

Herstel van beekdalvenen door vernatting

Effecten na 30 jaar vernatting van het Gasterensche Diep

Beekdalen zijn natte laagten in het landschap, die grondwater draineren en oppervlaktewater afvoeren. Van nature kwamen in beekdalen grondwatergevoede moerassen met veenvorming voor, die afhankelijk waren van stabiele waterstanden rond maaiveldhoogte. Door grootschalige ontwatering en veranderingen in het overstromingspatroon is deze moerasnatuur met veenvorming in beekdalen verdwenen of sterk gedegradeerd. Dit artikel gaat over de mogelijkheden om het hydrologisch functioneren van resterende beekdalvenen te herstellen.

In hydrologisch opzicht komt in beekdalen veel samen. Net als andere landschappen ontvangen ze neerslag en treedt er verdamping op, maar anders dan bij andere landschappen is kwel een belangrijke component van de waterbalans. Deze aanvoer van grondwater zorgt voor een stabiele waterstand rond maaiveld en voor aanvoer van calcium, bicarbonaat en ijzer, die van grote invloed zijn op de basenhuishouding en nutriëntrijkdom. Ook kunnen door de aanvoer van oppervlaktewater overstromingen optreden, waarmee ook weer bepaalde stoffen worden aangevoerd. Vroeger waren veel beekdalen in het laagland zo nat dat veenvorming optrad. Omdat beekdalen al vanaf de Middeleeuwen in agrarisch gebruik waren en in de moderne tijd sterk werden ontwaterd, zijn veel van deze venen letterlijk de lucht ingegaan.

Verdroging van beekdalen leidt niet alleen tot te lage waterstanden en het wegvallen van kwel in het maaiveld, maar ook tot afbraak en inklinking van de veenbodem, wat grote gevolgen heeft voor het reliëf in het beekdal en de fysische eigenschappen van het veen. Dergelijke veranderingen werken door op de hydrologische processen in het veen en kunnen een zeer lange herstelperiode vragen - als ze al omkeerbaar zijn. Herstel van beekdalen vergt dan ook ingrijpende maatregelen in de waterhuishouding, zeker wanneer het doel is om ook een veenvormend systeem te herstellen. Het stoppen van

de lokale ontwatering is een eerste vereiste.

Dit artikel beschrijft de resultaten van onderzoek naar de mogelijkheden om met lokale maatregelen de waterhuishouding in het beekdal te herstellen tot het niveau van ongestoorde beekdalvenen met veenvormende kleine zeggen-slaapmosvegetaties (habitattypen H7140 *Overgangs-* en *trilvenen*). Het onderzoek omvat een casestudie in het Gasterensche Diep, een vernat beekdal in het Drentsche Aa-gebied, en een review van de literatuur over grondwatergevoede venen en hoogvenen (Aggenbach et al., 2021).

Effecten van vernattingsmaatregelen in het Gasterensche Diep

Het Gasterensche Diep is één van de middenlopen in het Drentsche Aa-gebied, een stelsel van beekdalen op het Drentse Plateau waarin gedurende het Holoceen veenvorming heeft plaatsgevonden. Van oorsprong herbergden deze beekdalen een combinatie van doorstroom- en overstromingsvenen, mogelijk met lokale kwelvenen met veendiktes tot 7 m. Gedurende de gehele ontwikkelingsperiode van deze veensystemen was er een beek of een andere vorm van oppervlaktewaterafvoer aanwezig (Candel et al., 2017). Een groot deel van deze beekdalen is nu natuurgebied. Tot eind jaren '90 van de vorige eeuw werden de meeste beekdaltrajecten zwaar ontwaterd door een verdiepte beekloop en een dicht stelsel van sloten en grep-

beekdal
vernatting
hydrologie
moeras
veenvorming

C.J.S. (Camiel) Aggenbach

KWR Water Research
Institute, Postbus 1072,
3430 BB Nieuwegein
camiel.aggenbach@
kwrwater.nl

A. (Arnaut) van Loon

KWR Water Research
Institute

J.J. (Jelmer) Nijp

KWR Water Research
Institute

R. (Rudy) van Diggelen

Ecosysteembeheer,
Departement Biologie,
Universiteit Antwerpen

I. (Iacopo) Ferrario

Ecosysteembeheer,
Departement Biologie,
Universiteit Antwerpen

Foto Camiel Aggenbach.
Taarloosche Diep, Drentsche
Aa-gebied



Figuur 1 Het dal van het Gasterensche Diep en de meetpunten voor waterstand en stijghoogten. De kaartuitsnede van figuur 2 en het transect van figuur 4 zijn ook weergegeven.

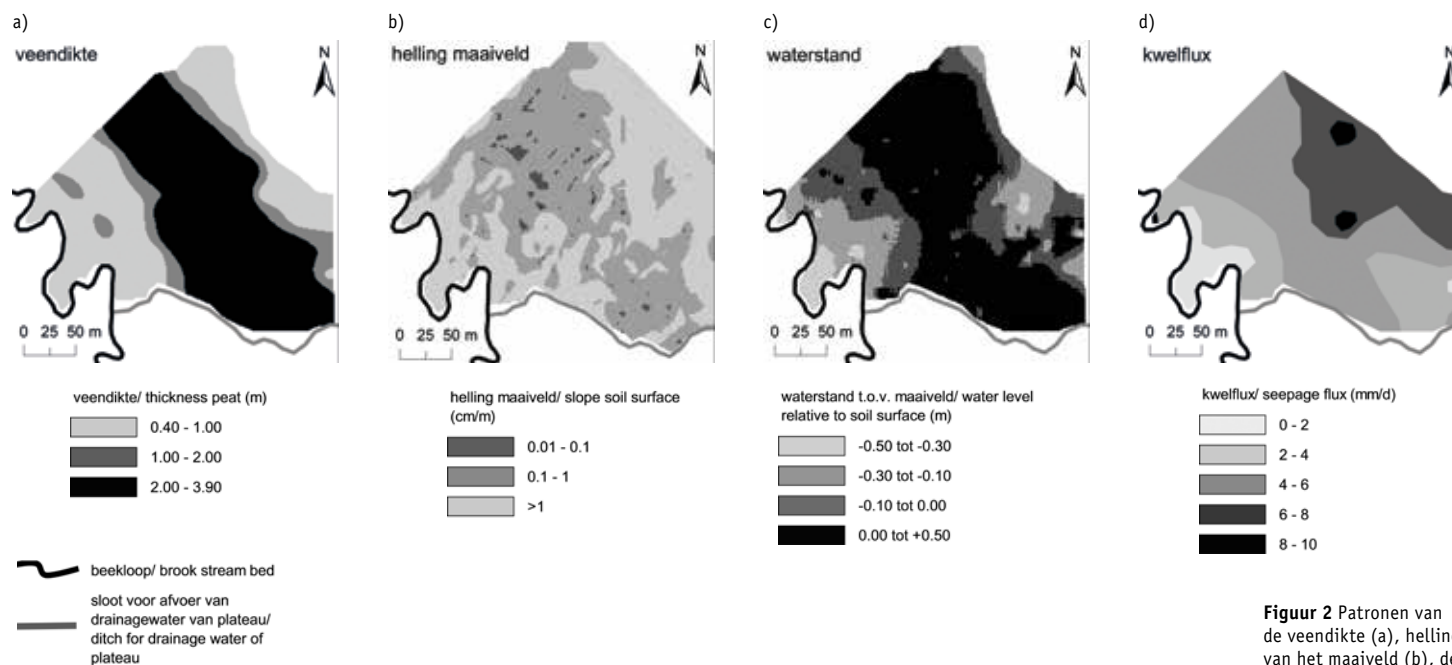
Figure 1 The brook valley Gasterensche Diep and the measurement locations for phreatic water level and pressure head. Also indicated are the map cutout of figure 3 and the transect of figure 4.



pels, waardoor vochtige, soortenarme graslandvegetaties overheersten. Eind jaren '90 is Staatsbosbeheer begonnen met vernatting van de middenlooptrajecten door het dichtten van de detailontwatering (Lammerts et al., 2015), met als doel het herstel tot een meer natuurlijk beekdal met veenvormende moerassen. In het Gasterensche Diep zijn de hydrologische effecten van deze vernatting in meer detail onderzocht (Aggenbach et al., 2021).

Het studiegebied ligt in een 350-500 m breed beekdaltraject van het Gasterensche Diep (figuur 1) dat is opgevuld met een tot 3,9 m dik veenpakket (figuur 2a) waarin de beekloop asymmetrisch aan de voet van de westelijke dalflank ligt. Het grote intrekgebied aan de oostzijde (Hondsrug) is sterk ontwaterd door sloten en buisdrenage, het kleinere intrekgebied aan de westzijde is minder sterk ontwaterd. Het beekdal was doorsneden met een dicht stelsel van diepe sloten (tot ca. 1,5 m diep) en greppels. De beek had door opschonenbeheer een uitgediepte bedding met een beekpeil dat bij lage afvoeren ca. 1,0 tot 1,5 m lager was dan de vlakke delen van het beekdal. Eind jaren '90 werd gestopt met het opschonen van de detailontwatering en in de periode 2004-2008 werden de ontwateringssloten gedempt door deze vanaf de zijkanalen op te vullen met de afgeschraapte toplaag van de veenbodem. Op dit moment zijn vrijwel alle sloten gedempt. Enkele sloten zijn gehandhaafd voor de afvoer van drainage water van de Hondsrug naar de beek. Om het beekpeil te verhogen zijn in de beekbedding in 1997 lage drempels (voordes) geplaatst en in 2008 over relatief korte beektrajecten boomstronken en takkenbossen aangebracht.

De waterhuishouding in het studiegebied is vergeleken met de uitkomsten van hydrologisch onderzoek aan ongestoorde doorstroomvenen (o.a. Succow & Joosten, 2001; Schipper et al., 2007) om te bepalen in hoeverre herstel heeft plaatsgevonden en welke factoren daarbij van



Figuur 2 Patronen van de veendikte (a), helling van het maaiveld (b), de waterstand ten opzichte van maaiveld (c) en de kwelflux (d). Waterstand en kwelflux zijn gemeten in september 2015. Kaartuitsnede: zie figuur 1.

Figure 2 Patterns of peat thickness (a), surface level slope (b), phreatic water level relative to surface level (c) and seepage flux (d). Water level and seepage flux were recorded in September 2015. Map area is indicated in figure 1.

belang zijn. Er is gebruik gemaakt van metingen van waterstanden en stijghoogten uit de periode 1997-2011. In de periode 2016-2019 zijn intensieve metingen uitgevoerd aan waterstand, stijghoogten, kwelfluxen en maaiveldhoogte. Tot en met 2011 is de waterstand gemeten in ondiepe filters van 0,5 m lengte (maximaal tot 1,3 m onder maaiveld) en vanaf 2015 ook in een volledig geperforeerde buis tot 0,5 m onder maaiveld (zie figuur 1 voor locaties). Ook zijn bodemeigenschappen van het veenpakket gekarakteriseerd (C-gehalte, bulkdichtheid, verzadigde doorlatendheid, indringingsweerstand). De metingen zijn gecombineerd en vertaald naar waterbalansen.

Geleidelijke en zelfversterkende vernatting

Vanaf eind jaren '90 is de waterstand in de bovenste

veenlaag geleidelijk gestegen (maximaal 28 cm in de periode 1997-2019 in de sterkst vernatte delen; figuur 3). Deze stijging trad al op voordat de lokale ontwatering was gedicht en wordt toegeschreven aan het stoppen van het slootonderhoud. Opvallend is dat de stijging van de waterstand gepaard gaat met een stijging van het maaiveld door opzwellen van het veen (figuur 3). Op drie peilbuislocaties in sterk vernatte delen bedroeg de berekende gemiddelde maaiveldstijging 0,5 tot 1,5 cm/jaar gedurende de periode 1997-2016. In iets lager (0,1-0,2 m) gelegen delen steeg het maaiveld veel meer dan in de hogere delen, waardoor de beekdalvlakke vlakker en de lokale drainage geringer werd. Omdat het maaiveld nog steeds stijgt (dagelijkse loggermetingen), lijkt deze positieve terugkoppeling tussen stijging van waterstand

en maaiveld nog steeds werkzaam te zijn. De achterliggende oorzaak van de maaiveldstijging zou gasvorming in de bodemtoplaag kunnen zijn. Accumulatie van organisch materiaal is waarschijnlijk niet de oorzaak, omdat het proces van veenvorming daarvoor te langzaam gaat. Bijkomende beekpeilverhogende maatregelen droegen maar in geringe mate bij aan vernatting van het beekdal. Het inbrengen van hout in de beek vond plaats over een klein traject en had ter plekke van de maatregel een tijdelijk verhogend effect van 0,3 m op het beekpeil (Hofstra et al., 2014), dat gezien het verval van het beekpeil ca. 450 m stroomopwaarts doorwerkt. Dit effect is zeer beperkt in vergelijking met het verschil tussen beekpeil en dalvlakte van ca. 1,0-1,5 m. Door afbraak van de ingebrachte takken trad later ook weer een verlagening op van het beekpeil.

Maaiveldhelling als belangrijke factor voor zeer natte condities

In ongestoorde doorstroomvenen is de hellinghoek van het maaiveld over de hele breedte van het dal gering (0,01-1 cm/m) (Succow & Joosten, 2001; Schipper et al., 2007). De geringe helling beperkt de laterale afvoer van water in de veentoplaag en via oppervlaktewater over maaiveld. De grondwaterstand zakt daardoor in droge perioden niet diep onder maaiveld uit. In het Gasterensche Diep heeft ontwatering geleid tot ongelijkmatige maaiveldaling van het veen. In een zone langs de beek en langs een voorheen diepe sloot is de helling daardoor relatief groot (1-10 cm/m; figuur 2b). Het oostelijke deel van de dalvlakte, ver van de beek, heeft juist een zeer geringe helling van 0,01-1 cm/m, vergelijkbaar met die van ongestoorde, zeer natte doorstroomvenen.

De waterstand ten opzichte van maaiveld hangt in het studiegebied sterk samen met de helling van het maaiveld.

Hoge waterstanden aan of boven maaiveld komen vooral voor in de vrijwel vlakke delen met een hoge positie in de dalvlakte, terwijl de waterstand in de sterk hellende zone in de zomer enkele decimeters onder maaiveld uitzakt door een hoge laterale afvoer (figuur 2c). Drainage door de diepliggende beek draagt daar ook aan bij. Dit suggereert dat het patroon van maaiveldhoogte in de gedegradeerde toestand een belangrijke factor is die van invloed is op de mogelijkheden voor herstel naar weinig fluctuerende waterstanden rond maaiveld.

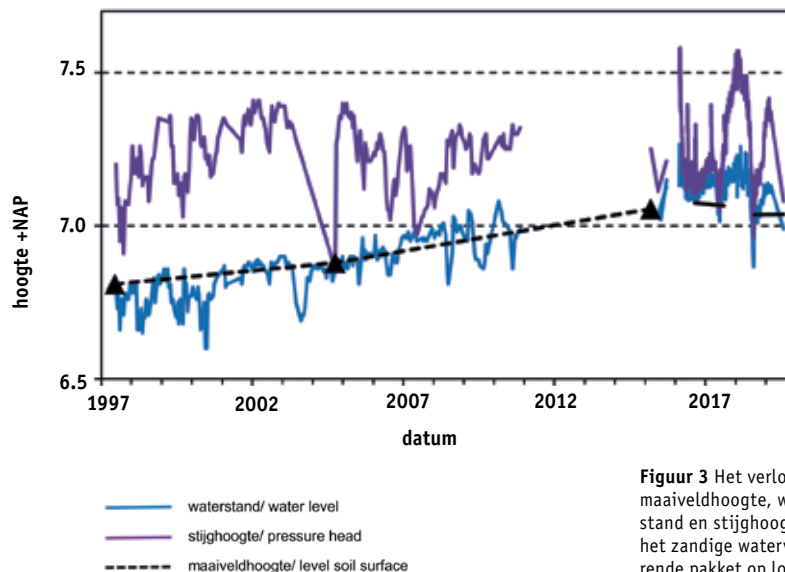
Grondwatervoeding in ruimte en tijd

Onder het veenpakket is in de zandige afzettingen een watervoerend pakket aanwezig, waarvan de stijghoogte in het gehele dal en gedurende het gehele jaar boven de freatische waterstand zit. De stijghoogteverschillen zijn groot: in de winters is de druk in het diepe pakket 0,5-1,5 m hoger dan de freatische waterstand, in droge zomers 0,3-1,1 m. Door dit stijghoogteverschil treedt opwaartse stroming van grondwater op naar de wortelzone. Met metingen van het temperatuurprofiel in de bodem en berekeningen met een stationair warmtetransportmodel (Anibas et al., 2011) zijn kwelfluxen bepaald. De kwelflux is het hoogst (6-10 mm/d) in het oostelijk deel van de dalvlakte, ver van de beek (figuur 2d). Dichterbij de beek zijn de kwelfluxen meestal lager (0-4 mm/d). In een groot deel van het studiegebied zijn de kwelfluxen hoog voor een Nederlands beekdal. Ongestoorde doorstroomvenen hebben in een zone aan de dalrand een hoge kwelflux (10-20 mm/d), met verder op de dalvlakte richting de beek zwakke kwel (enkele mm/d), of plaatselijk wegzijging (Schipper et al., 2007; Van Loon et al., 2009). Het ruimtelijke patroon van de kwelflux in het vernatte studiegebied vertoont dus gelijkenis met die van ongestoorde doorstroomvenen. In de dalvlakte van het studiegebied treedt gedurende het gehele jaar kwel

op met afvoer van water over maaiveld. Dit is ook zichtbaar aan de begrenzing van de waterstand iets boven maaiveldniveau (figuur 3). Door een hoge en permanente kwelflux kan er na de uitvoering van vernattingsmaatregelen geen regenwater infiltreren.

Doorlatendheid van het veen

De doorlatendheid van het veen voor waterstroming is een belangrijke factor voor het hydrologisch functioneren van een veensysteem. Het is bepalend voor de kwelflux en belangrijk voor de laterale afvoer van grondwater door de veentoplaag (beide groter bij een grotere doorlatendheid). Op basis van een review van studies in ongestoorde hoog- en laagvenen (Aggenbach et al., 2021) blijkt dat de range van horizontale doorlatendheden in veen zeer groot is (700 - ca. 0,0001 m/d). Metingen aan doorstroomvenen vallen in het hoge bereik van deze waarden. Zeer hoge doorlatendheden tot 130-730 m/d zijn alleen gemeten in de toplaag (ca. 0-0,5 m beneden maaiveld) van hoogvenen met weinig veraard en poreus veen met een vezelstructuur (Nijp et al., 2017). In ongestoorde venen is de doorlatendheid van de toplaag vaak veel hoger dan die van de diepere delen (> 0,5 m onder maaiveld) van het veenpakket: de diepere veenlaag wordt door voortschrijdende decompositie en langdurigere blootstelling aan druk van bovenliggende lagen minder goed doorlatend. De hogere doorlatendheid van de veentoplaag heeft twee belangrijke hydrologische consequenties. Ten eerste kan er bij een waterstand dicht onder maaiveld relatief snel water worden afgevoerd door laterale stroming. De meeste laterale afvoer in het veen zal dan ook plaatsvinden door de toplaag. Ten tweede neemt de doorlatendheid in het bovenste deel van de verzadigde zone af bij een daling van de waterstand. Daarmee zorgt het veensysteem voor een negatieve terugkoppeling op de afvoer van water in droge pe-



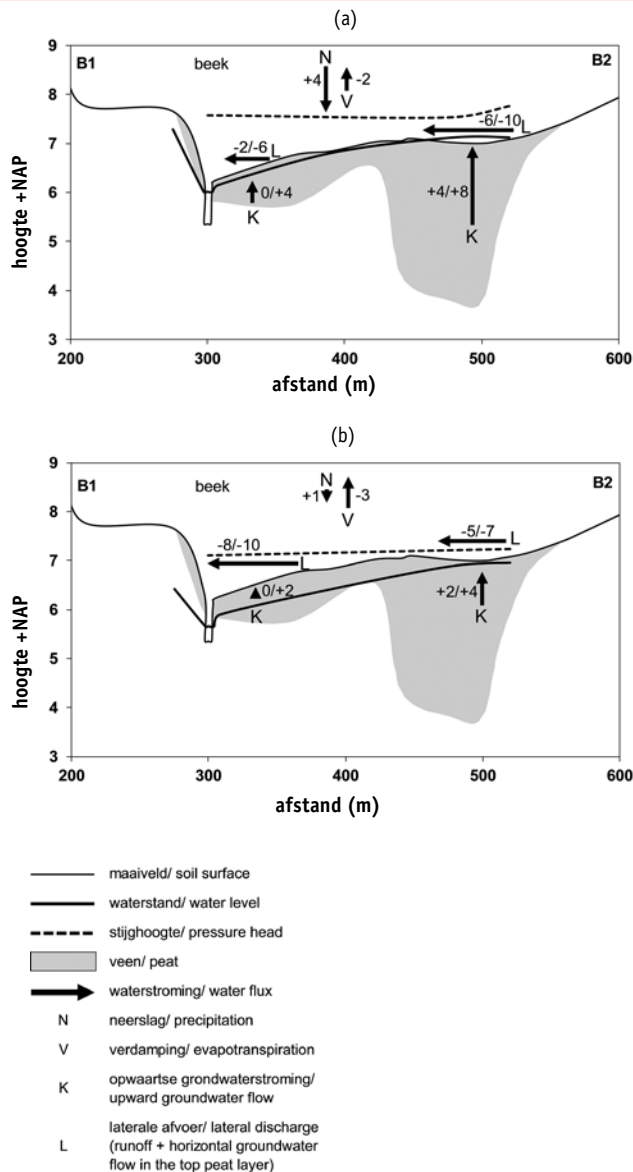
Figuur 3 Het verloop van maaiveldhoogte, waterstand en stijghoogte in het zandige watervoerende pakket op locatie G198 in een sterk vernat daldeel. De meetlocatie is weergegeven in figuur 1.

Figure 3 Trends of soil surface level, phreatic water level and pressure head in the sandy aquifer at location G198 in a strongly rewetted valley part. Location of measurement is indicated in figure 1.

riodes: de uitzakking van de waterstand wordt beperkt. Dit mechanisme is ook in hoogvenen belangrijk voor de regulatie van de waterstand (Waddington et al., 2015). In het studiegebied is de doorlatendheid gemeten met pompproeven in filters. In de veentoplaag (0-0,65 m) is de doorlatendheveel hoger (5-530 m/d) dan in het diepere (0,65-1,85 m) veen (<0,3 m/d). Het diepteprofiel van de verticale gelaagdheid is hierdoor vergelijkbaar met die van ongestoorde hoogvenen. Opvallend is dat dit diepteprofiel tot stand komt bij een sterk gedegradeerde toestand van het veen. In ongestoorde doorstroomvenen is het veen weinig veraard en opgebouwd uit vezels van afgestorven zeggenwortels en slaapmossen. Dergelijk veen heeft een zeer lage bulkdichtheid en een zeer hoge porositeit. In het vernatte studiegebied heeft het veen een hogere humificatiegraad als gevolg van de vroegere, langdurige ontwatering. De toplaag bestaat na vernatting uit veen van vooral fijne organische deeltjes met

Figuur 4
Waterstand, stijghoogte in het zandige watervoerende pakket en waterbalans in de natte zomer van 2016 (a) en droge zomer van 2018 (b). De lengte van de pijlen voor waterstroming is proportioneel naar de flux, de getallen geven de flux in mm/d. De positie van het transect is weergegeven in figuur 1.

Figure 4 Phreatic water level, pressure head in the sandy aquifer, and water balance in a wet summer of 2016 (a) and dry summer of 2018 (b). The arrow length is proportional to the water flux, numbers indicate the water flux in mm/d. The position of the transect is indicated in figure 1.



een slappe slurrystructuur en een lage bulkdichtheid. Het diepere veen heeft juist een vaste structuur en ook een hoge humificatiegraad. De gemeten doorlatendheid heeft een vrij sterk negatief exponentieel verband met de gemeten mechanische indringingsweerstand ($r^2 = 0,74$), maar nauwelijks met het organischestofgehalte of de bulkdichtheid, zoals wel is gevonden in diverse andere veenstudies (o.a. Boetler, 1969). Ondanks de sterke degradatie van de veentoplaag door de vroegere verdroging kan in het studiegebied door de gelaagdheid van de doorlatendheid toch een belangrijk terugkoppelingsmechanisme werken dat uitzakking van de waterstand beperkt. De zeer hoge doorlatendheid van de top laag legt overigens wel een belangrijke randvoorwaarde aan een veensysteem op: de helling van het maaiveld moet zeer gering zijn om laterale waterverliezen tegen te gaan en een hoge waterstand te kunnen handhaven. Bij een grotere helling stroomt het water immers veel sneller weg dan het door grondwaterstroming kan worden aangevoerd.

Invloed van meteorologische variatie op waterstand en waterbalans

De studieperiode viel samen met sterke verschillen in het neerslag-verdampingspatroon. In najaar en winter van 2015/2016 en 2017/2018 was het neerslagoverschot hoog, in 2016/2017 juist laag. Voorjaar en zomer van 2016 waren nat, terwijl die van 2017 matig nat en die van 2018 uitzonderlijk droog waren. De verschillen in neerslagoverschot in de winter bleken nauwelijks door te werken in de waterstanden in het veen, die dan rond of iets boven maaiveld liggen. Er is op de onderzochte locatie in de winter altijd een wateroverschot door sterke kwel die over maaiveld wordt afgevoerd. Alleen dicht bij de beek in de sterk hellende zone is de waterstand in drogere winters iets lager (0,1-0,2 m). Verschillen in neer-

slagoverschot in het voorjaar en de zomer werken wel sterk door in de zomerwaterstand (figuur 4). Vooral in 2018 zakte de waterstand in het hele veen enkele decimeters uit. Dit ging samen met een langdurig dieper beekpeil en veel lagere (ca. 0,5 m) stijghoogtes dan in de natere zomers. Dit betekent dat de grondwatervoeding van het regionale grondwatersysteem in de extreem droge zomer te gering was om een waterstand rond maaiveld te kunnen handhaven. De aanvoer van kwelwater halveerde in de droge zomer van 2018 (figuur 4b). In het vlakke deel van de dalvlakte werd dit deels gecompenseerd met een afname van de laterale afvoer. In het sterk hellende deel van de dalvlakte langs de beek nam de laterale afvoer juist toe door een langdurige daling van het beekpeil, als gevolg van een lage afvoer uit het bovenstroomse gebied bij gebrek aan neerslag.

Effecten van vernattingsmaatregelen op overstroming

De lokale vernattingsmaatregelen hadden in het studiegebied weinig invloed op overstroming vanuit de beek omdat de beekpeilverhoging gering en deels ook tijdelijk was. Daarbij hadden de vernattingsmaatregelen weinig effect op de berging van beekwater op maaiveld in de lagere delen van de beekdalvlakte, waar de beek overstroomt bij de veel voorkomende piekafvoeren. Wel is op grote schaal overstroming gaan optreden met oppervlaktewater dat via sloten van de oostelijke dalflank afstroomt. Vóór de herstelmaatregelen kon drainagewater uit het oostelijke intrekgebied via diepe sloten door het dal naar de beek afwateren. Nu zoekt een aanzienlijk deel van dit water in de beekdalvlakte een weg naar de beek over het maaiveld. Dit oppervlaktewater is nutriëntenrijk en zorgt daarmee voor een sterke eutrofiëring van aanzienlijke oppervlakten van zowel gemaaide als niet gemaaide delen. Hier zijn respectievelijk overstro-

mingsgrasland en een vegetatie van riet en grote lisdode ontstaan. Dit frustrereert de ontwikkeling van voedselarme moerasvegetatie, zoals het habitatype H7140 Overgangs- en trilvenen.

Conclusies hydrologische herstelbaarheid van beekdalvenen

Het geselecteerde studiegebied ligt in een beekdal met een voor Nederlandse beekdalen hoge kwelflux. Alleen het dichten van lokale ontwatering zorgde daarom al voor een vergaande vernatting, waarbij in aanzienlijke delen van het dal hoge, weinig fluctuerende waterstanden aan of iets boven maaiveld zijn ontstaan. In beekdalen met lagere kwelfluxen, en zeker in beekdalen die tegenwoordig netto infiltrerend zijn geworden, zijn lokale maatregelen alleen niet afdoende om hoge en stabiele waterstanden te herstellen. In hoeverre in beekdalen met lagere kwelfluxen herstel van moeras- en veenvorming mogelijk is vergt nadere analyse.

Deze studie laat zien dat in beekdalen met een hoge kwelflux de standplaatscondities die in ongestoorde doorstroomvenen worden aangetroffen weer kunnen terugkeren door lokale maatregelen. Een belangrijke succesfactor was dat een deel van de dalvlakte vlak genoeg was, waardoor laterale afvoer en verdamping een groot deel van de tijd in evenwicht zijn met de aanvoer door kwel en neerslag. De ongelijkmatig stijging van het maaiveld maakte de dalvlakte nog vlakker en daarmee is een zelfversterkend vernattingproces in gang zet. Het systeem beweegt nu uit zichzelf de goede kant op. Ook vertoont het verticale doorlatendheidsprofiel van het veen, ondanks de sterke degradatie van het veen in het verleden, gelijkenis met dat van ongestoorde venen. Hierdoor ontstaat een belangrijke negatieve feedback tussen lage waterstanden en laterale afvoer. Dit draagt sterk bij aan een stabiele waterstand rond maaiveld,

mits voldoende grondwater wordt aangevoerd. Het onderzoek laat ook knelpunten zien. Ten eerste is het herstel van stabiele waterstanden in sterk hellende delen in de beekdalvlakte langs de beek gebrekkig. Dit is een gevolg van de maaiveldddaling in de periode met diepe ontwatering, dat zonder verdere ingrepen nog lang zal blijven bestaan. Het reliëf in het beekdal is daarmee een belangrijke sturende factor voor succesvolle vernatting. Bij te grote hoogteverschillen zou een herprofilering van het maaiveld een zinvolle aanvullende maatregel kunnen zijn, bijvoorbeeld door het verwijderen van de veraarde veentoplaag in lokale hoogten en het opvullen van sterk ingeklonken zones met veen of zand. Het onderzoek maakt ook duidelijk dat ingrepen die de maaiveldhelling vergroten, zoals in het verleden wel gedaan is met het aanleggen van ‘afvoerslenken’, uiterst negatieve consequenties kunnen hebben. Een tweede knelpunt is dat de lokale vernattingsmaatregelen in het Gasterensche Diep niet kunnen voorkomen dat in droge zomers de waterstand in het hele beekdal te diep uitzakt. Om dit tegen te gaan zijn twee maatregelen belangrijk. Allereerst dienen zowel de beekbedding als de diepe sloten die water naar de beek afvoeren sterk te worden verondiept, bijvoorbeeld met zandsuppletie. Deze maatregel dient te worden afgestemd op eventuele herprofilering van het maaiveld. Daarmee wordt de diepste drainagebasis in het beekdal sterk verhoogd en kan het beekpeil ook bij een lage afvoer niet meer diep uitzakken. Een beekbedding dicht aan maaiveld leidt tot een stabiele waterstand rond maaiveld in de vlakke delen van de dalbodem en zal ook sterk bijdragen aan de ecologische kwaliteit van de beek. Deze maatregel kan ook een ontwikkeling naar een meer diffuus stromende ‘moerasbeek’ initiëren, een beektype dat nauwelijks is verdwenen uit de Benelux (Aggenbach et al.,

2009). Een tweede maatregel is het verminderen van de ontwatering in het intrekgebied. Vooral in zones langs het beekdal kan deze maatregel effectief zijn. Een derde knelpunt dat naar voren komt uit deze studie, is dat vergaande lokale vernattingsmaatregelen gepaard kunnen gaan met afstroming van nutriëntenrijk oppervlaktewater over maaiveld in het beekdal vanaf de dalflank. Het maakt duidelijk dat herstel van de waterhuishouding van beekdalen moet samengaan met het verminderen van de belangrijke nutriëntenstromen in het omringende landschap.

Het onderzoek laat zien dat er perspectief is voor hydrologisch herstel van grondwatergevoede doorstroomvenen in beekdalen met voldoende kwel. Vernatting van beekdalen kan daarmee een belangrijke bijdrage leveren aan herstel en uitbreiding van laagveenmoerassen met voor biodiversiteit belangrijke natuurypten.

Dit onderzoek is gefinancierd door OBN (OBN 2014-65-BE), Staatsbosbeheer en Waterschap Hunze & Aa's.

Summary

Restoration of brook valleys by rewetting
Camiel Aggenbach, Arnaut van Loon, Jelmer Nijp, Rudy van Diggelen & Iacopo Ferrario

brook valley, rewetting, hydrology, mire, peat formation

Restoration of peat-forming systems in drained brook valleys requires hydrological measures. Based on a case study in a rewetted brook valley and literature review, we investigated the possibilities to restore the hydrology of drained brook valleys to the level of undisturbed percolation mires by removing local drainage. Due to a high seepage flux, it is possible to realise a water level close to surface level in the flat parts of a brook valley. In sloping parts this failed because of substantial lateral dis-

charge. Due to the swelling of the peat, a self-reinforcing rewetting process occurs. The high saturated conductivity of peat top layer and the lower values in the deeper peat in undrained peatlands causes a negative feedback of low groundwater levels on the lateral discharge. In an extremely dry summer, the water level in the entire brook valley area dropped decimetres below surface level due to a strong decrease in seepage flux and an increase in lateral discharge in the sloping zone along the brook. A deep streambed of the brook and strong drainage in the infiltration area contribute to this. The results indicate that there is perspective for hydrological restoration of groundwater-fed percolation mires in stream valleys with the precondition of strong seepage.

Literatuur

Aggenbach, C.J.S., D. Groenendijk, R.H. Kemmers *et al.*, 2009. Preadvies Beekdallandschappen. Knelpunten, kennislacunes en kennisvragen voor natuurherstel in beekdalen. Den Haag. Ministerie van Landbouw, Natuur en Voedselkwaliteit, Directie Kennis. Rapport DK nr. 2009/dk107-0.

Aggenbach, C.J.S., Loon A., I. Ferrario *et al.*, 2021. Waterhuishouding van herstellende beekdalvenen. Ontwikkeling, bepalende factoren en mogelijkheden voor herstel. Driebergen. Vereniging van Bos- en Natuureigenaren (VBNE). Rapport OBN-244-BE.

Anibas, C., K. Buis, R. Verhoeven *et al.*, 2011. A simple thermal mapping method for seasonal spatial patterns of groundwater-surface water interaction. *Journal of Hydrology* 397: 93-104.

Boelter, D.H., 1969. Physical Properties of Peat as Related to Degree of Decomposition. *Soil Science Society of America* 33: 606-609.

Candel, J.H.J., B. Makaske, J.E.A. Storms *et al.*, 2017. Oblique aggradation: a novel explanation for sinuosity of low-energy streams in peat-filled valley systems. *Earth Surface Processes and Landforms* 42: 2679-2696.

Lammerts, E.J., H. Offringa, R. Postma *et al.*, 2015. Het Drentsche Aa-gebied: een voortdurende uitdaging voor het terreinbeheer. *De Levende Natuur* 116 (3): 92-97.

Loon, A.H. van, P.P. Schot, J. Griffioen *et al.*, 2009. Paleo-hydrological reconstruction of a managed fen area in The Netherlands. *Journal of Hydrology* 378: 205-217.

Nijp, J.J., K. Metselaar, J. Limpens *et al.* 2017. A modification of the constant-head permeameter to measure saturated hydraulic conductivity of highly permeable media. *MethodsX* 4: 134-142.

Schipper A.M., R. Zeefat, F. Tanneberger *et al.*, 2007. Vegetation characteristics and eco-hydrological processes in a pristine mire in the Ob River valley (Western Siberia). *Plant Ecology* 193: 131-145.

Succow M. & H. Joosten, 2001. *Landschaftsökologische moorkunde*. Stuttgart. Schweizerbart'sche Verlagsbuchhandlung, 622 pp.

Waddington, J.M., Morris, P.J., Kettridge *et al.*, 2015. Hydrological feedbacks in northern peatlands. *Ecohydrology* 8: 113-127.