

BTO 2015.018 | April 2015

BTO rapport

Verband tussen stijghoogte en grondwaterstand in schijnspiegelsystemen

BTO

Verband tussen stijghoogte en grondwaterstand in schijnspiegelsystemen

BTO 2015.018 | April 2015

Opdrachtnummer

400359 (oud projectnummer: C222042)

Projectmanager

Martin de Haan

Opdrachtgever

BTO-Speerpuntonderzoek

Kwaliteitsborger

Jos von Asmuth

Auteurs

Edu Dorland, Gijsbert Cirkel, Jan-Philip Witte

Verzonden aan

Dit rapport is openbaar.

Jaar van publicatie
2015

Meer informatie

T +31 (0)30 60 69 532
E edu.dorland@kwrwater.nl

PO Box 1072
3430 BB Nieuwegein
The Netherlands

T +31 (0)30 60 69 511
F +31 (0)30 60 61 165
E info@kwrwater.nl
I www.kwrwater.nl



BTO | April 2015 © KWR

Alle rechten voorbehouden.
Niets uit deze uitgave mag worden verveelvoudigd,
opgeslagen in een geautomatiseerd gegevensbestand,
of openbaar gemaakt, in enige vorm of op enige wijze,
hetzij elektronisch, mechanisch, door fotokopieën,
opnamen, of enig andere manier, zonder voorafgaande
schriftelijke toestemming van de uitgever.

Samenvatting

Het onttrekken van grondwater leidt tot verlaging van de stijghoogte in de omgeving van de winning. Wanneer een waterwinning dicht bij grondwaterafhankelijke natuurgebieden ligt, kunnen de verlagingen negatieve effecten hebben op de natuur. Vennen en veentjes die afhankelijk zijn van schijnspiegelsystemen, vormen binnen de grondwaterafhankelijke ecosystemen een wat afwijkende groep. De relatie tussen schijnspiegel en stijghoogte is complex en afhankelijk van de bodemfysische eigenschappen van zowel het bovenste veenpakket, als van het daaronder liggende zandpakket en de slecht doorlatende laag op de overgang tussen beiden. Wegens deze complexiteit bestaat er in de vakliteratuur discussie over de vraag in hoeverre de stijghoogte invloed heeft op de grondwaterstand van de schijnspiegel en of het noodzakelijk is dat de stijghoogte tot in de veenbasis moet reiken om uitdroging en afbraak van de veenbasis te voorkomen.

Deze discussie kan moeilijk beslecht worden met veldonderzoek alleen. Dat komt niet alleen door de grote ruimtelijke variatie aan abiotische omstandigheden in het veld, maar vooral door de grote complexiteit van het stromingsproces in schijnspiegelsystemen, alsmede door de moeilijkheid om twee belangrijke waterbalansposten – wegzijging en oppervlakteafvoer – te meten. Daarom onderzochten wij de effecten van de stijghoogte op de grondwaterstand door simulaties met behulp van de modelcode SWAP. Dat deden we door twee modellen te maken die zo goed mogelijk de schijnspiegelsystemen van het Nederlandse zandlandschap representeren. De twee modellen bevatten een veenpakket van 135 cm met daaronder een pakket dekzand van 260 cm. Ze verschillen in de opbouw van de toplaag: het ene model heeft een toplaag die wordt gedomineerd door veenmossen, terwijl het andere model voor het grootste deel uit dopheide bestaat. Onder deze toplaag bevinden zich drie veenlagen met toenemende humificatiegraad, met daar weer onder een slecht doorlatende laag (bestaande uit een gliedelaag en een kazige B-horizont). De modellen legden we een range aan vaste stijghoogten op (20-335 cm –mv, ofwel 105 cm boven en 200 cm beneden de veenbasis) en vervolgens bepaalden we de effecten daarvan op de schijnspiegels.

De belangrijkste resultaten uit onze simulaties zijn:

- Bij zeer hoge verzadigde weerstanden (20.000 d) van de slecht doorlatende laag is de schijnspiegeldynamiek onafhankelijk van de stijghoogte. Wegzijging is zeer gering en nauwelijks afhankelijk van een verlaging van de stijghoogte.
- Bij een verzadigde weerstand van 2000-4000 d is er wel een duidelijk verband tussen wegzijging en de stijghoogte aanwezig. De wegzijging neemt aanvankelijk toe met een dalende stijghoogte, maar met verder dalende stijghoogte neemt ook de invloed van de stijghoogte op de wegzijging af. Bij een stijghoogte dieper dan ca. 145 cm beneden de veenbasis functioneert het schijnspiegelsysteem onafhankelijk van zijn omgeving (uitgaande van een leemarme matig fijne zandondergrond)
- De door ons afgeleide maatgevende jaarlijkse wegzijging komt goed overeen met de door Streefkerk en Casparie (1987) afgeleide maximale jaarlijkse wegzijging
- Onafhankelijk van de verzadigde doorlatendheden van de slecht doorlatende laag wordt het relatieve vochtgehalte van de veenbasis bij een afname van de stijghoogte nooit lager dan 77 %. Nader onderzoek naar de krimpeigenschappen van veenbasismateriaal (o.a. kazige B, gliede) is noodzakelijk om de geconstateerde maximale afname van het vochtgehalte te kunnen vertalen naar eventuele structuurveranderingen.

- De samenstelling van de toplaag is van invloed op de mate van wegzijging en de schijnspiegeldynamiek. Indien de vegetatie voornamelijk uit heide bestaat met een lager aandeel aan veenmossen, daalt de schijnspiegel meer bij een verlaging van de stijghoogte, dan wanneer de toplaag geheel uit veenmos bestaat. Dit wordt met name veroorzaakt doordat hogere planten, in tegenstelling tot veenmossen, wortels hebben en daardoor bij dalende grondwaterstanden langer doorgaan met verdampen.

Vanzelfsprekend zijn onze SWAP-simulaties virtuele situaties en een benadering van de werkelijkheid. Zo verwaarlozen we laterale stroming door het veen en lokale heterogeniteit in bodemeigenschappen en wordt geen rekening gehouden met eventuele veranderingen in gasdruk onder de veenbasis door stijghoogtefluctuaties. Doordat we echter gebruik hebben gemaakt van reële bodemfysische parameters, betrouwbare meteorologische gegevens, en van zo nauwkeuring mogelijke gewasverdampingsparameters, zijn wij van mening dat onze resultaten bruikbare inzichten opleveren over de hydrologische en bodemfysische eigenschappen van schijnspiegelsystemen met een organische weerstandbiedende laag..

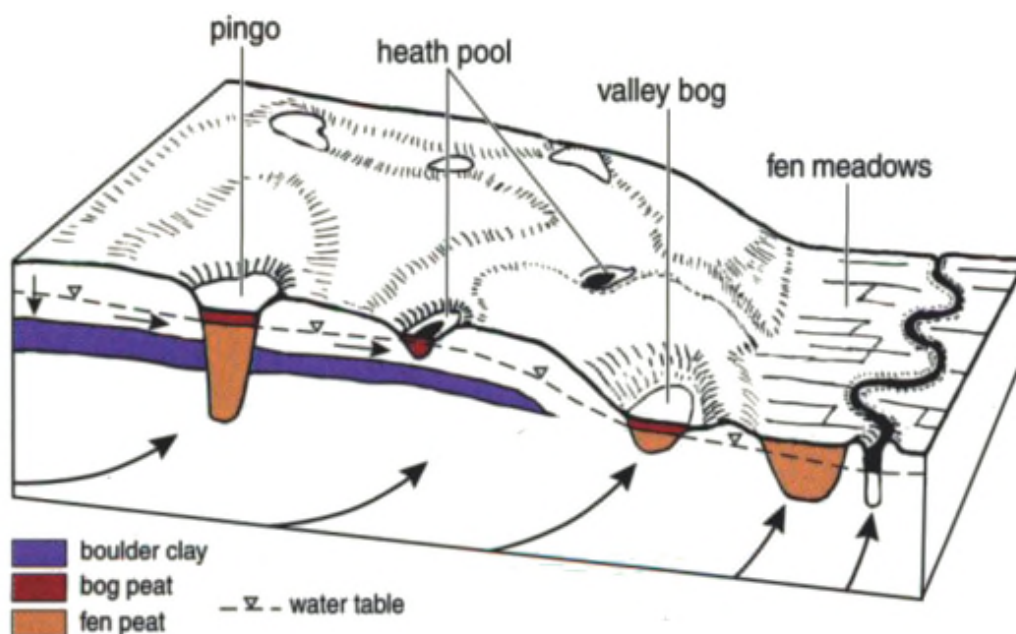
Inhoud

1	Inleiding	7
1.1	Achtergrond en probleemstelling	7
1.2	Onderzoeksvragen	11
1.3	Kenmerken van de slecht doorlatende lagen	11
2	Methode	13
2.1	Algemene opzet	13
2.2	Modelschematiseringen voor SWAP	13
2.3	Modelsimulaties	17
2.4	Toetsing aan natuurdoelen	18
3	Resultaten	19
3.1	Inleiding	19
3.2	De relatie tussen stijghoogte en wegzijging	19
3.3	Schijnwaterspiegeldynamiek in relatie tot de stijghoogte en bodemfysische eigenschappen	20
3.4	Invloed van de stijghoogte op de grondwaterstandsdynamiek	22
3.5	Stijghoogten in relatie tot waarden voor GLG en wegzijging die kritisch zijn voor natuurdoelen	24
3.6	Invloed van toplaag op schijnspiegel dynamiek	25
3.7	Wanneer valt de veenlaag van onderaf droog?	27
4	Discussie en conclusies	29
4.1	Betrouwbaarheid resultaten	29
4.2	Stijghoogte in relatie tot veenbasis	29
4.3	Uitdroging veenbasis	29
4.4	Belang toplaag	30
5	Literatuur	31

1 Inleiding

1.1 Achtergrond en probleemstelling

Het onttrekken van grondwater leidt tot verlaging van de stijghoogte in de omgeving van de winning. Wanneer een waterwinning dichtbij grondwaterafhankelijke natuurgebieden is gelegen, kunnen de verlagingen negatieve effecten hebben op de natuur. Een binnen de grondwaterafhankelijke natuurgebieden afwijkende groep van ecosystemen zijn de (heide)vennen en -veentjes die afhankelijk zijn van schijnspiegelsystemen. In Figuur 1-1 is de ligging van deze systemen ('heath pools') in het landschap weergegeven. In Kader 1 is een hydrologische schematisatie weergegeven (Figuur 1-2) en is de hydrologische definitie van een schijnspiegel nader uitgewerkt.



Figuur 1-1 Ligging van verschillende veensystemen in het landschap (Grootjans & Van Diggelen, 1998).

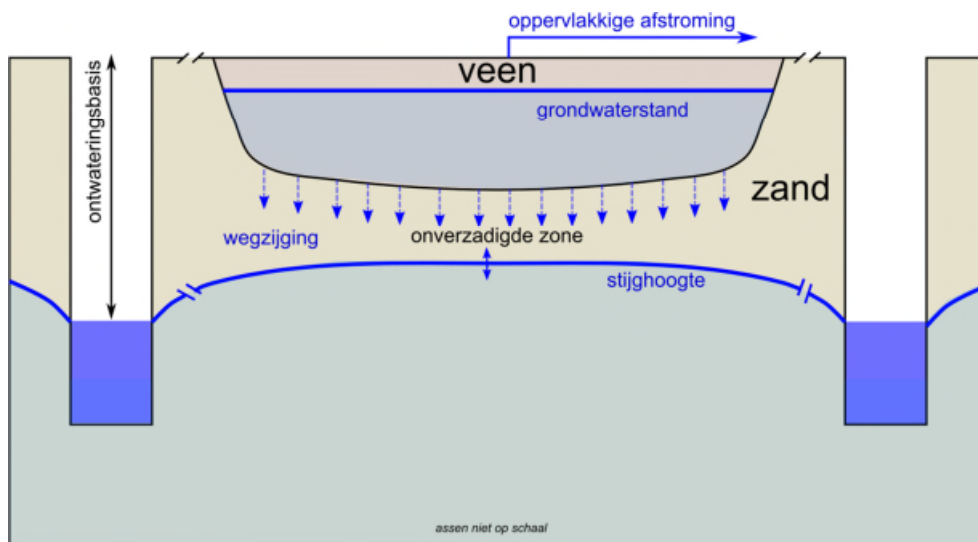
Schijnspiegelsystemen zijn grondwaterlichamen waaronder zich een onverzadigde zone bevindt, waardoor er ter plaatse twee grondwaterstanden boven elkaar voorkomen: de bovenste 'schijnbare' grondwaterstand, die in het horizontale vlak een schijnspiegel vormt, en de daaronder gelegen 'echte' grondwaterstand. In beide gevallen gaat het om freatische stijghoogten (die per definitie onder invloed staan van de atmosferische druk). Om in dit rapport beide standen van elkaar te onderscheiden noemen we de stand in het schijnspiegelsysteem voortaan de grondwaterstand en de daaronder gelegen 'grondwaterstand' de stijghoogte.

Schijnspiegelsystemen zijn voor hun watervoorziening uiteraard volledig afhankelijk van de neerslag. Ze komen voor in het zandlandschap van Nederland op plekken waar lagen in de ondergrond zo slecht doorlatend zijn, dat de wegzijging zo gering is dat het water stagneert en het systeem van boven volledig verzadigd blijft met water. Voor de ontwikkeling van een schijnspiegel is de aanwezigheid van een slecht doorlatende laag onder het veen dus essentieel. Dit kan een ijzeroer, leem- of kleilaag of een organische slecht doorlatende laag zoals een kazige B-horizont zijn (Kader 2). Boven deze laag heeft zich in de regel een gliedelaag ontwikkeld (Kader 2), die verder bijdraagt aan de slechte doorlatendheid. Door hun permanent-natte karakter komt er in laagtes van schijnspiegelsystemen vaak veen voor. Dit veen draagt eveneens bij aan het beperken van de wegzijging.

Kader 1. Definitie schijnspiegel

De 'Verklarende hydrologische woordenlijst' (Commissie voor Hydrologisch Onderzoek TNO, 1986) geeft als definitie voor een schijnspiegel: *Freatisch vlak van een grondwaterlichaam gelegen op een slecht doorlatende laag, waaronder weer een onverzadigde zone voorkomt* ('freatisch vlak' is een synoniem voor 'grondwaterspiegel').

Per definitie ligt er onder een schijnspiegel een onverzadigde zone en ligt de 'echte' grondwaterstand (voortaan aangeduid als: 'stijghoogte') onder de 'schijnbare' grondwaterstand (voortaan: 'grondwaterstand') (Figuur 1-2). Dat betekent dat in 'werkelijke' schijnspiegelsystemen de stijghoogte per definitie niet, of hoogstens voor een korte periode, tot aan/in de scheidende laag reikt. In de praktijk worden ook systemen waarbij een gedeelte van het jaar de stijghoogte onder de slecht doorlatende laag uitzakt, en er boven toch verzadiging blijft bestaan, geschaard onder schijnspiegelsystemen.



Figuur 1-2 Schematische weergave en definities van een schijnspiegelsysteem.

Kader 2. Organische slecht doorlatende lagen

Kazige B-horizont	Inspoelingshorizont met 'kazige' consistentie. Deze kazigheid wordt veroorzaakt door de inspoeling van amorfe humusdeeltjes uit bovenliggende organische (veen)lagen. Deze humus ligt als huidjes rondom zandkorrels en verbindt ze onderling door bruggetjes. Deze amorfe humus kan op deze manier de ruimtes tussen zandkorrels ook bijna geheel hebben opgevuld, waardoor de verticale waterbeweging wordt belemmerd. In vochtige toestand voelt dit materiaal min of meer smerend of 'kazig' aan (Dekker et al., 1986).
Gliede	Een zwarte, moerige laag met weinig herkenbare plantenresten. Wordt in sommige gevallen op basis van C-14 dateringen, als een organische B-laag beschouwd vanwege jongere oorsprong dan bovengelegen veen (Dekker et al., 1986).
Waterhard	Een fenomeen op het grensvlak van diagenese (zijnde het optreden van verkitting van los sediment) en bodemvorming is het ontstaan van waterhard, een donkerbruine inspoelingslaag in zand. Het verschijnsel komt voor op plekken waar (oligotroof) veen ligt op een zandondergrond. Hierbij spoelt disperse humus uit het bovenliggende veenpakket in de zandondergrond, en vormt daarin een harde laag. Waterhardlagen komen veelal voor op de flanken van het dekzandreliëf. De lagen zijn vaak erg hard en slecht doorlatend, waardoor er water op kan stagneren. Deze combinatie van kenmerken verklaart de naamgeving van het verschijnsel. (Koopman en Pfeifer, 2014).

Foto: Een waterhardlaag in zandig dekzand te Nieuw Loosdrecht. De waterhardlaag is de schuin lopende donkere laag iets onder het midden van de foto. Helemaal bovenin de foto is veen zichtbaar. Aan de Nieuw-Loosdrechtsedijk is het veenpakket nog ongeveer een meter dik. De zwarte kleur duidt erop dat het veen sterk veraard is, dit door de lage grondwaterspiegel. Vanuit het veen is disperse humus ingespoeld in het onderliggende zand, en ter plaatse van de donkere laag gestagneerd (Bron: Koopman en Pfeifer, 2014).



De relatie tussen schijnspiegel en stijghoogte is afhankelijk van de bodemfysische eigenschappen van zowel het bovenste veenpakket, als van het daaronder liggende zandpakket en van de slecht doorlatende laag op de overgang tussen beide pakketten. Mede ten gevolge van deze complexiteit bestaat er in de vakliteratuur discussie over de vraag in hoeverre de stijghoogte invloed heeft op de grondwaterstand. Soms wordt beweerd dat schijnspiegels volledig onafhankelijk zijn van de stijghoogte, maar er zijn ook stemmen die menen dat de stijghoogte permanent tot in de veenbasis moet reiken (Grootjans et al., 1982; Sevink et al., 2014) (N.B.: waarmee het volgens de hydrologische definitie geen schijnspiegelsystemen zijn). Samenhangend met deze discussie is de vraag in hoeverre veranderingen in de stijghoogte, bijvoorbeeld ten gevolge van grondwaterwinning, doorwerken op de grondwaterstand en de daarvan afhankelijke natuurdoelen, zoals bepaalde vegetaties van hoogvenen, vennen en natte heiden.

In veel ven- en veengebieden worden dalingen van de schijnspiegel waargenomen die (mede) worden toegeschreven aan het feit dat de stijghoogte ('s winters) niet meer, of onvoldoende, lang contact maakt met de onderkant van de slecht doorlatende laag (veenbasis). Sommigen veronderstellen zelfs dat de slecht doorlatende gliedelaag hierdoor uitdroogt en inscheurt, met een toename van de doorlatendheid tot gevolg (bijv. Hanhart Consult, 1999). Deze hypothese is vermoedelijk overgenomen van de Projectgroep Sellingen (1982), die onderzoek deed naar de mogelijke gevolgen van grondwaterwinning op heidevennen in het gebied rond de winning Sellingen (provincie Groningen). De projectgroep maakte melding van een verband tussen de ligging van de waterkerende "waterhardlaag" ten opzichte van de stijghoogte en de mate van verdroging van de venvegetatie. Wanneer er geen "contact" meer is tussen de stijghoogte en deze "waterhardlaag" zouden de vennen van onderaf kunnen verdrogen door verlaging van de stijghoogte, aldus de projectgroep. Door uitdroging van onderaf zouden de venbodems op den duur zelfs goed doorlatend kunnen worden. Wij hebben in de literatuur echter geen gegevens kunnen vinden die deze hypothese onderbouwen.

De aanname dat de stijghoogte tot in de veenbasis moet reiken om uitdroging en afbraak van de veenbasis te voorkomen, kent zijn weerslag in het beleid. Zo stellen Sevink *et al.* (2014) dat conform de NB-wet 1998 en het voorzorgprincipe in Natura 2000-gebieden met hoogveendoelstellingen aan de eis van 'stijghoogte tot boven de veenbasis' voldaan moet worden. Om dat te realiseren zijn in sommige gebieden vaak aanzienlijke bufferzones nodig. (Overigens staat deze bepaling niet letterlijk in de NB-wet 1998 (<http://wetten.overheid.nl>), noch in het Natura 2000 profieldocument van het habitatype Actief hoogveen (H7110, Ministerie van LNV, 2008) en betreft het derhalve een inschatting van genoemde auteurs). De aanname heeft dus consequenties voor de inrichting van gebieden. Uiteraard is het van belang aannamen te onderzoeken die niet zijn gebaseerd op metingen of fysische onderbouwingen, wanneer ze mogelijk grote consequenties hebben voor de maatschappij. Ons onderzoek beoogt daarom de vraag te beantwoorden '*in hoeverre het essentieel is voor duurzaam behoud en herstel van deze systemen, dat de stijghoogte van het grondwater in het onderliggende pakket tenminste tot in het veen reikt*' (Sevink *et al.*, 2014). In dit rapport beantwoorden wij deze vraag door met het model SWAP te berekenen of, en in welke mate, uitdroging van de veenbasis optreedt door een dalende stijghoogte. Ons onderzoek sluit nauw aan bij één van de onderzoeksvragen uit het rapport van Sevink *et al.* (2014) naar de kenmerken en effecten van ontwatering in hoogvenen. De onderzoeksvragen uit dat rapport moeten leiden tot OBN-onderzoek naar de invloed van de stijghoogte op waterspiegelsystemen (dit onderzoek is in november 2014 aanbesteed).

1.2 Onderzoeksvragen

Over het functioneren van slecht doorlatende lagen in en onder de veenbasis, en dan met name over veronderstelde effecten van wisselingen in de stijghoogte op dit functioneren, bestaan dus nog veel onduidelijkheden. In dit rapport pogen wij antwoorden te vinden op de volgende, specifieke onderzoeksvragen:

1. Wat is de relatie tussen stijghoogte en wegzijging onder verschillende bodemfysische eigenschappen van de slecht doorlatende (veen)laag?
2. Wat is de relatie tussen wegzijging en grondwaterstandsdynamiek bij verschillende bodemfysische eigenschappen van de veenlaag en de zandondergrond?
3. Uit de voorgaande twee vragen volgt: hoe beïnvloedt de stijghoogte de grondwaterstandsdynamiek in de veenlaag?
4. En uit de voorgaande drie: Bij welke stijghoogten worden kritische grondwaterstanden van natuurdoelen overschreden?
5. Wanneer valt de veenlaag droog?
6. Bij welke afstand tussen stijghoogte en veenlaag functioneert het schijnspiegelsysteem onafhankelijk van zijn omgeving?

1.3 Kenmerken van de slecht doorlatende lagen

Wegzijging van water uit schijnspiegelsystemen is een ingewikkeld proces dat van veel factoren afhankelijk is, o.a. van de profielopbouw van de bodem, en van fluctuaties van de grondwaterstand en stijghoogte als gevolg van verdamping, neerslag, en laterale toe- en afstroming (Dekker et al., 1986). De samenstelling van slecht doorlatende lagen onder een veenpakket is afhankelijk van onder meer de ontstaanswijze van het (hoog)veen. Voorbeelden van organische slecht doorlatende lagen zijn gliede-, gyttja-, waterhard- en kazige B-horizonten (zie kader 2, Sevink et al., 2014, Koopman, 1986, Dekker et al., 1991).

Deze lagen verschillen sterk in mate van doorlatendheid, zoals blijkt uit onderzoek van Dekker et al. (1991). Uit bepalingen van de verzadigde doorlatendheden bleken waterhardlagen een grotere doorlatendheid te hebben dan gliedelagen, die op hun beurt weer meer doorlatend zijn dan kazige B-horizonten (Tabel 1-1).

Waterhard, dat is ontstaan door humusinspoeling in de minerale ondergrond van (voormalige) veengebieden, komt slechts zeer plaatselijk en zeer grillig voor (Koopman, 1986). Het is daarom volgens Koopman (1986) niet aannemelijk dat waterhardlagen een grote rol spelen bij vorming en instandhouding van vennen. Het kan hoogstens een aanvullende functie hebben op de waterafsluitende werking, naast die van gliede en verkitte kazige B-horizonten. Uit nader bodemonderzoek aan de in §1.1 aangehaalde vennen nabij winning Sellingen bleek dan ook dat kazige B-lagen, en niet waterhardlagen, zorgden voor de slechte doorlatendheid (Dekker et al., 1986).

Tabel 1-1. Verzadigde doorlatendheid K_{sat} (in cm/d) gemeten met 20 cm dikke ongestoorde bodemkolommen (in duplo), bewerkt naar Dekker et al. (1991).

Bodemmateriaal	Laagste waarde	Hoogste waarde
Waterhardlaag	1.0	1.6
Gliede	0.2	0.8
(Zeer) kazige B-laag	0.001	0.01
Gliede op (zeer) kazige B-laag	0.08	0.09

2 Methode

2.1 Algemene opzet

KWR heeft in eerdere projecten al gewerkt aan de relatie tussen de stijghoogte in het onderliggende zandpakket en de schijnspiegelstand in het veen (zie bijvoorbeeld Von Asmuth e.a., 2010; 2011). In deze rapportage wordt meer specifiek ingegaan op de bodemfysische eigenschappen van het veen en de veenbasis en hoe deze eigenschappen de hydrologie van het schijnspiegelsysteem beïnvloeden. Wij onderzoeken de effecten van de stijghoogteveranderingen op de (schijn)grondwaterstand door met behulp van de modelcode SWAP modelsimulaties uit te voeren. We bouwen daarvoor twee schijnspiegelsystemen na (§ 2.2). Deze modellen representeren zo goed mogelijk de bandbreedte aan schijnspiegelsystemen die in het Nederlandse zandlandschap voorkomen. De parameterwaarden voor de modellen ontleen we aan literatuuronderzoek en de bij KWR aanwezige expertise.

In de twee modellen variëren we de stijghoogte en verschillende bodemfysische parameters, om daarvan de effecten te bestuderen op de grondwaterstand en de wegzijging uit het schijnspiegelsysteem (§ 2.3). Deze effecten worden ten slotte vertaald naar hun gevolgen voor de haalbaarheid van natuurdoelen (§ 2.4).

2.2 Modelschematiseringen voor SWAP

Voor de modelsimulaties in SWAP onderscheiden wij twee systemen, die verschillen in de opbouw van de toplaag (Figuur 2-1):

- 1) Veenmosveen met een levende veenmoslaag;
- 2) Veenmosveen met natte heide (dopheide-vegetatie en lage tot geen bedekking met levend veenmos aan maaiveld).

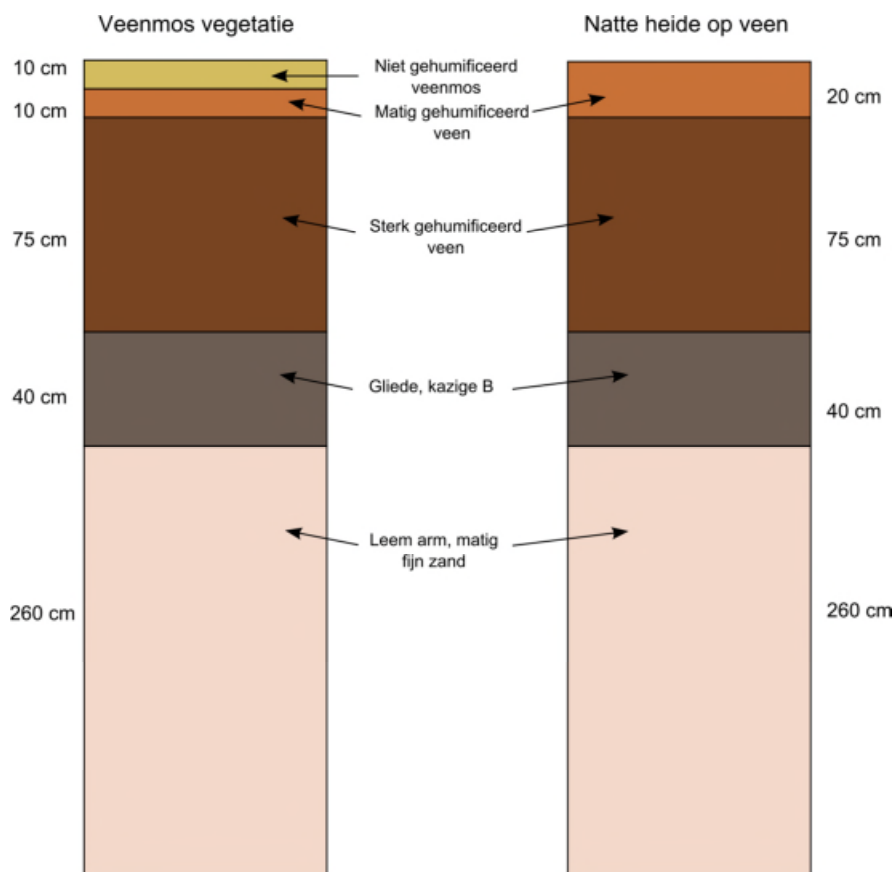
Beide systemen herbergen andere vegetatietypen. Deze vegetatietypen worden tot de hoogvenen gerekend (en kwalificeren voor het Natura 2000 habitatype Actieve hoogvenen (H7110), maar stellen andere eisen t.a.v. de diepte tot waar de grondwaterstand mag wegzakken.

Het profiel bestaat uit drie veenlagen met toenemende humificatiegraad: niet gehumificeerd, matig gehumificeerd, en sterk gehumificeerd (naar Streefkerk en Casparie, 1987). Onder deze veenlagen bevindt zich een slecht doorlatende laag. Deze laag bestaat in de regel uit een gliedelaag (inspoellaag van zeer sterk gehumificeerd organisch materiaal) direct bovenop een andere storende bodemlaag, zoals een kazige B-horizont (zie bijv. Dekker, 1988). In ons model nemen wij deze lagen samen tot één slecht doorlatende laag met één set bodemfysische parameters. In het vervolg duiden we deze laag aan als slecht doorlatende laag.

Overige randvoorwaarden die we aan het topsysteem opleggen:

- Meteorologische gegevens van KNMI station Wageningen (neerslag en verdamping) over de periode 1980-1988. We hebben voor deze periode gekozen om onze resultaten te kunnen vergelijken met de weinig beschikbare literatuur over dit onderwerp, die ook uit deze periode stamt.

- Voor model 1 gaan we, om de verdamping te kunnen bepalen, uit van een oppervlak van 75% niet gehumificeerd veenmosen ¹ voor de overige 25% oppervlakte van *Cyperaceae*. De gekozen bodemfysische parameters weerspiegelen daarbij de retentie en stromingseigenschappen van beide vegetaties. Deze verdeling is gebaseerd op een analyse van bedekkingscijfers uit SynBioSys. In model 2 hebben we gerekend met een bedekking van dwergstruiken (heide), *Cyperaceae* en grassen. De actuele transpiratie wordt berekend met de reductiefunctie van Feddes (Feddes et al., 1978), welke transpiratiereductie geeft als functie van constante grenswaarden van bodemvochtcondities. Omdat de planten in het veen fysiologisch zijn aangepast aan natte omstandigheden is de 'natte tak' van de Feddes-functie, die bedoeld is de transpiratie te reduceren in natte situaties uitgeschakeld.
- De ponding layer (de drempelwaarde boven maaiveld waarboven oppervlakte afstroming plaatsvindt) is ingesteld op 2.5 cm. Deze waarde reflecteert oneffenheden in het maaiveld waardoor plasvorming en extra waterberging kan optreden. We hebben overigens alle simulaties ook met een ponding layer van 0 cm (ponding layer is afwezig) uitgevoerd, maar dat gaf geen wezenlijke verschillen (resultaten niet opgenomen).



Figuur 2-1. Schematische weergave bodemopbouw in SWAP met (A) veenmos en (B) natte heide als top laag.

Met SWAP is het mogelijk om zowel verzadigde als onverzadigde stroming één-dimensionaal te berekenen door het numeriek oplossen van de Richard's vergelijking. In de onverzadigde zone is het vochtgehalte afhankelijk van de drukhoogte ($\theta(h)$) en de doorlatendheid

¹ Deze aanname resulteert mogelijk in een overschatting van de verdamping. Door witkleuring van het veen tijdens uitdroging en de hiermee gepaard gaande albedoverhoging kan de verdamping worden gereduceerd

afhankelijk van het vochtgehalte $K(\theta)$. Het gaat hierbij om niet-lineaire relaties. Voor het beschrijven van deze relaties wordt gebruik gemaakt van het Mualem-Van Genuchten model (Mualem, 1976; Van Genuchten, 1980). De uit de geraadpleegde literatuur afgeleide parameters staan in Tabel 2-1. Om numerieke problemen te voorkomen is de K_{sat} van het veenmos ingesteld op iets lagere dan de door Price aangegeven waarden. Dit bleek geen significante gevolgen te hebben voor de modelresultaten. Figuur 2-2 en Figuur 2-3 tonen op grafische wijze de bodemfysische eigenschappen van respectievelijk het veen boven de slecht doorlatende laag (gliede/kazige-B) en van het daaronder gelegen bodemmateriaal.

Tabel 2-1. Overzicht van bodemfysische parameters (Mualem Van Genuchten model). Gebruikte bronnen: 1: Price et al. (2008) (* K_{sat} verlaagd), 2: Gnatowski et al. (2010), 3: Dekker et al. (1986), 4: Staringreeks (O1), 5: Voortman et al. (2013).

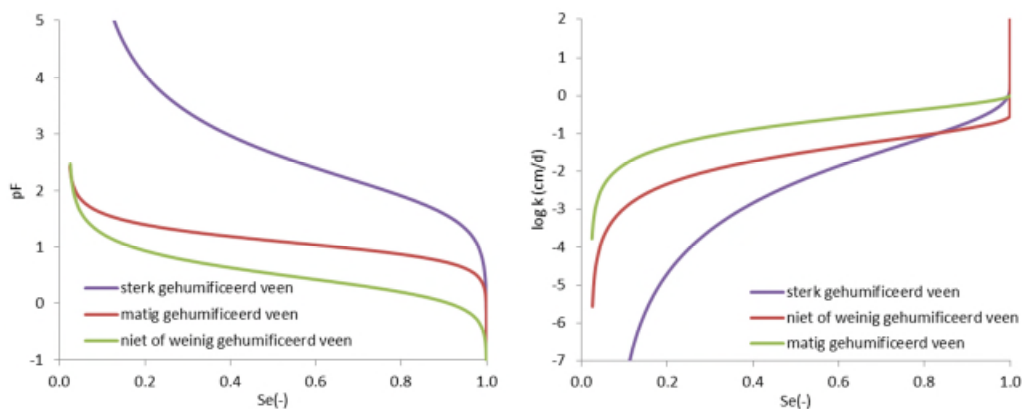
Bodemlaag	Laagdikte e (cm)	K_{sat} (cm d ⁻¹)	K_0 (cm d ⁻¹)	c (d)	θ_{sat} (-)	θ_{res} (-)	α (cm ⁻¹)	n (-)	l (-)	Bron
1. Niet gehumificeerd veenmos	10 (sit.1)	1000*	0.3	0.0047	0.88	0.02	0.47	2.21	-1.91	1, 5
2. Matig gehumificeerd veenmos	10 (sit.1) / 20 (sit.2)	100*	1.0	0.0049/ 0.0099	0.92	0.02	0.1	2.82	-1.79	1, 5
3. Sterk gehumificeerd veen	75	1.9	1.9	39.5	0.93	0.07	0.0159	1.38	-2.70	2
4. Slecht doorlatende laag (Gliede+Kazige B)	40	0.001 - 1.0	0.001 - 1.0	4000 - 40000	0.42	0.12	0.00539	2.80	-2.00	3
5. Leemarm, matig fijn zand	260	66.5	66.5	3.91	0.36	0.02	0.0224	2.29	0.00	4

Toelichting:

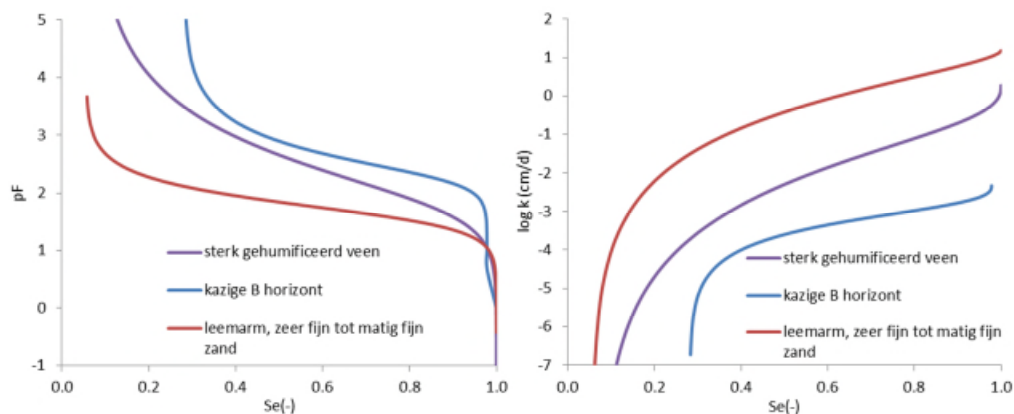
- K_{sat} = Verzadigde doorlatendheid van de bodem (inclusief macro poriën) (cm/d)
- K_0 = Gefitte verzadigde doorlatendheid (exclusief macro poriën) (cm/d)
- c = Weerstand van een laag ($c = \text{laagdikte} / K_{sat}$)
- θ_{sat} = Verzadigd vochtgehalte (-), ook wel porositeit
- θ_{res} = Residueel vochtgehalte (-)
- α = Vormparameter Van Genuchten (1980) model voor de retentiecurve (gerelateerd aan de bubble pressure van het poreuze medium) ($\alpha > 0$) (cm⁻¹)
- n = Vormparameter Van Genuchten model voor de retentiecurve (maat voor de poriegrootte verdeling) ($n > 1$) (-)
- l = Empirische parameter voor het Mualem (1976) doorlatendheidsmodel voor onverzadigde stroming (-)

Mossen hebben geen wortels en zijn voor de vochtvoorziening afhankelijk van neerslag en de aanvoer van vocht uit het onderliggende substraat. Uit Voortman et al. (2013) blijkt dat moslagen kunnen worden gemodelleerd als een poreus medium, gebruik makend van standaard bodemfysische parameters. Karakteristiek voor (veen)moslagen is de geringe capillaire nalevering en een extreem hoog percentage macroporiën. Door deze macroporiën is de verzadigde doorlatendheid extreem hoog, maar neemt de doorlatendheid ook zeer snel

af bij uitdroging, waardoor capillaire nalevering al snel zeer gering is. Ketcheson & Price (2014) geven aan dat bij een grondwaterstand dieper dan 30 cm beneden de toplaag er geen invloed meer is op het vochtgehalte in de top van de moslaag. Daarnaast wordt neerslag slechts zeer beperkt vastgehouden in de top van de moslaag. Dit gedrag is te modelleren met standaard Mualem van Genuchten parameters door onderscheid te maken tussen een lage verzadigde doorlatendheid voor microporiën en een hoge verzadigde doorlatendheid voor het totaal (inclusief macroporiën) uitgedrukt als respectievelijk K_0 en K_{sat} (Schaap & Van Genuchten, 2006). Omdat van veenmossen nog geen betrouwbare K_0 waarden beschikbaar zijn is voor K_0 uitgegaan van geschatte waarden van respectievelijk 0.3 en 1 voor niet gehumificeerd en matig gehumificeerd veenmos. De K_0 van de toplaag is hiermee (bij gebrek aan beter) gelijk gesteld aan een door Voortman et al. (2013) afgeleide waarde van 0.3 voor een *Hypnum* mos. Voor de overige parameters is gebruik gemaakt van door Price et al. (2008) voor veenmos afgeleide getallen. Hoewel de moslaag een lage doorlatendheid heeft bij licht negatieve drukken, vergeleken met minerale bodems, neemt de doorlatendheid niet zo snel af naar nul met afnemende vochtgehaltenes zoals in minerale bodems gebeurt (Voortman et al., 2013). Dit gedrag is gereflecteerd in de sterk negatieve waarde van de I parameter van het Mualem van Genuchten model (Price et al., 2008, Gnatowski et al., 2010, McCarter & Price, 2014). Dus hoewel de onverzadigde doorlatendheid van veenmossen laag is, blijft water zelfs bij grote negatieve drukken nog lang mobiel. De lage onverzadigde doorlatendheid van (veen)mossen lijkt op het eerste gezicht ongunstig doordat water capillair maar beperkt kan worden aangevoerd. Echter, naast water hebben mossen ook CO_2 nodig voor fotosynthese. Een langdurige waterfilm op het mosoppervlak geeft een sterke reductie van de CO_2 aanvoer (diffusie van CO_2 door water gaat traag) en daarmee reductie van de groei (Dilks & Proctor, 1979). Mossen kunnen hierdoor voordeel hebben bij een beperkte capillaire aanvoer van vocht in natte periodes, terwijl de wateraanvoer in droge periodes juist langer intact blijft (negatieve I parameter) (Voortman et al., 2013).



Figuur 2-2. Grafische weergave van de bodemfysische eigenschappen van de bovenzijde van de veenlaag ($Se(h)$ en $K(Se)$ relaties, met $Se = \theta/\theta_{sat}$ en $pF = \log(-h)$) op basis van beschikbare literatuurgegevens. Retentiedata acrotelm (niet of weinig gehumificeerd veen - matig gehumificeerd veen) overgenomen uit Price et al. (2008), voor de $K(Se)$ relatie is gebruik gemaakt van lage K_0 waarde en een zeer hoge K_{sat} waarde. Data catotelm (sterk gehumificeerd veen) overgenomen uit Gnatowski et al. (2010). (let op de log schaal van de y -as).



Figuur 2-3. Grafische weergave van de bodemfysische eigenschappen van de slecht doorlatende onderzijde van het veenpakket op de overgang naar de minerale ondergrond. Bodemfysische meetgegevens van een kazige B-horizont uit (Dekker et al., 1986). Bodemfysische gegevens minerale ondergrond gebaseerd op Staringreeks O1 (Wösten et al., 2001) (let op de log schaal van de y-as).

2.3 Modellsimulaties

2.3.1 Variatie in stijghoogte

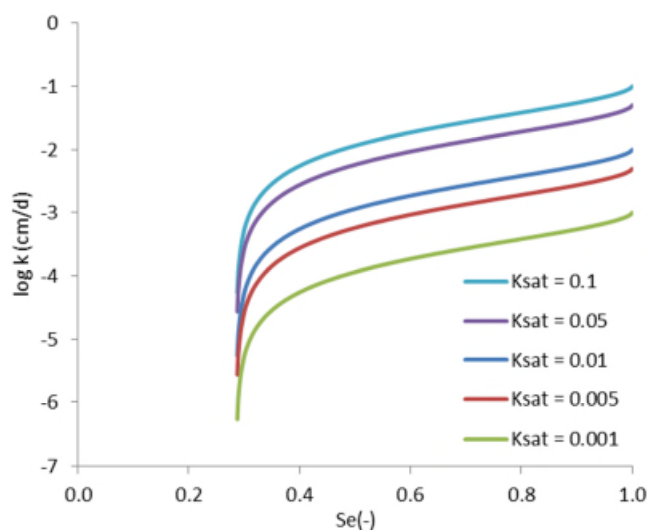
We hanteren een vaste stijghoogte, die per simulatie op een ander niveau ligt. De opgelegde stijghoogten zijn: 20, 55, 90, 125, 160, 195, 230, 265, 300 en 335 cm – mv. De onderkant van de veenbasis bevindt zich op 135 cm – mv, zodat de afstand tussen bovengenoemde stijghoogten en de onderkant van de veenbasis respectievelijk 115, 80, 45, 10, -25, -60, -95, -130, -165 en -200 cm bedragen. De stijghoogte bevindt zich dus bij een deel van de berekeningen boven de onderkant van de veenbasis. We onderzoeken de effecten van deze verschillende stijghoogten op de wegzijging naar het onderliggende zandpakket en op de schijnspiegeldynamiek.

2.3.2 Variatie in de weerstand van de slecht doorlatende laag

Als tweede stap onderzoeken we het effect van verschillen in doorlatendheid van de slecht doorlatende laag. Dit doen we door de $K(\theta)$ relatie te schalen (Figuur 2-4) binnen een range van op basis van literatuur acceptabele doorlatendheden. Zie bijvoorbeeld Figuur 2-3 voor een gemeten retentiecurve van een kazige B-horizont in verhouding tot die van sterk gehumificeerd veen. De gehanteerde range in verzadigde verticale doorlatendheid is 0.001 - 1.0 cm/d en de range in de dikte van de slecht doorlatende laag: 5-40 cm (waarbij waarden lager dan 40 cm worden gecompenseerd door een toename van de bovenliggende sterk gehumificeerde veenlaag, de totale dikte van de veenlaag blijft immers constant op 135 cm, zie Figuur 2-1). De resulterende verzadigde weerstanden ($c = \text{dikte} / K_{\text{sat}}$) beslaat hierdoor de range 5 – 40.000 d. Zie § 1.3 voor een nadere toelichting van de gehanteerde modelparameters.

2.3.3 Totaal aantal simulaties

Het variëren van de stijghoogtes, de verzadigde doorlatendheden en de diktes van de slecht doorlatende laag resulteert in het doorrekenen van 168 unieke combinaties.



Figuur 2-4. Aan de hand van voor verschillende waarden voor K_{sat} geschaalde $K(Se)$ relaties voor de slecht doorlatende laag (kazige-B + gliede).

2.4 Toetsing aan natuurdoelen

De dynamiek van de schijnspiegel relateren we aan de vereisten t.a.v. de gemiddelde laagste waterstand (GLG) van veenmos- en heidevegetaties (Tabel 2-2). De wegzijging naar de ondergrond wordt getoetst aan de door Streefkerk & Casparie (1987) afgeleide, en in de praktijk veel genoemde eis van een maximale wegzijging naar de ondergrond van 40 mm/jaar). Bovendien zijn seizoensmatige fluctuaties van de waterstand in een intact hoogveen beperkt tot ca. 30 cm t.o.v. veenoppervlak (Van der Schaaf, 2002, Von Asmuth e.a., 2011).

Tabel 2-2. Vereisten t.a.v. GLG voor kenmerkende vegetatietypen van het Natura 2000 habitattypen Actieve hoogvenen (H7110, subtypen A en B). Bron: Database Ecologische vereisten (Runhaar et al., 2009).

Code (cf. DVN)	Wetenschappelijke naam	Nederlandse naam	Kernbereik GLG (cm -mv)
10AA02A	<i>Sphagno-Rhynchosporium sphagnetosum cuspidati</i>	Ass. van Veenmos en Snavelbies; subass. met Waterveenmos	0 - 20
10AA02B	<i>Sphagno-Rhynchosporium sphagnetosum recurvi</i>	Ass. van Veenmos en Snavelbies; subass. met Slankveenmos	0 - 20
11BA01A	<i>Erico-Sphagnetum typicum</i>	Ass. van Gewone dophei en Veenmos; typische subass.	0 - 30
11BA01B	<i>Erico-Sphagnetum empetretosum</i>	Ass. van Gewone dophei en Veenmos; subass. met Kraaihei	20 - 30
SBB-11B1b	[SBB] <i>Erico-Sphagnetum magellanic rhynchosporium</i>	[SBB] Associatie van Gewone dophei en Veenmos, subassociatie van Witte snavelbies	0 - 20

Noot bij GLG: Voor veenmosgroei is het van belang dat grondwaterstanden in de zomer niet te ver wegzakken. In droge bulten behorende tot *Erico-Sphagnetum empetretosum* kunnen grondwaterstanden wat verder wegzakken tov maaiveld, als de bovenkant van de bult als maaiveld wordt genomen ('maaiveld' is hier een nogal relatief begrip, de bult bestaat deels uit levende veenmossen) (Runhaar et al., 2009).

3 Resultaten

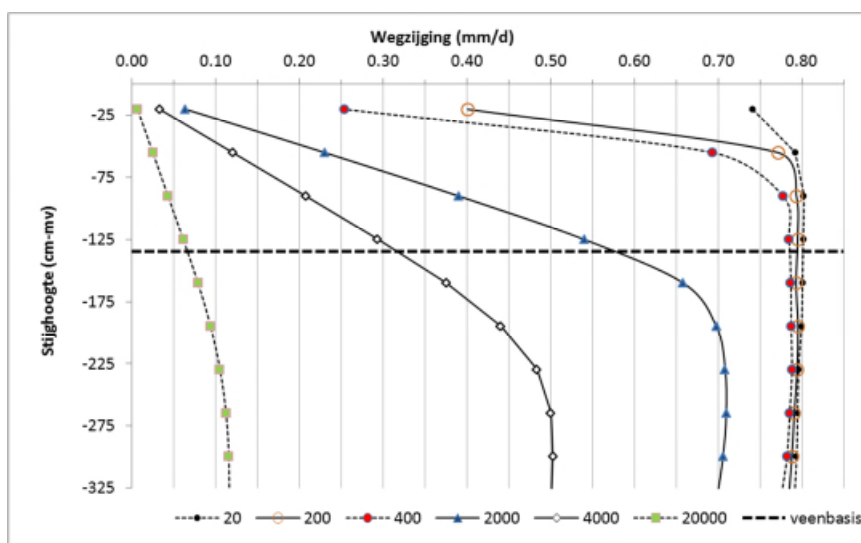
3.1 Inleiding

In dit hoofdstuk bespreken we eerst de resultaten voor het meest kritische systeem, met een levende veenmoslaag (model 1) (§3.2-3.5). De resultaten van het minder kritische systeem, met natte heide in de toplaag (model 2), vatten we samen in § 3.6. Tot slot gaan we in op de mogelijkheid dat de veenlaag van onderaf uitdroogt en door mineralisatie afbreekt (§ 3.7)

3.2 De relatie tussen stijghoogte en wegzijging

De door ons onderzochte range van een 5 tot 40 cm dikke slecht doorlatende laag (dus bestaande uit een gliedelaag en kazige B-horizont) met een verzadigde doorlatendheid van 0.001 tot 1 cm/d (Tabel 2-1) resulteert in een verzadigde hydraulische weerstand van 5 tot 40.000 d. De weerstand van het daarboven liggende veenpakket varieert met de hoogte van de grondwaterstand en bedraagt bij verzadiging (plas-dras situatie) ca. 40 d. Dat betekent dat deze weerstand in de meeste simulaties wegvalt bij die van de weerstand biedende laag.

Uit Figuur 3-1 blijkt dat bij (zeer) lage weerstanden (20, 200 en 400 d) van de slecht doorlatende laag de wegzijging door de onderkant van de veenbasis gemiddeld ca. 0.8 mm/d bedraagt, en nagenoeg niet wordt beïnvloed door de stijghoogte onder de veenbasis. Oppervlakte afvoer treedt dan niet op en de berekende wegzijging bedraagt met 292 mm/jaar meer dan het gemiddelde potentiële neerslagoverschot van 122 mm/jr, wat betekent dat er door droogte een verdampingsreductie van 170 mm/jr plaats vindt. Dat komt doordat bij een lage grondwaterstand het veenmosoppervlak sterk uitdroogt zodat de capillaire opstijging naar het maaiveld aanzienlijk wordt afgeknepen en de verdamping vrijwel wegvalt. Bij dergelijke lage weerstanden is de verdamping dus sterk gereduceerd, treedt er geen schijnspiegel op en is het hele veensysteem dus onverzadigd en zal snel degenereren. In werkelijkheid zullen systemen in deze vorm dan ook niet worden aangetroffen.



Figuur 3-1. Relatie tussen stijghoogte onder de veenbasis en gemiddelde wegzijging vanuit veenbasis bij een zestal verschillende weerstanden van de slecht doorlatende laag.

Ook aan de andere kant van het spectrum, bij een hoge verzadigde weerstand van 20.000 d, heeft de stijghoogte onder de veenbasis nauwelijks effect op de wegzijging. In die situatie is de wegzijging zeer gering (ca. 0.08 mm/d) bij een stijghoogte van -25 cm t.o.v. de veenbasis, toenemend tot iets meer dan 0.12 mm/d bij een stijghoogte van 200 cm t.o.v. de veenbasis. De verdamping is dan bijna altijd potentieel en het meeste neerslagoverschot verdwijnt via oppervlakte afvoer naar de randen van het schijnspiegelsysteem. Overigens komt de maximale wegzijging van iets meer dan 0.12 mm/d in deze situatie neer op 44.6 mm/jr (Tabel 3-1), wat maar net iets meer is dan de door Streefkerk en Casparie (1987) genoemde maximaal toelaatbare wegzijging van 40 mm/jaar voor intact hoogveen.

Bij tussenliggende weerstanden is er wel een duidelijk verband tussen wegzijging en de stijghoogte aanwezig. De wegzijging neemt aanvankelijk toe met een dalende stijghoogte (zie lijnen 2000 en 4000 d in Figuur 3-1). Echter, met verder dalende stijghoogte, neemt ook de invloed van de stijghoogte op de wegzijging af, totdat bij een stijghoogte van ca. 145 cm beneden de veenbasis het schijnspiegelsysteem onafhankelijk van zijn omgeving functioneert (zichtbaar doordat in Figuur 3-1 de lijnen naar een verticale asymptoot toe gaan).

Tabel 3-1. Waterbalansen bij twee verschillende waarden voor de verzadigde weerstand van de veenbasis en twee dieptes van de stijghoogte onder de veenbasis.

Stijghoogte 60 cm onder veenbasis
Verzadigde weerstand veenbasis 20.000 d

Neerslag	747.5	interceptie	32.9
		verdamping moslaag	310.8
		verdamping hogere planten	168.8
		runoff	200.5
		wegzijging	34.7
	747.5		747.7
		bergingsverandering	-0.1

Stijghoogte 60 cm onder veenbasis
Verzadigde weerstand veenbasis 2.000 d

Neerslag	747.5	interceptie	32.9
		verdamping moslaag	282.6
		verdamping hogere planten	168.0
		runoff	7.2
		wegzijging	263.6
	747.5		754.4
		bergingsverandering	-6.9

Stijghoogte 200 cm onder veenbasis
Verzadigde weerstand veenbasis 20.000 d

Neerslag	747.5	interceptie	32.9
		verdamping moslaag	309.6
		verdamping hogere planten	168.9
		runoff	191.5
		wegzijging	44.6
	747.5		747.5
		bergingsverandering	0.0

Stijghoogte 200 cm onder veenbasis
Verzadigde weerstand veenbasis 2.000 d

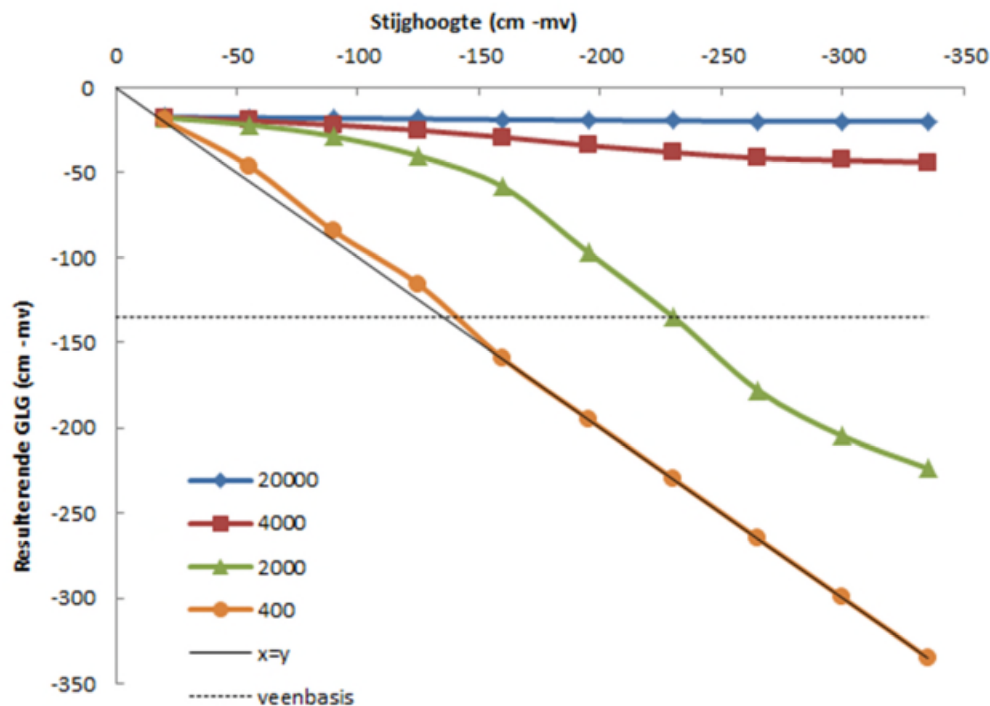
Neerslag	747.5	interceptie	32.9
		verdamping moslaag	281.2
		verdamping hogere planten	164.0
		runoff	0.0
		wegzijging	269.4
	747.5		747.4
		bergingsverandering	0.0

3.3 Schijnwaterspiegeldynamiek in relatie tot de stijghoogte en bodemfysische eigenschappen

In welke mate stijghoogteverlaging onder de slecht doorlatende laag leidt tot een verlaging van de GLG wordt bepaald door de verzadigde weerstand van de slecht doorlatende laag. Dit illustreren we aan de hand van het volgende voorbeeld: we vergelijken vier hypothetische bodems, alle drie met een 20 cm dikke slecht doorlatende laag (gliede/kazige B-horizont) met respectievelijk een lage (400 d), hoge (2000 d), zeer hoge (4000 d) en uiterst hoge (20.000 d) verzadigde weerstand, en bekijken hoe de GLG verandert als gevolg van een dalende stijghoogte (Figuur 3-2).

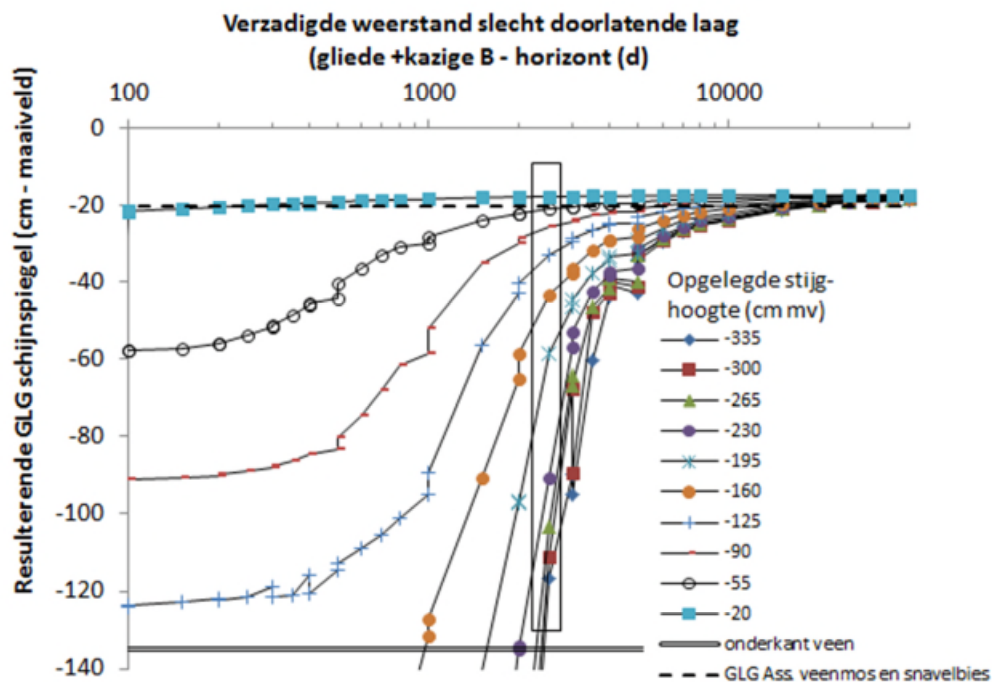
De bodems met een zeer tot uiterst hoge weerstand (4000 en 20.000 d) zijn niet gevoelig voor een dalende stijghoogte. Er is daardoor continu sprake van een schijnspiegel (Figuur 3-2). De GLG daalt in deze bodems niet onder respectievelijk 20 en 44 cm – mv. In de bodem met een lage weerstand (400 d) daarentegen, daalt de GLG geheel met de stijghoogte

mee (volgt de lijn $x=y$). Er is in deze situatie geen sprake van een schijnspiegel. De bodem met een hoge weerstand (2000 d) laat een intermediaire reactie zien: tot een stijghoogte van ca. 125 cm – mv (net iets boven de diepte van de veenbasis) daalt de GLG beperkt, om vervolgens sterker te dalen met verder afnemende stijghoogte. Vanaf ca. 265 cm–mv vlakt de daling van de GLG echter weer af. Dit wordt veroorzaakt door een (geringe) afname van het vochtgehalte van de onderkant van de slecht doorlatende laag (Figuur 3-8), waardoor de doorlatendheid van deze laag en daarmee de wegzijging sterk afnemen.



Figuur 3-2. GLG verandering als gevolg van dalende stijghoogte voor bodems met drie verschillende weerstanden voor de slecht doorlatende laag.

Uit Figuur 3-2 valt af te leiden dat in het traject tussen 2000 en 4000 d een drempelwaarde ligt. Slecht doorlatende lagen met een weerstand die hoger is dan deze drempelwaarde kennen een permanent schijnspiegelsysteem. Bodems met verzadigde weerstanden lager dan deze drempelwaarde zijn niet permanent verzadigd; daar daalt de (schijn)grondwaterspiegel wel regelmatig tot onder de veenbasis. Om de drempelwaarde exacter te kunnen vaststellen is in Figuur 3-3 de GLG weergegeven in relatie tot de verzadigde weerstand bij verschillende stijghoogtes. De laagste verzadigde weerstand waarbij de GLG van de schijnspiegel, ongeacht de opgelegde stijghoogte, niet onder de veenbasis uitkomt, is 2500 d (zie rechthoek in figuur 3-3). Bij verzadigde weerstanden gelijk of groter dan deze waarde is de GLG van de schijnspiegel nooit lager dan de onderkant van de veenbasis en is er dus sprake van een permanent schijnspiegelsysteem. Bij een verzadigde weerstand van 5000 d of meer daalt de GLG nooit onder ca. 40 cm onder maaiveld, ongeacht de opgelegde stijghoogte.



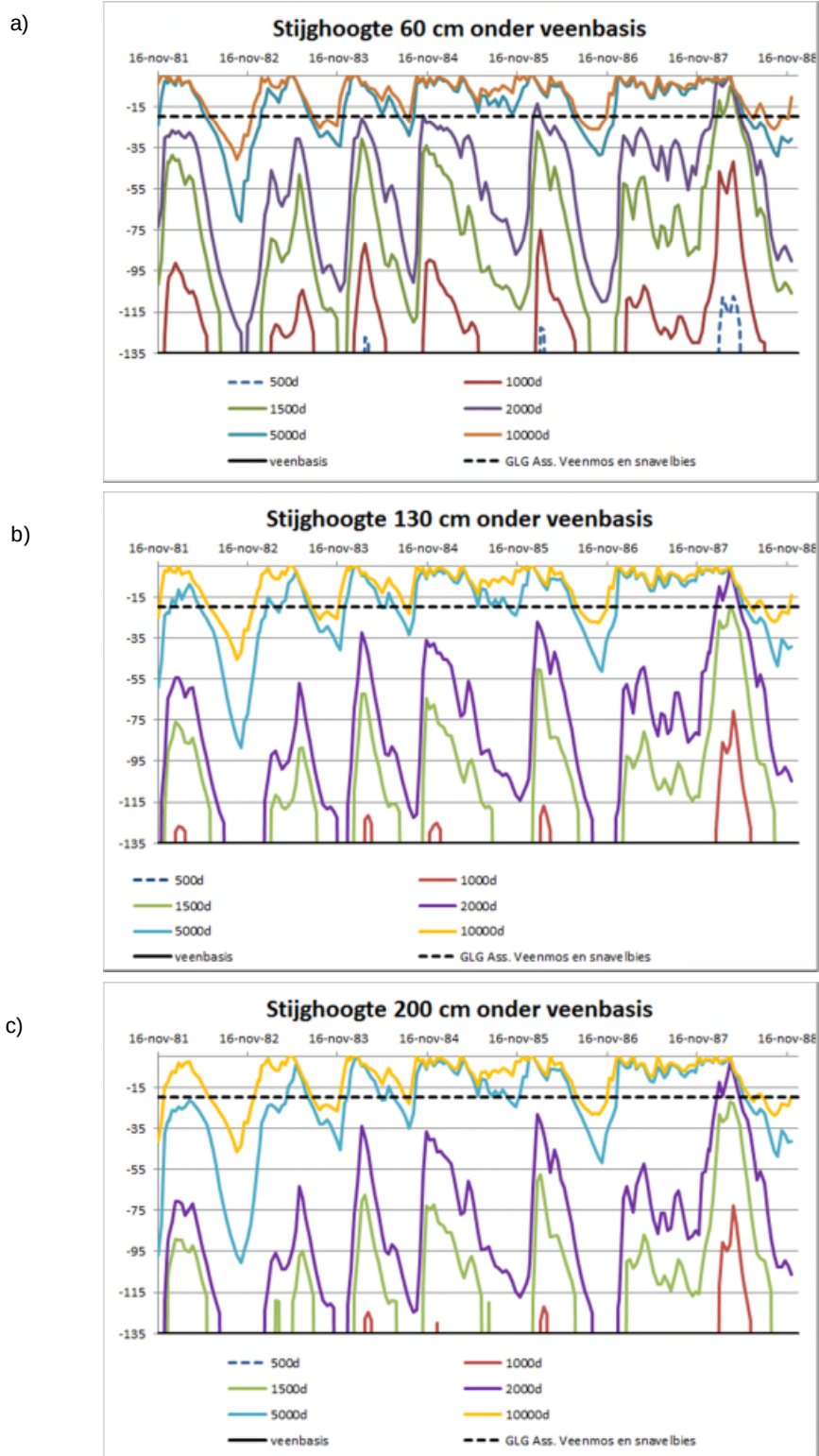
Figuur 3-3. De GLG in relatie tot de verzadigde weerstand van de slecht doorlatende laag bij verschillende opgelegde stijghoogtes (in cm onder maaiveld). De rechthoek geeft de verzadigde weerstand aan waarbij de GLG van de schijnspiegel zich ook bij de laagste stijghoogtes in de veenbasis bevindt.

3.4 Invloed van de stijghoogte op de grondwaterstandsdynamiek

Om de invloed van de stijghoogte op de grondwaterstandsdynamiek in de veenlaag te bepalen, hebben wij eerder genoemde ranges aan verzadigde weerstanden en stijghoogten doorgerekend. In deze paragraaf presenteren wij de resultaten voor zes verschillende verzadigde weerstanden (500, 1000, 1500, 2000, 5000 en 10.000 d) voor de slecht doorlatende laag en drie verschillende stijghoogten (200, 130 en 60 cm onder de veenbasis).

Wanneer de stijghoogte zich 60 cm onder de veenbasis bevindt, ligt de (schijn)grondwaterspiegel, bij een verzadigde weerstand van 2000 d of meer (wegzijging < 254.8 mm/jr), (vrijwel) geheel boven de veenbasis (Figuur 3-4a). Bij een verzadigde weerstand van 1000 of 1500 d zakt de grondwaterstand periodiek onder de veenbasis, en bij 500 d treedt nog zelden een schijnspiegel op. De schijngrondwaterspiegel fluctuaties zijn bij weerstanden onder de 5000 d zeer groot (>1m).

Wanneer de stijghoogte daalt tot 130 cm onder de veenbasis, blijkt dat ook een verzadigde weerstand van 2000 d onvoldoende is om een permanente schijnspiegel in stand te houden (Figuur 3-4b). Ook de fluctuaties nemen verder toe. Zakt de stijghoogte nog verder tot 200 cm onder de veenbasis, de laagste stand in onze simulaties, dan verandert het beeld nauwelijks t.o.v. de situatie bij 130 cm onder de veenbasis (Figuur 3-4c). Ook dan treedt alleen een permanente schijngrondwaterspiegel op, als de verzadigde weerstand tenminste 5000 d bedraagt (wegzijging < 151.4 mm/jr).



Figuur 3-4. Schijnspiegeldynamiek in relatie tot stijghoogten onder de veenbasis en verzadigde weerstand van de slecht doorlatende laag.

3.5 Stijghoogten in relatie tot waarden voor GLG en wegzijging die kritisch zijn voor natuurdoelen

Aangezien we in deze simulaties uitgaan van een toplaag bestaande uit veenmos, vergelijken we in deze paragraaf de resultaten met de vereisten van de Associatie van Veenmos en Snavelbies. Deze vereisten zijn streng: de GLG mag bijvoorbeeld niet lager zijn dan 20 cm – mv (kernbereik; Tabel 2-2) en de maximale wegzijging moet kleiner zijn dan 40 mm/jaar (of 0,11 mm/dag; Streefkerk & Casparie, 1987).

In de vorige twee paragrafen is geconcludeerd dat de invloed van de stijghoogte op de grondwaterstand sterk afhangt van de verzadigde weerstand van de slecht doorlatende laag (kazige B-horizont + giedelaag). Is die weerstand ten minste 4000 d dan is er permanent sprake van een schijnspiegel, maar wordt met een maximale GLG van 44 cm nog niet voldaan aan de eisen van bovengenoemde associatie (Figuur 3-2). Bij een verzadigde weerstand van 20.000 d is dit wel het geval, de GLG is dan maximaal 20 cm –mv en de wegzijging van iets meer dan 0,12 mm/d (44.6 mm/jaar), wat verassend goed overeen komt met de schatting van Streefkerk & Casparie (1987).

Anders geformuleerd: onze simulaties beantwoorden tevens de vraag wat de minimale verzadigde weerstand van de slecht doorlatende laag dient te zijn, om ook bij de laagste stijghoogtes te voldoen aan de vereiste GLG van de Associatie van Veenmos en Snavelbies. Daarvoor dient het snijpunt te worden bepaald tussen de lijn van een bepaalde stijghoogte en de horizontale lijn die de vereiste GLG voorstelt (zie Figuur 3-2). Bijvoorbeeld: daalt in een bepaald veengebied de stijghoogte onder het veen 's zomers tot 195 cm of meer onder maaiveld dan dient de verzadigde weerstand minimaal 10.000 d te zijn om een GLG ondieper dan 20 cm te bereiken.

In Tabel 3-2 wordt voor beide subassociaties waaruit de Associatie van Veenmos en Snavelbies bestaat, aangegeven wat de minimale verzadigde weerstand moet zijn om onafhankelijk van de stijghoogte, te voldoen aan het ecologische kernbereik van deze subassociaties.

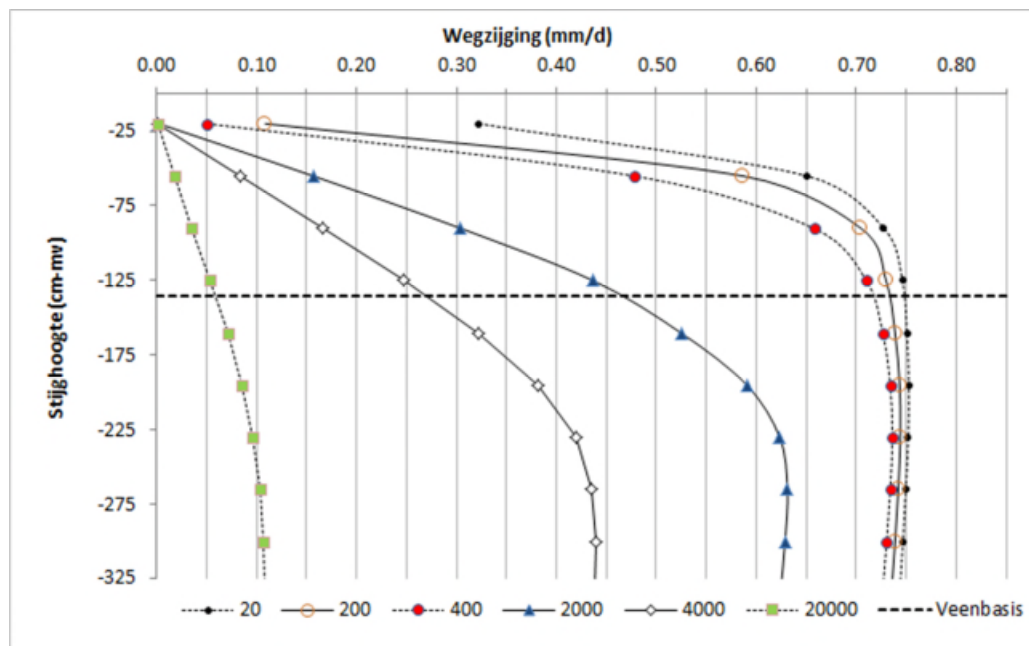
Tabel 3-2. Minimale weerstanden van de slecht doorlatende laag waarbij ook bij een diepe stijghoogte (meer dan 200 cm onder de veenbasis) wordt voldaan aan de in Tabel 2-2 vermelde vereisten t.a.v. de GLG voor een door veenmossen gedomineerde vegetatie (H7110A).

Code volgens de Vegetatie van NL	Wetenschappelijke naam	Nederlandse naam	Kernbereik (K) of aanvullend bereik (A) (cm – mv)	Minimale verzadigde weerstand slecht doorlatende laag (d)
10AA02A	<i>Sphagno-Rhynchosporium sphagnetosum cuspidati</i>	Ass. van Veenmos en Snavelbies; subass. met Waterveenmos	K: 0-20	15.000
			A: 20-30	6.000
10AA02B	<i>Sphagno-Rhynchosporium sphagnetosum recurvi</i>	Ass. van Veenmos en Snavelbies; subass. met Slankveenmos	K: 0-20	15.000
			A: 20-40	4000

3.6 Invloed van toplaag op schijnspiegel dynamiek

In de vorige paragrafen beschreven we de simulatieresultaten voor veengronden waarvan de toplaag uit veenmos bestaat. We hebben dezelfde simulaties ook uitgevoerd voor een veenkolom met dopheide als toplaag (Figuur 2-1). De wegzijging bij zeer lage weerstanden (20, 200 en 400 d) wordt, net als bij een toplaag die vooral bestaat uit veenmos, ook nu nagenoeg niet beïnvloed door de stijghoogte onder de veenbasis en is ook ongeveer van gelijke grootte (0.75-0.8 mm/d, Figuur 3-5). In werkelijkheid zullen deze parametercombinaties niet optreden, omdat bij een dergelijke wegzijging duurzame veenvorming niet mogelijk is.

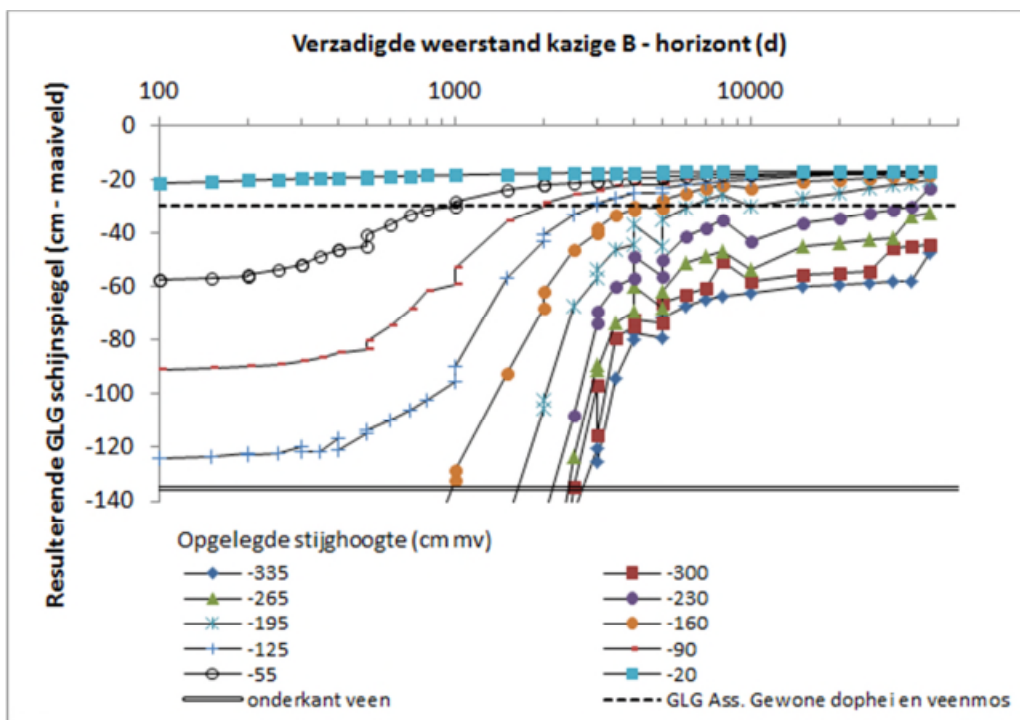
Bij een uiterst hoge verzadigde weerstand van 20.000 d is de relatie tussen wegzijging en stijghoogte eveneens onafhankelijk van de toplaag en vergelijkbaar met die van het veenmosoppervlak (maximaal 0.12 mm/d, Figuur 3-5). Het verband tussen wegzijging en stijghoogte dat bij een veenmostoplaag voor tussenliggende weerstanden (2000 en 4000 d) werd gevonden, is ook bij een heidetoplaag aanwezig (Figuur 3-5). Aanvankelijk neemt de wegzijging toe met een dalende stijghoogte, maar vanaf ca. 130 cm beneden de veenbasis stabiliseert de wegzijging, om vanaf een stijghoogte van 160 cm beneden de veenbasis zelfs iets af te nemen. Vanaf een stijghoogte van ca. 130 cm beneden de veenbasis functioneert het schijnspiegelsysteem onafhankelijk van zijn omgeving. De samenstelling van de vegetatie heeft een groot effect op de wegzijging uit het veenpakket, de maximale wegzijging is bij de tussenliggende weerstanden door de hogere jaarlijkse verdamping duidelijk lager (0.44 en 0.63 mm/d bij een weerstand van respectievelijk 4000 en 2000 d) dan in de situatie dat de toplaag uit veenmos bestaat (0.50 en 0.77 mm/d, zie Figuur 3-1).



Figuur 3-5. Relatie tussen stijghoogte en gemiddelde wegzijging vanuit de veenbasis bij een zestal verschillende verzadigde weerstanden van de slecht doorlatende laag. De toplaag bestaat uit heide i.p.v. veenmos.

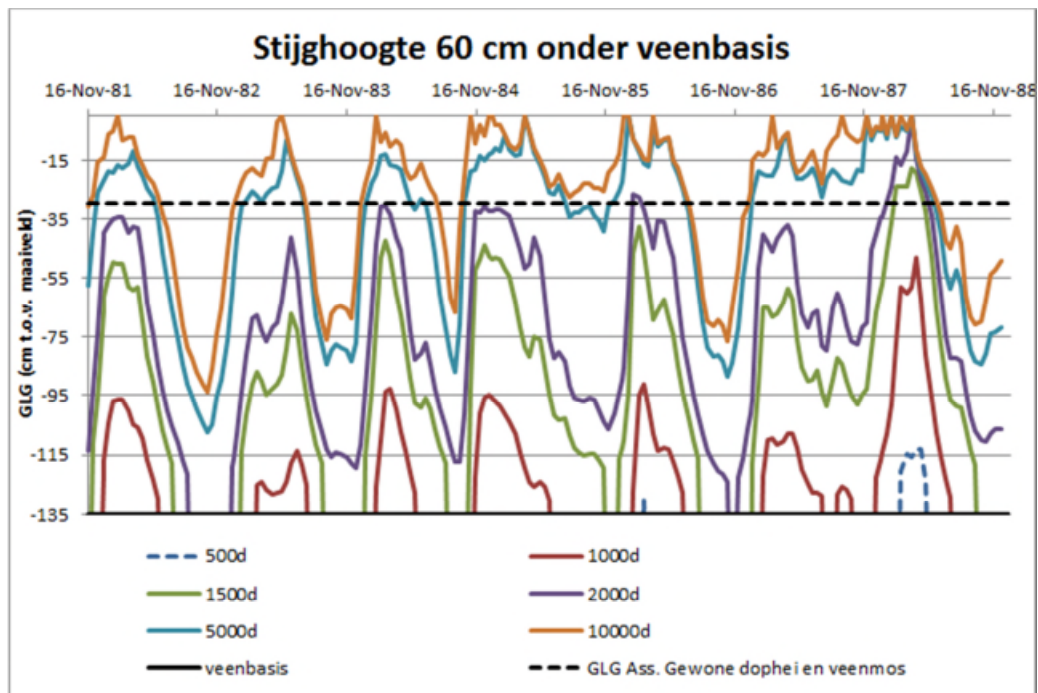
Ook de diepte tot waar de schijnspiegels uitzakken in relatie tot de weerstand van de slecht doorlatende laag wordt beïnvloed door de toplaag. Met veenmos als toplaag kwam de GLG van de schijngrondwaterstand niet onder de veenbasis uit zolang de verzadigde weerstand tenminste 2500 d bedroeg (Figuur 3-3). Met dopheide als toplaag werd dit pas bereikt bij een verzadigde weerstand van 3000 d (Figuur 3-6). Een ander verschil is dat bij stijghoogte

van 265 cm of meer, een verzadigde weerstand van 40.000 d nog onvoldoende is om te voldoen aan de vereiste GLG van de Associatie van Gewone dophei en veenmos (max. 30 cm – maaiveld).



Figuur 3-6. De GLG in relatie tot de verzadigde weerstand van de weerstandbiedende laag bij verschillende opgelegde stijghoogtes. De stippellijn stelt de vereiste GLG voor van de Associatie van Gewone dophei en veenmos.

Niet alleen de GLG is lager in een veenkolom met dopheide als toplaag in vergelijking met een toplaag bestaande uit veenmos, ook de fluctuatie van de schijnspiegel is in die situatie groter. Uit Figuur 3-7 blijkt dat bij een relatief hoge stijghoogte van 60 cm onder de veenbasis ook bij een verzadigde weerstand van 10.000 d niet alleen niet wordt voldaan aan de vereiste GLG, maar dat de fluctuatie van de schijnspiegel met ca. 95 cm ook groter is dan het vereiste maximum van 40 cm.



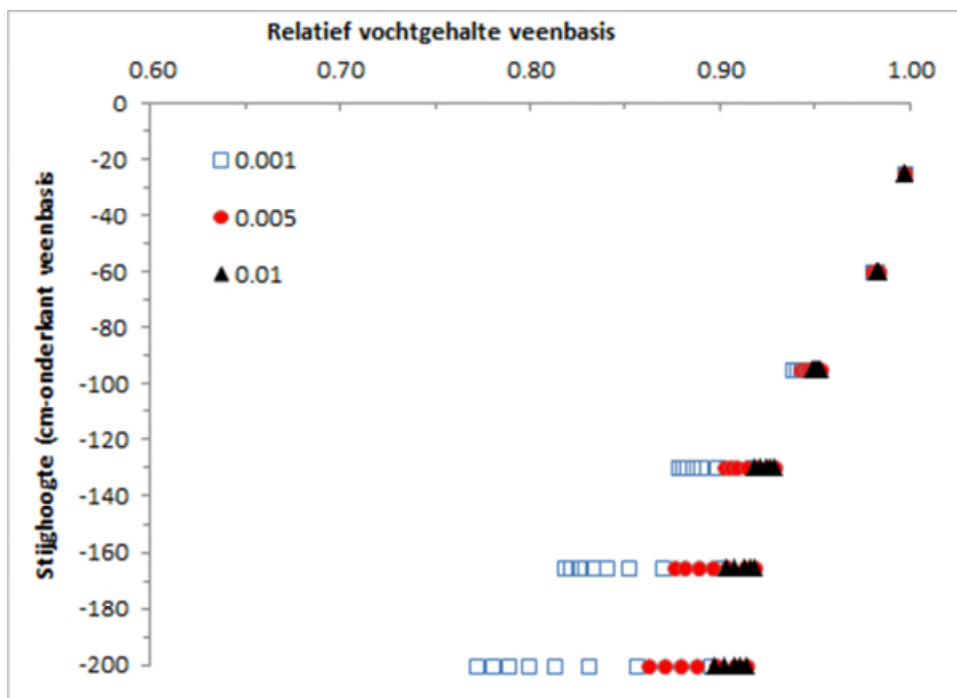
Figuur 3-7. Schijnspiegeldynamiek in relatie tot een stijghoogte van 60 cm onder de veenbasis en verschillende verzadigde weerstanden van de slecht doorlatende laag bij een natte heide begroeiing.

3.7 Wanneer valt de veenlaag van onderaf droog?

In de inleiding (Hoofdstuk 1) is de hypothese beschreven dat de veenbasis (periodiek) in contact moet zijn met het grondwater om scheurvorming in de slecht doorlatende laag door verdroging vanaf de onderzijde te voorkomen. Uit onze simulaties blijkt echter dat uitdroging van de onderzijde van de slecht doorlatende laag zeer beperkt is (Figuur 3-8). Uitgaande van bodems met een verzadigde doorlatendheid van tenminste 2000 d bedraagt bij een stijghoogte van 95 cm onder de veenbasis het relatieve vochtgehalte van de onderkant van de veenbasis minimaal 94% (Figuur 3-8). Dit komt overeen met een werkelijk vochtgehalte van 0.395 ten opzichte van een verzadigd vochtgehalte van deze horizont van 0.42. Bij een verzadigde doorlatendheid van 0.001 cm/d en een stijghoogte van 200 cm onder de veenbasis, neemt het relatieve vochtgehalte van de onderzijde van de slecht doorlatende laag af tot minimaal 77%.

Bij een toenemende verzadigde doorlatendheid neemt het vochtgehalte aan de onderzijde van de slecht doorlatende laag toe. Dit wellicht wat contra-intuïtieve effect wordt veroorzaakt doordat bij een toenemende doorlatendheid de aanvoer van water van bovenaf gemakkelijker verloopt. Wel zal in deze situatie de vermindering van de relatieve vochtigheid over een grotere dikte van de veenlaag waarneembaar zijn. In veenlagen met een lage doorlatendheid zal dat beperkt zijn tot een relatief dun deel. Overigens betekent deze daling van de relatieve vochtigheid dat er van onderaf (beperkt) luchttoetreding (tot ca. 10 volume %) in de onderzijde van de veenbasis zal plaatsvinden. Oxidatie van het organisch materiaal kan dan plaats vinden indien de bodemlucht onder de veenbasis zuurstof bevat. Daarvoor is het nodig dat er tijdens het laterale luchttransport van buiten het schijnspiegelsysteem tot de onderkant van dat systeem nauwelijks of geen zuurstof wordt verbruikt. Bij aanwezigheid van organisch materiaal in de zandbodem en in het aanwezige (uit het bovenliggende percolerende) bodemvocht, lijkt het ons niet aannemelijk dat de bodemlucht onder de veenbasis nog veel zuurstof zal bevatten. Aanvullend onderzoek dient hier echter uitsluitsel over te geven.

Bij uitdroging van bodems met organische stofgehaltes >15% kan structuurverandering optreden. Of en in welke mate structuurverandering (krimp) optreedt verschilt sterk tussen bodems en kunnen worden vertaald in een krimpkarakteristiek (Hendriks, 2004). Van kazige B-horizonten en gliedelagen zijn echter geen gegevens beschikbaar over krimpeigenschappen. Of bij de genoemde afname van het vochtgehalte significante krimp resulterend in scheurvorming in de veenbasis optreedt, is onduidelijk en dient nader onderzocht te worden. Wel moet opgemerkt worden dat de veenbasis veelal bedekt wordt door enkele meters nagenoeg verzadigde bodem. Door deze belasting zal krimp vooral resulteren in een daling in de verticaal en minder snel in horizontale krimp en scheurvorming. Nadere parameterisatie van deze eigenschappen is gewenst voor verschillende typen veenbasis.



Figuur 3-8. Relatief vochtgehalte van de onderzijde van de veenbasis bij een dalende stijghoogte in relatie tot de verzadigde doorlatendheid van de slecht doorlatende laag (0.001-0.1 cm/d). In deze simulaties is alleen gekeken naar bodems met een verzadigde weerstand van tenminste 2000 d.

4 Discussie en conclusies

4.1 Betrouwbaarheid resultaten

Uiteraard zijn de door ons uitgevoerde SWAP-simulaties virtuele situaties. Ook zijn de beschikbare gegevens over bodemprofielen en in het bijzonder bodemfysische eigenschappen van de veenmos toplaag en slecht doorlatende veenbasis beperkt. Door gebruik te maken van reële bodemfysische parameters uit diverse bronnen, betrouwbare meteorologische data en zo nauwkeuring mogelijke gewasverdamingsdata, zijn wij van mening dat de in hoofdstuk 3 beschreven resultaten de werkelijkheid goed zullen benaderen.

De belangrijkste vraag waarop wij met onze SWAP simulaties antwoord wilden geven, was in hoeverre het essentieel is voor een duurzaam behoud en herstel van veengebieden dat de stijghoogte van het grondwater ten minste tot aan de onderkant van de veenlaag reikt. Het idee bij deze vraag was dat wanneer de stijghoogtes van de grondwaterstand tot onder de veenbasis wegzakken, dit mogelijk zou kunnen leiden tot aantasting, uitdroging van en scheurvorming in de veenbasis. Hierdoor zou de wegzijging vanuit de veenbasis (verder) toenemen en de afbraak van de veenlaag worden versneld.

4.2 Stijghoogte in relatie tot veenbasis

Uit onze simulaties blijkt dat, indien de weerstand van de slecht doorlatende laag voldoende hoog is (ten minste 2000 d), er permanent een schijnspiegel optreedt en de verzadiging van de veenbasis niet dusdanig afneemt dat structuurverandering op zal treden. Uit onze analyse blijkt verder dat de verandering van de wegzijging uit het veenpakket afneemt met een afnemende stijghoogte in het onderliggende zandpakket. Met andere woorden: vanaf een zekere diepte beneden de veenbasis heeft de stijghoogte geen invloed meer op de (schijn)grondwaterstand in het veen. Uit onze simulaties blijkt dat (bij de gekozen eigenschappen van het onderliggende zandpakket, leemarm,) vanaf een stijghoogte van ca. 145 cm beneden de veenbasis, nagenoeg geen verandering in wegzijging meer optreedt en het schijnspiegelsysteem onafhankelijk van de stijghoogte functioneert. Deze bevinding komt overeen met analytische benaderende berekeningen door Bannink *et al.* (1989) en Dekkers *et al.* (1990), die op een soortgelijke relatie en omslagpunt uitkwamen (100-140 cm beneden de onderkant van de slecht doorlatende laag). De consequentie is dat bij schijnspiegelsystemen waar de stijghoogte zich al meer dan anderhalve meter beneden de veenbasis bevindt, een verdere daling waarschijnlijk geen significant effect zal hebben op het functioneren van de schijnspiegel. Een stijging van de stijghoogte boven deze waarde kan echter een gunstig effect hebben op het functioneren van het schijnspiegelsysteem.

4.3 Uitdroging veenbasis

Uit onze simulaties blijkt dat zelfs bij diepe stijghoogtes (tot wel 2 m onder de veenbasis) het relatieve vochtgehalte van de onderkant van de slecht doorlatende niet lager wordt dan 77 % ($\theta > 0.32$ bij een θ_{sat} van 0.42) (Figuur 3-8). Hierbij geldt hoe lager de weerstand van de slecht doorlatende laag, hoe hoger het vochtgehalte blijft. Bij hoge weerstanden is de uitdroging dus groter, maar gelimiteerd tot de onderste centimeters van de slecht doorlatende laag. Uitdroging van organische bodems kan resulteren in structuurverandering (krimp, scheurvorming). Er zijn echter op dit moment onvoldoende gegevens beschikbaar om te bepalen in hoeverre krimp of zelfs scheurvorming in de veenbasis optreedt bij de geconstateerde afnames van het vochtgehalte. Gezien de belasting van enkele meters

(vochtige) bodem boven de veenbasis is het echter aannemelijk dat krimp preferent in de verticaal zal optreden.

Bij de geconstateerde daling van het vochtgehalte zal lucht in de grotere poriën aan de onderkant van de veenbasis dringen. Indien deze lucht zuurstof bevat kan dit resulteren in oxidatie van de organische veenbasis. Het lijkt echter aannemelijk dat lucht onder een veentje, zeker op grotere afstand van de randen, geen of weinig zuurstof bevat. Door respiratie van planten, bodemleven en bacteriologische processen wordt zuurstof verbruikt en zal de concentratie zuurstof in de bodemlucht afnemen tijdens transport naar de veenbasis. Nader onderzoek naar dit gastransport en het zuurstof verbruik is gewenst om uitsluitel te kunnen geven.

Uiteraard is significante aantasting van de slecht doorlatende laag ook mogelijk indien deze tijdelijk van boven droogvalt, bijvoorbeeld door ontwatering van het veen. Stijghoogtes tot boven de veenbasis zullen in dat geval een beschermende werking hebben.

4.4 Belang toplaag

Uit onze simulaties blijkt het grote belang van de toplaag in relatie tot de mate van wegzijging en de schijnspiegeldynamiek. Indien de vegetatie bestaat uit heide, en veenmossen een kleiner aandeel in de bedekking hebben, daalt de schijnspiegel bij een verlaging van de stijghoogte meer dan wanneer de toplaag geheel uit veenmos bestaat (vergelijk Figuur 3-4 en Figuur 3-7). Veenmossen temperen dus de grondwaterstandsdynamiek. In tegenstelling tot veenmossen hebben hogere planten zoals dopheide wortels en kunnen hierdoor bij dalende grondwaterstanden langer doorgaan met verdampen. De negatieve terugkoppeling op de verdamping, die van veenmossen bekend is (Ketcheson & Price, 2014), treedt bij een hoger aandeel hogere planten uiteraard minder op, waardoor een grotere daling van de grondwaterstand optreedt. Dit effect is in overeenstemming met waarnemingen in het veld. Wanneer onder invloed van toenemende voedselbeschikbaarheid (bijvoorbeeld door stikstofdepositie) en (tijdelijk) lagere waterstanden de veenmosvegetatie overgaat in heide op veen, heeft dit een versterkend effect op verdroging en voedselbeschikbaarheid. Een volgende fase in deze successie is de vestiging en uitbreiding van grassen (pijpenstrootje), en is er sprake van degradatie van hoogveenrestanten (Eggelsman, 1967). In veel hoogveenrestanten was dit aanleiding voor grootscheepse herstelmaatregelen die zich richtten op de verbetering van de waterhuishouding, in het bijzonder het herstel van hogere en stabiele (schijn)grondwaterstanden.

5 Literatuur

Bannink, M.H., Hendrickx, J.M.H., Dekker, L.W., van Ommen, H.C. (1989) Wegzijing van water uit hooggelegen vennen: een gevoeligheidsanalyse, H2O, 22 (15), 456-464

Commissie voor hydrologisch onderzoek TNO (1986). Verklarende hydrologische woordenlijst. Samengesteld door de Gespreksgroep Hydrologische terminologie. Rapporten en Nota's, No. 16. 's-Gravenhage.

Dekker, L.W., Bannink, M.H., en Booij, A.H. (1986). Bodemkundig en bodemfysisch onderzoek naar de invloed van grondwaterstandsverlaging op wegzijing van water uit vennen nabij Sellingeren. Stichting voor bodemkartering, Rapport nr. 1859. Wageningen.

Dekkers, J.M.J., Stolte, J., Wösten, J.H.M. (1990) De doorlatendheid van de bodem in natuurgebied "Beerzerveld"; De doorlatendheid van de kazige B-horizont. Rapport 15, Staringcentrum, Wageningen

Eggelsmann, R., 1967. Oberflächengefälle und Abflussregime der Hochmoore. Wasser und Boden 19: 247-252.

Feddes, R.A., Kowalik, P.J., Zaradny, H., 1978. Simulation of field water use and crop yield. Simulation Monographs. Pudoc, Wageningen, 189 pp.

Gnatowski, T., Szatyjowicz, J., Brandyk, T., Kechavarzi, C., 2010. Hydraulic properties of fen peat soils in Poland. Geoderma, 154(3-4): 188-195.

Grootjans, A.P., Baaijens, G.J., en Casparie, W.A. (1982). De invloed van grondwaterstandsverlaging op enkele heidevennen rond Sellingeren. Wetenschapswinkel Biologie, Rijksuniversiteit Groningen. Rapport nr. 10.

Grootjans, A.P. & Van Diggelen, R. (1998). Selected restoration objects in The Netherlands and NW Germany; a field guide. Laboratorium voor Plantenoecologie, Haren.

Hanhart Consult (1999). Evaluatie meetnet Beerzerveld. In opdracht van Landschap Overijssel.

Hendriks, R.F.A. (2004). An analytical equation for describing the shrinkage characteristics of peat soils. In J. Päävänen (Ed.) Wise use of Peatlands. Proceedings of the 12th International Peat Congress. Tampere, Finland.

Ketcheson, S.J., Price, J.S. (2014). Characterization of the fluxes and stores of water within newly formed Sphagnum moss cushions and their environment. Ecohydrology, 7(2): 771-782.

Koopman, G. (1986). Waterhard: wat het is en wat-er-hard aan is : een studie van het fenomeen "waterhard" in het Amsterdamsche Veld bij Erica (Drente). University of Groningen Digital Archive (OAI identifier: oai:ub.rug.nl:dbi/5049e051a7b52).

Koopman, S., en Pfeifer, A.E. (2014); Geologische atlas van het Gooi. AWN Naerdincklant.

McCarter, C.P., Price, J.S., 2014. Ecohydrology of Sphagnum moss hummocks: mechanisms of caputula water supply and simulated effects of evaporation. *Ecohydrology*, 7(1): 33-44.

Ministerie van LNV (2008). Profielfdocument Actief hoogveen (H7110). Den Haag.

Mualem, Y., 1976. A new model for predicting the hydraulic conductivity of unsaturated porous media. *Water Resources Research*, 12(3): 513-522.

Price, J.S. et al., 2008. A Method to Determine Unsaturated Hydraulic Conductivity in Living and Undecomposed Sphagnum Moss. *Soil Science Society of America Journal*, 72(2): 487-491.

Runhaar, J., M.H. Jalink, H. Hunneman, J.P.M. Witte en S.M. Hennekens (2009). Ecologische Vereisten Habitattypen. Rapport KWR 09.018 en Acces-Database.

Schaap, M.G., van Genuchten, M.T., 2006. A Modified Mualem-van Genuchten Formulation for Improved Description of the Hydraulic Conductivity Near Saturation. *Vadose Zone J.*, 5(1): 27-34.

Sevink, J., C. Geuijen, B. van Delft, M.G. Schouten, L. van Tweel-Groot (2014). De veenbasis: kenmerken en effecten van ontwatering, in relatie tot behoud en herstel van de Nederlandse hoogvenen. Een literatuurstudie. Vereniging van Bos- en Natuurterreineigenaren (VBNE), Driebergen.

Streefkerk, J.G. & Casparie (1987). De hydrologie van hoogveensystemen. Rapport 1987-19, Staatsbosbeheer, Utrecht.

Van der Schaaf S (2002). Bog hydrology. In: Schouten MGC (ed) Conservation and restoration of raised bogs: geological, hydrological and ecological studies. Dúchas - The Heritage Service of the Department of the Environment and Local Government, Ireland; Staatsbosbeheer, the Netherlands; Geological Survey of Ireland, Dublin, pp. 54-109.

Van Genuchten, M.T., 1980. A closed-form equation for predicting the hydraulic conductivity of unsaturated soils. *Soil Science Society of America Journal*, 44: 892-898.

Von Asmuth, J.R., S. Van der Schaaf, A. P. Grootjans en C. Maas (2010) Weerstand en wegzijging in natte natuurgebieden, schatting via analyse van gemeten (grond)waterpeilen; Delft University of Technology, Delft.

Von Asmuth, J. R.; Grootjans, A. P., and Van der Schaaf, S. Over de dynamiek van peilen en fluxen in vennen en veentjes. Eindrapport deel 2, OBN-onderzoek 'Herstel van biodiversiteit en landschapsecologische relaties in het natte zandlandschap'. Driebergen: Rapport nr. 2011/OBN147-2-NZ, Bosschap, bedrijfsschap voor bos en natuur; 2011.

Wösten, J.H.M., Veerman, G.J., de Groot, W.J.M., Stolte, J., (2001). Waterretentie- en doorlatendheidskarakteristieken van boven- en ondergronden in Nederland: de Staringreeks. Vernieuwde uitgave 2001. Alterra Research Instituut voor de Groene Ruimte, Wageningen, 86 pp.