



Ecohydrologische systeemanalyse beekdalen

systeemanalyse
ecohydrologie
beekdal
landschap
beekherstel

Wetenschappelijke grondslagen en toepassing van het handboek

Beekherstel, waterberging en herstel van verdroogde natuurgebieden zijn veel voorkomende opgaven in beekdallandschappen. Vaak worden ze te sectoraal en lokaal benaderd. Door de opgaven interdisciplinair en vanuit een landschapsecologische invalshoek te benaderen, zoals uitgewerkt in het Handboek Ecohydrologische Systeemanalyse Beekdallandschappen, neemt de kans op natuurherstel toe. In dit artikel beschrijven we de wetenschappelijke grondslagen van de ecohydrologische systeemanalyse en illustreren we aan de hand van twee praktijkvoorbeelden de meerwaarde van deze analyse.

De landschapsecologische systeemanalyse (LESA) van de Dienst Landelijk Gebied legt de relatie tussen soorten en hun omgeving teneinde onderbouwde (beheer)maatregelen te kunnen bepalen. Waar het Werkkader LESA (Van der Molen et al., 2010) de relatie tussen grond- en oppervlaktewater en natuur op hoofdlijnen beschrijft, heeft het Handboek Ecohydrologische Systeemanalyse Beekdallandschappen (Besselink et al., 2017a) deze nu uitgewerkt. Ook de Ecologische Sleutelfactoren (ESF's) van stromende wateren komen erin aan de orde (STOWA, 2015). In het handboek zijn kennis, instrumenten en herstelstrategieën verzameld die relevant zijn voor de systematische analyse van de (eco)hydrologie van beekdallandschappen. Hulpvragen helpen de gebruiker beter te analyseren en relevante kennislacunes op te sporen. Voor een praktische inleiding tot het handboek wordt verder verwezen naar Besselink et al., 2017b.

Grondslagen landschapsanalyse

De samenhang tussen levende en niet-levende natuur in het landschap, in ruimte en tijd, vormt de kern van de landschapsecologie. De meerwaarde van een systeembenadering is dat sturende processen zichtbaar worden die anders door fixatie op individuele onderdelen buiten beeld zouden blijven. De basis hiervoor werd begin jaren tachtig in het Drentsche Aa-gebied gelegd, waar onder anderen Grootjans (1985) voor het eerst op deze samen-

hangende wijze naar een beekdallandschap keek.

Een landschap als systeem is opgebouwd uit verschillende landschapscomponenten of milieufactoren, zoals diepere ondergrond, reliëf en grondwater. Deze milieufactoren beïnvloeden elkaar via fysische, fysisch-chemische en/of biochemische processen. Zo beïnvloeden de geohydrologie en geochemie de bodemopbouw en omgekeerd. Volgens het rangordemodel van Bakker et al. (1979) is er sprake van een hiërarchische beïnvloeding (figuur 1). Een factor van een hogere orde heeft meer invloed op een factor van lagere orde dan andersom. Bij een systeemanalyse is het daarom raadzaam deze hiërarchie te volgen.

Een ander essentieel aspect in de systeemanalyse is het verband tussen de zogenoemde positionele, conditionele en operationele relaties in het landschap en hun historische context (Van Wirdum, 1979; Jalink & Jansen, 1995), zie figuur 2. In beekdalen hebben de positionele relaties betrekking op de plaats van het onderzoeksobject in het stroomgebied. Het maakt veel uit of een te herstellen vegetatie zich in de boven-, midden- of benedenloop bevindt. Deze positie bepaalt welke processen sturend zijn bij de uitwerking van de conditionele relaties. Conditionele relaties bepalen de standplaats, zoals bodemtype, zuurgraad en basenverzading van de bodem. Deze sturen vervolgens de operationele relaties die op hun beurt van invloed zijn op het (functioneren van) het

Ir. D.G.B. (Daan) Besselink
Arcadis, Postbus 264,
6800 AG Arnhem.
daan.besselink@arcadis.com

Dr. A.J.M. (André) Jansen
Unie van Bosgroepen

Drs. D. (Dolf) Logemann
Arcadis

Ir. A.J.G. (Bart) Reeze
Bart Reeze Water & Ecologie

Foto **Mark van Veen**.
Werkzaamheden in het
Boetelerveld.



Figuur 1 hiërarchische verhouding tussen milieu-factoren (Bakker *et al.*, 1979). De pijlen geven de mate van wederzijdse beïnvloeding aan: groter van buiten naar binnen dan van binnen naar buiten.

Figure 1 hierarchic relationship between environmental components (Bakker *et al.*, 1979). The arrows indicate the level of mutual influence: higher outside in than inside out.

organisme. Het detailniveau van de operationele relaties voert echter te ver voor de hier beoogde systeemanalyse en is zodoende niet uitgewerkt in het handboek.

Op alle schaalniveaus spelen historische relaties. Relaties veranderen met de tijd, zowel door natuurlijke processen als door menselijk handelen. Voor een goede systeemanalyse is het dus van belang de historische context in beeld te brengen. Dit biedt ook inzicht in de herstelkansen.

Uit figuren 1 en 2 volgt dat het belangrijk is om de ecohydrologische systeemanalyse te beginnen op een hoger abstractieniveau en steeds wat verder in te zoomen. In beekdallandschappen begint men op stroomgebiedsniveau, gevolgd door het beekdal, de locatie van het natuurobject en ten slotte de percelen of standplaatsen. Zo onderscheidt het handboek drie fasen in de systeemanalyse (figuur 3):

- een algemene oriëntatie op landschapsschaal;
- een analyse van de positionele relaties, eveneens op landschapsschaal;
- een meer verfijnde analyse van de conditionele relaties op standplaatsniveau.

Voorafgaand aan de systeemanalyse worden een onderzoeksvraag en een hypothese over de rol van grond- en oppervlaktewater in het landschap geformuleerd. Deze

hypothese wordt voortdurend aangepast op basis van de resultaten. De ecohydrologische systeemanalyse is dus een iteratief proces. Uiteindelijk leidt dit tot een concreet beeld over de onderlinge relaties tussen habitats, soorten en hun omgeving en over de ingreep-effectrelaties in het veld.

Meerwaarde systeemanalyse in de praktijk Het Boetelerveld

Het Boetelerveld bij Raalte is aangewezen als Natura 2000-gebied. Het is het laatste uitgestrekte natte heide-terrein van Salland met aanzienlijke oppervlakten vochtige heide en pioniergemeenschappen van snavelbiezen. Daarnaast komen er over kleinere oppervlakten habitat-typen voor van meer of minder basenrijke omstandigheden zoals blauwgraslanden, jeneverbesstruwelen en zwak gebufferde wateren. Voor al deze van langdurig natte omstandigheden afhankelijke habitattypen gelden behoud- en/of hersteldoelen. Het gebied is echter verdroogd. Voor de realisatie van de Natura 2000-doelen is daarom een verbetering van het grondwaterregime nodig. Dat kan door het nemen van hydrologische herstelmaatregelen binnen én buiten het natuurgebied, bijvoorbeeld door watergangen te dempen of te verondiepen. De vraag was over welke oppervlakte zulke maatregelen genomen moesten worden.

Met een hydrologisch model op regionaal schaalniveau was berekend dat naast uitvoering van een aantal interne maatregelen, ook alle watergangen binnen een straal van 1,5 kilometer rondom het natuurgebied gedempt moesten worden om de Natura 2000-doelen te bereiken. Op basis van decennialange veldervaring twijfelde de beheerder Landschap Overijssel echter aan deze uitkomst. Volgens hem speelde de lokale bodemopbouw met veel dunne slecht doorlatende lagen nabij het maai-veld een wezenlijke rol in de waterhuishouding. Deze

factor ontbrak in de modellering. Om de verschillen in inzicht te overbruggen is een ecohydrologische systeemanalyse uitgevoerd met het doel om de ligging en de grootte van het maatregelengebied opnieuw te bepalen, maar nu mede op grond van lokale landschapskenners (Jansen, 2010). De vraag die centraal stond was: welke fysische en chemische processen in de waterhuishouding bepalen de standplaatscondities voor de genoemde habitattypen? Om deze te kunnen beantwoorden is het regionale kader naar het lokale niveau verfijnd via een uitgebreid aanvullend bodemkundig onderzoek, zie figuur 4.

Uit de gecombineerde analyse van de bestaande regionale en de nieuwe lokale data bleek dat het Boetelerveld regionaal beschouwd een inzigtgebied is met plaatselijk lokale grondwatersystemen die zich in het natte jaargetijd ontwikkelen in de toplaag van de bodem. Deze zorgen in interactie met het grotere freatische (regionale) grondwatersysteem voor kwel van basenrijk grondwa-

ter langs de rand van meerdere laagten. Dat werd bevestigd door vergelijking van de grondwaterstromingsbeelden in de boorgaten (toplaag) en de peilbuizen (freatische pakket). De lokale grondwatersystemen uiteten zich als eerste in plassen op het maaiveld door stagnatie van regenwater op oppervlakkige, slechtdoorlatende, zeer fijne en zeer leemrijke zanden.

Uit de ecohydrologische systeemanalyse volgde het grote belang van lokale grondwatersystemen voor de natuurkwaliteiten in het Boetelerveld. In de eerdere regionale modellering ontbraken deze lokale systemen en hun interactie met het grotere grondwatersysteem waarin ze zijn genesteld. Uiteraard kan zo'n regionaal model voor het natuurgebied worden verfijnd met de in de ecohydrologische systeemanalyse verzamelde data en verkregen inzichten, maar dat is tijdrovend en kostbaar. Bovendien hebben modellen ecologisch gezien een aanzienlijke foutenmarge.

Uit de ecohydrologische systeemanalyse volgde verder

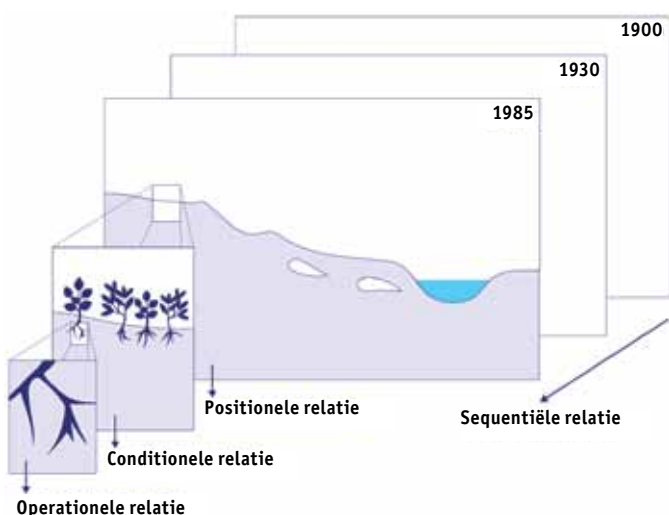
Figuur 2 schematisch overzicht van ruimtelijke en tijdgebonden relaties. Uit Jalink & Jansen (1995), naar Van Wirdum (1979).

Figure 2 schematic overview of spatial and temporal relations. After Jalink & Jansen (1995), based on Van Wirdum (1979).

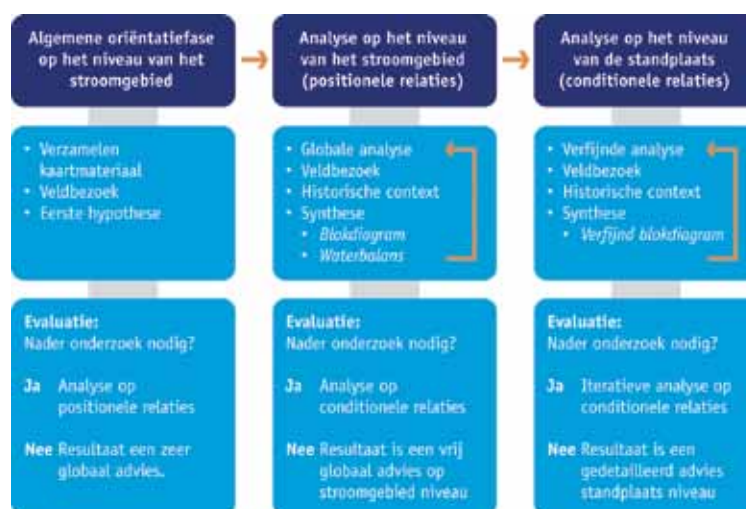
Figuur 3 de drie fasen en twee niveaus die worden onderscheiden bij ecohydrologische systeemanalyses (Besselink *et al.*, 2017a).

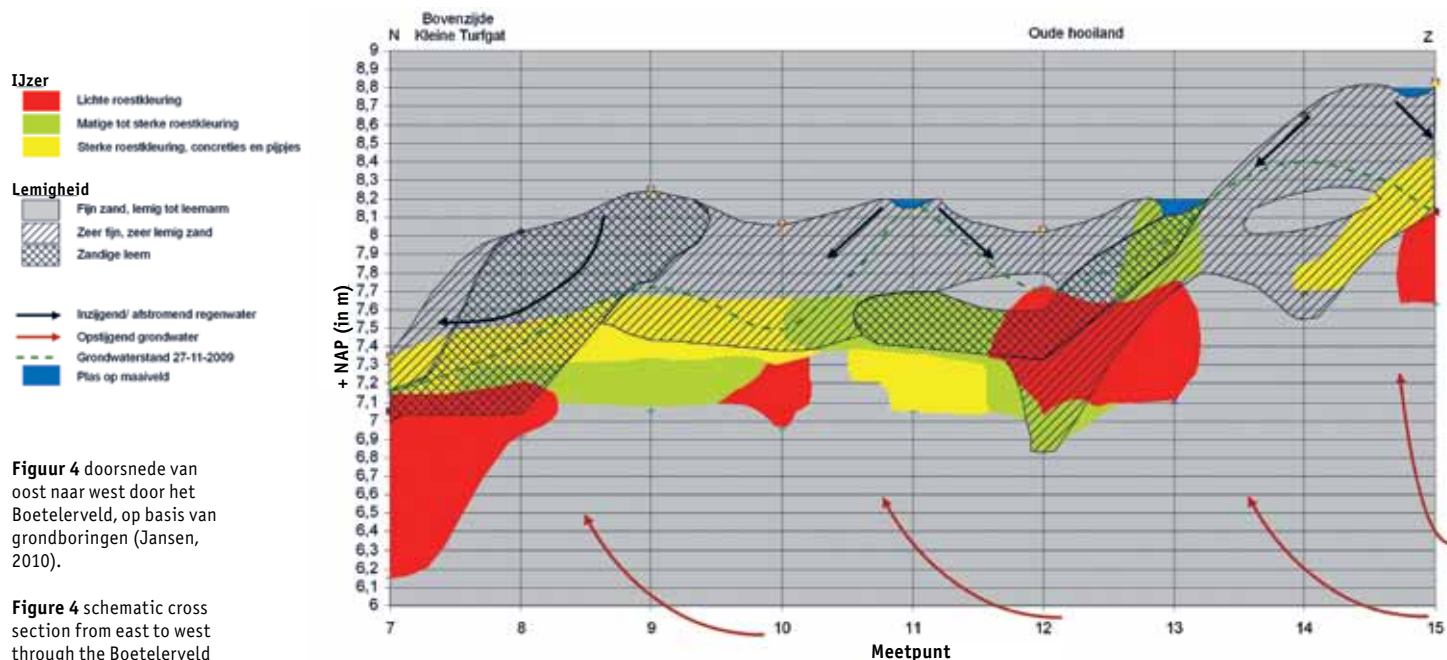
Figure 3 the three phases and two scale levels which are being distinguished within the research of ecohydrological system analyses (Besselink *et al.*, 2017a).

Figuur 2



Figuur 3





Figuur 4 doorsnede van oost naar west door het Boetelerveld, op basis van grondboringen (Jansen, 2010).

Figure 4 schematic cross section from east to west through the Boetelerveld based on topsoil boreholes (Jansen, 2010).

dat maatregelen voor herstel van het regionale watersysteem nodig blijven maar over een beduidend kleinere oppervlakte dan met het regionale grondwatermodel was berekend. Enkele analytische hydrologische berekeningen bevestigden deze uitkomsten die vervolgens door alle partijen werden onderschreven.

De Bovenmark

Het dal van de Bovenmark ligt ten zuiden van Breda. Eind jaren 60 van de vorige eeuw is de beek gekanaliseerd en gestuwd. Zodoende kon het peilbeheer beter worden afgestemd op de landbouw in het beekdal.

De Bovenmark is aangewezen als langzaam stromend riviertje in het kader van de Kaderrichtlijn Water. Voor het herstel van de stroomminnende soortgroepen is beekherstel gewenst en moeten stuwen voor vis te passeren zijn of verwijderd worden. Ook is het beekdal een

Natte Natuurparel waarvoor natte natuurdoeltypen zijn opgesteld die hydrologisch herstel vereisen. Deze vernatting dient binnen maatschappelijk aanvaardbare proporties te blijven vanwege de resterende landbouw en bebouwing in het beekdal. Evenmin mag bij extreem hoogwater de piekafvoer richting Breda toenemen. Er dient dus voldoende waterberging in het beekdal mogelijk te zijn. Ten slotte is het water van de beek nog te voedselrijk om de terrestrische natuur in het beekdal (langdurig) mee te inunderen.

Voor de Bovenmark hadden zowel het waterschap Brabantse Delta als de Vereniging Markdal een inrichtingsvariant opgesteld. De ene variant voorzag een nieuwe, kleinere, meanderende hoofdloop die zou leiden tot een toename van de inundatiefrequentie, de andere ging uit van nieuwe meanderende trajecten waar

meer stroming zou ontstaan en een hoofdgeul voor de piekafvoeren. Het ontbrak de partijen echter aan integraal systeeminzicht om onderbouwd tot een voorkeursalternatief te komen dat recht zou doen aan alle eisen en wensen in het beekdal. Daarom werden een ecohydrologische systeemanalyse en een geohydrologische modellering uitgevoerd (Besselink *et al.*, 2017c; Boleij *et al.*, 2017). Het handboek is daarbij als handvat gebruikt.

Uit een analyse van data uit de jaren 60 van de vorige eeuw bleek dat de waterstand in de beek in grote delen van het jaar aanmerkelijk lager was dan nu het geval is (figuur 5). De kanalisatie en verstuwning eind jaren 60 droegen niet alleen bij aan een constanter, maar ook een gemiddeld hoger waterpeil. Bij beekherstel in combinatie met het verwijderen van stuwen moet dus rekening gehouden worden met een uitzakkend zomerpeil. Zowel voor de landbouw- als terrestrische natuurdoelen is dat ongewenst.

Via het geohydrologisch model zijn de kweldruk, de kwel in het maaiveld en de herkomst van de kwel (via stroombaanberekeningen) berekend. Vergelijking van deze resultaten met de zichtbare kwelverschijnselen en -indicatoren in het beekdal (Klees, 2016) leerde dat de visuele kwellocaties niet per definitie ook de beste locaties zijn voor het herstel van kwelgebonden vegetaties. Dit verschil tussen perceptie en werkelijkheid wordt met name veroorzaakt door diepe watergangen die veel kwel afvangen. Uit de berekeningen volgde – anders dan de veldinventarisatie uitwees – dat in het zuidwesten van het beekdal de kwelpotentie het hoogst is. Deze gronden konden echter niet aangekocht worden. Op andere locaties met minder kwelpotentie vielen de uitkomsten van beide analyses wel samen. Deze locaties zijn geïntegreerd in het voorkeursalternatief door de watergangen te verondiepen en de beek verderaf te leggen.

Uit historische kaarten blijkt dat de Bovenmark zich in

ruim 200 jaar nauwelijks heeft verlegd. Van nieuwe of ruimere meanders is nagenoeg geen sprake. Dit wordt verklaard door de combinatie van een beperkt dalverhang (30 cm/km) en de (sterk) lemige beekdalbodem. Voor de voorkeursvariant betekende dit een nauwgezet ontwerp met een goede balans tussen meandering (over niet te grote lengte), stroming en sedimenttransport (door een smaller profiel) en het beperken van inundatie (via enkele overstromingsgeulen). Het inzicht in deze sturende factoren vloeide onder meer voort uit de systeemanalyse.

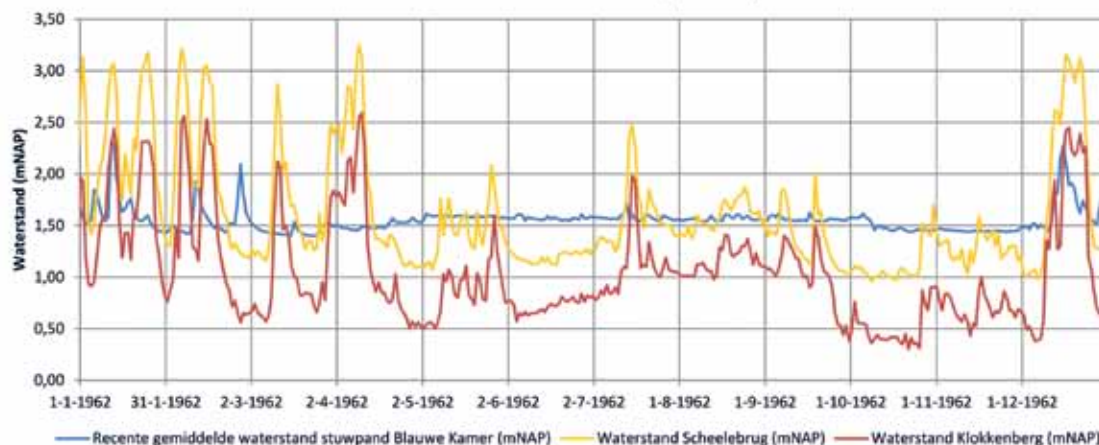
De geohydrologische modellering biedt het gewenste inzicht in het functioneren en de effecten van het ontwerp, maar het schaalniveau waarop dat gebeurt is niet altijd ecologisch relevant. Positief is ook dat het model de gebruiker verleidt de diepte in te duiken. De systeemanalyse biedt juist in de breedte meerwaarde door interdisciplinaire verbanden bloot te leggen, eenvoudig te kunnen bewegen tussen verschillende schaalniveaus en veranderingen als functie van tijd te duiden. Dankzij gezamenlijke toepassing van systeemanalyse en modellering is een maatschappelijk acceptabele halfnatuurlijke beekloop ontworpen die de twee oorspronkelijke varianten combineert. Strikt genomen vindt vanuit natuuroogpunt geen maximaal systeemherstel plaats. De toekomst zal leren of het huidige ontwerp voldoende is voor herstel van de gewenste levensgemeenschappen in beekloop en beekdal.

Discussie

De twee voorbeelden Boetelerveld en Bovenmark tonen verschillende facetten van een systeemanalyse. Primair gaat het om het bestuderen van verschillende onderdelen van het landschap, tegelijkertijd én in onderlinge samenhang. Hierdoor ontstaan nieuwe, verbeterde inzichten en beleids- en uitvoeringsalternatieven. Ook het ver-

Figuur 5 waterstand bij Klokkenberg (rood) en Scheelebrug (geel) in 1962, vergeleken met de waterstand in 2011 bij Blauwe Kamer (blauw). De waterstanden laten zien dat na kanalisatie de pieken zijn gedempt en de gemiddelde peilen hoger zijn (Besselink *et al.*, 2017c).

Figure 5 water levels at Klokkenberg (red) and Scheelebrug (yellow) in 1962, compared to water levels in 2011 at Blauwe Kamer (blue). The water levels show that after canalization high discharge peaks have decreased and the average water level has increased (Besselink *et al.*, 2017c).



gelijken van ruimtelijke patronen levert vaak waardevolle inzichten op, zoals het vergelijken van kwellocaties volgens grondwatermodellen en ecologische veldinventarisaties in de casus Bovenmark.

Tevens wordt duidelijk dat een systeemanalyse gelaagd is: de eerste analyses genereren ideeën en vragen en zijn aanleiding voor nieuwe, verdiepende analyses. Door het landschap als het ware steeds verder af te pellen, komt men steeds dichterbij het noodzakelijke inzicht in de oorzaak van de problemen en de effectiviteit van maatregelen. Hiermee is een systeemanalyse geen vaststaand proces: elke nieuwe stap wordt gestuurd door de voorgaande stappen. Vaak blijkt de situatie anders in elkaar te zitten dan vooraf werd gedacht. Dat dit grote gevolgen kan hebben voor de uit te voeren maatregelen wordt zichtbaar in de casus Boetelerveld, waar uiteindelijk in een veel minder groot gebied herstelmaatregelen nodig bleken dan aanvankelijk gedacht.

Verder is de meerwaarde van ecohydrologische systeemanalyse ten opzichte van (geo)hydrologische modellering en hun positie in de planvorming besproken. De modellering kan in de planvorming niet de systeema-

lyse vervangen en vice versa. Van de systeemanalyse wordt optimaal geprofiteerd door deze vroeg in de planvorming te laten plaatsvinden. De verkregen systeeminzichten zorgen voor een inhoudelijke focus in de verdere planvorming en voor toetsbare hypothesen in een modellering. Ecohydrologische systeemanalyses in beekdallandschappen zijn dus van meerwaarde. Laat deze conclusie een aanleiding zijn om elkaar uit te blijven dagen om goed te kijken en te denken alvorens te doen.

Dank

Het Handboek Ecohydrologische Systeemanalyse Beekdallandschappen is mogelijk gemaakt door de STOWA en de deskundigenteams Beekdallandschap en Nat zandlandschap van het Kennisnetwerk Ontwikkeling en Beheer Natuurkwaliteit (OBN). Het Handboek is het tweede deel van het STOWA-beekfeuilleton (deel 1 is het Handboek Geomorfologisch Beekherstel) en is te bestellen en downloaden op stowa.nl/publicaties. Figuren 1, 2 en 3 van dit artikel zijn gemaakt met Shapeshifter en ontleend aan het handboek.

Summary

Eco-hydrological system analysis of brook valleys.
Scientific base and application of the guideline

Daan Besselink, André Jansen, Dolf Logeman & Bart Reeze
system analysis, ecohydrology, brook valley, landscape,
brook recovery

European and Dutch legislation aims at restoration of Dutch brooks and their valleys, its characteristic wet vegetation and a natural water storage capacity. Initiatives are often sectoral or too local, carrying the risk of missing essential elements necessary for successful restoration. Moreover, knowledge on stream (valley) restoration is fragmented in The Netherlands. Therefore, STOWA and OBN initiated the publication of the Manual for eco-hydrological system analysis of brook valleys. The manual offers the user an integral

and practical step-wise approach. Three phases at two scale levels have been distinguished for a proper implementation of a system analysis. For each phase and at each level relevant in-depth questions and information requirements are suggested.

This paper presents the scientific background of the manual. Two restoration projects underline the added value of an eco-hydrological system analysis. In the case Boetelerveld it resulted in a significant smaller area required for wetland restoration, whereas in the case Bovenmark it revealed unexpected interdisciplinary relations, resulting into additional design space for brook valley restoration.

Literatuur

Bakker, T.W.M., J. Kleijn & E. van Zadelhoff, 1979. Duinen en Duinvalleien. Delft, TNO.

Besselink, D., D. Logemann, H. van de Werfhorst, A. Jansen & B. Reeze, 2017a. Handboek ecohydrologische systeemanalyse beekdallandschappen. i.o.v. STOWA en OBN. STOWA-rapport 2017-05. Amersfoort, STOWA.

Besselink, D., A. Jansen, B. Reeze, M. Talsma & W. Wiersinga, 2017b. Handboek Ecohydrologische Systeemanalyse Beekdallandschappen: door beter systeembegrip naar mooiere beekdalen. H2O-Online, 20 november 2017.

Besselink, D., J. Boleij & H. van de Werfhorst, 2017c. Watersysteemanalyse Markdal. i.o.v. Waterschap Brabantse Delta, Breda.

Boleij, J., H. van der Werfhorst & J. van Zanden, 2017. Herinrichting Markdal. Hydrologische modelstudie en vooronderzoeken. i.o.v. Waterschap Brabantse Delta, Breda.

Grootjans, A.P., 1985. Changes of groundwater regime in wet meadows. Proefschrift R.U. Groningen.

Jalink, M. & A.J.M Jansen, 1995. Indicatorsoorten deel 2: Beekdalen. Indicatorsoorten voor verdroging, verzuring en eutrofiëring van grondwaterafhankelijke beekdalgemeenschappen., Driebergen, Staatsbosbeheer i.s.m. VEWIN, IKC-Natuurbeheer en Kiwa.

Jansen, A.J.M., 2010. Systeemanalyse Boetelerveld. Ede/Zwolle, Rapport Unie van Bosgroepen i.o.v. Provincie Overijssel.

Klees, D., 2016. Onderzoeksrapport naar locaties met kwel in het Markdal voorjaar 2016. Chaam/Breda, Studio Wolverine i.o.v. Stichting Markdal.

Molen, P.C. van der, G.J. Baaijens, A. Grootjans & A. Jansen, 2010. LESA. Landschapsecologische systeemanalyse. Werkkader.

STOWA, 2015. Ecologische sleutelfactoren voor stromende wateren, een methodiek in ontwikkeling. STOWA-rapport 2015-06. Amersfoort, STOWA..

Wirdum, G. van, 1979. Trophiegradiënten in een kraggenlandschap. H2O 12(3): 46-57.