit dienstverband betreft de afronding van een promotieonderzoek, in het kader waarvan de modellering van de veentjes inhoudelijk verder opgepakt en uitgewerkt zal worden. Met enige voorzichtigheid kan uit de vingeroefeningen die gedaan zijn al wel een aantal conclusies getrokken worden. Deze illustreren we aan de hand van resultaten van het Barkmansveen:

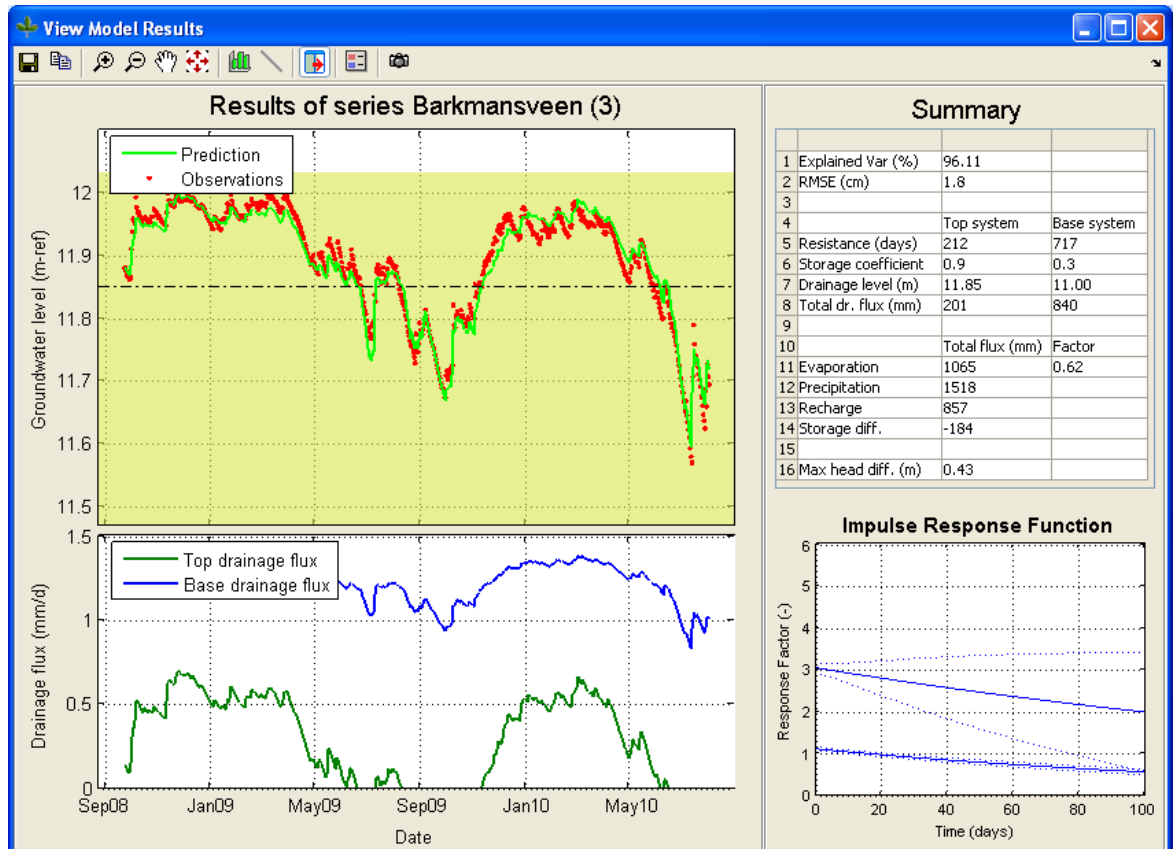
- Wanneer de drainageweerstand van het basissysteem van een veentje hoog is, is er weinig dynamiek in de wegzijging (figuur 28). De weerstand zelf is dan niet goed in te schatten door het model, maar kan wel afgeleid worden uit de wegzijging en de drainagebasis (hoogte van de veenbasis of de regionale grondwaterstand (figuur 30)).
- De geschatte lekverliezen blijken gevoelig te zijn voor keuze van een aantal parameters, bijvoorbeeld het overloopniveau of de verdampingsfactor (figuur 29).
- Voor een aantal veentjes blijkt het model te eenvoudig, ook al is de modelfout niet groot. De reactie van het topsysteem lijkt in het model in natte situaties bijvoorbeeld te traag. Bij deze veentjes lijkt sprake van meerdere drempelovergangen en/of een in de tijd variërende drainagebasis.



figuur 28. Tijdreeksanalyseresultaten voor het Barkmansveen. Er is weinig dynamiek in de wegzijging, waardoor de weerstand en de drainagebasis van het basissysteem niet goed geschat kunnen worden.



figuur 29. Tijdreeksanalyse-resultaat voor het Barkmansveen, waarbij de verdampingsfactor [-] is vastgezet op 1. De geschatte wegzijging blijkt erg gevoelig hiervoor te zijn, en krimpt met een factor 9.



figuur 30. Tijdreeksanalyse-resultaat voor het Barkmansveen, waarbij de drainagebasis is vastgezet op 11 meter + NAP . De weerstand van het basissysteem krimpt navenant, terwijl tegen de verwachting in, de verklaarde variantie groter blijkt te zijn dan die in de vorige figuren.

6 Relevantie voor water- en natuurbeheer

6.1 Interactie tussen regionaal grondwater, veenwater en veenbasis

De kennisvragen die door het deskundigenteam Nat Zandlandschap zijn geformuleerd (zie paragraaf 1.1) wijzen beide naar de rol van het regionale grondwater, dat al dan niet reikt tot in de veenbasis. De vraagstelling over de veenbasis impliceert in feite een situatie waarin het waterpeil in het ven of veentje boven dat van het omringende of regionale grondwater ligt. Wanneer er een duidelijke weerstand in het veen en de veenbasis aanwezig is, is dat vaak ook het geval. De resultaten van de Groene Plas hebben echter laten zien dat het omringende grondwater ook hoger kan liggen dan het veenpeil en horizontaal toe kan stromen. In die situatie spelen andere processen een rol. We gaan in paragraaf 6.1.1 en 6.1.2 in op de eerste situatie, waarin een veen(tje) conform de vraagstelling een hoger waterpeil heeft en in meer of mindere mate geïsoleerd is van zijn omgeving, en behandelen in paragraaf 6.1.3 de situatie met kwel. Aan het al dan niet bestaan van hydrologisch contact tussen het water in het veentje zelf c.q. de veenbasis en het omliggende grondwater zitten zowel kwantiteits- als kwaliteitsaspecten. Deze aspecten behandelen we afzonderlijk in paragraaf 6.1.2. Verder verschilt de situatie waarin het grondwaterpeil onder de veenbasis staat sterk van die waarbij het met zekerheid contact maakt. De situatie bij een grondwaterstand onder de veenbasis behandelen we eerst.

6.1.1 Grondwaterstand onder de veenbasis

Met uitzondering van de Groene Plas blijkt bij alle onderzochte veentjes het omringende grondwaterpeil periodiek onder de veenbasis te zakken. De grondwaterstand kan daarbij overal onder de veenbasis liggen, of alleen aan de rand van het veentje zoals bij de pingoruïne bij Gasselte. De processen die optreden wanneer het regionale grondwater onder de veenbasis zakt waren en zijn ook door dit onderzoek in grote mate onopgehelderd. Centraal punt in de onduidelijkheid is de vraag of en hoe snel er lucht toetreedt tot de veenbasis wanneer het regionale grondwater daar onderuitzakt. De mate van luchttoetreding is bepalend voor het antwoord op de volgende vragen:

- Ontstaat bij een dalende regionale grondwaterspiegel onderdruk onder de veenbasis, en zo ja, hoe sterk? De eventuele onderdruk is bepalend voor de vraag of en hoe sterk een dalende grondwaterstand in deze situatie de wegzijging uit het veen beïnvloedt. N.B.: Het zal in een dergelijke situatie overigens niet zozeer de stand, als wel de verandering van de stand zijn die doorwerkt op een ven of veentje.
- Blijft de veenbasis waterverzadigd? In de kennisvraag wordt de term 'waterverzadigd' gehanteerd, maar het gebruik daarvan roept in feite

direct problemen op. Het al dan niet waterverzadigd zijn van de veenbasis is moeilijk direct vast te stellen. Wanneer er geen lucht toetreedt, zal er onderdruk ontstaan en zal de veenbasis waterverzadigd blijven.

- Zorgt lucht- en daarmee zuurstoftoetreding onder de veenbasis voor oxidatie van organisch materiaal ter plekke? Oxidatie van de veenbasis zou gepaard kunnen gaan met CO₂-productie en een verminderde weerstand.
- Zorgt luchttoetreding onder de veenbasis voor een verminderde doorlatendheid, wanneer er op die manier een onverzadigde zone ontstaat?
- Zorgt luchttoetreding voor het uitdrogen van de veenbasis, eventuele scheurvorming, en daarmee voor een versterkte doorlatendheid?
- Voor bovenstaande effecten maakt het waarschijnlijk veel uit of de veenbasis niet alleen van onderen maar ook van boven droogvalt, zoals het geval is aan de randen van de Pingo. Luchttoetreding is sowieso waarschijnlijker aan de randen dan in het midden van een ven of veentje.

Beantwoording van deze vragen vraagt ander onderzoek dan hetgeen in dit project is uitgevoerd (vgl. Dekker et al., 1996). Dit is er samen met een altijd beperkt onderzoeksbudget aanleiding voor geweest om de eigenlijke onderzoeksvraag op dit punt in te perken ten opzichte van de kennisvraag, en de effecten van waterverzadiging van de veenbasis in zijn algemeenheid daarin niet op te nemen. Aan het waterverzadigd zijn van de veenbasis kan zoals gezegd ook moeilijk gemeten worden, aan de dynamiek van eventuele onderdrukken echter wel. Hieruit kan vervolgens de mate van luchttoetreding afgeleid worden. We doen in paragraaf 7.4 op dit punt dan ook een aanbeveling voor vervolgonderzoek.

6.1.2 Grondwaterstand in of boven de veenbasis

Wanneer het regionale grondwaterpeil tot in de veenbasis reikt is er met zekerheid volledig hydrologisch contact, en is de situatie duidelijker. Het regionale grondwater kan in die situatie effecten hebben op zowel de kwaliteit als het peil van het water in het veentje zelf:

Kwaliteitsaspecten

- Wanneer het regionale grondwater pH-gebufferd is zou dit de afbraak van organisch materiaal in de veenbasis kunnen bevorderen. Onder de waarschijnlijk anaerobe condities rond de veenbasis wordt bij de afbraak van organisch materiaal zowel methaan als CO₂ geproduceerd (schriftelijke mededeling H. Tomassen). Dit CO₂ zou eventueel ook het CO₂-gehalte van het veenwater kunnen verhogen.
- Wanneer regionale grondwater kan toetreden tot het veentje kan het direct de kwaliteit van het veenwater beïnvloeden.

Voor beide aspecten geldt dat ofwel de CO₂, ofwel het regionale grondwater ook in het eigenlijke veenwater terecht moet kunnen komen. Wanneer het regionale grondwater contact maakt met de veenbasis maar permanent onder het veenpeil staat, vindt er ook permanent wegzijging plaats. Voor de ionen in het regionale grondwater geldt dan dat het niet waarschijnlijk is dat deze tegen een permanent verticale stroom van veenwater 'op kunnen roeien'. Voor CO₂ in gasvorm is dat vanwege het verschil in dichtheid in theorie wel mogelijk. CO₂ is echter goed oplosbaar in water, en zal niet zo snel belletjes vormen. In diepere veenlagen worden meestal ook de hoogste concentraties

CO₂ en CH₄ gemeten, omdat het op grotere diepte minder gemakkelijk ontsnapt of opgenomen wordt (schriftelijke mededeling H. Tomassen).

De resultaten uit hoofdstuk 4 laten zien dat bij het Barkmansveen, maar wellicht ook bij PoortII en de Ronde Vlaas, het omliggende grondwater in extreem natte situaties mogelijk tot aan of boven het veenpeil reikt. In die situaties kan grondwater direct het veen in lopen. Omdat bij deze veentjes veel regenwater oppervlakkig wordt afgevoerd en er weinig wegzijging is, zouden dergelijke incidentele gebeurtenissen in principe lang de kwaliteit van het veenwater kunnen beïnvloeden (zie deelrapport 3). De kwaliteit van het grondwater in dergelijke situaties is echter onduidelijk. Daarnaast kan er in of onder de veenbasis CO₂ worden gevormd wanneer het zure veenwater in contact komt met gebufferd (HCO₃⁻) grondwater ($\text{HCO}_3^- + \text{H}^+ \rightarrow \text{H}_2\text{CO}_3 \rightarrow \text{H}_2\text{O} + \text{CO}_2$). Dit proces vindt echter ook plaats als het grondwater niet tot in de veenbasis staat.

Kwantiteitsaspecten

- Voor alle veentjes geldt dat ze draineren naar het omliggende, regionale grondwater. Bij volledig hydrologisch contact bepaalt de stand daarvan de drainagebasis van het veen.
- Wanneer een veentje geen overloop zou hebben, zou een verandering van de drainagebasis één-op-één doorwerken op het veenpeil, ongeacht de weerstand of mate van isolatie. Bij een grote weerstand hoort dan weliswaar ook een grote afstand tussen veenpeil en grondwater (potentiaalverschil).
- Vennen en veentjes hebben echter doorgaans wel een overloop. Het potentiaalverschil met het grondwater bepaalt dan de wegzijging uit het veen, samen met de weerstand van veen en veenbasis (Dekker et al. 1986). Hoe dieper het grondwater onder het veentje wegzakt, des te groter de wegzijging uit het veentje is en des te dieper de waterstanden in het veentje in de zomer wegzakken.
- Wanneer een ven of veentje sterk geïsoleerd is en veen en veenbasis een hoge weerstand hebben, verandert de wegzijging bij verandering van de regionale grondwaterstand relatief wel, maar blijft het effect daarvan in absolute zin gering.
- De situatie bij de Groene Plas laat goed zien dat ook kwel of zijdelingse aanvoer van water het peil in een ven of veentje kunnen stabiliseren, zonder dat er sprake hoeft te zijn van een grote weerstand.
- In een situatie waarbij de drainagebasis of regionale grondwaterstand relatief hoog is en de weerstand klein, vermindert de wegzijging sterk in de zomerperiode wanneer het veenpeil laag is. Dit komt de stabiliteit van het veentje ten goede, zoals blijkt uit de resultaten van de Groene Plas.
- De pingoruïne bij Gasselte is de enige onderzoekslocatie waar de omstandigheden niet optimaal zijn voor veenontwikkeling. Uit het onderzoek blijkt dat het hier vooral de kleine bergingscoëfficiënt is die voor een (te) grote dynamiek zorgt. De kleine bergingscoëfficiënt is weer een gevolg van de lage c.q. verlaagde waterstanden in het veentje.

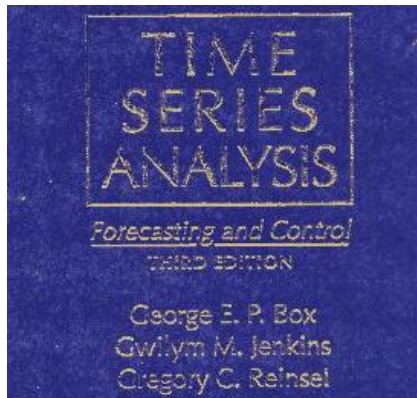
6.1.3 Grondwaterstand boven het veenpeil, een bijzondere situatie

Zoals gezegd wijkt de situatie bij de Groene Plas af van die bij de andere veentjes. Dat is niet alleen het geval omdat dit veentje onderdeel uitmaakt van een veel groter complex van hoogveenrestanten, het Haaksbergerveen. De Groene Plas is vooral bijzonder omdat het niet alleen geografisch maar ook

hydrologisch gezien aan de rand van het Haaksbergerveen ligt. De grondwaterspiegeldynamiek is aan de randen van een grondwatersysteem in ieder geval stabiel(er) dan in het midden (tenminste, als het oppervlaktewater aan de randen redelijk stabiel is). Aan het dwarsprofiel van de Groene plas is echter ook te zien dat ter plekke grondwater vanuit het Haaksbergerveen uittreedt, en vervolgens oppervlakkig wordt afgevoerd. In deze situatie is er in feite niet zozeer sprake van wegzijging, maar nagenoeg alleen van horizontale stroming. Stabilisatie van de dynamiek is hier geen resultante van de hydrologische isolatie, maar juist van het contact c.q. de kwel. Het feit dat het aangevoerde grondwater hier ook kwalitatief goed zal zijn en blijven (want niet beïnvloedt door landbouw in het intrekgebied) draagt bij aan de conclusie dat er wellicht juist in de randzones van grotere veengebieden goede potenties liggen voor bijzondere hydrologische omstandigheden, ook op lange termijn.

6.2 Afleiden herstelmaatregelen uit model- en systeemanalyses

Hoe enthousiast sommige onderzoekers er ook mee bezig kunnen zijn, het maken van een model is geen doel op zich. De onderzoekers die beschouwd kunnen worden als de grondleggers van de tijdreeksanalyse, George Box en Gwilym Jenkins, geven dan ook al in de subtitel van hun standaardwerk de twee belangrijkste toepassingen ervan aan: Forecasting and Control (voorspellen en regelen, zie (Box & Jenkins, 1970) en figuur 32). Ze verwijzen hiermee ook naar de twee van oudsher belangrijkste toepassingsgebieden: de econometrie (bijvoorbeeld t.b.v. het voorspellen van beurskoersen), en de meet- en regeltechniek (bijvoorbeeld t.b.v. het optimaliseren van fabrieksprocessen). Een watersysteem of natuurgebied is natuurlijk geen fabrieksproces, en de notie van 'natuurlijkheid' ervan staat in zeker zin ook haaks op de notie van 'maakbaarheid'. Toch wordt tegenwoordig in het kader van natuurontwikkeling al heel anders tegen maakbaarheid en regelbaarheid van de natuur aangekeken. Voor een water- en/of natuurbeheerder is de factor waterkwantiteit vaak ook relatief eenvoudig stuurbaar c.q. zijn er allerlei 'knoppen om aan te draaien'. Tijdreeksmodellen richten zich qua concept direct op het in beeld brengen van de kernfactoren en kerneigenschappen die de dynamiek in een systeem bepalen. Vanwege de eenvoud is de werking ervan ook relatief eenvoudig te doorzien en te vertalen naar concrete beheersmaatregelen. Tijdreeksmodellen zijn in die zin dan ook inderdaad een geëigend hulpmiddel voor 'systems control'. In het kader van het natuurbeheer, het achterliggende doel van dit onderzoek, betekent dat het afregelen van de hydrologische omstandigheden in natuurgebieden zodat ze optimaal zijn voor de daar voorkomende levensgemeenschappen. Overigens gaat aan de toepassing van welk model dan ook, een goede systeemanalyse vooraf. Anderzijds kan een (tijdreeks)model ook op dat gebied behulpzaam zijn, en gebruikt worden als diagnosetool. Op deze aspecten komen we terug in paragraaf 7.4.



figuur 31. Voorkant van het standaardwerk over tijdreeksanalyse .

Om een concreet voorbeeld te geven van het afleiden van herstelmaatregelen uit de model- en systeemanalyses van dit onderzoek: de pingoruïne nabij Gieten is in feite de enige van de onderzochte locaties waar de waterpeilen duidelijk niet optimaal zijn. Er is een aantal aanwijzingen voor de veronderstelling dat in het verleden met enig 'succes' getracht is de Pingo te ontwateren: er loopt een greppel dwars over de Pingo en één aan de westrand ervan. Uit boring 2002 valt af te lezen dat de gliedelaag zich ook buiten de huidige pingoruïne uitstrekt, ofwel het veenpeil moet ooit hoger hebben gestaan. De door het tijdreeksmodel geschatte drempel c.q. het overloophniveau is lager dan de bovenkant van deze gliedelaag, dus deze is waarschijnlijk ergens doorbroken (bij het begin van de greppel?) . De tijdreeksanalyse geeft aan dat de huidige bergingscoëfficiënt van het veentje een probleem vormt, veroorzaakt doordat het waterpeil verlaagd is tot in het zwartveen na de ontwateringspoging (het graven van greppels dwars over en naast het veentje). De aldus verkleinde bergingscoëfficiënt zorgt ervoor dat het waterpeil in de zomer te ver wegzakt. Ook verlaging van de grondwaterstanden in de omgeving kan de wegzijging hebben vergroot en daarmee de waterpeilen in de zomer hebben verlaagd. Als proef voor een eventuele herstelmaatregel van het veentje zijn op een aantal plaatsen stukken zwartveen weggegraven tot onder het gemiddelde waterniveau. De tijdreeksanalyse van de peilschaalreeks in een dergelijke plek aan de rand van de Pingo laat echter duidelijk zien dat, hoewel het open water zelf natuurlijk bergingscoëfficiënt 1 heeft, de feitelijke bergingscoëfficiënt van het systeem als geheel veel kleiner is. Het huidige oppervlak van de Pingo bestaat dan ook nog steeds grotendeels uit zwartveen. Dit alles leidt tot de conclusie dat er twee mogelijkheden zijn om de hydrologische situatie in de Pingo te herstellen:

- 1) Er kan een poging ondernomen worden om de greppel c.q. de plek waar de gliedelaag is doorbroken te dichten. Als aangenomen wordt dat op die manier het overloophniveau verhoogd wordt tot de bovenkant van de gliedelaag uit boring 2002, kan ook uitgerekend worden tot waar de waterpeilen in het veentje daardoor stijgen. Wanneer het peil daardoor boven het zwartveen uitkomt, is ook de bergingscoëfficiënt van het veentje deels hersteld. Een verdere peilverhoging tot aan maaiveld zou, mits realiseerbaar, de bergingscoëfficiënt verder verbeteren. Als de verliezen naar het onderliggende zand substantieel zijn, zal de dynamiek echter groot blijven. Dat laatste kan uit nadere analyse van de gevonden tijdreeksen blijken.
- 2) Herstel van de bergingscoëfficiënt kan ook bewerkstelligd worden door de bovenste laag van het resterende zwartveen af te graven. Wanneer

het oppervlak van de Pingo daarna weer geheel uit open water zou bestaan, zou het daarmee de facto weer een bergingscoëfficiënt van 1 krijgen. De tijdreeksanalyseresultaten kunnen gebruikt worden om uit te rekenen hoeveel cm veen afgegraven moet worden (denk aan de weerstand die hiermee verwijderd wordt) om uit te komen op de minimale waterdiepte zonder dat droogval optreedt, nodig voor een optimale veenmosgroei. Overigens zou het veen, incl. veenbasis, ook verder afgegraven kunnen worden om op die manier de grondwaterinvloed te vergroten. De huidige, laagste grondwaterstand ligt nog steeds ter hoogte van de bovenkant van het scordidiumveen. Tegen afgraven van het zwartveen in de Pingo kan worden ingebracht dat dit het enige veentje in de omgeving is waar nog een oorspronkelijk veenprofiel aanwezig is. Hoewel het veen bovenin sterk veraard is, hebben we hier toch met een veenarchief te maken dat tot nu toe onvoldoende onderzocht is.

- 3) Door de grondwaterstand in de omgeving te verhogen kan de wegzijging verlaagd, en daarmee de waterpeilen in de zomer verhoogd worden. Door het bestaande bos flink uit te dunnen en rond de veentjes geheel te verwijderen kunnen de verdampingsverliezen worden verminderd en kan eventueel een verhoging van de grondwaterstand worden gerealiseerd. De nadere analyse van de gevonden tijdreeksen moet in beeld brengen hoe groot de wegzijging is, en hoe groot het effect dus zal zijn van het verhogen van de regionale grondwaterstand.

6.3 Softwarematige implementatie

In de kennisvraag wordt duidelijk de wens verwoord om vanuit dit onderzoek te komen tot een methode die '... in concrete gevallen kan worden toegepast en waarmee de gewenste herstelmaatregelen kunnen worden afgeleid.' De meest concrete en tegelijk meest eenvoudig praktisch toepasbare methode is er een die volledig geautomatiseerd is. Hoewel dat niet direct de opdracht was, is toch getracht om in de loop van dit onderzoek ook verschillende aanpassingen en uitbreidingen van het programma Menyanthes (voor het beheren, visualiseren en analyseren van (grond)waterstandsreeksen) te realiseren. Het gaat qua functionaliteit om grafische functies die nodig waren om gegevens uit dit project te visualiseren (bijvoorbeeld de boorbeschrijvingen), én rekenmethoden die in dit project ontwikkeld en toegepast zijn (bijvoorbeeld de berekening van de fluxen door het systeem). Modellen, software en tools zijn als zodanig een ideale manier om verzamelde gegevens en ontwikkelde kennis niet alleen te ordenen, bundelen en toetsen, maar ook om deze direct toegankelijk beschikbaar te maken voor diegenen voor wie dit project bedoeld is, namelijk de natuurbeherende instanties en haar toeleveranciers (ingenieursbureaus en andere onderzoekers). Alle grote natuurbeherende organisaties en ingenieursbureaus zijn de facto al gebruiker van het programma, zodat de functionaliteit inderdaad ook direct voor hen beschikbaar is. De aan Menyanthes toegevoegde functionaliteiten zijn in concreto:

- Verbetering van de visualisatie van meetnetten en transecten in bovenaanzicht op luchtfoto's.
- Mogelijkheid om boorbeschrijvingen (op dit moment beperkt tot die van Alterra) te kunnen opslaan en plotten in dwarsdoorsneden.

- Mogelijkheid om karakteristieken van de (grond)waterpeildynamiek ('hydrologische' box-plots) te kunnen plotten naast peilbuizen en boorbeschrijvingen in dwarsdoorsneden. Hiermee kan direct afgelezen worden of bodemhorizonten al dan niet, en hoe vaak, onder water staan of droogvallen
- Het kunnen vergelijken van de (grond)waterpeildynamiek door metingen te plotten ten opzichte van hun maximale waarde.
- Het berekenen van de waterbalans c.q. fluxen in niet-lineaire systemen
- Een nieuw overzichtsscherm waarop de geschatte responsfuncties, parameters en waterbalans van niet-lineaire systemen in samenhang getoond worden.
- Diverse verbeteringen en uitbreidingen op de manier waarop drukopnemergegevens ingelezen, gevalideerd en gecorrigeerd en kunnen worden (voor details zie (Von Asmuth, 2010)).

Voorbeelden van deze nieuwe functionaliteiten zijn verspreid over dit rapport te vinden.

7 Conclusies en aanbevelingen

7.1 Functioneren van de onderzochte veentjes

Ten aanzien van de onderzochte veentjes kan gesteld worden dat er, dankzij de gemaakte dwarsprofielen, de verzamelde tijdreeksen én de tijdreeksanalyse, een helder beeld is ontstaan van hun functioneren in kwalitatieve maar ook kwantitatieve zin. Hierbij zij wel opgemerkt dat het kwantitatieve aspect c.q. de tijdreeksanalyseresultaten hier deels nog niet gepubliceerd zijn, en verder opgepakt zullen worden in het promotieonderzoek van de eerste auteur. Voor het onderzoek was al duidelijk dat de ontstaansgeschiedenis en het hydrologisch functioneren van de veentjes duidelijke verschillen vertoonde (zie inleiding, paragraaf 1.1). Zowel het Barkmansveen als Poort-II zijn heideveentjes, beiden ondiep (veenbasis op 1 a 1,5 meter – maaiveld), en waarschijnlijk gevormd in een laagte in de keileem. In die laagtes heeft zich een verkitte B-horizont en Gliedelaag gevormd, waardoor weerstand is opgebouwd die het veenpeil in het algemeen boven dat van de omgeving heeft doen uitstijgen. Er stagneert echter ook nu nog periodiek water bovenop de keileem, waarbij het water periodiek ook reikt tot in de veenbasis of zelfs daarboven (bij Poort-II is dit niet helemaal zeker bij gebrek aan een goed meetpunt). Dit is misschien ook het geval bij de Ronde Vlaas, maar ook daar ontbreekt een goed meetpunt. Wanneer het grondwaterpeil boven het veenpeil uitstijgt, kan het direct het veen in lopen. Het lijkt voor wat betreft de buffering waarschijnlijk dat eventuele grondwaterinvloed op die manier plaatsvindt, en niet zozeer van onderaf. Het veentje in de boswachterij Gieten is veel dieper dan die in Dwingeloo en is hoogstwaarschijnlijk ontstaan in een pingoruïne. Het veentje hangt met zijn onderkant permanent en diep in het grondwater van het omringende systeem. De Groene plas verschilt op haar beurt van alle andere veentjes, doordat het omringende grondwaterpeil permanent hoger ligt. Buffering van zowel kwantiteit als kwaliteit vindt daar plaats via kwel.

Het Barkmansveen, Poort-II, de Ronde Vlaas en de Groene plas zijn allen goed ontwikkelde veentjes, met een actieve acrotelm. De pingoruïne daarentegen is verdroogd en wordt gedomineerd door hoge horsten van pijpenstrootje. In de waterpeildynamiek van de veentjes is dit terug te zien (zie paragraaf 5.1). De dynamiek van Poort-II is het meest constant, gevolgd door de Ronde Vlaas, de Groene Plas, het Barkmansveen en als laatste de pingoruïne. Bij de pingoruïne is het verschil tussen de maximale en minimale gemeten stand bijna drie keer zo groot als bij Poort-II. De grote dynamiek bij de pingoruïne blijkt in ieder geval veroorzaakt te worden door de lage bergingscoëfficiënt. De geringe bergingscoëfficiënt wordt veroorzaakt door een te laag peil dat waarschijnlijk verband houdt met een eerdere ontwateringspoging. De waterpeilen kunnen bovendien (vooral in de zomer) verlaagd zijn door verlaging van het omringende, regionale grondwater en de daardoor versterkte wegzijging. Er zijn verschillende mogelijke oorzaken aan

te wijzen voor een verlaging van de grondwaterstanden rond het veentje (zie ook deelrapport 1). De aanplant van dichte naaldboombestanden en de aanleg van de zandwinningsplas zullen beide hieraan bijgedragen hebben. In de boswachterij liggen bovendien nog steeds diepe ontwateringsloten. Een andere mogelijke oorzaak van grondwaterstandsdeling in dit gebied zijn de verveningen in het Hunzedal en de daaropvolgende diepe drainage aldaar.

7.2 Antwoord op de kennisvragen

De kennisvragen die ten grondslag hebben gelegen aan dit deelonderzoek richten zich op de interactie tussen het lokale waterpeil in een ven of veentje en het omliggende, regionale grondwater. Gevraagd werd bovendien om de rol van waterverzadiging van de veenbasis daarbij in beeld te brengen. Hieronder zetten we de belangrijkste conclusies omtrent deze vragen op een rij:

- De onderzoeksvraag die uit de kennisvragen is afgeleid ging primair over het kwantificeren van de verticale wegzijging uit het veen. De verticale wegzijging kan bepaald worden door zowel het verschil tussen het veenpeil en de regionale grondwaterstand (potentiaalverschil) als de weerstand in veen en veenbasis, wanneer het neerslagoverschot en de oppervlakkige afvoer bekend zijn. Een stabiele dynamiek, optimaal voor veenontwikkeling, is echter de resultante van een aantal factoren. Voor de onderzochte veentjes blijken naast de verticale wegzijging ook de volgende factoren van belang:
 - o zijdelingse aan- en/of afvoer van water,
 - o bergingscoëfficiënt van het veen en zijn omgeving,
 - o dynamiek in de wegzijging
- De manier waarop bovengenoemde factoren gezamenlijk de dynamiek bepalen is niet goed in eenvoudige vuistregels te vatten (bijv. de wegzijging mag maximaal X millimeter zijn). Anderzijds blijkt een relatief eenvoudig model waarin deze factoren voorkomen (waarmee we hier primair de wetmatigheden bedoelen en niet zozeer de software) dat wel te kunnen. Het in dit onderzoek gehanteerde model bleek voor alle onderzoekslocaties goed tot zeer goed in staat de dynamiek van het veenpeil en de interactie met haar omgeving (overlopen en wegzijgen) te modelleren en kwantificeren. In dit rapport zijn wat dat betreft alleen nog resultaten van het Barkmansveen gepubliceerd, de rest volgt in het kader van het promotieonderzoek van de eerste auteur. De goede performance voor alle veentjes leidt echter tot de conclusie dat een dergelijk model de factoren die de dynamiek bepalen goed in beeld heeft, en een geëigend instrument is om herstelmaatregelen uit af te leiden.
- Wanneer de grondwaterstand permanent in of boven de veenbasis staat fungeert deze als drainagebasis. Het potentiaalverschil tussen veen en regionaal grondwater bepaalt zoals gezegd in die situatie samen met de weerstand in veen en veenbasis de verticale wegzijging. Wanneer de weerstand groot is, zijn zowel de wegzijging als het effect van een verandering van de regionale grondwaterstand in absolute zin gering. Het is nog een openstaande vraag wat er gebeurt als het grondwater zich permanent of periodiek onder de veenbasis bevindt.
- In de meeste onderzochte vennen en veentjes staat het waterpeil boven dat van het omliggende grondwater. Voor de ionen in het regionale grondwater geldt dat het niet waarschijnlijk is dat deze tegen

een permanent verticale wegzijgingsstroom 'op kunnen roeien', omdat dit een diffusieproces is dat vrijwel altijd langzamer is dan stroming. Voor CO₂ in gasvorm is dat in principe wel mogelijk. CO₂ is echter goed oplosbaar in water en zal niet snel belletjes vormen (schriftelijke mededeling H. Tomassen).

- De snelheid en manier waarop eventueel lucht toetreedt in de zone onder de veenbasis wanneer de grondwaterstand daaronder zakt is bepalend voor de processen die dan optreden. Dit punt blijft onopgehelderd en vergt nader onderzoek.

7.3 Methode voor het schatten van lekverliezen

De methode voor het schatten van lekverliezen via tijdreeksanalyse is nog niet definitief uitgewerkt. Dit enerzijds omdat de problemen met de meetapparatuur, maar ook het uitwerken van de meetgegevens in dwarsprofielen meer tijd en energie hebben gekost dan vooraf ingeschat. Daarnaast bleek afronding voor de gestelde termijn niet mogelijk vanwege het begin van een tijdelijk dienstverband aan de TU Delft voor de eerste auteur per 1-10-2010. Dit dienstverband betreft de afronding van een promotieonderzoek, in het kader waarvan de modellering van de veentjes inhoudelijk verder uitgewerkt zal worden. Er kunnen op het moment, met enige voorzichtigheid, al wel een aantal conclusies getrokken worden:

- De inzet van een tijdreeksmodel met drempelovergangen betekent een generalisatie van de overloophmethode en heeft een aantal voordelen. Bij deze benadering hoeven de meetreeksen niet in stukken te worden geknipt, maar wordt de wegzijging over de hele meetperiode geschat, incl. haar dynamiek. De modelleur hoeft verder geen aannames te doen over parameters als de verdampingsfactor en het overloophniveau, terwijl wel de modelfouten, correlaties en onzekerheden rond parameters en uitkomsten in beeld worden gebracht. Als laatste verdisconteert een model ook de standen die zijn opgetreden in de gebruikte niet-overlooph-periode, en is daarmee nauwkeuriger.
- Wanneer de weerstand van een veentje hoog is, is er nauwelijks dynamiek in de wegzijging. De weerstand zelf is dan niet goed in te schatten door het model. De weerstand kan echter wel afgeleid worden uit het verschil tussen veenpeil en drainagebasis, én de wegzijging.
- De geschatte lekverliezen blijken gevoelig te zijn voor keuze van een aantal parameters, bijvoorbeeld het overloophniveau of de verdampingsfactor.
- Voor een aantal veentjes lijkt het model te eenvoudig, ook al is de modelfout niet groot. Bij deze veentjes lijkt bijvoorbeeld sprake van meerdere drempelovergangen en/of een in de tijd variërende drainagebasis.

7.4 Openstaande vragen en aanbevelingen voor vervolgonderzoek

Zoals gemeld zijn er tweemaal openstaande aspecten die in een ander kader worden opgepakt en verder worden uitgewerkt. Het gaat daarbij om de modellering van veenpeilen en wegzijging, en om de validatie en correctie van drukopnemergegevens. De resultaten daarvan zullen in andere, aanvullende

rapporten of artikelen gepubliceerd worden (e.g. Von Asmuth et al., in prep; Von Asmuth, 2010). Punten voor vervolgonderzoek die open staan zijn:

- Luchttoetreding onder de veenbasis – in paragraaf 6.1.1 is aan de orde gekomen dat de situatie bij een regionale grondwaterstand onder de veenbasis onduidelijk is, terwijl er wel belangrijke effecten zouden kunnen zijn. We bevelen hier een vervolgonderzoek aan waarin gericht gemeten wordt aan de (onder)druk onder de veenbasis. Daaruit zou de mate van luchttoetreding en vervolgens diens effecten in beeld gebracht moeten worden
- Pilot in een (gecompartimenteerd) hoogveenrestant – bij de locaties waar dit onderzoek heeft plaatsgevonden gaat het in alle gevallen om relatief kleine veentjes. Dat geldt ook voor het Haaksbergerveen, omdat ook daar niet gekozen is voor een hoogveencompartiment, maar een kleiner veentje aan de rand. De reden voor deze keuze was dat de problematiek, schaal en ruimtelijke interacties bij (compartimenten van) grotere hoogveenrestanten naar verwachting heel anders zijn en meer werk vergen. Het verdient echter aanbeveling om ook een (beperkte) pilot uit te voeren naar toepassing van de methodiek die in dit rapport gepresenteerd is op een hoogveencompartiment. Het Haaksbergerveen is daarbij een goede kandidaat, omdat daarvan al compartimenten zijn onderzocht in de andere deelonderzoeken.
- Hydrologische systeemanalyse (landschapsniveau) – de formulering van de hydrologische kennisvragen in dit onderzoek heeft geleid tot een focus op relatief kleine schaal, namelijk de veentjes zelf en hun directe omgeving. Het verdient aanbeveling om, naast de reeds uitgevoerde ecologische systeemanalyse, ook een praktisch toepasbare methodiek uit te werken voor een hydrologische, meer kwantitatieve systeemanalyse die goed aansluit bij de huidige beschikbare geohydrologische gegevens en hydrologische modelleringspraktijk. Dit mede omdat gangbare ruimtelijke hydrologische modellen vaak worden ingezet voor water- en natuurbeheersvraagstukken in natte natuurgebieden, maar lang niet altijd goed blijken te voldoen.
- Afleiden herstelmaatregelen uit model- en systeemanalyses – in paragraaf 6.2 is een kwalitatief voorbeeld uitgewerkt van hoe de gevonden model- en systeemanalyseresultaten direct vertaald kunnen worden in herstelmaatregelen. Een kwantitatieve inschatting van het effect van de verschillende maatregelen ontbreekt echter nog. We bevelen dan ook een onderzoek aan waarin een eenvoudig en algemeen toepasbare methodiek en rekenregels uitgewerkt worden, die ook een kwantitatieve inschatting oplevert van de effecten van verschillende maatregelen (e.g. bosomvorming). Dit om beheerders in staat te stellen een goede kosten-batenanalyse te maken.

7.5 Aanbevelingen van praktische aard

Ook een aantal aanbevelingen van meer praktische aard volgen uit constatering tijdens dit onderzoek:

- Achteraf blijkt een aantal peilbuizen niet optimaal gepositioneerd.
 - o Plaats peilbuizen en zet eventueel extra boringen liefst in twee slagen. Als de bodem- c.q. geohydrologische opbouw van het systeem ruwweg in kaart is gebracht, valt veel beter aan te

geven waar en hoe diep de filters moeten komen. Buis G1_3 had bijvoorbeeld beter boven de gyttja geplaatst kunnen

worden, en bij Poort-II was een extra buis boven de keileem wenselijk geweest.

- o Meet liefst onder en/of boven een weerstandbiedende laag, in de laag alleen als ook de stijghoogte erboven en eronder bekend zijn (en als dat iets toevoegt, bovendien stelt dit hoge eisen aan de afdichting van het boorgat).
 - o Gebruik een mantelbuis bij het boren, of boor alleen bij lage grondwaterstanden (in of eind zomerseizoen). Buis 1 bij PoortII en waarschijnlijk ook Barkman 2, 3 en 4 hadden beter dieper gezet kunnen worden.
- Op sommige plaatsen was extra bodeminformatie gewenst en/of niet alle beschrijvingen bleken goed bruikbaar:
 - o Meet van alle boorbeschrijvingen de maaiveldhoogte op. Hydrologisch interessant is juist de relatieve hoogteligging van weerstandbiedende lagen.
 - o Noteer bij elke peilbuis in ieder geval de dieptes van de hydrologisch relevante lagen, of maak een boorbeschrijving.
 - o Boor liefst wat dieper dan de onderkant van de peilbuis als daaronder mogelijk een hydrologisch relevante laag te verwachten is. Dieper boren is ook nuttig om daarmee een extra stukje buis onder het filter te kunnen zetten om sediment mee af te vangen (wordt vaak vergeten, maar is wel belangrijk).
- De uitwerking van de waterpassingsgegevens bleek relatief veel tijd te kosten en gevoelig voor fouten, vanwege onduidelijkheden.
 - o Ontwerp en gebruik een standaard formulier voor waterpassingen.

8 Literatuur

- Anonymous (1999) Hydro-ecologisch modelonderzoek Nationaal Park Dwingelderveld. Eindrapportage fase 1 en 2.; IWACO, Rotterdam.
- Baaijens, G.J., Van der Molen, P. & Grootjans, A. P. (2011) OBN onderzoek 'Herstel van biodiversiteit en landschapsecologische relaties in het natte zandlandschap' eindrapport deel 1, Landschapsanalyse; Ministerie van LNV, Directie Kennis, Ede.
- Bakker, T.W.M., Castel, I. I. Y., Everts, F. H., & De Vries, N. P. J. (1986) Het Dwingelderveld, een Drents heidelandschap.; Landschapsstudies 8, Pudoc., Wageningen.
- Berendrecht, W.L., Heemink, A. W., Van Geer, F. C., & Gehrels, J. C. (2004) State-space modeling of water table fluctuations in switching regimes; in: Journal of Hydrology, jrg 292, pag 249-261.
- Box, G.E.P. & Jenkins, G. M. (1970) Time Series Analysis: Forecasting and Control; Holden-Day, San Fransisco.
- De Gans, W. (1981) The Drentsche Aa Valley system. A study in quarternary geology; PhD Thesis, Vrije Universiteit Amsterdam, Amsterdam.
- Dekker, L.W., Bannink, M.H. & Booij, A.H. (1996). Bodemkundig en bodemfysich onderzoek naar de invloed van grondwaterstandsverlaging op de wegzijging van water uit vennen nabij Sellingen. Stiboka Rapport nr 1859, Wageningen.
- Dekker, L.W., Booij, A.H. & Ritsema, C.J. (1997). IJzerbanden en ijzerwanden in onze zanden. De samenhang ervan met de stroming van water. Stromingen 3: 29-40.
- Everts, F.H. & De Vries, .N.P.J., m.m.v. G.J. Baaijens (1984) Het Dwingelderveld. Vegetatie. Laaglandbekenrapport no. 8., Staatsbosbeheer, Natuurmonumenten, Rijksuniversiteit Groningen, Groningen.
- Grootjans, A.P., Adema, E., Baaijens, G. J., Rappoldt, C. & Verschoor, A. J. (2003) Mechanisms behind restoration of small bog ecosystems in a cover sand landscape; in: Archiv fur Naturschutz und Landschaftsforschung, pag 43-48.
- Grootjans, A. P. & Van Diggelen, R (1998). Selected restoration objects in The Netherlands and NW Germany: a field guide. University of Groningen, Laboratory of Plant Ecology, Haren.
- Knotters, M. & Bierkens, M. F. P. (2000) Physical basis of time series models for water table depths; in: Water Resources Research, jrg 36, nr 1, pag 181-188.
- Knotters, M. & De Gooijer, J. G. (1999) Tarso modelling of water table depths; in: Water Resources Research, jrg 35, nr 3, pag 695-705.
- Knotters, M. & Van Walsum, P. E. V. (1997) Estimating fluctuation quantities from time series of water-table depths using models with a stochastic component; in: Journal of Hydrology, jrg 197, pag 25-46.
- Peerboom, J.M.P.M., Aggenbach, C.J.S. & Von Asmuth, J.R. (2003). Hydrologie van de Beegderheide. Natuurhistorisch Maandblad 92: 145-152.

- Timmerman, T. (1999) Sphagnum-Moore in Nordostbrandenburg: Stratigraphisch-hydrodynamische Typisierung und Vegetationswandel seit 1923; Dissertationes Botanicae Band 305, E. Schweizerbart science publishers, Berlin - Stuttgart.
- Tomassen, H., Grootjans, A. P. & Smolders, A. J. P. (2011) OBN onderzoek 'Herstel van biodiversiteit en landschapsecologische relaties in het natte zandlandschap ' eindrapport deel 3: Herkomst van CO2 voor hoogveengroei en basenverzadiging in hoogveentjes; Ministerie van LNV, Directie Kennis, Ede.
- Van der Schaaf, S. (2005) Intern hydrologisch onderzoek; in: Tomassen, H., G. van Duinen, F. Smolders, E. Brouwer, S. van der Schaaf, G. van Wirdum, H. Esselink en J. Roelofs (red), Vooronderzoek Wierdense Veld: Eindrapportage mei 2005; Onderzoekcentrum B-ware, Stichting Bargerveen, Wageningen Universiteit, NITG-TNO & Radboud Universiteit Nijmegen, pag 15-25.
- Van der Sluijs, P. & De Gruijter, J. J. (1985) Water table classes: a method to describe seasonal fluctuation and duration of water tables on Dutch soil maps; in: Agricultural Water Management , jrg 10, pag 109-125.
- Van Duinen, G. & Tomassen, H. (2007) Herstel van biodiversiteit en landschapsecologische relaties in het natte zandlandschap, offerte voor OBN-onderzoek 2007-2008; Stichting Bargerveen, Nijmegen.
- Van Duinen, G., Van Kleef, H., Wallis de Vries, M. & Van den Burg, A. (2011) OBN onderzoek 'Herstel van biodiversiteit en landschapsecologische relaties in het natte zandlandschap ' eindrapport deel 4: Betekenis van millieugradiënten en waardplantenkwaliteit voor herstel van de fauna van het natte zandlandschap; Ministerie van LNV, Directie Kennis, Ede.
- Verschoor, A.J., Baaijens, G. J., Everts, F. H., Grootjans, A. P., Rooke, W., Van der Schaaf, S., & De Vries, N. P. J. (2003) Hoogveenontwikkeling in veentjes en kleinschalige hoogveencomplexen op het Dwingelerveld; een landschapsbenadering. Deel 2: Landschapsontwikkeling en hydrologie.; Rapport EC-LNV nr. 2003/227, Expertisecentrum LNV., Wageningen.
- Von Asmuth, J.R. (2010) Over de kwaliteit, frequentie en verwerking van druksensorreeksen; Rapportnr. KWR 2010.001, KWR Watercycle Research Institute, Nieuwegein.
- Von Asmuth, J.R., Bierkens, M. F. P., & Maas, C. (2002) Transfer function noise modeling in continuous time using predefined impulse response functions; in: Water Resources Research, jrg 38, nr 12, pag 23_1-23_12.
- Von Asmuth, J.R. & Knotters, M. (2004) Characterising spatial differences in groundwater dynamics based on a system identification approach; in: Journal of Hydrology, jrg 296, nr 1-4, pag 118-134.
- Von Asmuth, J.R., Knotters, M., & Maas, C. (in prep) A continuous time approach to non-linear threshold modeling of (ground)water level series;

Bijlage 1: Achtergronden tijdreeksmodel met drempelovergangen

Tijdreeksen

Bij alle peilbuizen zijn grondwaterstandsmetingen gedaan die samen een tijdreeks vormen. Dat is een reeks, waarin de meetwaarden in volgorde van oplopend meettijdstip zijn gerangschikt. Opeenvolgende waarden binnen een tijdreeks hebben een onderlinge samenhang. Die samenhang houdt in dat elke meting in de reeks een zekere voorspellende waarde heeft voor de volgende. Opeenvolgende verschillen zeggen iets over de omstandigheden die zich in een meetperiode van een zeker aantal intervallen hebben voorgedaan, zoals neerslag, verdamping of afstroming naar een al dan niet natuurlijk ontwateringsstelsel.

Belangrijke grootheden

- Aanvulling r

Neerslag en verdamping kunnen worden opgeteld met dien verstande dat verdamping wordt opgevat als negatieve neerslag. De aldus verkregen som zal verderop aanvulling worden genoemd met symbool r [LT-1], dus lengte per tijd (bijvoorbeeld mm per dag). Als de verdamping de neerslag overtreft, dan geldt $r < 0$.

- Drainageweerstand c of cd

Een essentiële grootheid is de drainageweerstand met symbool c [T] of cd . Dit is de weerstand die de stroming via de bodem naar een al dan niet natuurlijk ontwateringsstelsel ondervindt. De drainageweerstand c heeft eenzelfde effect op de grondwaterstroming als de verticale weerstand c door een slecht doorlatende laag met dikte D [L] en effectieve verticale doorlatendheid K_v :

$$c = \frac{D}{K_v} \quad (1)$$

De drainageweerstand is een functie van

- de effectieve doorlatendheid K en de dikte D van de doorstroomde laag
- de "natte omtrek" van het ontwateringsmiddel
- de afstand tussen opeenvolgende ontwateringsmiddelen.
- de locatie van een meetpunt in het systeem

Terwille van het onderscheid met de verticale weerstand c van een eventuele slecht doorlatende laag wordt de drainageweerstand ook wel geschreven als cd . Passeert de ontwateringsstroming een slecht doorlatende laag, dan is de verticale weerstand van de laag een component van de drainageweerstand.

- *Bergingscoëfficiënt S*

Een andere grootheid is de bergingscoëfficiënt S [-]. S geeft de verhouding weer tussen een verandering in grondwaterstand h [L] en de verandering in de hoeveelheid in de bodem geborgen water S_w [L] volgens

$$S = \frac{dS_w}{dh} \quad (2)$$

In feite is S gelijk aan de effectieve volumefractie poriën waarin bij een toename van S_w lucht wordt vervangen door water of bij afname van S_w (waterverlies) water door lucht. S is daarom slechts bij benadering constant en hangt af van het vochtgehalte van de onverzadigde zone, de diepte van de grondwaterstand en van de vraag of de grondwaterspiegel stijgt, dan wel daalt. In open water geldt $S=1$, in grond $0 < S < 1$. Uit (2) volgt dat S dimensieloos is. Kennis van S maakt het mogelijk, uit een verandering van h de aanvulling r te schatten volgens

$$r \approx S \frac{dh}{dt} \quad (3)$$

- *Ontwateringsstroming v_d*

De ontwateringsstroming v_d [LT⁻¹] wordt bepaald door de stijghoogte of de hoogte van de grondwaterspiegel h en de hoogte van de drainagebasis d [L] volgens

$$v_d = \frac{d-h}{c_d} \quad (4)$$

v_d kan uit meerdere componenten bestaan als er evenzoveel onderdelen van het totale ontwateringsstelsel zijn met afzonderlijke waarden van d en c_d . Dat is bijvoorbeeld het geval als sloten of beken droogvallen bij verschillende niveaus van h . c_d is dan de resultante is van de drainageweerstanden die behoren bij die individuele elementen van het ontwateringsstelsel die bij een bepaalde h nog functioneren, namelijk als voor de betreffende h geldt dat $h > d$. Dan is c_d en dus ook v_d een functie van h die trapsgewijs verloopt, al naar gelang er elementen in het ontwateringsstelsel droogvallen dan wel water gaan voeren. Daarom spreken we van een systeem met drempelovergangen.

Het model

Als we uitgaan van de waterbalans van een eenvoudige bodemkolom zoals beschreven door Knotters en Bierkens (2000), dan geldt de volgende differentiaalvergelijking waarin de drainageweerstand is geschreven als c :

$$S \frac{dh}{dt} = \frac{d-h(t)}{c} + r(t) \quad (5)$$

Zoals hiervoor aangegeven, zijn c en d voor een systeem van n ontwateringniveaus (= n drempels) samengesteld uit de componentenparen (c_1, d_1), ..., (c_n, d_n) met bijbehorende S_1 , ..., S_n , zodat rekening wordt gehouden met de diepte-afhankelijkheid van S . Als ze worden geplaatst in oplopende volgorde van de waarde van d , dus $d_i < d_{i+1}$ en $1 \leq i < n$ geldt:

$$\frac{1}{c(h)} = \sum_{i=1}^n \frac{1}{c_i}, \text{ waar } c_i = \infty \text{ voor } d_i < h(t) \leq d_{i+1}, 1 \leq i < n$$

$$d^* = c(h) \sum_{i=1}^n \frac{d_i}{c_i}, \text{ waar } c_i = \infty \text{ voor } d_i < h(t) \leq d_{i+1}, 1 \leq i < n \quad (6)$$

$$S = S_i \text{ voor } d_i < h(t) \leq d_{i+1}, 1 \leq i < n$$

Onder gebruikmaking van (6) kan vergelijking (5) worden geschreven als

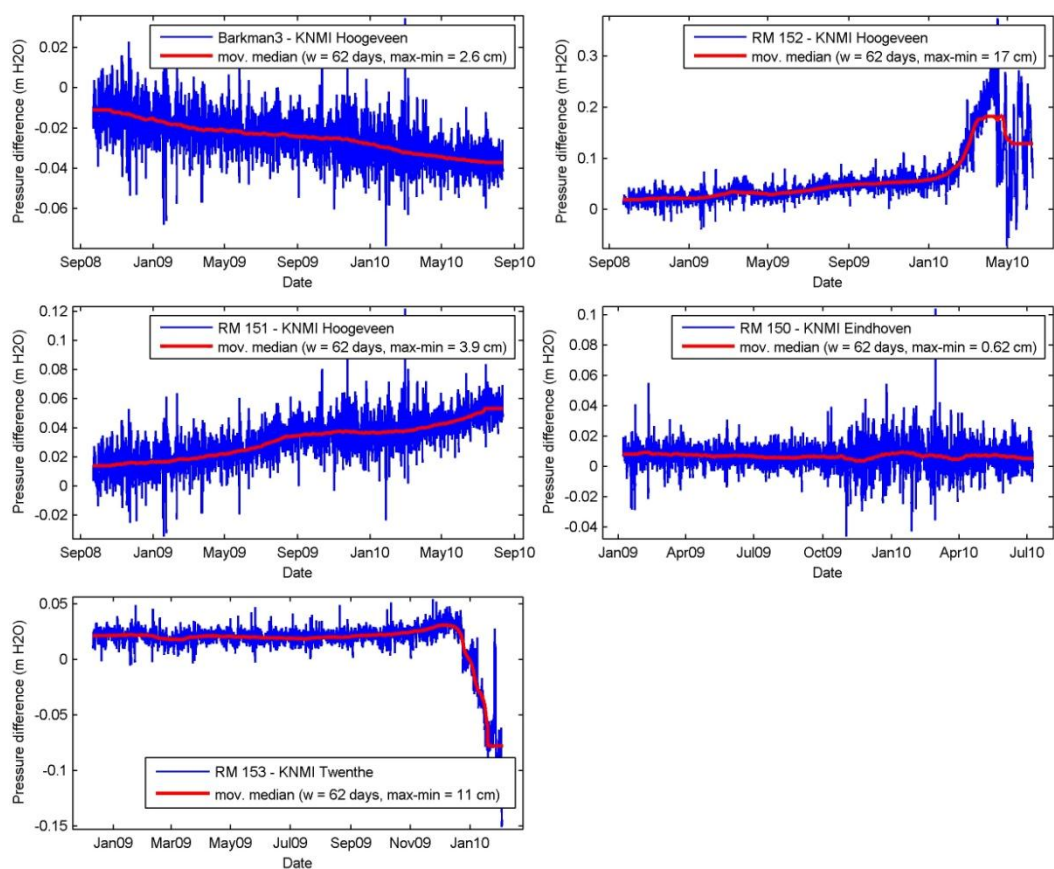
$$S \frac{dh}{dt} = \frac{d^* - h(t)}{c(h)} + r(t) \quad (7)$$

De algemene oplossing van vergelijking (7) voor een tijdstap Δt is

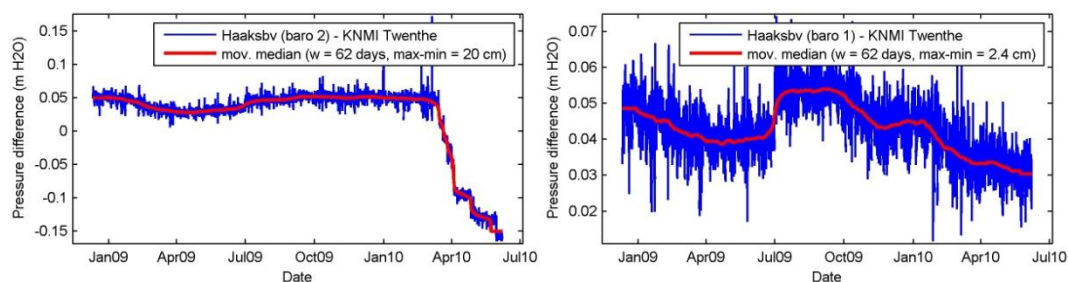
$$h(t) = \{h(t - \Delta t) - d^*\} e^{\frac{-\Delta t}{c(h)S}} + \frac{1}{S} \int_{t-\Delta t}^t r(t - \tau) e^{\frac{\tau}{c(h)S}} d\tau \quad (d_n < h \leq d_{n+1}) \quad (8)$$

Bijlage 2: Resultaten validatie en correctie luchtdrukreeksen

Versillen luchtdrukreeksen uit regenmeters en DCX-22SG drukopnemer (Barkman 3) met die van het dichtstbijzijnde KNMI-station



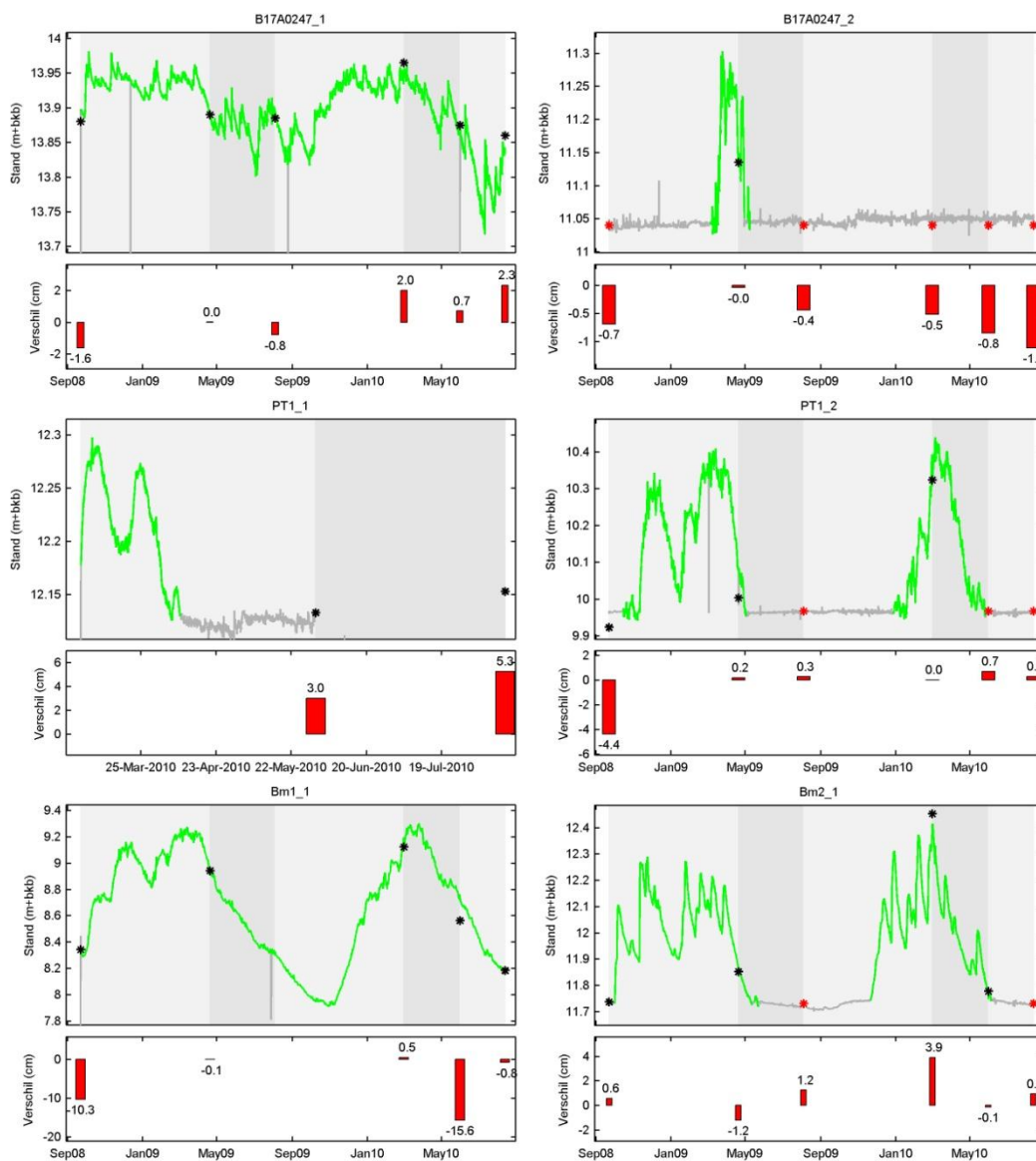
Versillen luchtdrukreeksen uit Divers met die van het dichtstbijzijnde KNMI-station



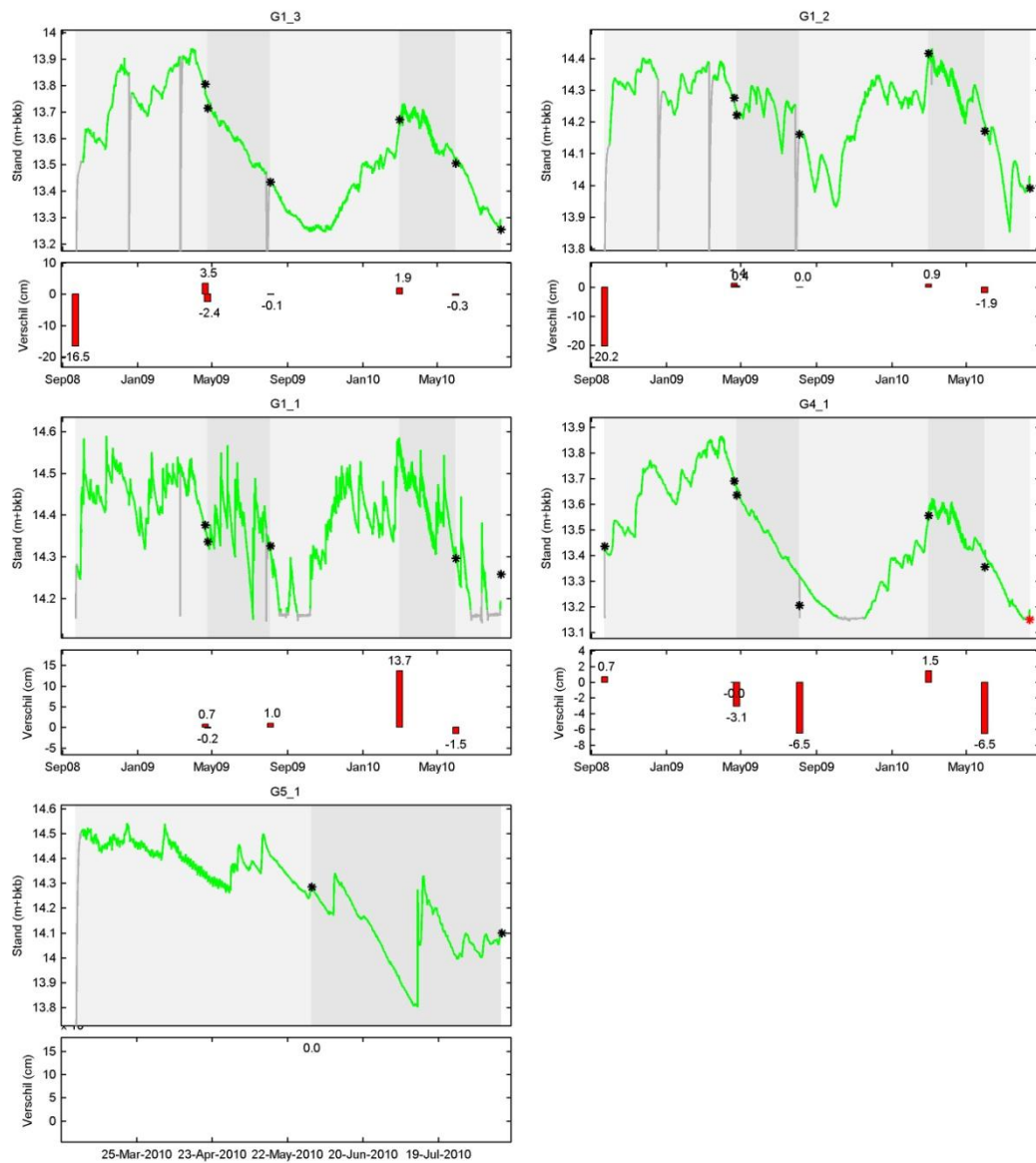
Bijlage 3: Resultaten validatie en correctie waterdrukreeksen

De grafieken in deze bijlage weerspiegelen de originele waterdrukreeksen, weliswaar met correctie van de gebruikte luchtdrukreeksen, maar dus zonder correctie van de waterstanden a.d.h.v. de handmetingen.

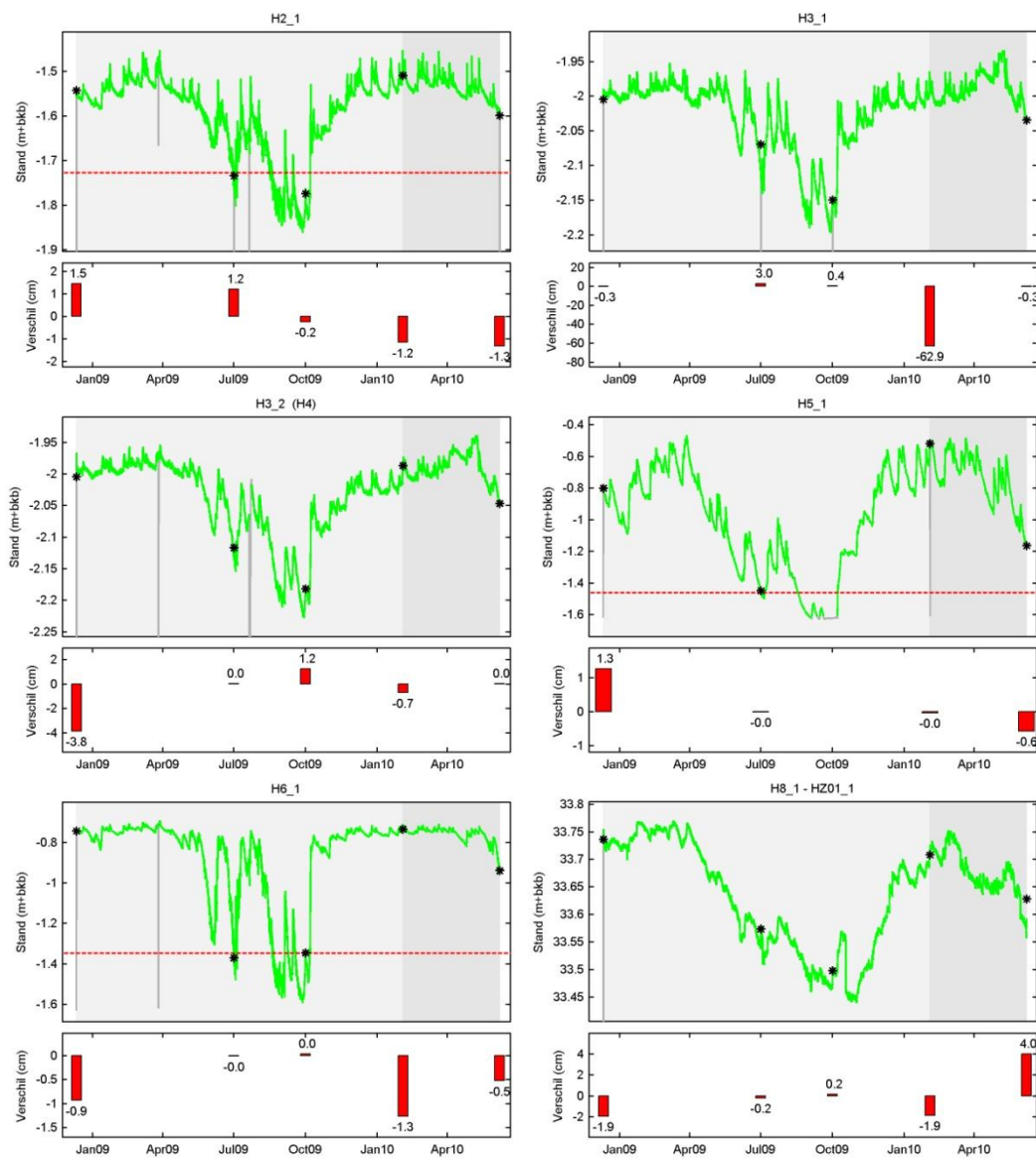
Data Dwingelerveld



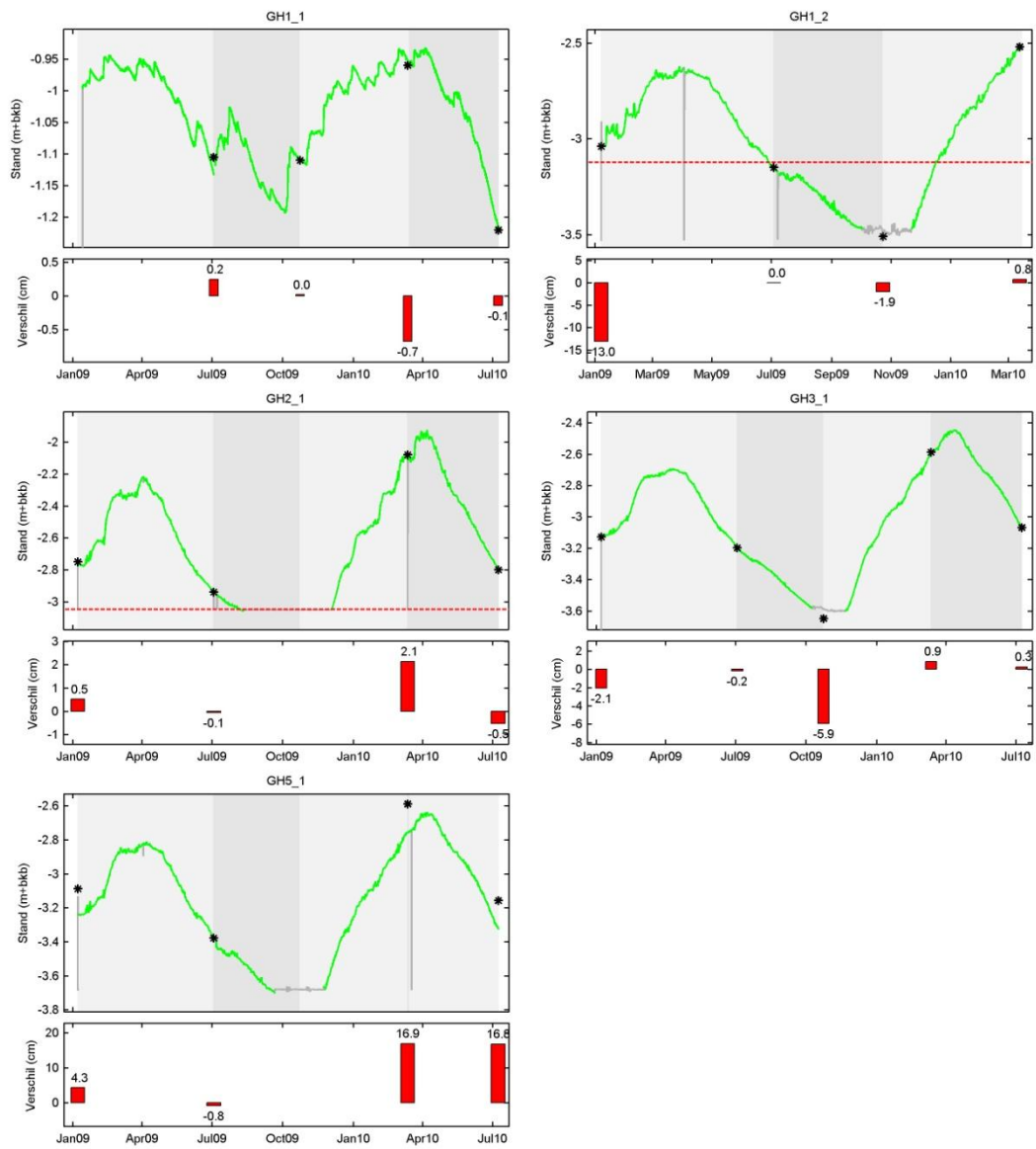
Data boswachterij Gieten



Data Haaksbergerveen



Data Groote Heide



Bijlage 4: Bodembeschrijvingen

Boswachterij Gieten

Metadata

Boor_nr	Tkrt_nr	X	Y	Hoogte	Karteerder	Jaar	Maand	Bodem_c	Stpc_voor	Stpc_sub	Stpc_cijf	Stpc_kalk	Stpc_achter	Stpc_verg	GHG	GLG	Stpc_gt	Bew
2001	12C	245257	553116		KIE	2008	4	WD		2r	431				70	160	Vlo	50
2002	12C	245259	553108		KIE	2008	4	WN		2n	423				10	85	IIIa	25
2003	12C	245279	553088	-1,11	KIE	2008	4	WN		1h	s				5	70	IIa	20
2004	12C	245260	553152		KIE	2008	4	BX		2r	431				130	275	Vlid	50
2005	12C	245241	553207	-0,60	KIE	2008	4	BX		2n	422				70	165	Vlo	50
2006	12C	245393	553402		KIE	2008	4	GR		2r	432				60	150	Vlo	45
2007	12C	245057	553296		KIE	2008	4	BL		2m	432				70	170	Vlo	50

Opmerkingen: Bij boring 2007 25m zuidelijker grof zand op 50 cm; de zuidelijker t.o.v. boring 2003 gelegen dobbe had een diepte van bijna 4 meter, dus iets meer veen dan 2003.

Boring 2001

Boor_nr	Laag_nr	Bovengrens	Ondergrens	Hor_code	Org_stof	Veen_c	Lutum	Leem	M50	Kalk	Rijping	K_sat		Opmerking
												Geo_for_c	cm/dag	Kolom_d
2001	1	0	20	1A/E	3,0			8	155			410	60	grijszwart; heterogeen
2001	2	20	30	1Bhe1	5,0			10	155			410	35	zeer donkerbruin
2001	3	30	45	1Bhe2	2,0			9	155			410	45	donkerbruin
2001	4	45	90	1BCe	0,5			8	150			410	90	geelbruin
2001	5	90	110	1Ce1	0,3			8	150			410	120	geelgrijs
2001	6	110	150	1Ce2	0,4			14	155			410	70	grijs; leembandjes (lösleem)
2001	7	150	180	1Cer	0,4			14	155			410	60	grijs; leembandjes (lösleem)
2001	8	180	240	1Cr	0,4			12	175			410	100	grijs; leembandjes (lösleem) en grindjes

Boring 2002

Boor_nr	Laag_nr	Bovengrens	Ondergrens	Hor_code	Org_stof	Veen_c	Lutum	Leem	M50	Kalk	Rijping	K_sat		Opmerking
												Geo_for_c	cm/dag	Kolom_d
2002	1	0	15	1Ah	45,0	DV						110	30	zwart veraard veen; iets zandbijnmenging
2002	2	15	30	2Cu	30,0	GL						160	1	zwarte gliede
2002	3	30	50	3Bhe	3,0			30	115			410	2	KB bruine, kazige B-horizont
2002	4	50	85	3BCe	0,5			8	165			410	90	bruin-grijs; grindjes
2002	5	85	115	3Cer	0,3			10	165			410	120	grijs; leembandje (lösleem)
2002	6	115	150	3Cr	0,3			12	175			410	120	grijs; leembandjes (lösleem) en grindjes

Boring 2003

Boor_nr	Laag_nr	Bovengrens	Ondergrens	Hor_code	Org_stof	Veen_c	Lutum	Leem	M50	Kalk	Rijping	Geo_for_c	K_sat cm/dag	Kolom_d	Opmerking
2003	1	0	20	1Ah	60,0	DV						110	20	VA	zwart, veraard veen
2003	2	20	40	1Cw	80,0	S						150	10	HV	zwart, half veraard veen
2003	3	40	80	1Cu	90,0	S						150	10		zwart veen met lok
2003	4	80	140	1Cr1	70,0	C						130	15		bruin, zeggeachtig, gereduceerd veen
2003	5	140	160	1Cr2	50,0	C						130	10		bruin, zeggeachtig, gereduceerd veen (leemachtig)
2003	6	160	195	1Cr3	90,0	S						150	40		bruin bladmosveen; groffe structuur
2003	7	195	260	1Cr4	20,0	GY						160	2		bruin, gyttja-achtig veen, lemig
2003	8	260	300	2Cr	0,5				4	300		413	531		grijs, matig orof zand; grindjes

Boring 2004

Boor_nr	Laag_nr	Bovengrens	Ondergrens	Hor_code	Org_stof	Veen_c	Lutum	Leem	M50	Kalk	Rijping	Geo_for_c	K_sat cm/dag	Kolom_d	Opmerking
2004	1	0	35	1A/E/B	3,0			8	155			410	60		donkergruisbruin;heterogeen
2004	2	35	50	1Bhe1	2,0			10	155			410	30		donkerbruin
2004	3	50	90	1BCe	0,5			8	160			410	80		bruin
2004	4	90	130	1Ce1	0,3			10	155			410	100		geelgrijs
2004	5	130	150	1Ce2	0,3			8	160			410	150		grijs
2004	6	150	190	1Ce3	0,3			10	155			410	100		grijs
2004	7	190	220	1Cg1	0,3			16	160			410	80		bruin;grijs; leembandjes (lösleem); roestig
2004	8	220	250	1Cg2	0,3			12	175			410	150		grijsbruin; roestig; grindjes (steentjes)
2004	9	250	300	1Cgr	0,3			10	200			410	300		grijsbruin; roestig; grindjes (steentjes)+ leembandje
2004	10	300	315	2Cr	0,3			40	110			422	10		grijs leembandje; iets gelaagd
2004	11	315	320	3Cr	0,3			4	400			531	600		grijs, matig grof zand

Boring 2005

Boor_nr	Laag_nr	Bovengrens	Ondergrens	Hor_code	Org_stof	Veen_c	Lutum	Leem	M50	Kalk	Rijping	Geo_for_c	K_sat cm/dag	Kolom_d	Opmerking
2005	1	0	45	1A/Bhe	20,0	DZ		12	145			693	40		veen en podzolresten; oorspronkelijk dun veendek
2005	2	45	60	2BCe	1,0			14	140			410	60		licht bruin
2005	3	60	120	2Ce1	0,3			10	150			410	100		grijsgeel; enkel grindje
2005	4	120	150	2Ce2	0,2			8	170			410	150		grijs; enkel grindje
2005	5	150	180	2Cer	0,2			6	180			413	300		grijs; enkel grindje
2005	6	180	200	2Cr	0,2			6	180			413	300		grijs; enkel grindje

Boring 2006

K_sat															
Boor_nr	Laag_nr	Bovengrens	Ondergrens	Hor_code	Org_stof	Veen_c	Lutum	Leem	M50	Kalk	Rijping	Geo_for_c	cm/dag	Kolom_d	Opmerking
2006	1	0	20	1Ah	10,0				12	155			410	40	zwart, humusrijk zand
2006	2	20	45	1Bhe	3,0				10	160			410	30	zeer donker bruin
2006	3	45	60	1BCe	1,0				12	150			410	60	bruin
2006	4	60	100	1Ce1	0,3				10	155			410	100	geelgrijs
2006	5	100	140	1Ce2	0,2				8	160			410	150	grijs
2006	6	140	160	1Cer	0,2				7	165			413	200	grijs
2006	7	160	189	1Cr	0,2				5	180			413	300	grijs: grindies

Boring 2007

Boor_nr	Laag_nr	Bovengrens	Ondergrens	Hor_code	Org_stof	Veen_c	Lutum	Leem	M50	Kalk	Rijping	K_sat		Opmerking
												Geo_for_c	cm/dag	
2007	1	0	25	1Ap	3,5			11	155			692	40	grijszwart
2007	2	25	50	1Cw/Bhe	10,0			11	155			693	40	podzol- en veenresten; donkerbruin
2007	3	50	85	1BCe	0,5			9	160			410	80	bruin
2007	4	85	130	1Ce1	0,4			11	165			410	100	grijsbruin; enkel grindje
2007	5	130	160	1Ce2	0,3			11	170			410	150	grijs; enkel grindje
2007	6	160	180	1Cer	0,3			16	170			410	100	grijs; leembandje (lösleem)
2007	7	180	220	1Cr	0,2			6	180			413	300	grijs; grindjes

Dwingelerveld

Metadata

Boor_nr	Tkrt_nr	X	Y	Hoogte	Karteerder	Jaar	Maand	Bodem_c	Stpc_voor	Stpc_sub	Stpc_cijf	Stpc_kalk	Stpc_achter	Stpc_verg	GHG	GLG	Stpc_gt	Bew
1001	17A	225908	537809	12,19	KIE	2008	4	BX		2r	431		x16		70	410	Vld	80
1002	17A	225745	537874	13,01	KIE	2008	4	BX		5k	431				50	125	Vlo	100
1003	17A	225836	537957	12,18	KIE	2008	4	WD		2p	431		x18		70	400	Vld	50
1004	17A	225463	538504	14,04	KIE	2008	5	WD		2r	431		x16		70	300	Vld	50
1005	17A	225434	538519	13,96	KIE	2008	5	WN		1k	p12				0	10	Ia	30

Boring 1001

Boor_nr	Laag_nr	Bovengrens	Ondergrens	Hor_code	Org_stof	Veen_c	Lutum	Leem	M50	Kalk	Rijping	K_sat		Opmerking
												Geo_for_c	cm/dag	
1001	1	0	40	1A/E/B	3,0			9	155			410	40	zwartbruin met loodzand; heterogeen
1001	2	40	60	1Bhe	2,0			9	155			410	40	donkerbruin; podzol
1001	3	60	80	1BCe	0,4			7	155			410	80	bruin
1001	4	80	160	1Cg	0,2			7	155			410	100	grijsbruin; roestig
1001	5	160	250	2Cg1	0,2		22	38	160	1	5	510	2 X2	grijsbruine keileem; roestig
1001	6	250	410	2Cg2	0,2		13	22	160	1	5	510	15 X1	grijsbruine tot grijze, zandige keileem; afnemend roestig
1001	7	410	420	3Cgr	0,2			12	125			490	100 PM	grijs; nog enkel roestvlekje

Boring 1002

Boor_nr	Laag_nr	Bovengrens	Ondergrens	Hor_code	Org_stof	Veen_c	Lutum	Leem	M50	Kalk	Rijping	K_sat		Opmerking
												Geo_for_c	cm/dag	
1002	1	-3	0	1Oh	60,0	L						170	80	strooisellaag
1002	2	0	20	2A/E/B	1,5			6	170			450	100	donker bruingrijs; micropodzol ontwikkeld in stuifzand
1002	3	20	100	2Ce	0,3			4	170			450	250	licht bruingrijs; ingestoven
1002	4	100	120	2Cer	0,3			4	170			450	250	grijs; ingestoven
1002	5	120	150	2Cr	0,5			4	170			450	250	grijs; veen-humusbandje
1002	6	150	185	3Cu	75,0	S						150	5	zwartbruin veenmosveen
1002	7	185	205	4Cu	50,0	GL	80					160	1	zwarte gliede
1002	8	205	230	5Bhe	6,0			16	155			410	2	zeer donkerbruin; verkit
1002	8	230	300	5BCe	0,5			12	155			410	60	bruin
1002	9	300	380	6Cu	0,3		14	24	170	1	4	510	10	grijze tot blauwgrijze, zandige keileem; weinig roest

Boring 1003

Boor_nr	Laag_nr	Bovengrens	Ondergrens	Hor_code	Org_stof	Veen_c	Lutum	Leem	M50	Kalk	Rijping	Geo_for_c	K_sat		Opmerking
													cm/dag	Kolom_d	
1003	1	0	30	1A/E/B	1,5			6	170			450	40		donker bruingrijs; micropodzol ontwikkeld in stuifzand
1003	2	30	40	2Cw	55,0	DV						110	40		zwart veraard veen; iets zandbijneming
1003	3	40	50	3AE	1,0			10	160			410	40		donkergrijs; overgangslaag (A- naar B-horizont)
1003	4	50	60	3Bhe	2,5			12	160			410	25		donkerbruin; iets verkit
1003	5	60	100	3BCe	0,5			9	155			410	80		bruin
1003	6	100	180	3Cg	0,2			7	160			410	200		oranje bruingrijs; roestig
1003	7	180	250	4Cg1	0,2		20	36	160	1	5	510	3	X2	bruinrijze keileem; roestig
1003	8	250	300	4Cg2	0,2		14	25	170	1	5	510	15	X1	bruinrijze, zandige keileem; roestig
1003	9	300	400	4Cg3	0,2		18	33	170	1	4	510	10	X2	bruinrijze keileem; roestig
1003	9	400	500	4Cgr	0,2		18	33	170	1	3	510	10	X2	grijze keileem; iets roest
1003	10	400	550	5Cr	0,2			12	165			520	80	XZ	grijs keizand; enkel grindje

Boring 1004

Boor_nr	Laag_nr	Bovengrens	Ondergrens	Hor_code	Org_stof	Veen_c	Lutum	Leem	M50	Kalk	Rijping	Geo_for_c	K_sat		Opmerking
													cm/dag	Kolom_d	
1004	1	0	10	1Cu	1,5			8	155			450	200		hfdz. stuifzand; donkergrijs; bijmenging loodzand
1004	2	10	20	2Cw	25,0	DZ						110	60		zwart, venig zand
1004	3	20	40	3Bhe	2,5			10	155			410	40		donkerbruine humuspodzol
1004	4	40	60	3BCe	0,5			10	155			410	80		bruin tot geelbruin
1004	5	60	130	3Ce	0,2			10	145			410	120		geel
1004	6	130	160	3Cg	0,2			10	165			410	200		geelgrijs; keizandachtig
1004	7	160	280	4Cg1	0,2		13	25	170	1	5	510	15	X1	grijsbruine, zandige keileem; roestig
1004	8	280	300	4Cg2	0,2		18	34	170	1	5	510	3	X2	grijsbruine tot grijze keileem; roestig
1004	9	300	330	4Cgr	0,2		13	25	170	1	5	510	15	X1	grijze, zandige keileem; nog iets roest
1004	10	330	400	5Cr	0,2			10	150			490	120	PM	grijs

Boring 1005

Boor_nr	Laag_nr	Bovengrens	Ondergrens	Hor_code	Org_stof	Veen_c	Lutum	Leem	M50	Kalk	Rijping	Geo_for_c	K_sat		Opmerking
													cm/dag	Kolom_d	
1005	1	0	105	1Cr1	90,0	J						151	60		bolster; witveen
1005	2	105	120	1Cr2	50,0	GL						160	0,5		zwarte gliede
1005	3	120	145	2Bhe	10,0			16	155			410	0,5		zwartbruin zand; verkitte humuspodzol
1005	4	145	160	2BCe	0,5			12	155			410	60		bruin; onverzadigd (bina droog)

Groote Heide

Metadata

Boor_nr	Tkrt_nr	X	Y	Hoogte	Karteerder	Jaar	Maand	Bodem_c	Stpc_voor	Stpc_sub	Stpc_cijf	Stpc_kalk	Stpc_achter	Stpc_verg	GHG	GLG	Stpc_gt	Bew
1001	57E	164262	373648	-1,02	KIE	2008	10	WN		1k	s			F	0	10	la	50
1002	57E	164213	373669	-0,58	KIE	2008	10	BX		2r		421		F	150	250	VIIId	80
1003	57E	164185	373721	-0,398	KIE	2008	10	BX		2r		431		F	200	350	VIIId	80
1004	57E	164331	373611	0,192	KIE	2008	10	BX		2r		421		F	160	260	VIIId	80

Boring1001

Boor_nr	Laag_nr	Bovengrens	Ondergrens	Hor_code	Org_stof	Veen_c	Lutum	Leem	M50	Kalk	Rijping	K_sat		Opmerking
												Geo_for_c	cm/dag	Kolom_d
1001	1	0	160	1Cr	90,0	S						150	100	jong veenmosveen; bruinwit
1001	2	160	170	2Cu	60,0	GL						160	10	zwart; baggerachtig (slap)
1001	3	170	190	3Bher1	1,5			16	160			410	40	bruin; zwakke podzol
1001	4	190	210	3Bher2	4,0			16	160			410	2	donkerbruin waterhard; zwarte vlekken en fossiele wortelresten
1001	5	210	240	3Cr	1,0			16	160			410	20	grijsbruin met losseleemlaagjes (Brabant leem)

Boring1002

Boor_nr	Laag_nr	Bovengrens	Ondergrens	Hor_code	Org_stof	Veen_c	Lutum	Leem	M50	Kalk	Rijping	K_sat		Opmerking
												Geo_for_c	cm/dag	Kolom_d
1002	1	-3	0	1Oh	60,0	L						170	80	strooisellaag
1002	2	0	45	2A/E	3,0				8	145		410	80	zwart en grijs zand
1002	3	45	55	2E/Bhe	1,0				8	145		410	80	grijs en bruin
1002	4	55	95	2BCe	0,5				8	150		410	80	bruin tot geelbruin
1002	5	95	170	2Ce1	0,3				10	140		410	60	geel tot geelgrijs
1002	6	170	250	2Ce2	0,4				8	175		410	120	bruingrijs; fluviaal?
1002	7	250	260	2Cer	0,4				6	180		410	200	grijs
1002	8	260	280	3Cr	8,0				40	90		422	1 LL	bruingrijze, humeuze leemband
1002	9	280	300	4Cr	0,4				10	160		410	60	grijs

Boring1003

Boor_nr	Laag_nr	Bovengrens	Ondergrens	Hor_code	Org_stof	Veen_c	Lutum	Leem	M50	Kalk	Rijping	K_sat		Opmerking
												Geo_for_c	cm/dag	Kolom_d
1003	1	0	35	1A/E	3,0			8	160			410	80	zwart en grijs zand
1003	2	35	50	1Bhe	1,5			8	160			410	60	donkerbruin
1003	3	50	60	1BCe	0,5			8	155			410	80	bruin
1003	4	60	80	1Cg1	0,3			8	155			410	100	geelbruin; oranjebruine roestvlekken
1003	5	80	210	1Cg2	0,3			12	140			410	80	geelbruin; oranjebruine roestvlekken
1003	6	210	240	1Cg3	0,3			6	165			410	150	bruingrijs; roestig; fluviaal?
1003	7	240	350	1Cg4	0,3			8	160			410	150	bruingrijs; roestig; enkele leembandjes
1003	8	350	400	1Cgr	0,3			8	160			410	150	grijs; iets roestig; enkele leembandjes

Boring1004

Boor_nr	Laag_nr	Bovengrens	Ondergrens	Hor_code	Org_stof	Veen_c	Lutum	Leem	M50	Kalk	Rijping	K_sat		Opmerking
												Geo_for_c	cm/dag	Kolom_d
1004	1	0	30	1A/E	3,0			8	155			410	100	zwart en grijs zand
1004	2	30	50	1A/E/B	2,0			8	155			410	100	zwart, bruin en grijs zand
1004	3	50	70	1BCe	0,5			8	155			410	80	bruin
1004	4	70	150	1Ce	0,3			10	140			410	80	geel; humusbandje op 140
1004	5	150	200	1Cg1	0,3			10	140			410	80	grijsgeel met oranjebruine roest
1004	6	200	240	1Cg2	0,3			8	155			410	100	geelgrijs; met grindsnoertje
1004	7	240	270	1Ce	0,3			12	140			410	40	grijs
1004	8	270	300	1Cu	0,6			8	170			410	10 WH	grijs tot bruingrijs; met waterhardlaagje
1004	9	300	320	2Cr	0,4			45	90			422	2 LL	grijs; leemband
1004	10	320	350	3Cr1	0,3			12	145			410	80	grijs
1004	11	350	400	3Cr2	0,3			16	140			410	60	grijs; met leembandje

Haaksbergerveen

Metadata

Boor_nr	Tkrt_nr	X	Y	Hoogte	Karteerder	Jaar	Maand	Bodem_c	Stpc_voor	Stpc_sub	Stpc_cijf	Stpc_kalk	Stpc_achter	Stpc_verg	GHG	GLG	Stpc_gt	Bew
1001	34H	250037	461372	-0,143	KIE	2008	10	WD		2r	431				75	165	Vlo	50
1002	34H	250033	461409	-1,458	KIE	2008	10	WN		v4d	431				10	85	IIIa	40
1003	34H	250039	461405		KIE	2008	10	WN		5k	431			F	5	70	IIa	40
1004	34H	250031	461473	-1,923	KIE	2008	10	WN		1k	s			F	0	10	I	40
1005	34G	249956	461340	-0,425	KIE	2008	10	WD		2n	431				35	140	Vbo	40
1006	34G	249870	461276	-0,658	KIE	2008	10	WN		2n	431				15	110	IIIa	40

Boring1001

Boor_nr	Laag_nr	Bovengrens	Ondergrens	Hor_code	Org_stof	Veen_c	Lutum	Leem	M50	Kalk	Rijping	Geo_for_c	K_sat cm/dag	Kolom_d	Opmerking
1001	1	0	15	1Ah		5,0			7	170		410	100		zwartgrijs; loodzandresten
1001	2	15	25	1E		1,0			5	170		410	300		grijs; loodzand
1001	3	25	35	1Bhe1		3,0			7	170		410	40		zeer donkerbruin; iets verkit
1001	4	35	50	1Bhe2		1,5			5	170		410	100		donkerbruin
1001	5	50	65	1BCe		0,5			5	170		410	200		lichtbruin
1001	6	65	85	1Ce1		0,3			5	170		410	400		geelbruin
1001	7	85	150	1Ce2		0,2			5	170		410	500		geelgrijs
1001	8	150	175	1Cer		0,2			5	170		410	500		grijs
1001	9	175	180	1Cr		0,2			5	170		410	500		grijs

Boring1002

Boor_nr	Laag_nr	Bovengrens	Ondergrens	Hor_code	Org_stof	Veen_c	Lutum	Leem	M50	Kalk	Rijping	Geo_for_c	K_sat cm/dag	Kolom_d	Opmerking
1002	1	-8	0	1Oh		70,0	L					170	80		zodelaag
1002	2	0	20	1Ah		30,0	DZ		8	185		110	15		zwart half veraard zand veen; onderin iets gliedeachtig
1002	3	20	90	2Cu		1,0			5	220		410	200		grijsbruin; iets humusinspoelig en iets heterogeen; ingestoven of door de mens opgebracht?
1002	4	90	115	3Cr		50,0	C					130	20		bruin mesotroof veen; ook zandbijmenging door verstuiwen
1002	5	115	150	4Cr		0,3			5	220		413	600		grijs, matig grof zand (zie M50, < 210 is matig fijn)

Boring1003

Boor_nr	Laag_nr	Bovengrens	Ondergrens	Hor_code	Org_stof	Veen_c	Lutum	Leem	M50	Kalk	Rijping	Geo_for_c	K_sat cm/dag	Kolom_d	Opmerking
1003	1	-8	0	1Oh		70,0	L					170	80		zodelaag
1003	2	0	10	1Ah		12,0			8	200		410	100		zwart humusrijk zand; nauwelijks restveen
1003	3	10	70	1Cu		1,0			5	220		410	500		grijsbruin; enkele houtresten
1003	4	70	90	2Cr		40,0	DZ					160	15		bruin mesotroof veen; ook zandbijmenging door instuiven
1003	5	90	150	3Cr		0,2			5	220		413	600		grijs, matig grof zand (zie M50, < 210 is matig fijn)

Boring1004

Boor_nr	Laag_nr	Bovengrens	Ondergrens	Hor_code	Org_stof	Veen_c	Lutum	Leem	M50	Kalk	Rijping	Geo_for_c	K_sat cm/dag	Kolom_d	Opmerking
1004	1	0	50	1Cr1		90,0	S					150	40		grijsbruin, jong veenmosveen
1004	2	50	60	1Cr2		60,0	DV					160	20		zwart, gliedeachtig veen; restant oud veenmosveen?
1004	3	60	70	2Cr1		4,0			20	190		413	20		grijsbruin; lemig
1004	4	70	120	2Cr2		0,5			6	200		413	400		grijs; houtresten

Boring1005

Boor_nr	Laag_nr	Bovengrens	Ondergrens	Hor_code	Org_stof	Veen_c	Lutum	Leem	M50	Kalk	Rijping	Geo_for_c	K_sat cm/dag	Kolom_d	Opmerking
1005	1	0	20	1Ah	30,0	DZ						110	15		zwart, veraard zandig veen
1005	2	20	40	2Bhe	1,0			5	200			410	80		bruin, zwakke podzol
1005	3	40	60	2BCe	0,5			5	200			410	300		lichtbruin
1005	4	60	80	2Ce1	0,3			5	200			410	400		geelgrijs
1005	5	80	120	2Ce2	0,3			5	180			410	400		grijs
1005	6	120	140	2Cer	0,3			5	180			410	400		grijs
1005	7	140	160	2Cr	0,3			5	180			410	400		grijs

Boring1006

Boor_nr	Laag_nr	Bovengrens	Ondergrens	Hor_code	Org_stof	Veen_c	Lutum	Leem	M50	Kalk	Rijping	Geo_for_c	K_sat cm/dag	Kolom_d	Opmerking
1006	1	0	10	1Ah	20,0	DZ						110	20		zwart, veraard venig zand
1006	2	10	30	2Bhe	1,5			8	200			410	60		bruin
1006	3	30	100	2BCe	0,5			5	200			410	200		lichtbruin
1006	4	100	120	2Cer	0,3			5	200			410	500		grijs
1006	5	120	150	2Cr	0,3			5	200			410	500		grijs