

Duizend jaar menselijke invloed op de waterhuishouding van de Gooi- en Vechtstreek

Arnaut van Loon¹ & Paul Schot²

Ondanks ingrijpende maatregelen om laagvenen te vernatten, is grootschalig hydrologisch herstel tot nog toe uitgebleven. Aan de hand van een paleohydrologische reconstructie van de Gooi- en Vechtstreek werpen wij nieuw licht op de verdroging en vernatting van laagveengebieden. Daarbij gaan wij in op de natuurlijke situatie, de oorzaken van verdroging vanuit historisch perspectief en een oorzaakgerichte herstelstrategie. Uit de reconstructie blijkt dat kwelgebieden in de loop van de geschiedenis versplinterd zijn geraakt en dat tegelijkertijd de hoeveelheid kwel in het laagveengebied is toegenomen.

Inleiding

Mesotrofe laagvenen zijn een van nature zeldzaam ecotoop met een doorgaans soortenrijke kleine-zeggevegetatie. Ze worden gekarakteriseerd door permanent ondiepe grondwaterstanden, en een zwak zuur tot zwak basisch en matig voedselrijk milieu (Bedford e.a., 1999; Sjörs en Gunnarson, 2002). Deze omstandigheden worden vaak voortgebracht door toestromend grondwater (kwel) met daarin opgeloste mineralen (Amon e.a., 2002). Door deze afhankelijkheid van kwel hebben mesotrofe laagvenen de neiging om als gevolg van veengroei omhoog te schuiven richting het intrekgebied. Op het laagveen kan vervolgens, bij voldoende infiltratie van regenwater, hoogveen ontwikkelen. Hoogvenen zijn ook nat, maar veel zuurder en minder voedselrijk (Van Wirdum, 1991). Daarnaast kunnen laagveenvegetaties als gevolg van rivieroverstromingen overgroeid raken met broekbossen, die weer veel voedselrijker zijn.

In ongestoorde rivierlandschappen kunnen mesotrofe laagvenen 2000 tot 3000 jaar stabiel zijn, doordat het conditionerend effect van toestromend grondwater op de abiotische leefomstandigheden van planten ook stabiel is (Grootjans e.a., 2006). In Nederland zijn de mesotrofe laagvenen op grote schaal verdwenen door afgraving, of ze zijn overgroeid geraakt met snelgroeïende planten of bos, of verschaald in soortensamenstelling. De belangrijkste oorzaken van veranderingen in soortensamenstelling zijn atmosferische stikstofdepositie, de aanvoer van oppervlaktewater, een afname van

¹ KWR, Nieuwegein (Arnaut.van.Loon@kwrwater.nl),

² Universiteit Utrecht, Utrecht (P.P.Schot@uu.nl)

kwel en dieper wegzakkende (zomer)grondwaterstanden, die direct of indirect leiden tot verzuring, vermisting en verdroging (Lamers e.a., 2002). Het herstel van kwel naar de wortelzone wordt dan ook gezien als een voorwaarde voor de ontwikkeling en instandhouding van mesotrofe laagvenen (Kemmers e.a., 2003; Almendinger en Leete, 1998).

De ervaringen met het herstel van kwel naar de wortelzone van mesotrofe laagvenen gaan terug tot de vroege jaren 1990. Sinds die tijd zijn o.a. diverse grondwaterwinningen gesloten, zijn ontwateringsmiddelen in en rond natuurgebieden gedempt en zijn hydrologische bufferzones aangelegd teneinde de resterende laagveenvegetaties te vernatten en van voldoende kwel te voorzien. In sommige gebieden waar dergelijke maatregelen niet haalbaar waren, zoals de Langstraat in Noord-Brabant, is men zelfs gaan graven naar water door de bodem enkele decimeters af te graven. In het Vechtplassengebied is tevens flexibel peilbeheer ingevoerd om de afhankelijkheid van het peilbeheer van extern oppervlaktewater te verminderen zodat kwelwater weer tot uiting kan komen in de standplaatsfactoren. Ondanks deze inspanningen is groot-schalig en structureel herstel van mesotrofe laagvenen tot op heden uitgebleven.

In dit artikel beargumenteren wij op basis van een interpretatie van historische gegevens en andere informatie waarom vernatting op landschapsschaal is uitgebleven. Dit doen wij aan de hand van een paleohydrologische reconstructie van de Gooi- en Vechtstreek (Provincies Utrecht en Noord-Holland, Afbeelding 1), startend vanaf de eerste menselijke ingrepen in de waterhuishouding rond het jaar 800 AD. Met deze reconstructie geven wij inzicht in:

- de hydrologie ten tijde van natuurlijke omstandigheden: hoe ziet de natuurlijke referentie eruit?
- de oorzaken van verdroging vanuit historisch perspectief: welke ingrepen hebben welke gevolgen voor de waterhuishouding gehad?
- een oorzaakgerichte herstelstrategie: welke maatregelen op welke plaats en in welke volgorde?

De Gooi- en Vechtstreek

Topografie en waterhuishouding

De Gooi- en Vechtstreek is het gebied ten noorden van de stad Utrecht en ten zuiden van de randmeren van Flevoland (zie Afbeelding 1). Binnen dit gebied zijn op hoofdlijnen twee landschapstypen te onderscheiden, namelijk (1) de hooggelegen, gestuwde zandrug van de Utrechtse Heuvelrug en Het Gooi, en (2) de laaggelegen riviervallei van de Utrechtse Vecht, een voormalig zijtak van de Kromme Rijn.

De gestuwde zandrug ligt topografisch hoog in het landschap, met maaiveldhoogten oplopend tot 30 m + NAP. Door de hoge ligging is dit landschap droog en groeien er voornamelijk heidevelden en bossen, met hier en daar nog wat stuifvlakten. Daarnaast is het gebied sterk verstedelijkt. Door de hoge ligging en de goed doorlatende zandpakketten is dit gebied een infiltratiegebied dat goed geschikt is voor het winnen van grondwater. Het deel van het neerslagoverschot dat niet gewonnen wordt, stroomt als grondwater af naar de oostelijk gelegen Eemvallei (een uitgestrekt kleigebied) en de westelijk gelegen Vechtvallei.

De Utrechtse Vecht ligt in een laaggelegen riviervallei die bestaat uit een veenweidegebied met daarin uitgestrekte, meestal ondiepe plassen en meren. In het gebied zijn een groot aantal polders aanwezig die trapsgewijs in het landschap liggen. De twee diepste polders, de Horstermeer en de Bethunepolder, zijn droogmakerijen die thans op zo'n 3 m – NAP liggen. Vanwege de diepe ligging in een voormalig marien gebied trekt de Horstermeer brakke kwel aan (zie De Louw e.a. in dit nummer). De peilen in de meren en polders werden tot voor kort strikt gereguleerd op basis van peilbesluiten. Hierbij wordt overtollig water in de winterperiode uitgeslagen, terwijl watertekorten in de zomerperiode worden gecompenseerd door het inlaten van oppervlaktewater. Tegenwoordig worden de polderpeilen minder strak gehandhaafd met 'flexibel peilbeheer'.

In de riviervallei zijn grotere en kleinere natuurgebieden aanwezig die typerend zijn voor het laagveenlandschap. Een aantal daarvan heeft een goed ontwikkelde laagveenvegetatie. Meestal gaat het hierbij om dichtgroeïende petgaten of kleine gebieden die dicht genoeg bij de Heuvelrug liggen om buiten de invloedssfeer van ingelaten oppervlaktewater te liggen én kwel van goede kwaliteit ontvangen. Veel andere natuurgebieden zijn verdroogd als gevolg van onvoldoende aanvoer van kwelwater. Ondanks aanzienlijke inspanningen is het tot nog toe niet gelukt om vernatting op grotere schaal teweeg te brengen.

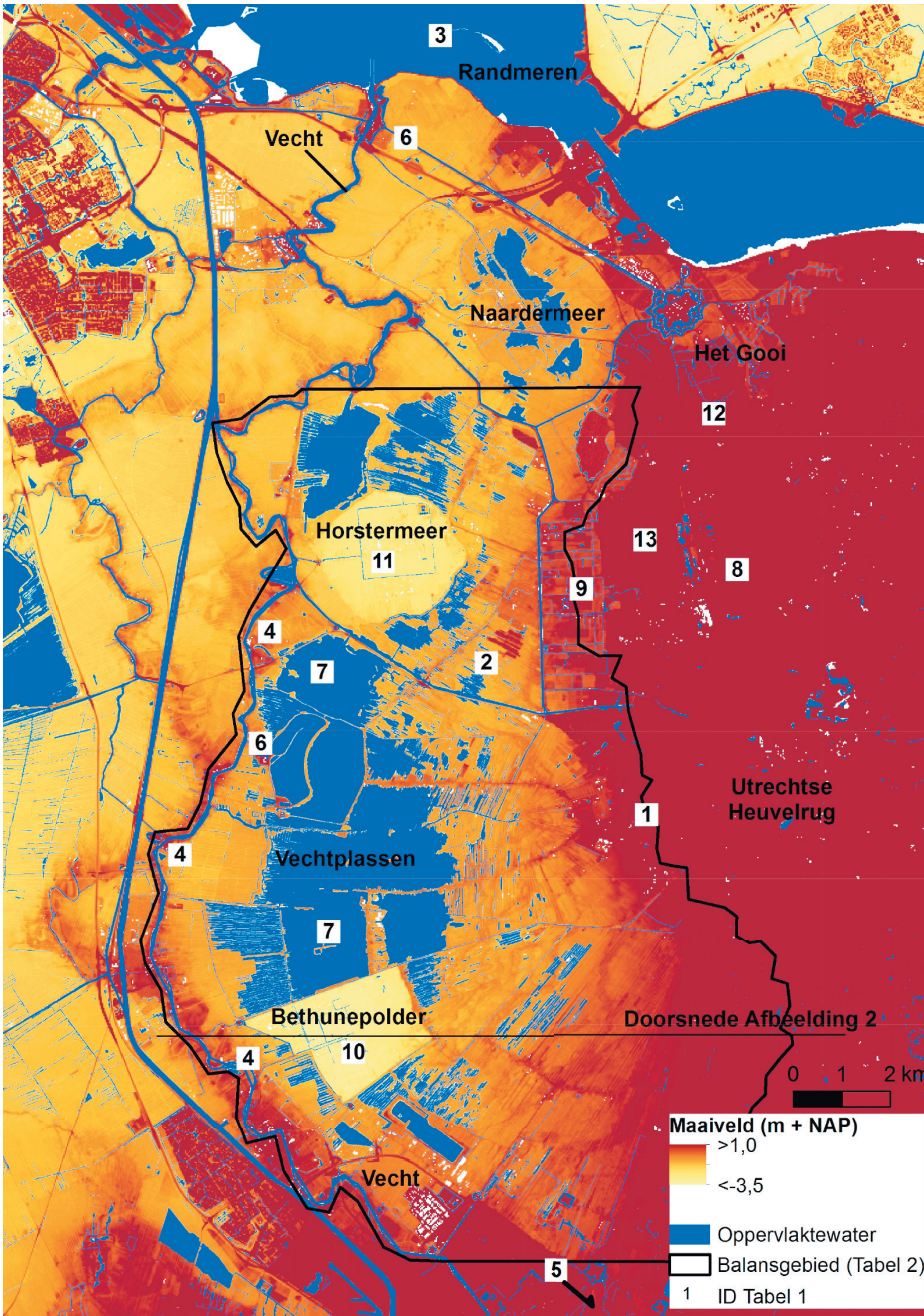
Waterhuishoudkundige ontwikkeling

Tabel 1 geeft een chronologisch overzicht van de gedocumenteerde belangrijkste gebeurtenissen die invloed hebben gehad op de waterhuishoudkundige ontwikkeling van de Gooi- en Vechtstreek. De topografische ligging van deze gebeurtenissen is weergegeven in Afbeelding 1.

Tot ongeveer het jaar 800 AD werd de ontwikkeling bepaald door zeespiegelstijging en de daaraan gerelateerde veengroei. Hoewel de Vecht langzaam dichtgroeide, bleef hij waarschijnlijk een belangrijke afvoerfunctie houden, getuige de scheepvaart van de Romeinen. Vanaf 800-850 AD werd lokaal gestart met de vervening, waarbij het veen vanaf de heuvelrug werd afgegraven. Vanaf 1100 werd de vervening systematisch aangepakt doordat het bisdom van Utrecht de woeste gronden ging uitgeven. De vervening werd toen zo intensief dat slechts smalle repen legakkers behouden bleven. Rond 1400 spoelden deze legakkers op veel plaatsen door golfslag weg, zodat petgaten aaneengroeiden tot grote veenplassen. Twee van deze veenplassen, de Bethunepolder, en het Horstermeer, zijn in 1888 drooggelegd en in gebruik genomen. Ondertussen was de natte vervening (baggeren) geïntroduceerd, een mijnbouwactiviteit die tot diep in de jaren 1970 is voortgezet. Het afgraven en baggeren van het veen betekent hydrologisch dat weerstand tegen verticale grondwaterstroming verloren is gegaan. Daarnaast veroorzaakt ontwatering van de veenbodems al decennialang een bodemdaling die kan oplopen tot 2 cm/j (Schothorst, 1982; Van Asselen e.a., 2009).

De water-gerelateerde kenmerken van de heuvelrug zijn minder drastisch gewijzigd dan die van het veengebied, hoewel ook daar veranderingen kunnen hebben bijgedragen aan de verdroging van het laagveen. Tussen 1400 en 1900 AD ontstonden als gevolg van overbegrazing uitgestrekte heidevelden en stuifvlakten, die later weer dichtgroeiden of vol geplant werden met naalddhout ten behoeve van de mijnbouw in

Limburg. Tevens is de heuvelrug sinds de jaren 1950 sterk verstedelijkt. In 1888 werd gestart met de winning van grondwater. Tegenwoordig wordt jaarlijks zo'n 10 miljoen m³ grondwater gewonnen, verdeeld over acht winlocaties.



Afbeelding 1: Topografie van de Gooi- en Vechtstreek. Bron hoogtekaart: AHN25. Merk op dat de oostelijke begrenzing van het balansgebied is aangepast op de ligging van de kwelgebieden.

Tabel 1: Waterhuishoudkundige ontwikkelingen en veranderingen in de Gooi- en Vechtstreek sinds het jaar 0. Voor referenties zie Van Loon e.a. (2010).

Jaar (AD)	Waterhuishoudkundige ontwikkelingen en wijzigingen	ID (zie Afbeelding 1)
< 0	Veengroei en zeespiegelstijging	
700-750	Eerste bewoning	1
800-850	Einde veengroei door lokale vervening	2
1000	Flevomeer wordt Zuiderzee	3
1100-1150	Start systematische vervening	4
1122	Kromme Rijn wordt afgedamd	5
1300-1400	Bedijking van de Zuiderzee en Vecht	6
1400-1500	Ontstaan veenplassen Introductie windmolen	7
1400-1900	Ontwikkeling heidevelden en zandverstuivingen	8
1437	Eerste dam in de Vecht	6
1500-1550	Start onderwater vervening (baggeren)	7
1674-1823	Zandafravingen op de heuvelrug	9
1878-1885	Drooglegging van Horstermeer en Bethunepolder	10, 11
1888	Start grondwateronttrekkingen op de heuvelrug	12
1900-1950	Aanplant naaldbos en verstedelijking heuvelrug	13
1970-1980	Einde vervening	
>1990	Vernattingsmaatregelen	

Paleohydrologische reconstructie

Met behulp van een reeks MODFLOW-modellen hebben wij de waterhuishouding van de Gooi- en Vechtstreek gereconstrueerd voor drie tijdvensters die typerend zijn voor op-eenvolgende ontwikkelstadia van het studiegebied. Deze tijdvensters zijn gedefinieerd op basis van de dominante waterhuishoudkundige veranderingen (Tabel 1), namelijk:

- 800 AD: de laatste fase van de natuurlijke ontwikkeling van de waterhuishouding;
- 1888 AD: de Vechtvallei is ingepolderd en de Horstermeer en Bethunepolder zijn drooggelegd;
- 2000 AD: meerdere grondwaterwinningen op de heuvelrug;

Eerst is het grondwatermodel voor het tijdvenster 2000-2005 opgezet en gekalibreerd aan stijghoogtereeksen uit DINO-loket door grondwateraanvulling, drainage-weerstanden en doorlaatvermogen te variëren.

Vervolgens is op basis van historische gegevens het grondwatermodel voor 2000-2005 zo aangepast dat het representatief is voor de periode 1885-1888 AD. Dit houdt in dat (1) grondwateronttrekkingen zijn verwijderd, (2) maaiveldhoogten, oppervlaktewaterstanden en de hydraulische eigenschappen van het veenpakket zijn gecorrigeerd voor inklinking, en (3) de grondwateraanvulling is aangepast op basis van de historische landgebruikskaart (Knol e.a., 2004). Tevens zijn een aantal polderpeilen uit historische bronnen opgelegd als randvoorwaarde.

Tenslotte is het grondwatermodel voor het tijdvenster 800-850 AD vervaardigd. Hierbij zijn de ondergrondparameters gebaseerd op de huidige situatie. Dit hebben wij

gedaan door een verticale uitsnede van het GeoTop-model te maken op basis van een maaiveldhoogtemodel voor het natuurlijke landschap. Dit maaiveldhoogtemodel gaat uit van de bovenkant van de pleistocene sedimenten en beschrijft de morfologie van het veengebied op basis van de helling van het veengebied en dat van de hoogveengewelven. Oppervlaktewaterstanden zijn geschat op basis van een zeespiegelreconstructie van het Flevomeer door Van de Plassche e.a. (2005) en de aanname van een constant verhang van de Vecht en Drecht.

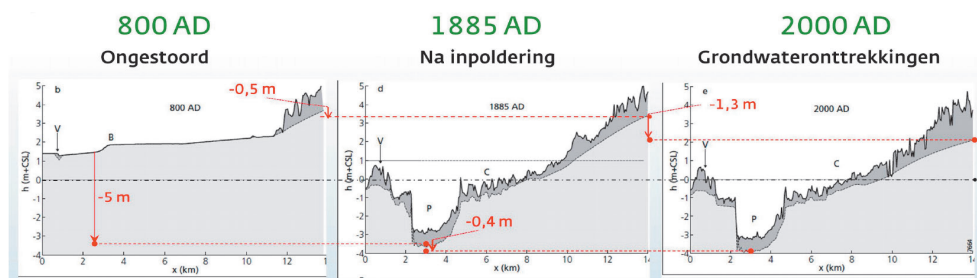
De grondwatermodellen bestaan uit 6 modellen en hebben een celgrootte van 50×50 m. De parameters voor de pleistocene ondergrond (transmissiviteiten en weerstanden) zijn gelijk verondersteld voor alle modellen, aangezien er geen aanwijzingen zijn dat deze zijn gewijzigd. De grondwateraanvulling voor alle modellen is geschat op basis van actuele gegevens voor neerslag en referentieverdamping. Hoewel bekend is dat het klimaat de afgelopen eeuwen aanzienlijk is veranderd, ontbreekt kwantitatieve informatie over neerslag en verdamping voor de beschouwde periode. Daarom is de meteorologische invoer constant gehouden.

Evolutie van grondwatersystemen

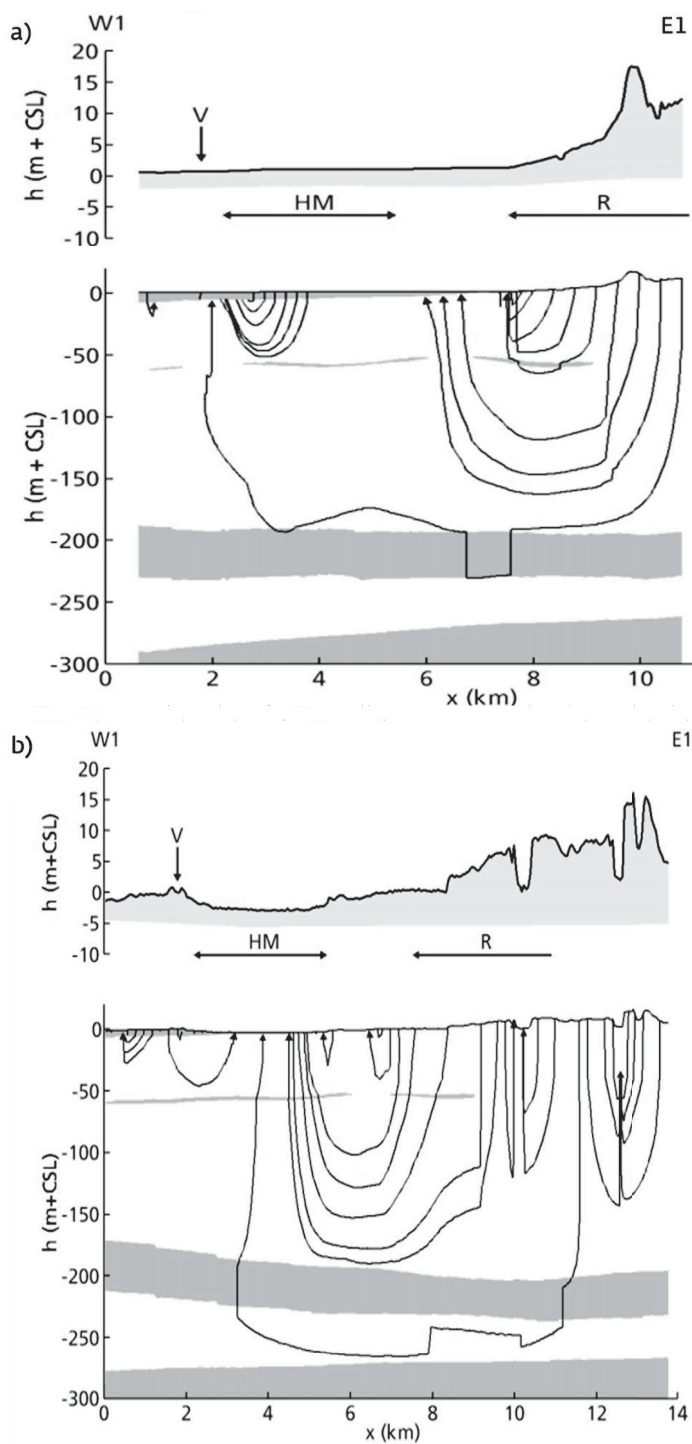
Maaiveldhoogten en grondwaterstanden

In Afbeelding 2 zijn de gereconstrueerde maaiveldhoogten en grondwaterstanden langs een oost-westdoorsnede door de Bethunepolder weergegeven. Tijdens ongestoorde omstandigheden was het veenpakket volledig verzadigd en liep het maaiveld geleidelijk af in de richting van de Vecht. Alleen het hoogveengewelf zorgde voor enige hoogteverschillen binnen het veengebied (Afbeelding 2a).

Ten tijde van de inpoldering van de Bethunepolder (Afbeelding 2b) was het maaiveld ter plaatse ongeveer 5 m gedaald ten opzichte van de ongestoorde situatie. De droogmakerijen, en niet meer de Vecht, zijn de laagste punten in het landschap geworden. Tevens zijn als gevolg van de instelling van polders relatief grote maaiveldvariëaties binnen de vallei ontstaan. Om dezelfde reden is het veenpakket niet meer volledig grondwaterverzadigd, maar is de grondwaterstand tot ongeveer 0,4 m beneden maaiveld gedaald. Ten slotte is door deze veranderingen de hoogste grondwaterstand in de heuvelrug ca. een halve meter gedaald.



Afbeelding 2: Maaiveldhoogten en grondwaterstanden langs een oost-westdoorsnede (zie Afbeelding 1) door de Bethunepolder (P) voor de tijdvensters a) 800 AD (ongestoorde), b) 1885 AD (droogmakerijen), en c) 2000 AD (grondwateronttrekkingen).



Afbeelding 3: Maaiveldhoogten en grondwaterstromingspatronen langs een oost-westdoorsnede door de Horstermeerpolder (HM) voor de tijdvensters a) 800 AD (ongestoord) en b) 2000 AD (grondwateronttrekkingen)

In de situatie met grondwateronttrekkingen (Afbeelding 2c) is de stijghoogte onder de heuvelrug nog ruim 1 meter verder gedaald. Ook in het veengebied daalde de grondwaterstand met een paar decimeter (ten opzichte van NAP) doordat polderpeilen zijn verlaagd om voldoende drooglegging in het dalende veenlandschap te behouden.

Stromingspatronen

In Afbeelding 3 zijn voor een vergelijkbare doorsnede door de Horstermeerpolder de berekende stroombanen weergegeven voor de tijdvensters 800-850 AD en 2000-2005 AD. Voor de natuurlijke situatie is het stromingspatroon eenvoudig. De grondwateraanvulling op de heuvelrug stroomde af naar de voet van de heuvelrug en in mindere mate naar de Vecht. Binnen het veengebied was nauwelijks sprake van grondwaterstroming (geen stroombanen startend vanaf maaiveld) doordat het verhang daarvoor ontbrak. Alleen aan de hoogveengewelven was een klein grondwatersysteem verbonden.

Voor de huidige situatie is sprake van een complexer grondwaterstromingspatroon. Een deel van de grondwateraanvulling op de heuvelrug wordt onderschept door grondwaterwinningen, en een ander deel door de droogmakerijen (Horstermeerpolder en Bethunepolder). In het veengebied is het grondwater in beweging gekomen, doordat grondwatersystemen zich ontwikkelden als gevolg van hoogteverschillen tussen polders. Hierdoor zijn nieuwe kwelgebieden ontstaan, die gevoed worden door wegzijging in aangrenzende veengebieden.

Waterbalansen

In Tabel 2 staan voor de drie tijdvensters de gemodelleerde waterbalansen van een deel van de Vechtvallei (zie Afbeelding 1) weergegeven. Deze waterbalansen geven aan dat over de periode 800-1885 de aanvoer van grondwater uit de heuvelrug is toegenomen. Dit komt enerzijds door een toename van de grondwateraanvulling op de heuvelrug door de ontwikkeling van heidevelden en stuifvlaktes en anderzijds doordat de Vechtstreek verder is gedaald dan de oostelijk gelegen Eemvallei. Na 1885 is de aanvoer van grondwater uit de heuvelrug afgenomen door grondwateronttrekkingen en een afname van de grondwateraanvulling o.a. door verstedelijking en aanplant van naaldbos. Hierdoor is thans de aanvoer van grondwater uit de heuvelrug substantieel (ongeveer 20%) lager dan onder natuurlijke omstandigheden (800 AD).

Tabel 2 geeft tevens aan dat infiltrerend oppervlaktewater een groot aandeel in de waterbalans van de Vechtstreek heeft gekregen. Onder natuurlijke omstandigheden (800 AD) was enkel sprake van drainage en vond geen infiltratie van oppervlaktewater plaats. Met de ontwikkeling van boven elkaar gelegen polders ontstond een uitgebreid oppervlaktewatersysteem en namen de hoogteverschillen toe. Dit resulteerde in een toename van de infiltratie in de Vechtvallei, voor een deel uit het oppervlaktewatersysteem. Door toenemende hoogteverschillen binnen de vallei is de hoeveelheid infiltrerend oppervlaktewater tijdens de periode 1885-2000 aanzienlijk (met ongeveer 20%) toegenomen.

Tabel 2: Gemodelleerde waterbalans van een deel van de Vechtvallei (zie Afbeelding 1) voor drie tijdvensters.

Balanstermen (*10 ³ m ³ /d)	800 AD	1885 AD	2000 AD
Aanvoer uit heuvelrug	26	33	21
Neerslagoverschot	121	118	118
Infiltrerend oppervlaktewater	0	220	262
Drainage	-21	-298	-291
Oppervlakte afvoer	-133	-81	-91
Grondwateronttrekking	0	0	-26
Overig	7	8	7
Totaal	0	0	0

Kwelfluxen

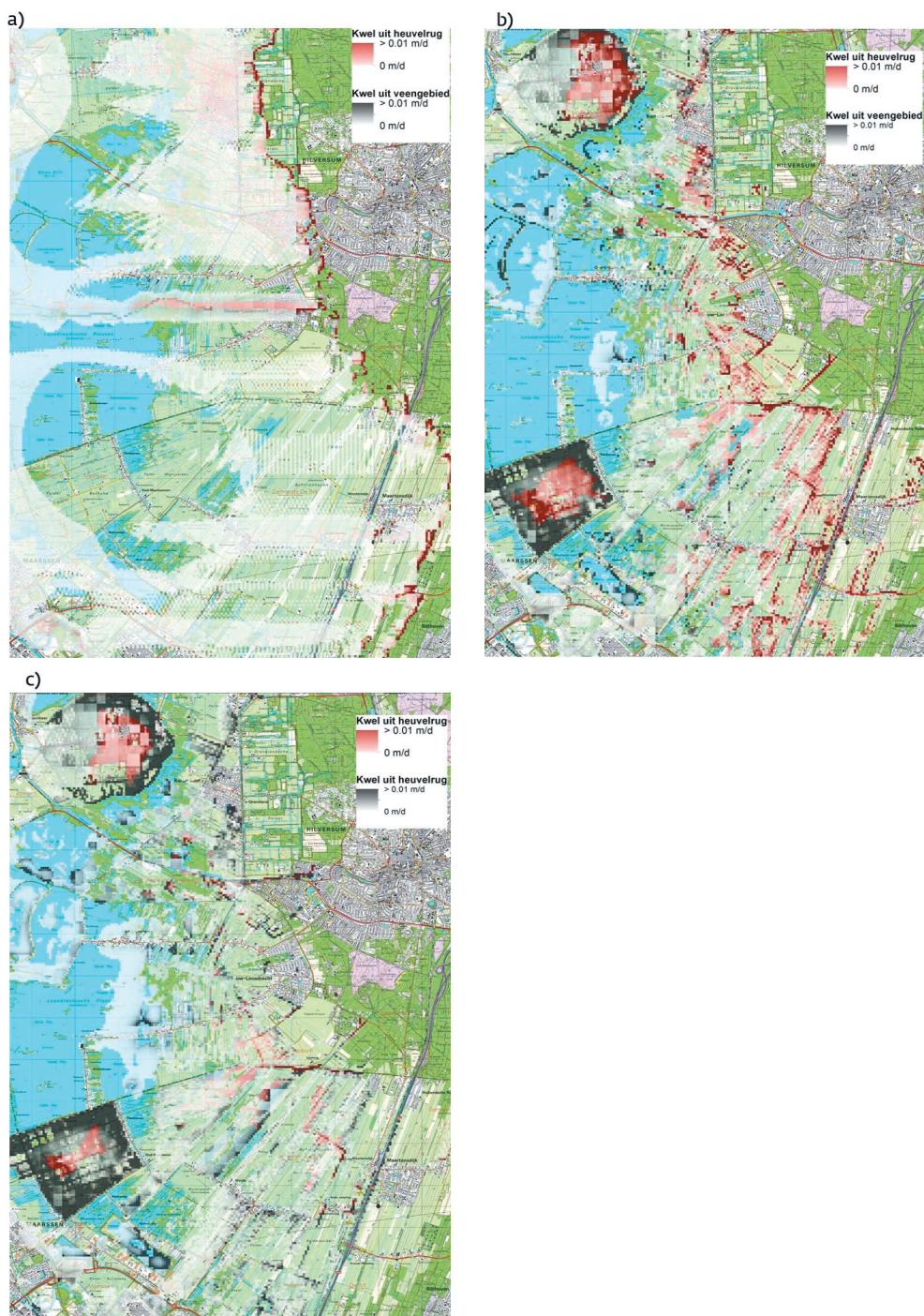
In Afbeelding 4 staan de gereconstrueerde kwelfluxen weergegeven op de topografische kaart. Onder natuurlijke omstandigheden was sprake van een smal, langgerekt kwelgebied aan de voet van de heuvelrug met fluxen van ongeveer 0,01 m/d. Verder het veengebied in was sprake van een hydrologisch neutrale situatie, met afwisselingen van kleine hoeveelheden kwel (rode en zwarte tinten) en infiltratie (transparant in Afbeelding 4). Deze gesimuleerde fluxen kunnen het gevolg zijn van kleine topografische verschillen, maar wij kunnen numerieke ruis als oorzaak niet uitsluiten.

Na de instelling van de droogmakerijen en trapsgewijze polders is de kwelzone die gevoed werd met water uit de heuvelrug uiteen getrokken (rode tinten in Afbeelding 4b), doordat hydrologische gradiënten in het veengebied werden geïntroduceerd. Het kwelwater treedt uit over een groter gebied en voor een deel in de droogmakerijen. Tevens zijn kwelgebieden ontstaan als gevolg van infiltratie uit bovenstrooms gelegen polders. Deze kwelgebieden worden gevoed met infiltrerend regen- en oppervlaktewater binnen het veengebied. Dit is met zwarttinten weergegeven in Afbeelding 4b.

In de situatie met grondwaterwinningen is het oorspronkelijk aanwezige kwelgebied gedecimeerd en daardoor verder versplinterd. Een groot deel van de kwelgebieden die gevoed werden met grondwateraanvulling uit de heuvelrug is verdwenen als gevolg van grondwateronttrekkingen en een afname van de grondwateraanvulling door verandering van het landgebruik (o.a. verstedelijking en dichtgroeien van heidevel-den). Kwelgebieden zijn nu voornamelijk gebonden aan poldersystemen en worden gevoed uit grondwateraanvulling binnen het veengebied.

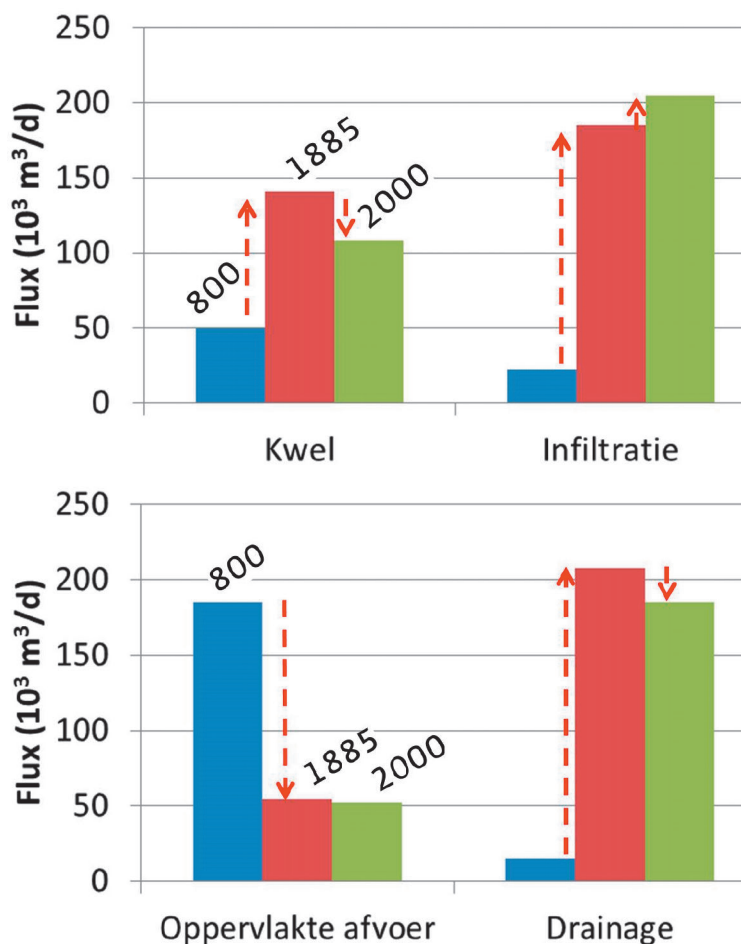
Aan- en afvoermechanismen

In Afbeelding 5 staat een aantal termen van de waterbalans van het veengebied (exclusief droogmakerijen) voor de verschillende tijdvensters weergegeven. Te zien is dat de hoeveelheid kwel lange tijd toenam als gevolg van inpoldering, en dat daar recentelijk o.a. door grondwateronttrekkingen een relatief beperkt deel van verdwenen is. Hieraan gekoppeld is ook de infiltratie van hemel- en oppervlaktewater binnen het veengebied sterk toegenomen. Deze veranderingen zijn gepaard gegaan met een wijziging van het dominante afvoermechanisme: van oppervlakteafvoer over het maaiveld tijdens natuurlijke omstandigheden naar drainage. Drainage leidt ertoe dat kwel wordt afgevangen voordat het de wortelzone bereikt en dat een groter deel



Afbeelding 4: Kwelfluxen tijdens drie tijdenvensters geprojecteerd op de topografische kaart voor de huidige situatie. a) 800 AD (natuurlijke situatie), b) 1885 AD, situatie vlak na de drooglegging van de Horstermeer en Bethunepolder, c) 2000 AD, situatie met grondwateronttrekkingen. Kwel afkomstig uit de Utrechtse Heuvelrug is weergegeven met roodtinten, kwel uit het laagveengebied zelf met zwarttinten.

van het neerslagoverschot infiltreert. Dit leidt in veel situaties tot de vorming van zure neerslaglenzen.



Afbeelding 5: Enkele termen van de grondwaterbalans voor een deel van de Vechtvallei (zie Afbeelding 1, exclusief droogmakerijen) voor opeenvolgende tijdstippen. Boven: Kwel en infiltratie, gedefinieerd als de flux tussen de deklaag en het onderliggende zandpakket. Onder: Oppervlakteafvoer en drainage.

Discussie

Hydrologie onder natuurlijke omstandigheden

Het paleo-model voor 800-850 AD geeft aan dat onder natuurlijke omstandigheden sprake was van een smalle kwelzone rond de overgang van de hooggelegen zandrug naar het laaggelegen veengebied. Benedenstrooms van deze kwelzone lag een uitgestrekt gebied waar noch sprake was van duidelijke kwel, noch van duidelijke infiltratie. Hierdoor kon het wateroverschot uit regen en kwel niet anders dan over de oppervlakte en via kreekjes, zoals de Drecht, afgevoerd worden. Mogelijk heeft dit bijgedragen aan de verspreiding van kwelwater tot buiten het kwelgebied, zodat

laagveenvegetaties zich ook konden ontwikkelen buiten de kwelzone. Ook opwaartse fluxen als gevolg van transpiratieverdamping kunnen daaraan bijgedragen hebben, maar deze hypothese kon met de stationaire modellen niet worden geverifieerd.

Het voorkomen van laagveenvegetaties benedenstrooms van de kwelgebieden is ook waargenomen in vrijwel ongestoorde laagveengebieden, zoals in de riviervallei van de Biebrza (Oost-Polen). Hoogveen ontwikkelt zich daar in het gebied dicht bij de rivier, waar infiltratie de overhand heeft (Wassen en Joosten, 1996). De vegetatiepatronen ter plekke komen overeen met een gradiënt in mineralenconcentraties in ondiep grondwater die correspondeert met toenemende verdunning van kwelwater met regenwater (Van Loon e.a., 2010).

Oorzaken van verdroging vanuit historisch perspectief

De hydrologische reconstructie geeft een chronologisch beeld van de belangrijkste veranderingen in de waterhuishouding van de Vechtvallei. Hieruit blijkt dat het natuurlijke hydrologische systeem sterk verstoord werd door de ontwikkeling van poldersystemen. Enerzijds leidde dit tot een toename van de hydrologische gradiënten binnen het laagveengebied, waardoor de natuurlijke kwelzone versplinterde en infiltratiegebieden in de vallei ontstonden. Anderzijds leidden drainagemiddelen tot het ontstaan van een onverzadigde zone, waardoor regenwater beter kon infiltreren en neerslaglenzen ontstonden (Van Loon e.a., 2010). Neerslaglenzen kunnen voorkomen dat kwel de wortelzone bereikt, met verzuring tot gevolg.

Grondwaterwinningen, verstedelijking en dichtgroeien van heidevelden en stuifvlakten op de heuvelrug hebben geleid tot een afname van de hoeveelheid kwel in de Vechtstreek die afkomstig is uit de heuvelrug. Omdat de kwelgebieden reeds sterk aangetast waren, is het de vraag in hoeverre dit daadwerkelijk heeft bijgedragen aan de verdroging. De hydrologische reconstructie geeft aan dat de afname van de hoeveelheid kwel uit de heuvelrug klein is ten opzichte van de extra kwel die is ontstaan met de introductie van de poldersystemen; kwel heeft thans namelijk een groter aandeel in de waterbalans van de riviervallei dan onder natuurlijke omstandigheden het geval was. Wel komt het grootste deel van de huidige kwel voort uit infiltrerend regenwater en aangevoerd oppervlaktewater in het veengebied, en bevat het daarvoor meer opgeloste kalk en voedingsstoffen (met name ammonium, Schot en Wassen, 1993). Hoewel voorbeelden bekend zijn van laagveenvegetaties die in dergelijke kwelsystemen voorkomen, is het nog niet goed bekend of en hoe deze kwelgebieden benut kunnen worden voor laagveenherstel.

De effecten van klimaatverandering op neerslag en verdamping zijn niet meegenomen in de hydrologische reconstructie, omdat daarvoor kwantitatieve informatie ontbrak. Weliswaar zijn temperatuurreconstructies voor het afgelopen millennium beschikbaar, maar deze laten zich niet eenduidig vertalen naar neerslag en verdamping. Vanzelfsprekend kan klimaatverandering gevolgen hebben gehad voor verschillende termen van de waterbalans, maar waarschijnlijk zijn deze gevolgen klein ten opzichte van inpoldering, grondwateronttrekkingen en landgebruiksveranderingen. Daarnaast gaf een gevoeligheidsanalyse aan dat kwel- en infiltratiepatronen nauwelijks wijzigden indien de grondwateraanvulling met een factor 0,8 of 1,2 werd vermenigvuldigd.

Oorzaakgerichte herstelstrategie

Op basis van ecohydrologische onderzoek in de jaren 1980 is voor hydrologisch herstel van laagveengebieden in de Vechtstreek in eerste instantie prioriteit gegeven aan het stoppen van grondwateronttrekkingen. Uit de hydrologische reconstructie blijkt dat ook het verhogen van de grondwateraanvulling door het omvormen van bos naar heide of stuifvlakten een goede maatregel was geweest. Daarnaast geeft de reconstructie aanwijzingen dat hydrologisch herstel op landschapsschaal is uitgebleven, doordat hydrologische gradiënten binnen laagveengebieden niet zijn genivelleerd en de ontwatering te intensief is gebleven.

Vernatting op landschapsschaal wordt tegenwoordig gezien als een voorwaarde om robuuste natuurgebieden te realiseren én om de opgave voor klimaatmitigatie door middel van koolstofvastlegging te realiseren. Om dit mogelijk te maken is het nodig oppervlaktewaterstanden in polders te verhogen en op elkaar af te stemmen. Daarnaast dienen drainagemiddelen in en rond natuurreservaten te worden gedempt of afgedamd om te voorkomen dat kwelwater wordt afgevangen en afgevoerd. Vanwege de goede kwaliteit van het kwelwater uit zandgebieden suggereren wij om prioriteit te geven aan de meest bovenstrooms gelegen gebieden en vervolgens in benedenstroomse richting te werken.

Conclusies

Met paleo-grondwatermodellen is de hydrologische ontwikkelingsgeschiedenis van de Gooi- en Vechtstreek op hoofdlijnen gereconstrueerd. Een grondwatermodel voor de huidige situatie vormde daarvoor een solide basis, er van uitgaande dat de ondergrondparameters in de loop van de geschiedenis niet aan verandering onderhevig zijn geweest. Beperkend voor het detailniveau en de betrouwbaarheid van de reconstructie waren de beperkte hoeveelheid historische kennis en informatie over water-gerelateerde kenmerken van het studiegebied, veranderingen in neerslag en verdamping als gevolg van klimaatverandering, evenals het gebrek aan kwantitatief referentiemateriaal voor het verleden. Hierdoor konden alleen grootschalige veranderingen gerelateerd aan dominante gebeurtenissen, zoals het versplinteren van de natuurlijke kwelzone als gevolg van de instelling van poldersystemen, in beeld worden gebracht.

Uit de paleohydrologische reconstructie volgt dat onder natuurlijke omstandigheden sprake was van een smalle, langgerekte kwelzone aan de voet van de heuvelrug, met direct benedenstrooms een uitgestrekt, vlak veengebied waarin het grondwater genoeg stil stond. Door de ontwikkeling van poldersystemen werden gradiënten in het laagveengebied geïntroduceerd, waardoor het grondwater in het veengebied in beweging kwam. Hierdoor nam de hoeveelheid kwel weliswaar toe, maar is ook het dominante herkomstgebied verlegd van de heuvelrug naar het veengebied zelf. Daarnaast is toen het afvoermechanisme gewijzigd van oppervlakteafoer in drainage, waardoor kwel nog maar beperkt de wortelzone bereikt. Grondwateronttrekkingen en landgebruiksveranderingen op de heuvelrug zorgden er vervolgens voor dat een deel van de kwelgebieden die gevoed werden met water uit de heuvelrug verdween. Vanuit historisch perspectief was dit echter een relatief kleine verandering ten opzichte van de gevolgen van het afgraven en inpolderen van het veengebied.

Uit de hydrologische wordingsgeschiedenis van de Gooi- en Vechtstreek maken wij op dat vernatting van dit laagveengebied op landschapsschaal vereist dat hydrologische gradiënten zo veel mogelijk worden genivelleerd. Hiervoor is het nodig om polderpeilen te verhogen en op elkaar af te stemmen, en ontwateringsmiddelen te dempen of af te dammen. Met deze aanpak komen grondwaterstanden in het veengebied weer langer aan het maaiveld te staan, wordt een brede zone met stagnant grondwater hersteld, en wordt kwel uit de heuvelrug weer in een smalle randzone geduwd.

Ten thousand years of water management impact on a low-productive fen in The Netherlands

The causes of hydrological degradation of a low-productive fen in the Netherlands were analysed from a historical perspective. For this purpose, we developed a series of paleo-groundwater models that are representative for different hydrological stages during the period 800 AD – 2000 AD. According to the paleo-models, the introduction of polders increased hydraulic gradients within the low-productive fen. This fragmented the contiguous groundwater discharge belt, present under natural (undrained) conditions, and increased groundwater circulation within the fen. Throughout the fen, groundwater discharge and infiltration of precipitation and surface water increased, and overland flow changed into drainage. The hydrological effects of subsequent groundwater abstractions and land use changes were relatively small. We conclude that rewetting of groundwater fed, low-productive fens on the landscape scale requires leveling of surface water levels and elimination of draining elements in order restore groundwater discharge into the root zone of low-productive fens.

Literatuur

Almendinger, J.E. en Leete, J.H. (1998) Peat characteristics and groundwater geochemistry of calcareous fens in the Minnesota River Basin, USA; in: Biogeochemistry, vol 43, pag 17-41.

Amon, J.P., Thompson, C.A., Carpenter, Q.J. en Miner, J. (2002) Temperate zone fens of the glaciated Midwestern USA; in: Wetlands, vol 22, pag 301-317.

Bedford, B.L., Walbridge, M.R. en Aldous, A. (1999) Patterns in nutrient availability and plant diversity of temperate North American wetlands; in: Ecology, vol 80, pag 2151-2169.

- Grootjans, A.P., Adema, E.B., Bleuten, W., Joosten, H., Madaras, M. and Janakova, M.** (2006) Hydrological landscape settings of base-rich fen mires and fen meadows: an overview; in: *Applied Vegetation Science*, vol 9, pag 175-184.
- Kemmers, R.H., Van Delft, S.P.J. en Jansen, P.C.** (2003) Iron and sulphate as possible key factors in the restoration ecology of rich fens in discharge areas; in: *Wetlands Ecology and Management*, vol 11, pag 367-381.
- Knol, W.C., Kramer, H. and Gijsbertse, H.** (2004) Historisch Grondgebruik Nederland; een landelijke reconstructie van het grondgebruik rond 1900. Alterra-rapport 573, Alterra, Wageningen.
- Lamers, L.P.M., Smolders, A.J.P. en Roelofs, J.G.M.** (2002) The restoration of fens in The Netherlands; in: *Hydrobiological*, vol 478, pag 107-130.
- Van de Plassche, O., Bohncke, S.J.P., Makaske, B. and Van der Plicht, J.** (2005) Water-level changes in the Flevo area, central Netherlands (5300-1500 BC): implications for relative mean sea-level rise in the Western Netherlands; In: *Quaternary International*, vol 133-134, pag 77-93.
- Schot, P.P. en Wassen, M.J.** (1993) Calcium concentrations in wetland groundwater in relation to water sources and soil conditions in the recharge area; in: *Journal of Hydrology*, vol 141, pag 197-217.
- Schothorst, C.J.** (1982) Drainage and behaviour of peat soils. In: H. de Bakker and M.W. van de Berg (Editors), *Proceedings of the symposium on peat lands below sea level*. ILRI, Wageningen, 130-163.
- Sjörs, H. en Gunnarson, U.** (2002) Calcium and pH in North and Central Swedish mire waters; in: *Journal of Ecology*, vol 90, pag 650-657.
- Van Asselen, S., Stouthamer, E. and Van Asch, T.W.J.** (2009) Effects of peat compaction on delta evolution: A review on processes, responses, measuring and modeling; in: *Earth-Science Reviews*, vol 92, pag 33-51.
- Van Loon, A.H., P.P. Schot, J. Griffioen, M.F.P. Bierkens, en M.J. Wassen** (2010) Palaeo-hydrological reconstruction of a managed fen area in The Netherlands; in: *Journal of Hydrology*, vol 378, pag 205-217.
- Van Wirdum, G.** (1991) Vegetation and hydrology of floating rich fens. Dissertatie, Universiteit van Amsterdam, ISBN 90-5291-045-6.
- Wassen, M.J. and Joosten, J.H.J.** (1996) In search for a hydrological explanation for vegetation changes along a fen gradient in the Biebrza Upper Basin (Poland); in: *Vegetatio*, vol 124, pag 191-209.

