

Preadvies Beekdallandschappen

Knelpunten, kennislacunes en kennisvragen voor natuurherstel in beekdalen

C.J.S. Aggenbach, D. Groenendijk,
R.H. Kemmers, H.H. van Kleef,
A.J.P. Smolders, W.C.E.P. Verberk,
P.F.M. Verdonschot



landbouw, natuur en
voedselkwaliteit



© 2009 Directie Kennis, Ministerie van Landbouw, Natuur en Voedselkwaliteit

Rapport DK nr. 2009/dk107-O
Ede, 2009

Teksten mogen alleen worden overgenomen met bronvermelding.

Deze uitgave kan schriftelijk of per e-mail worden besteld bij de directie Kennis onder vermelding van code 2009/dk107-O en het aantal exemplaren.

Oplage	150 exemplaren
Samenstelling	C.J.S. Aggenbach, D. Groenendijk, R.H. Kemmers, H.H. van Kleef, A.J.P. Smolders, W.C.E.P. Verberk, P.F.M. Verdonschot
Druk	Ministerie van LNV, directie IFZ/Bedrijfsuitgeverij
Productie	Directie Kennis Bedrijfsvoering/Publicatiezaken Bezoekadres : Horapark, Bennekomseweg 41 Postadres : Postbus 482, 6710 BL Ede Telefoon : 0318 822500 Fax : 0318 822550 E-mail : DKinfobalie@minlnv.nl

Voorwoord

Op verzoek van LNV Directie Kennis is onder begeleiding van het OBN deskundigenteam Beekdallandschappen, door een groep deskundigen van Kiwa Water Research, Altera, B-WARE, Stichting Bargerveen en de Vlinderstichting het voorliggende preadvies beekdallandschappen opgesteld.

Dit advies beschrijft:

- de thans beschikbare kennis over en ervaringen met, het herstel van beken en beekdalen;
- welke kennisvragen reeds zijn opgelost en welke kennisvragen nog moeten worden beantwoord
- kansen en knelpunten voor beekdalherstel
- mogelijkheden voor kennistransfer naar terrein- en waterbeheerders

Het is een gedegen en overzichtelijk rapport geworden en ik dank de auteurs voor de grote inzet waarmee hieraan gewerkt is .

DE DIRECTEUR DIRECTIE KENNIS
Dr. J.A. Hoekstra

Leeswijzer

Dit rapport bestaat uit twee delen. Het eerste deel, '*Kernpunten*', bevat de visie waarmee dit preadvies is opgesteld (hoofdstuk 1) en de conclusies ten aanzien van knelpunten, kennislacunes en kennisvragen met betrekking natuurherstel en -ontwikkeling in beekdalen en hun beken (hoofdstuk 2). Per inhoudelijk thema worden in hoofdstuk 2 knelpunten, kennislacunes en kennisvragen gepresenteerd en toegelicht. In bijlage 1 zijn de kennisvragen meer gedetailleerd uitgewerkt.

Het tweede deel van dit preadvies bestaat uit achtergronddocumentatie. In hoofdstuk 3 wordt de aanpak, afbakening van het beekdallandschap en kennisvelden beschreven. Hoofdstuk 4 beschrijft geeft een overzicht van kennis over factoren die in beekdalen belangrijk zijn voor behoud, herstel en ontwikkeling van natuur. Daarbij worden de hydrologie, processen in beken, stofstromen en -regulatie, bodemvorming, dispersie van soorten en klimaatsverandering besproken. In hoofdstuk 5 wordt nader in gegaan op het identificeren van aandachtssoorten in beekdalen, functionele kenmerken van soorten en de factoren die daarbij belangrijk zijn. Speciale aandacht wordt gegeven aan dagvlinders, libellen, beekvissen en beekmacrofauna. In hoofdstuk 6 wordt een onderbouwing gegeven van de typologie voor beekdallandschappen en wordt ingegaan op natuurreferenties in beekdalen. De resultaten van de typologie voor beekdallandschappen staan in bijlage 3 (hydro-ecologische beekdaltypen) en 4 (aquatisch-ecologische beektypen). In hoofdstuk 7 worden doelen en uitvoeringspraktijk van de relevante beleidsvelden besproken. Aan de orde komen hier natuurbeleid, cultuur & landschap, landbouw en waterbeheer.

Inhoudsopgave

Deel 1 Kernpunten

1	Visie op preadvies	11
1.1	Inleiding	11
1.2	Stroomgebiedbenadering	11
1.3	Ontwikkelen van integrale herstelstrategie in beekdalen	12
1.4	Fauna in beekdallandschappen	12
2	Knelpunten, kennislacunes en -vragen	13
2.1	Inleiding	13
2.2	Grondwaterkwantiteit	14
2.3	Oppervlaktewaterstroming en inundatieregime	17
2.4	Morfologie en structuur van beekdalen en beken	20
2.5	Kwaliteit van grondwater en bodem	24
2.6	Oppervlaktewaterkwaliteit en doorwerking in aquatische en terrestrische ecosystemen	26
2.7	Ecologische betekenis van soorten	29
2.8	Ecologische eisen van soorten	30
2.9	Dispersie van soorten	32
2.10	Klimaatverandering	34
2.11	Onderzoeksstrategie	36
2.12	Afstemming met onderzoeksagenda van andere deskundigenteams	36

Deel 2 Achtergronddocumentatie

3	Aanpak en reikwijdte van preadvies	39
3.1	Aanpak preadvies	39
3.2	Afbakening beekdallandschap	40
3.3	Afbakening kennisvelden	41
4	Sleutelfactoren in beekdallandschappen	43
4.1	Aanpak	43
4.2	Hydrologische processen	44
4.3	Morfologie en stofstromen in beken	58
4.4	Stikstof-, zwavel- en ijzerchemie	66
4.5	Regulatie basenrijkdom	71
4.6	Regulatie voedselrijkdom	75
4.7	Bodemvorming en bodemleven	78
4.8	Dispersie van beeksoorten	82
4.9	Klimaatverandering	85
5	Fauna in beekdalen	87
5.1	Inleiding	87
5.2	Groeperen van soorten naar preferenties en functionele relaties	87
5.3	Soortenrijkdom en selectie van aandachtsoorten in beekdalen	90
5.4	Belangrijke factoren voor fauna in beekdalen	93
5.5	Uitwerking van een aantal taxonomische groepen	100
5.6	Invasieve soorten	110
6	Typologie voor beekdalen en natuur-referenties	113
6.1	Aanleiding	113
6.2	Doel	114
6.3	Reikwijdte van de typologie	115
6.4	Aanpak	115
6.5	Referentiebeelden	118

7	Doelen en uitvoeringspraktijk vanuit verschillende beleidsvelden en knelpunten met natuurherstel in beekdalen	123
7.1	Natuur	123
7.2	Cultuurhistorie en landschap	130
7.3	Landbouw	131
7.4	Waterbeheer	134
7.5	Confrontatie beleidsvelden en kansen voor herstel in beekdalen	142
	Literatuur	145
	Bijlage 1: Kennisvragen	153
	Bijlage 2: Overzicht belangrijke factoren in beekdalen	163
	Bijlage 3: Hydro-ecologische beekdaltypen	179
	Bijlage 4: Beschrijving aquatisch-ecologische beektypen	221

Deel 1

Kernpunten

1 Visie op preadvies

1.1 Inleiding

De Directie Kennis van het Ministerie van Landbouw, Natuur en Voedselkwaliteit heeft een offerteaanvraag Preadvies beekdallandschap (per brief van 26 april 2007, kenmerk DK-E/2007/1073) uitgezet in het kader van het OBN-onderzoek. Een consortium van KWR (voorheen Kiwa Water Research), Alterra, B-WARE, Stichting Bargerveen en De Vlinderstichting heeft daarop dit preadvies opgesteld.

Op hoofdlijnen is het doel van het project het opstellen van een preadvies dat:

- de stand van zaken beschrijft ten aanzien van beschikbare kennis over en ervaringen met het herstel van beken en beekdallandschappen;
- aangeeft welke kennisvragen al adequaat zijn opgelost en welke kennisvragen met prioriteit moeten worden opgelost;
- de kansen en knelpunten beschrijft van het herstel van beekdalen in relatie tot bestaand en nieuw beleid;
- relevante kennisvragen formuleert.

1.2 Stroomgebiedbenadering

Beekherstelprojecten blijven vaak beperkt tot locaties of kleine trajecten van een beek en worden uitgevoerd binnen het bestek van één of enkele jaren. Het stroomgebied komt meestal niet aan bod en van een uitgewerkte langetermijnvisie is vaak geen sprake. Ecologische processen strekken zich echter over het gehele stroomgebied uit en hebben vaak over een lange tijd effect. Het gehele stroomgebied werkt conditionerend voor ecosystemen in het beekdal en de ontwikkeling van een stabiele beek (een beek in een dynamische evenwichtstoestand) kost veel tijd. Structureel herstel van de beek en het beekdal, inclusief de bijbehorende levensgemeenschappen, heeft een veel langere tijd nodig. Hier moet bij de planvorming en de evaluatie rekening mee worden gehouden.

Van grote invloed op het functioneren van beekdalen zijn processen in de waterhuishouding. Voor (semi)-terrestrische ecosystemen zijn dat waterstandsdynamiek en stoftransport via grond- en oppervlaktewater. Voor de beken betreft het de afvoerdynamiek en het stoftransport via het oppervlaktewater. Daarnaast zijn in (semi)-terrestrische systemen de fysische en chemische eigenschappen van de bodem sterk bepalend en in beken de ruimtelijke variatie in substraat.

Voor fauna is de kwaliteit en ruimtelijke rangschikking van landschapscomponenten van groot belang. Natuurherstel vergt herstel van processen en patronen door ingrepen. Grote vraag daarbij is of alle veranderingen in het verleden nog omkeerbaar zijn. Herstel en ontwikkeling van ecosystemen vindt momenteel plaats in een landschap waarvan de omstandigheden sterk gewijzigd zijn ten opzichte van de omstandigheden in het verleden. De fundamentele vraag die daarbij gesteld kan worden is of er nog steeds sprake is van dezelfde primaire ranges in (onafhankelijke) factoren bij de ecosysteemontwikkeling.

Dit preadvies zal de nadruk leggen op de sleutelfactoren die van belang zijn voor het herstel van 'complete' beekdalsystemen en aangeven in hoeverre verstoring van zulke processen omkeerbaar is.

1.3 Ontwikkelen van integrale herstelstrategie in beekdalen

Het herstel van beken richt zich vaak op het herstel of het aanbrengen van een (statische) morfologie in bestaande waterlopen. Herstel van terrestrische en aquatische ecosystemen vindt veelal plaats via natuurherstel binnen reservaten en door de inrichting van verworven voormalige landbouwgronden binnen de EHS. Veelal hangt het herstel samen met de belangrijke milieuthema's zoals verdroging, verzuring, eutrofiëring en versnippering. WB21 en adaptatie aan klimaatverandering eisen ruimte op in de laag gelegen beekdalgronden als waterbergingsgebied. De implementatie van Habitat- en Vogelrichtlijn legt natuurdoelen op in beekdalgebieden die een grote herstelopgave vragen op het niveau van soorten, habitattypen en landschap. De uitvoering van de Kaderrichtlijn Water leidt tot herbezinning van het waterbeheer en tot uitvoering van veel maatregelen.

De veelheid aan functies en actoren noopt tot het ontwikkelen van een heldere herstelstrategie voor de beekdalen waar natuur de belangrijkste functie is of wordt.

1.4 Fauna in beekdallandschappen

Vanaf de jaren '80 hebben vegetatie (behalve de waterplanten en overige aquatische flora) en hydro-ecologische relaties van vegetatie met de omgeving veel aandacht gekregen in wetenschappelijk en toegepast onderzoek. Inmiddels wordt die kennis op niveau van ecosysteemttypen toegepast in het herstelbeheer. De fauna heeft tot nu toe weinig aandacht gekregen in beekdalen. Weliswaar is er werk verricht aan de aquatische (macro)fauna, maar bleven vissen en de terrestrische fauna, met uitzondering van gewervelden, onderbelicht. Het herstel van de fauna is alleen mogelijk met kennis van ecologische relaties van soorten. Omdat diersoorten vaak ook afhankelijk zijn van de configuratie van ecosysteemttypen is meer inzicht nodig in de relaties van fauna met omgevingsfactoren op landschapsniveau. Het zal niet mogelijk zijn om alle faunagroepen te behandelen. Daarom zullen we dit preadvies richten op vooral vissen libellen, vlinders, sprinkhanen en aquatische macrofauna.

Speciale aandacht wordt in het preadvies gegeven aan de fauna en hun ecologisch relaties op perceel- en landschapsschaal.

2 Knelpunten, kennislacunes en -vragen

2.1 Inleiding

In dit hoofdstuk worden de knelpunten, kennislacunes en kennisvragen gepresenteerd en toegelicht. De knelpunten, kennislacunes en kennisvragen volgen uit de analyse van sleutelfactoren, fauna, typologie van beekdalen, natuurreferenties en doelen/ uitvoering van beleidsvelden (zie paragraaf 4.1 en figuur 1). Bij de analyse van de knelpunten, kennislacunes en kennisvragen gelden de volgende uitgangspunten:

- een knelpunt is een belangrijke belemmering in het behoud, het herstel en de ontwikkeling van natuur in beekdalen en hun beken;
- een kennislacune is een gebrek aan kennis op het terrein van abiotische en biotische factoren, dit gebrek aan kennis belemmert de oplossing van één of meerdere knelpunten; voor bestuurlijke en sociaal-economische knelpunten worden geen kennislacunes geformuleerd omdat hier strijdige belangen en organisatorische problemen spelen, en niet het gebrek aan kennis;
- een kennisvraag is een uitwerking van één of meer kennislacunes, zodanig geformuleerd dat een directe relatie kan worden gelegd met het type onderzoek dat nodig is om de kennislacune op te vullen;
- een kennislacune is gekoppeld aan één of meerdere knelpunten;
- een kennisvraag is gekoppeld één of meerdere kennislacunes;
- de antwoorden op kennisvragen dragen bij aan:
 - het ontrafelen van abiotische en biotische processen waarbij wetenschap noodzakelijk is voor het ontwikkelen van effectieve maatregelen en beheervormen voor het natuurherstel en de natuurontwikkeling in beekdalen en hun beken;
 - het ontwikkelen van effectieve maatregelen en beheervormen voor het natuurherstel en de natuurontwikkeling in beekdalen en hun beken.

De knelpunten, kennislacunes en kennisvragen zijn gegroepeerd in de volgende thema's:

- grondwaterkwantiteit;
- oppervlaktewaterstroming en inundatieregime;
- terreinheterogeniteit van beekdalen en morfologie beken;
- kwaliteit van grondwater en bodem;
- oppervlaktewaterkwaliteit;
- ecologische betekenis van soorten;
- ecologische eisen van soorten;
- dispersie van soorten;
- klimaatsverandering.

In paragraaf 2.2 t/m 2.10 worden van deze thema's de knelpunten, de kennislacunes en de overkoepelde kennisvragen gepresenteerd en toegelicht. Meer gespecificeerde kennisvragen zijn opgenomen in bijlage 1; deze geven een nadere invulling van de veelal breed geformuleerde overkoepelde kennisvragen. De dwarsverbanden tussen de thema's worden aangegeven. De kennisvragen hebben een prioriteitstelling gekregen en er wordt aangegeven of een kennisvraag met behulp van onderzoek in

het OBN-programma kan worden opgelost of in andere onderzoeksprogramma's (zie ook paragraaf 2.11).

2.2 Grondwaterkwantiteit

2.2.1 Knelpunten

- Verlaging en toename van de fluctuatie van de grondwaterstand van terrestrische natuur door ontwatering van beekdalen en hun omgeving. De bestrijding van verdroging boekt langzame voortgang.
- Door ontwatering binnen en ook buiten beekdalen is kwel van basenhoudend grondwater verminderd of verdwenen en daardoor trad en treedt verzuring op. Dit heeft geleid en leidt nog steeds tot achteruitgang van basenminnende terrestrische ecosystemen.
- Door sterke ontwatering komt veenvorming met de bijbehorende ecosystemen en soorten nagenoeg niet meer voor in beekdalen terwijl veenvorming in het verleden op grote schaal plaatsvond.
- Verdiepte beken en insnijding van beken in sterk hellende beekdalen zorgen voor een sterke verdroging in beekdalen.



Foto 1: Een genormaliseerde en verdiepte waterloop in Twente. Door normalisatie is zeer weinig variatie in morfologie aanwezig wat nadelig is voor beekfauna en flora. Door de diepe drainagebasis heeft de waterloop gezorgd voor sterke verlaging van de grondwaterstand en verzuring in aangrenzend natuurgebied (foto Camiel Aggenbach).

2.2.2 Kennislacunes

- De herstel mogelijkheden voor veenvorming in beekdalen met voedselarme, terrestrische ecosystemen.
- De invloed van verondieping van beken op het voorkomen van diersoorten in beken.
- De operationalisering van kennis in modellen voor het vaststellen van gewenst waterregime en van kwelintensiteit voor vochtige en matig natte, basenminnende terrestrische ecosystemen waar de zuurgraad door toevoer van grondwater wordt gebufferd.

Aan het knelpunt verlaging en toename van de fluctuatie van de grondwaterstand van terrestrische ecosystemen zijn geen grote kennislacunes gekoppeld die te maken hebben met hoe herstel van de gewenste waterstandregimes moet plaatsvinden. Wel werkt verdroging en het bestrijden van verdroging door in de knelpunten en de bijbehorende kennislacunes die onder de thema's 'kwaliteit grondwater en bodem' (paragraaf 2.5) en 'klimaatsverandering' (paragraaf 2.10) worden behandeld.

2.2.3 Kennisvragen

Overkoepelende kennisvragen zijn:

1	Hoe kan veenvorming in beekdalen worden hersteld?	H	J
2	Op welke wijze kunnen beken worden verondiept?	H	J
3	Hoe kan de basenrijkdom van grondwater en bodem worden voorspeld in (potentiële) kwelsituaties?	H	E

Legenda:

prioriteit H=hoog, M=matig, L=laag. OBN-onderzoek: J=uitvoering in OBN-programma, E=uitvoering in andere programma's, N=fundamenteel onderzoeksprogramma.

Zie ook vraag 18 en 32.

Zie voor detailvragen bijlage 1.

2.2.4 Toelichting

Verdroging

Verlaging van de grondwaterstand, vergroting van de grondwaterstandfluctuatie en vermindering van kwel zijn grote knelpunten in beekdalen voor terrestrische ecosystemen en soorten. Gebrek aan kennis vormt slechts in beperkte mate een oorzaak voor het voortbestaan van dit knelpunt. Over het algemeen is redelijk goed bekend welk type maatregelen nodig zijn om verdroging tegen te gaan. Het grootste probleem is het gebrek aan bestuurlijke draagkracht vanwege ongewenste sociaal-economische effecten die vernattingsmaatregelen hebben in de omgeving. Om te bepalen welke maatregelen moeten worden genomen kan gebruik worden gemaakt van diverse goed toepasbare methoden voor analyse en modellering (hydrologisch en hydro-ecologisch) van gebieden. De kwaliteit van de resultaten van zulke analyses en modellering hangt sterk af van de mate waarin gegevens uit het gebied worden gebruikt en de schaal van analyse en modellering. Een veel voorkomend probleem is dat de schaal waarop wordt gemodelleerd niet aansluit op de schaal waarop essentiële processen zich in natuurterreinen afspelen. Ook dit is echter geen kennislacune, maar is afhankelijk van de methoden en de hoeveelheid geld die men wenst uit te trekken voor analyse en modellering. Een uitzondering hierop vormt de modellering van de zuurgraadbuffering in vochtige tot matig natte kwelmilieus. Er is wel veel bekend over de processen die daarbij een rol spelen, maar de bestaande modellen zijn nog onvoldoende toegespitst op de voorspelling van de vaak fijschalige gradiënten in kwelmilieus. Kleine verschillen in maaiveldhoogte, drainage en afwatering kunnen van grote invloed zijn op de hoeveelheid grondwater die via ex-filtratie en capillaire opstijging de wortelzone bereikt.

Verdroging en vernatting van verdroogde gebieden kan leiden tot veranderingen in de bodemopbouw en -chemie die van invloed zijn op de nutriëntenhuishouding en op de effectiviteit van herstelmaatregelen gericht op het herstel van standplaatscondities. Deze zaken worden behandeld in paragraaf 2.5 bij het thema 'kwaliteit van grondwater en bodem'.

Herstel van veenvorming

Veeenvorming trad van oorsprong veel en langdurig op in beekdalen. Beekdalen waren in Nederland belangrijk voor doorstroom-, kwel- en hellingvenen, voor mesotrafente boomloze begroeiingen van zeggen en slaapmossen (*Caricetion lasiocarpae* en *Caricion davallianae*), en voor eutrafente begroeiingen van grote zeggen (*Magnocaricion*). Door

ontwatering en ontginning is dit proces van veenvorming samen met veenvormende ecosystemen verdwenen. Een grote kennislacune is hoe veenvorming met de bijbehorende ecosystemen kan worden hersteld. De vragen liggen daarbij niet zo zeer op het terrein van hoe hoge stabiele grondwaterstanden en kwel moeten worden hersteld, maar vooral waar en hoe maatregelen moeten inspelen op veranderingen in de biogeochemie van het veen en grondwater, en hoe het vegetatiebeheer moet worden aangepast (Jansen et al., 2001). Het huidige beheer is veelal afgestemd op graslandbeheer (maaïen en afvoeren) dan wel bosbeheer (niets doen), maar het is onduidelijk welke beheer nodig is voor overgangsvennen en trilvenen waar mechanisch beheer vanwege geringe draagkracht veenbodem slecht mogelijk. Zie voor de chemische aspecten bij het thema '*kwaliteit van grondwater en bodem*' (2.5, kennisvraag 16) en voor beheeraspecten bij het thema '*morfologie en structuur van beekdalen en beken*' (paragraaf 2.4, kennisvraag 14).

Verondiepen beken

Het stroombed van beken ligt vaak door diverse ingrepen laag ten opzichte van de dalbodem. Naast het graven en verdiepen van beken, speelt in hellende gebieden ook insnijding van de beek als gevolg van grote piekafvoeren. Het verlaagde stroombed heeft gezorgd voor verlaging van de grondwaterstand en vermindering of het verdwijnen van kwel in de terrestrische delen van het beekdal. Voor herstel van grondwaterafhankelijke ecosystemen is verondiepen van beken vaak noodzakelijk. Daarnaast biedt een verondiept stroombed ook mogelijkheden voor herstel van bekecosystemen en hun beekfauna (zie bij thema '*morfologie en structuur van beekdalen en beken*' (paragraaf 2.4). Maatregelen om de beek te verondiepen kunnen leiden tot verlies van waardevolle beekfauna. Voor integraal herstel van beekdalen is daarom behoefte aan methoden die zorgen voor het herstel van grondwaterafhankelijke terrestrische ecosystemen, het behoud van actuele waardevolle beekfauna en goede perspectieven voor duurzaam herstel van bekecosystemen.



Foto 2: Het Gastersche Diep in de Drentse Aa is een kleine beek met een meanderend lengteprofiel. De beek is voor vissen de meest soortenrijke beek van Nederland met o.a. Rivierprik. Door verdieping in het verleden heeft de beek een ontwaterend effect op het beekdal. Aanleg van vispasseerbare drempels van hout moeten de drainagebasis gaan verhogen (foto Camiel Aggenbach).

2.3 Oppervlaktewaterstroming en inundatieregime

2.3.1 Knelpunten

- In beken is de van oorsprong lage tot matige dynamiek van de afvoer en de stroomsnelheid vervangen door een hoge dynamiek. De huidige hoge dynamiek van de afvoer en de stroomsnelheid beperkt de ontwikkelingsmogelijkheden van een gevarieerde stroombedstructuur en daarmee de ontwikkeling van meer natuurlijke laaglandbeken met een hoge biodiversiteit.
- Inundatie kwam van oorsprong op grote schaal voor in beekdalen en laagtes, met de daarbij behorende terrestrische en semi-aquatische ecosystemen. Dit proces is veel minder van invloed door de ontwikkeling van een zeer efficiënte afwatering en ontwatering. De overgang van terrestrisch naar aquatisch milieu was voorheen veel diffuser.
- In toenemende mate worden beekdalen ingezet voor waterberging. Dit leidt tot herstel van een belangrijk sleutelproces in beekdalen, te weten overstroming. Het is echter de vraag of de huidige overstromingsdynamiek voldoende aansluit op een natuurlijke hydrodynamiek en wat de effecten zijn van een veranderde overstromingsdynamiek in termen van frequentie, duur en tijdstip op het voorkomen en herstel van terrestrische en semi-aquatische ecosystemen en de overleving van soorten.

2.3.2 Kennislacunes

- De grenzen tussen een gewenst gedempt en ongewenst extreem regime van afvoer en stroomsnelheid zijn voor Nederlandse beeksystemen nog onbekend. Kennis van de kritische grenzen die waterorganismen aan dit regime (onder andere drempelwaarde voor piekafvoeren) stellen is nodig om bij herstel de juiste afweging te maken tussen gedempte en hoge dynamiek.
- Over de respons van de functioneel belangrijke groepen van soorten in beken op de dynamiek van afvoer en stroomsnelheid is weinig bekend.
- Over het gewenste overstromings- en inundatieregime (duur, frequentie, periode, diepte) is betrekkelijk weinig bekend mede doordat goede actuele referenties van overstroomde beekdalen niet meer bestaan in Nederland en de waterkwaliteit van beken en de terreinheterogeniteit van beekdalen sterk is veranderd.
- De herstel mogelijkheden voor beken met een gedempte dynamiek van afvoer en stroomsnelheid.
- De invloed van overstroming op het voorkomen van terrestrische fauna.
- De eisen van ecosystemen en soorten aan afvoer-, overstromings- en inundatiedynamiek.
- Het effect van reliëf en structuurvariatie op de inundatietolerantie van diersoorten.
- De herstel mogelijkheden voor overstromings- en inundatieafhankelijke ecosystemen in beekdalen met name door middel van het herstel van natuurlijke verbindingen in het landschap en het opheffen van dispersieproblemen door middel van inundatie.

2.3.3 Kennisvragen

Overkoepelende kennisvragen zijn:

4	Wat zijn de eisen van aquatisch ecologische beektypen aan regimes van afvoer en stroomsnelheid?	H	J
5	Waar en hoe kan een gedempt regime van afvoer en stroomsnelheid van beken worden hersteld?	H	J/E
6	Wat zijn de eisen van terrestrische en semi-aquatische ecosystemen en soorten aan regimes van overstroming en inundatie?	H	J
7	Waar liggen mogelijkheden om, rekening houdend met afvoercharacteristieken en oppervlaktewaterkwaliteit, een overstromingsregime te herstellen dat gunstig uitpakt voor overstromingsafhankelijke terrestrische en semi-aquatische ecosystemen en soorten?	H	J/E

Legenda:

prioriteit H=hoog, M=matig, L=laag. OBN-onderzoek: J=uitvoering in OBN-programma, E=uitvoering in andere programma's, N=fundamenteel onderzoeksprogramma.

Zie voor detailvragen bijlage 1.

2.3.4 Toelichting

Regimes van afvoer en stroming in beken

Beken worden gekenmerkt door stroming en daarmee samenhangende processen als erosie en sedimentatie. Bij beekherstel wordt daarom gestreefd naar het weer op gang brengen van dergelijke processen. Daarbij wordt vaak uitgegaan van een standaardbeeld van een meanderende beek. Wat daarbij over het hoofd wordt gezien is dat er een grote variatie is aan beekdaltypen, en dat meanderend beken lang niet overal het meest natuurlijke beektype vormen. Van oorsprong ontwikkelden beekstelsels en beekdalen zich onder een lage dynamiek van stroomsnelheid en fluctuaties omdat de afvoer in het intrekgebied werd gedempt door de aanwezigheid van bos met dikke humusprofielen en doordat door de mens aangelegde afwateringen ontbraken. Deels zorgde het beekdal zelf voor een gedempte dynamiek van stroomsnelheid door de aanwezigheid van een breed 'stroombed' doordat het beekdal inundeerde bij hogere afvoeren. Gedempte afvoerregimes en morfodynamiek zorgden in deze beekecosystemen voor een grote diversiteit aan habitats en soorten. Extreme pieken in stroomsnelheid en perioden waarbij droogval optreedt, hebben grote gevolgen voor de beekorganismen. Bij welke grenzen tussen een gedempt en extreem afvoerregime de voor meer natuurlijke beekdalen kenmerkende soorten zich in de Nederlandse beeksystemen nog kunnen handhaven is onbekend. Een meer constante watervoering door het jaar heen wordt vooral bereikt met maatregelen als vermindering van de afwatering in het stroomgebied en door overstroming van het beekdal bij piekafvoeren. Tijdens inundatie wordt de kracht in de beek gereduceerd en gespreid over het geïnundeerde beekgedeelte. Wel is enige kracht tijdens afvoerpieken nodig voor het 'zelfopschonen' van de loop en het herstellen / hergroeperen van habitatmozaïeken; de basis voor de aquatisch-ecologische diversiteit. De interactie van afvoerregime en de structuur van het stroombed is ook niet goed bekend. Structuurvariatie in meer natuurlijke afvoerstelsels zorgde voor grote variatie in stroomsnelheid, ook bij piekafvoeren. In de huidige verdiepte beeklopen treedt veel minder variatie in stroomsnelheid op en is bij piekafvoeren overal de stroomsnelheid hoog. Kennis van de kritische grenzen die waterorganismen aan dit proces stellen is nodig om bij herstel de juiste afweging te maken tussen constantie en dynamiek en de juiste eisen op te leggen aan (andere functies in) het stroomgebied. Daarnaast is kennis nodig van de functioneel belangrijke groepen van soorten in beken en hun respons op dynamiek van afvoer en stroming.

Overstroming

Inundatie kwam van oorsprong op grote schaal voor in beekdalen en laagtes. In beekdallandschappen werd mede daardoor vroeger veel meer water geborgen dan nu, waardoor langduriger natte omstandigheden heersten. Deze hydrologische component is door de ontwikkeling van een zeer efficiënte afwatering voor een groot deel weggevaagd samen met de bijbehorende terrestrische en semi-aquatische ecosystemen. Ook is de overgang van terrestrisch naar aquatisch milieu veel scherper en abrupter geworden.

Om wateroverlast in benedenstrooms gelegen gebieden te voorkomen worden beekdalen in toenemende mate ingezet voor waterberging door weer overstromingen toe te staan. Dit is in principe goed te combineren met beekherstel. Inzicht ontbreekt echter onder welke voorwaarden overstroming bijdraagt aan natuurherstel.

Welk overstromings- en inundatieregime gunstig is voor terrestrische en semi-aquatische ecosystemen is deels af te leiden uit historische en geografische referenties. Uit de referenties kan echter niet zonder meer kan worden afgeleid wat kritische grenzen zijn aan duur, frequentie, periode en diepte. Bovendien is er slechts

zeer weinig informatie over de overstromingstolerantie van faunasoorten, en voor zover deze kennis aanwezig is, gaat het vrijwel exclusief over bodemorganismen als regenwormen en pissebedden.

Welke effecten overstromingen hebben op flora en fauna, is niet alleen afhankelijk van de effecten van het inundatieregime (duur, frequentie, periode, diepte) op de standplaats (o.a. zuurstofstress, temperatuur), maar ook van de stoffen die met de overstroming worden aangevoerd. Bij de vegetatie gaat het vooral om de aanvoer van nutriënten met beekwater en sediment. In vergelijking met het verleden, of met referenties uit gebieden met een minder intensief landgebruik, worden Nederlandse beken gekenmerkt door zeer hoge gehalten aan nutriënten. Daardoor vormen eutrofiëring en vervuiling een reëel risico bij het toelaten of bevorderen van overstromingen. Bij fauna zijn er ook risico's op vergiftiging door met water en sediment aangevoerde zware metalen en resten bestrijdingsmiddelen. Hierop wordt verder ingegaan in hoofdstuk 7.6 bij het thema 'oppervlaktewaterkwaliteit en stofstromen via oppervlaktewater in beekdalen'.



Foto3: Brongebied in een bovenloop van een beekdal. Het toestromende grondwater is basenarm waardoor hoogveenachtige vegetatie aanwezig is. In zulke situaties kunnen zich helling vennen ontwikkelen. In bovenlopen met een 'natuurlijke' beekmorfologie is de scheiding tussen oppervlaktewater en semi-terrestrische vegetatie zeer diffuus. Oppervlaktewater stroomt af via kleine, ondiepe slenkjes. De structuurvariatie is daardoor hoog (foto Camiel Aggenbach).

Herstel natuurlijke stromings- en overstromingsregimes

Een algemenere vraag die speelt bij de (her)inrichting van beekdalen en het waterbeheer is hoe vasthouden en berging van water om wateroverlast te voorkomen ruimtelijk optimaal gecombineerd kunnen worden met behoud, herstel en ontwikkeling van ecosystemen en soorten en met herstel van natuurlijke processen. Dit vraagstuk is complex omdat niet alleen de effecten op inundatie- en eutrofiëringgevoelige ecosystemen en soorten moeilijk zijn in te schatten maar ook omdat onduidelijk is hoe overstromingsafhankelijke en basenminnende ecosystemen en soorten kunnen worden hersteld en ontwikkeld. Omdat de mogelijke oplossingen sterk afhankelijk zijn van het afvoerregime van het oppervlaktewaterstelsel en stofstromen binnen een gebied dient de waterhuishouding van het hele stroomgebied te worden beschouwd.

Een eerste kennislacune is dat niet duidelijk is welk afvoerregime gewenst is voor een gunstig inundatieregime en hoe het grondgebruik hierop moet worden afgestemd.

Voor benedenlopen of voormalige inundatielaagtes betreft het vooral de vraag hoe voldoende en op het juiste moment overstroming en inundatie gerealiseerd kunnen worden. In middenlopen en bovenlopen ligt zowel de vraag hoe overstroming en inundatie een grotere rol krijgen als ook de vraag hoe nadelige neveneffecten van overstroming voorkomen kunnen worden.

Meer inzicht in welk overstromingsregime waar gewenst is, is daarom noodzakelijk. Daarnaast wordt de druk vanuit het waterbeheer groter om water te bergen in beekdalen tijdens piekafvoeren. Dit biedt zowel kansen voor beekdaltrajecten waar overstroming of inundatie gewenst is als bedreigingen in beekdaltrajecten met eutrofiëringgevoelige natuurtypen. Op stroomgebiedschaal levert dit herinrichtingvraagstukken op waarbij de belangrijkste vraag is op welke wijze overstroming voor terrestrische en semi-aquatische ecosystemen een gunstige uitwerking kan hebben.

Overstroming heeft ook een sterke relatie met de eutrofiëringproblematiek van het beekwater en de herinrichting zal zich ook moeten richten op de stofstromen en biochemische processen in het stroomgebied die van invloed zijn op belasting van het beekdal met slib, nutriënten en antropogeen organisch materiaal (zie paragraaf 2.6). Voor effectvoorspelling is het nodig om te weten hoeveel en waar slibsedimentatie is te verwachten bij een bepaalde inrichting van het systeem. Wat betreft het eutrofiëringaspect is ook een vraag hoe de inrichting op schaal van beekdaltrajecten (kleinschalige overstroming/bevloeiing) en op schaal van stroomgebied (grootschalige overstroming) kan zorgen voor 'zuivering' van het beekwater (door slibbezinking, zuiveringsmoerassen) voordat het overstromingswater eutrofiëringgevoelige beekdaltrajecten of -delen bereikt. Daarbij zou ook gekeken kunnen worden welke natuurfuncties zuiverende beekdaltrajecten of locaties kunnen vervullen.

2.4 Morfologie en structuur van beekdalen en beken

2.4.1 Knelpunten

- Achteruitgang van fauna door afname van de terreinheterogeniteit in beekdalen en een beheer dat weinig is afgestemd op fauna.
- Monotone, structuurarme, diepe dwarsprofielen van beken als gevolg van normalisatie, kanalisatie en verdieping van beken. Intensief schoningsbeheer leidt ook tot verarming van de structuur van het stroombed. Deze vervlakking van de ruimtelijke structuur strekt zich uit op alle schaalniveaus (micro-, meso- en landschap-):
 - Er is in de morfologie van stroombeddingen een convergentie opgetreden naar enkelvoudige beeklopen met een diep stroombed ten opzichte van de beekdalbodem. De beeklopen zijn ofwel gekanaliseerd/genormaliseerd of hebben een meanderend tot sinoïdaal verloop. Vertakte en vlechtende beekstelsels ontbreken nagenoeg.
 - Er is in de huidige situatie sprake van een sterke scheiding tussen het aquatische deel van de beek en het terrestrische deel van de dalvlakte, waardoor semi-terrestrische, semi-aquatische ecosystemen en diersoorten sterk achteruit zijn gegaan. Het stroombed ligt vaak diep in de dalbodem waardoor flauwe oevers ontbreken. Van meer natuurlijke nauwe verwevenheid tussen aquatische en terrestrische componenten is weinig sprake.
 - Biologische structuren in de vorm van boomstammen, takken, bladstrooisel, levende bomen, waterplant- en moerasbegroeiing hebben geen of een kleine rol in de morfologie en morfodynamiek van het stroombed van beken, terwijl die in natuurlijke laaglandbeken een belangrijke ecologische rol hebben.
- Bij beekherstel ligt nadruk vaak op het creëren van een bepaalde fysische morfologie (meandering, tweefasenprofiel, plas/dras-oevers). Aan diepte en structuur van het stroombed en de relatie met afvoerdynamiek wordt vaak weinig

aandacht besteed terwijl deze zaken sterk bepalend zijn voor de ecologische kwaliteit.

- Herstel van de oorspronkelijke rijk geschakeerde patronen van aquatisch en terrestrisch in het beekdal blijft meestal buiten beeld bij beekherstelprojecten en wordt ook belemmerd door ingrijpende veranderingen in het stroomgebied die van invloed zijn op het afvoerregime.
- Door vervlakking van structuur in de beekbedding en het beekdal zijn soorten gevoeliger geworden voor piekafvoeren en overstroming.
- Door sectorale aanpak van de herinrichting van beekdalen is het huidige herstel van beekdalen en hun beken vaak suboptimaal voor natuurherstel.

2.4.2 Kennislacunes

- Er is weinig kwalitatief en kwantitatief inzicht in de terreinheterogeniteit en beheer die nodig zijn voor de fauna in beekdalen, en van de maatregelen die nodig zijn om de gewenste heterogeniteit te realiseren.
- Er is weinig kwalitatief en kwantitatief inzicht in de structuur en processen van natuurlijke beekpatronen in laaglandbeekdalen met een sterke verwevenheid van aquatische en terrestrische componenten omdat actuele referenties hiervan schaars zijn in West-Europa.
- De relatie tussen enerzijds structuren in het stroombed van beken die voor ecosystemen en fauna essentieel zijn en anderzijds regime van afvoer en stroomsnelheid.
- De interactie van fysische processen (erosie, sedimentatie, sedimenttransport) en biologische processen (bomen, takken, strooisel, waterplant- en moerasvegetatie) die structuurvormend zijn is veelal niet goed bekend. De (kwantitatieve) invloed van biologische processen en hoe die inwerken op fysische processen is een grote kennislacune in laaglandbeekdalen en ook in heuvellandbeekdalen.
- Effecten van uitgevoerde beekherstelprojecten op herstel van fysische en biologische structuren in het stroombed en ecologisch herstel van aquatisch-ecologische beektypen.
- De herstelmogelijkheden van natuurlijke lengte- en dwarsprofielen bij de huidige en toekomstige afvoerdynamiek. Afvoerdynamiek kan ook nog veranderen onder invloed van verandering van landgebruik, afwatering en klimaatsverandering.

2.4.3 Kennisvragen

Overkoepelende kennisvragen zijn:

8	Wat is de natuurlijke ruimtelijke structuur van verschillende beekdaltypen?	H	J/E/N
9	Wat is de natuurlijke morfologische structuur van verschillende aquatisch-ecologische beektypen?	H	J/E
10	Wat zijn de sleutelfactoren om tot herstel van natuurlijke ruimtelijke structuur van verschillende beekdaltypen te komen?	H	J
11	Wat zijn de sleutelfactoren om tot herstel van de natuurlijke morfologische structuur van verschillende aquatisch-ecologische beektypen te komen?	H	J(E)
12	Waar en hoe kunnen beekdalen met natuurlijke afvoerstelsels worden ontwikkeld waarbij een grote mate van verwevenheid ontstaat tussen de aquatische en terrestrische componenten?	H	J(E)
13	Waar en hoe kunnen structuurrijke beken worden ontwikkeld?	H	E(J)
14	Hoe kan in beekdalen terreinheterogeniteit worden bevorderd en in stand gehouden?	H	J/e

Legenda:

prioriteit H=hoog, M=matig, L=laag. OBN-onderzoek: J=uitvoering in OBN-programma, E=uitvoering in andere programma's, N=fundamenteel onderzoeksprogramma.

Zie ook vraag 2.

Zie voor detailvragen bijlage 1.



Foto 4: Omgevallen Populier in de Geul, een meanderende heuvelland beek in Zuid-Limburg. Bomen kunnen grote invloed uitoefenen op de morfologie van beken. Hier draagt het omvallen van bomen bij aan verbreding van het stroombed dat langdurig door oeverbescherming smal is geweest. Door het weghalen van oeverbescherming en het omvallen van bomen kan op termijn het lengteprofiel veranderen van meanderend naar vlechtend (foto Camiel Aggenbach).

2.4.4 Toelichting

Terrein heterogeniteit van beekdalen

Een belangrijk knelpunt in de huidige beekdalen in het laagland is het verlies van de oorspronkelijke verwevenheid van aquatische en terrestrische standplaatsen en het verlies van heterogeniteit in microreliëf en vegetatiestructuur. Tegenwoordig zijn veelal enkelvoudige beeklopen in beekdalen die ofwel gekanaliseerd/genormaliseerd zijn of een meanderend tot sinoïdaal verloop hebben. Vertakte en diffuse beekstelsels ontbreken nagenoeg. Het stroombed ligt vaak diep in de dalbodem waardoor flauwe oevers ontbreken. De ontwikkeling naar enkelvoudige, vrij diep ingesneden beeklopen in dalen en laagten is sterk bevorderd door menselijke ingrepen. Geïntensiveerde afwatering, ontwatering, beeknormalisatie en -kanalisatie hebben alle bijgedragen aan een diep, monotoon stroombed en verdroging van het beekdal, waardoor geleidelijke overgangen tussen de (semi-)aquatische en (semi-)terrestrische onderdelen zijn verdwenen. Ook zijn daardoor relaties tussen het aquatische en het terrestrische milieu doorgesneden die belangrijk zijn voor vele organismen. Deze vervlakking van de ruimtelijke structuur strekt zich uit op alle schaalniveaus (micro, meso en landschap). In de huidige situatie ontbreekt het vaak aan ruimte om gradiënten te kunnen ontwikkelen van de beekloop naar de omliggende graslanden, moerassen en beekbegeleidende bossen, of de kwaliteit van de beschikbare percelen is ontoereikend om dergelijke kwaliteiten te ontwikkelen. In terrestrische delen van beekdalen ontbreekt het ook vaak aan structuren die van belang zijn voor fauna (fijnschalige patronen in vegetatiestructuur, geleidelijke overgangen tussen korte en lage begroeiing, kleinschalig reliëf). Er is weinig kennis over welke type structuren cruciaal zijn voor en terrestrische macrofauna, en in welke dichtheid en op welke schaal zulke structuren moeten voorkomen. Er is weinig kwalitatief en kwantitatief inzicht in de structuur en processen van natuurlijke beekpatronen in laaglandbeekdalen omdat actuele referenties hiervan

schaars zijn in West-Europa. Aangenomen wordt dat vertakte en diffuse afvoerstelsels voor water van oorsprong veel voorkwamen in laaglandbeekdalen, maar een belangrijke kennislacune is het gebrek aan kennis van kwalitatieve en kwantitatieve aspecten van actuele en historische referentiesituaties. De oorspronkelijke variatie in ruimtelijke structuren was voor zowel beekdalfauna als -flora van groot belang. Ruimtelijke verschillen in stroomsnelheid, overstromings-/inundatiefrequentie/duur, sedimentatie/ erosie, substraat en de relatieve invloed van beek-, grond- en regenwater leidden tot een rijk geschakeerde beekgemeenschap. Organisch materiaal in de vorm van strooisel, takken en boomstammen versterkte deze ruimtelijke verschillen via damvorming, stromingsweerstand, oeverstabiliteit, variatie in substraat, maar een kwantificering ontbreekt. Het minimale ruimtebeslag van de verschillende aquatische diersoorten is onbekend. Zelfs van de eigenlijke beekvissen is nauwelijks bekend in hoeverre ze welke delen van het beeklandschappen gebruiken dan wel nodig hebben voor een duurzame sleutelpopulatie. Variatie in reliëf en structuur biedt voor veel diersoorten schuilplekken tijdens inundaties. Er bestaat een grote kennislacune in de eisen van diersoorten aan ruimtelijke structuren, structuurvariatie en de interactie daarvan met overstromings- en inundatiedynamiek.

Sturing van morfologie van beken

Eenmaal aanwezig en zonder mechanismen die leiden tot obstakels in de beekloop, zoals bijvoorbeeld boomstammen, houden enkelvoudige en diepe beeklopen lang stand mede door de veelal hoge afvoerdynamiek. Daarnaast worden beeklopen door onderhoud diep gehouden. Veel beekherstelprojecten richten zich vrijwel uitsluitend op het creëren van (stabiele) meanders in een enkelvoudige, diepe loop. Dit draagt onvoldoende bij aan ecologisch herstel van beken en beekdalen. De aanwezigheid van een lengteprofiel met meanders is op zich zelf weinig bepalend voor de ecologische waarde van een beek. Wel is de structuur van het stroombed en dynamiek daarvan van grote invloed op de ecologische kwaliteit. In meer natuurlijke beken wordt de structuur van het stroombed in belangrijke mate bepaald door biologische factoren (bomen, begroeiing, organisch materiaal) en niet alleen door fysische processen erosie, transport en sedimentatie processen die bij meanderende beken de morfologie bepalen. Deze fysische processen hebben vaak bij meanderende beken juist ook de overhand door intensief schoningsbeheer die de beek diep en open houdt. Bij beekherstel moet daarom vooral meer aandacht komen op de interactie van fysische processen en biologische processen die structuurvormend zijn. De interactie van die processen bepaalt dan welke lengte- en dwarsprofielen passen in meer natuurlijke beekdalen. De (kwantitatieve) invloed van biologische processen en hoe die inwerken op fysische processen is een grote kennislacune in laaglandbeekdalen en ook in heuvellandbeekdalen. Herstel van de oorspronkelijke rijk geschakeerde patronen van aquatisch en terrestrisch in het beekdal blijft meestal buiten beeld bij beekherstelprojecten en wordt ook belemmerd door ingrijpende veranderingen in het stroomgebied die van invloed zijn op het afvoerregime.

Herstelmogelijkheden

Niet overal is het mogelijk om natuurlijke beeksystemen te herstellen. Daarom is inzicht gewenst wáár de potenties het grootst zijn voor herstel van bepaald waardevol geachte beektypen, rekening houdend met de eigenschappen van het stroomgebied en de huidige en toekomstige afvoerdynamiek en waterkwaliteit. Uitgezocht moet worden waar en met welke herstel- en beheerstrategieën meer natuurlijke beekdalen met een grote verwevenheid van aquatische en terrestrische standplaatsen zijn te ontwikkelen. Dit vereist meer kennis van de belangrijke factoren en processen die de kwaliteit van zulke beekdalen bepalen. Zie hiervoor ook bij de thema's '*oppervlaktewaterstroming en inundatieregime*' (paragraaf 2.3) en '*oppervlaktewaterkwaliteit en doorwerking in aquatische en terrestrische ecosystemen*' (paragraaf 2.6).

2.5 Kwaliteit van grondwater en bodem

2.5.1 Knelpunten

- Ecosystemen in kwelgebieden van beekdalen worden vaak bedreigd en aangetast door eutrofiëring en vervuiling van het grondwater met nitraat en/of sulfaat. De belangrijkste oorzaak van de vervuiling is bemesting in het intrekgebied.
- Door ontwatering binnen en ook buiten beekdalen is kwel van basenhoudend grondwater verminderd of verdwenen en daardoor treedt verzuring. Dit leidt tot achteruitgang van basenminnende ecosystemen.
- Vernatting van voorheen bemeste en van voorheen verdroogde en met atmosferische zwavel belaste standplaatsen leidt tot mobilisatie van fosfaat en daarmee tot langdurig eutrofe omstandigheden.

2.5.2 Kennislacunes

- De huidige toestand en de toekomstige ontwikkeling van de Fe, SO₄, NO₃ en Ca-concentratie van grondwatersystemen die kwelgebieden voeden is ongewis en daarmee ook waar en tot welke niveaus bemesting van intrekgebieden moet worden teruggedrongen om eutrofiëring van kwelgebieden te voorkomen.
- Het optimale waterregime (mate van uitzakken, korte droog/nat-cycli) voor natte, voedselarme terrestrische ecosystemen zodat enerzijds fosfaat voldoende wordt geadsorbeerd en anderzijds niet te veel mineralisatie optreedt
- De wijze van herstel van (zeer) natte, voedselarme ecosystemen vanuit verdroogde standplaatsen waarin veel anorganisch fosfaat is geaccumuleerd.
- De relatieve invloed van vroegere zwaveldepositie en van vermist van grondwater op eutrofiëring door fosfaat en consequenties daarvan voor herstelbeheer.
- De herstelbaarheid van voedselarme terrestrische ecosystemen op voorheen zwaar bemeste landbouwgronden in relatie tot herstelmaatregelen.
- De rol van humusprofielontwikkeling en functioneel bodemleven op het herstel van voedselarme terrestrische ecosystemen.

2.5.3 Kennisvragen

Overkoepelende kennisvragen zijn:

15	Hoe kunnen kunstmatig verrijkte grondwatergevoede terrestrische en semi-aquatische ecosystemen hersteld worden?	H	J(E)
16	Hoe kunnen voedselarme terrestrische ecosystemen hersteld worden op bodems met (potentiële) interne eutrofiëring?	H	J
17	Hoe kunnen voedselarme terrestrische ecosystemen worden hersteld op voormalige landbouwgronden en in verdroogde natuurgebieden?	H	J
18	Hoe kan basenrijkdom van grondwater en bodem van terrestrische ecosystemen duurzaam worden hersteld?	H	J

Legenda:

prioriteit H=hoog, M=matig, L=laag. OBN-onderzoek: J=uitvoering in OBN-programma, E=uitvoering in andere programma's, N=fundamenteel onderzoeksprogramma.

Zie ook vraag 3, 22.

Zie voor detailvragen bijlage 1.

2.5.4 Toelichting

Eutrofiëring van kwelgebieden via grondwater

Een toenemend probleem is de eutrofiëring van kwelgebieden onder invloed van nitraat en sulfaat die worden aangevoerd via grondwaterstroming. Zoals aangegeven in paragraaf 4.4.2 kunnen deze stoffen direct (nitraat) of via redoxreacties (nitraat en sulfaat) aanleiding geven tot het vrijkomen van nutriënten. Daarnaast kan denitrificatie van nitraat leiden tot een verharding van het grondwater. In

oorsprongen en bovenlopen kan dit ook tot een onnatuurlijk hoge hardheid leiden wat onder andere een knelpunt is voor aquatische natuurwaarden die aan zacht water zijn gebonden. Het optreden van dit knelpunt hangt samen met de ouderdom van het toestromende grondwater. Van locale naar regionale grondwatersystemen zijn de infiltratiegebieden met de kwelzones verbonden op tijdschalen van één decennium, enkele decennia tot eeuwen. De sulfaat en nitraatproblematiek door overbemesting speelt sinds de 60-er jaren, wat betekent dat dit zich uit in grondwatersystemen met relatief korte verblijftijden. In systemen met een langere verblijftijd is de vervuiling nog onderweg. De chemische samenstelling van het grondwater wordt in belangrijke mate bepaald in het inzijggebied.

In kwelgebieden met een sterk organische bodem en een langdurig hoge grondwaterstand is er kans op fosfaatmobilisatie door sulfidevorming. Hier bepalen de verhoudingen tussen nitraat, ijzer en sulfaat in het toestromende grondwater waarschijnlijk in belangrijke mate het eutrofiërende effect op de standplaats.

Op het niveau van grondwaterstromingstelsels zijn de geohydrochemische basale processen, die zorgen voor denitrificatie, sulfaat- en ijzervorming en verharding, goed bekend door het onderzoek van de afgelopen drie decennia. Minder goed bekend zijn de verspreiding van organische stof en zwavelhoudende verbindingen (bijv. pyriet) en de reactiviteit van organisch stof in de ondergrond van grondwaterstromingstelsels die beekdalen voeden. Pyriet is in gereduceerde delen van grondwatersystemen vermoedelijk wijdverbreid. Inzicht hierin is belangrijk voor het ruimtelijke uitwerken van maatregelen in het intrekgebied en voor de afstemming in de tijd van herstelmaatregelen in het beekdal. Modellen die rekening houden met de effecten van het landgebruik en de chemische processen langs de stroombaan van grondwater zijn vergaand ontwikkeld maar zijn weinig toegepast in vraagstellingen ten aanzien van herstel voedselarme kwelmilieus in beekdal.

Om eutrofiëring via het grondwater tegen te gaan zijn in de eerste plaats maatregelen nodig in het inzijggebied. Omdat de positieve effecten van deze maatregelen pas na tientallen jaren te verwachten zijn is daarnaast ook behoefte aan effectgerichte maatregelen op terrein- en standplaatschaal.



Foto 5: In beekdalen met veel kwel komen bronnen en bronbeekjes voor. Hier een Elzenbronnetjesbos met Dotterbloem. Veel bronbossen eutrofiëren door vermesting van het toestromende grondwater wat tot aanvoer van nitraat- en/of sulfaatrijk grondwater (foto Camiel Aggenbach).

Herstel van zeer natte, voedselarme terrestrische ecosystemen

Verdroging leidt in voorheen natte systemen vaak tot eutrofiëring door de afbraak van organisch materiaal. Daarbij neemt de hoeveelheid anorganische fosfaat toe. Onduidelijk is in hoeverre dit bij vernatting leidt tot eutrofiëringproblemen als gevolg van mobilisatie van het anorganische fosfaat. Depositie van atmosferische zwavel heeft - vooral in het verleden - geleid tot accumulatie van ijzersulfide in natte gebieden met stagnatie van water in een anaërobe bodem. Dit kan leiden tot een verlaging van het ijzergehalte in het bodemwater en ijzerhydroxides in de bodem en daarmee de fosfaatbuffercapaciteit hebben aangetast. Zulke gebieden zijn daardoor gevoelig voor fosfaatmobilisatie bij aanvoer van sulfaatrijk -en ijzerarm grondwater.

Op zwaar bemeste landbouwgronden waar natuurontwikkeling plaatsvindt, vormt de hoge voedselrijkdom het grootste knelpunt. Daarom wordt vaak de meest met nutriënten verrijkte bodemlaag afgegraven, met als doel om de hoeveelheid beschikbaar fosfaat te verlagen. Zonder ontgronden is verschraling ook mogelijk. De vraag is daarom of ontgronden altijd nodig is en of het in sommige omstandigheden niet beter is te sturen op beperking door stikstof en/of kalium.

Zuurgraadbuffering en bodemontwikkeling

Bodemeigenschappen van de bovengrond zijn zeer bepalend voor de buffercapaciteit en daarmee voor de zuurbuffering van de standplaats. Bij hydrologisch herstel van beekdalen is daarom naast herstel van de toestroming van basenhoudend grondwater naar de wortelzone ook aandacht nodig voor het behoud van de buffercapaciteit van de bodem. Het plagen en afgraven van bodems kan deze buffer ernstig aantasten. Dit is waarschijnlijk geen probleem in (zeer) natte systemen met sterke kwel. In systemen met minder sterke kwel is zijn de perspectieven voor duurzaam herstel van een hoge basenverzadiging minder eenduidig. Vegetatie- en humusprofielontwikkeling hebben hier een grote invloed op de omvang van het kationenadsorptiecomplex en basenbezetting. Ook veranderingen in de bodemsamenstelling als gevolg van verdroging (ontijzing, vorming micropodzolprofielen) kunnen van invloed zijn op het herstel van gebufferde systemen.

Een andere factor die van invloed is op de zuurgraad is de aard van het strooisel. Bekend is dat boomsoorten met basenrijk strooisel in bossen voor een hoge basenverzadiging zorgen. Er is nog geen ervaring met het bevorderen van zulke boomsoorten om de basenverzadiging en CEC van de bodem te verhogen op verzuurde standplaatsen.

2.6 Oppervlaktewaterkwaliteit en doorwerking in aquatische en terrestrische ecosystemen

2.6.1 Knelpunten

- Belasting van oppervlaktewater met nutriënten door uitspoeling van meststoffen uit landbouwgebieden is hoog waardoor beken hoge nutriëntenconcentraties hebben. Vooral de nitraatbelasting zal zonder gewijzigd beleid hoog blijven. De hoge nutriëntenconcentraties kunnen de herstelbaarheid van bekecosystemen beperken.
- Belasting van oppervlaktewater met makkelijk afbreekbaar organisch materiaal door afspoeling van organische mest en lozingen door riooloverstorten.
- Overstroming met nutriëntenrijk beekwater leidt tot eutrofiëring van beekdalgronden en beperken daar het voorkomen van voedselarme ecosystemen.
- Overstroming met vervuild beekwater kan leiden tot toxische effecten op fauna.
- Toename van hardheid van het oppervlaktewater in bovenstroomse delen van beken door bemesting in het intrekgebied waardoor soorten en ecosystemen die gebonden zijn aan zwak gebufferde omstandigheden achteruitgaan.
- Effect van hoge nitraatconcentraties op gewenste plantensoorten in beken.

2.6.2 Kennislacunes

- De rol van nutriënten in beken is slecht bekend en grenswaarden zijn alleen op beschrijvende basis met data van de laatste decennia bepaald terwijl referenties van de niet of weinig vervuilde toestand veelal ontbreken.
- Effect van hoge gehalten aan nutriënten en makkelijk afbreekbaar organisch materiaal in het beekwater op de herstelbaarheid van bekecosystemen.
- Kwantificering van aard en type landgebruik, mate van ontwatering in relatie tot mate van eutrofiëring van, sedimentlast en -transport in beken ontbreken.
- Effect van de stofstromen en biochemische processen in het stroomgebied op de belasting van het beekdal met slib, nutriënten en antropogeen organisch materiaal.
- Invloed van overstroming op productiviteit van terrestrische vegetaties.
- Invloed van overstroming op vergiftiging van fauna.
- Interactie van biochemische processen als gevolg van kwel en overstroming en als gevolg van infiltratie en overstroming op voedselrijkdom van standplaatsen en productiviteit van de vegetatie.
- Operationaliseren van kennis over buffering van de zuurgraad door overstroming op beekdalschaal.
- Wijze waarop met aanpassing van waterbeheer en inrichting van beekdalen rekening kan worden gehouden met eutrofiëringseffecten en zuurgraadbuffering door overstroming.

2.6.3 Kennisvragen

Overkoepelende kennisvragen zijn:

19	Welke processen in het stroomgebied bepalen de nutriënten-, sulfaat- en sliblast van beken?	H	J/E
20	Hoe werken nutriënten- en sliblast in beekwater door op bekecosystemen?	H	J/E/N
20A	Hoe werken nutriënten-, sulfaat- en sliblast in beekwater door op overstroomde terrestrische ecosystemen?	H	J/E/N
21	Welke processen bepalen de basenrijkdom van overstroomde vochtig tot natte terrestrische ecosystemen?	M	J
21A	Welke stoffen vormen bij overstroming een risico voor toxische effecten op soorten die afhankelijk zijn van beekdalen?	M	E/N

Legenda:

prioriteit H=hoog, M=matig, L=laag. OBN-onderzoek: J=uitvoering in OBN-programma, E=uitvoering in andere programma's, N=fundamenteel onderzoeksprogramma.

Zie ook vraag 33.

Zie voor detailvragen bijlage 1.

2.6.4 Toelichting

Belasting en transport van nutriënten en slib in oppervlaktewaterstelsels

Op stroomgebiedschaal heeft uitspoeling en afspoeling van meststoffen, aanvoer van mineraal slib (erosie) en organische stof (TOC) naar het oppervlaktewaterstelsel grote invloed op de voedselrijkdom, sliblast en TOC-waarden van beken.

Kwantificering van aard en type landgebruik, mate van af- en ontwatering in relatie tot mate van aanvoer van nutriënten en sediment ontbreken. Zulke relaties dienen op stroomgebiedschaal bekeken te worden. Uitspoeling, afspoeling, transport en aanvoer heeft uiteraard een sterke relatie met het afvoerregime. Inzicht in het verloop van deze processen bij verschillende afvoeren en piekafvoeren is slecht bekend. In beekdalen worden vaak de gehalten aan opgeloste nutriënten in het oppervlaktewaterstelsel gemeten en niet de hoeveelheid nutriënten die gebonden zijn aan het slib. Daardoor is de nutriëntenlast vaak niet goed bekend. Ook is weinig inzicht in de biogeochemische en geofysische (water repellency, oppervlakteafvoer,

erosie) processen die optreden op stroomgebiedschaal. Zulke processen zijn van invloed op het eutrofiërende effect in verschillende beekdaltrajecten.

Effecten van eutrofiëring op beeecosystemen

Er is veel verwarring en tegenstrijdigheid in de beperkte kennis over eutrofiëring in stromende wateren. Door het stromende karakter van beken zijn lage nutriëntconcentraties al voldoende om te zorgen voor een hoge flux van P en N. Aangevoerde nutriënten hebben vooral effect op primaire producenten en kunnen ook doorwerken in de fauna. Beken zijn momenteel ofwel arm aan macrofyten en rijk aan algen of bevatten alleen eutrafente algen en macrofyten. Beken met een begroeiing van mesotrafente tot zwak eutrafente macrofyten zijn zeer schaars en de relatie hiervan met nutriëntenconcentraties en -fluxen is weinig onderzocht. Vele beken en andere oppervlaktewateren in beekdalen zijn sterk vervuild met nitraat. Tot nu toe is er vooral onderzoek gedaan naar de mogelijk schadelijke effecten van ammonium op waterplanten. De kennis dat hoge nitraatconcentraties de groei van waterplanten nadelig kunnen beïnvloeden is nieuw. Hierbij is het vooral van belang te onderzoeken welke plantensoorten nadelig beïnvloed worden.

Effecten van overstroming en bevoeiing op terrestrische ecosystemen

Belangrijke kennishiaten op het gebied van overstroming/ bevoeiing en (semi)terrestrische natuur betreffen de invloed op de overstromingsafhankelijke en inundatiegevoelige ecosystemen en soorten en op de productiviteit vegetaties en de vergiftiging van fauna. Daardoor is ook nauwelijks bekend hoe met inrichting en waterbeheer rekening kan worden gehouden met deze invloeden. De kwantitatieve aspecten van overstroming worden behandeld onder het thema '*Oppervlaktewaterstroming en inundatieregime*' (paragraaf 2.3) en zijn nauw verweven met de chemische aspecten. Waarschijnlijk is de aanvoer van slib en organische stof in beekdalen het meest bepalend voor de productiviteit, maar is er weinig experimenteel vergelijkend onderzoek verricht naar relatie slib-nutriënten-productiviteit (snelheid vrijkomen nutriënten, verhoudingen N-P-K etc). Ook is onduidelijk hoe groot de invloed is van nutriënten in opgeloste vorm. Risico's van overstroming met oppervlaktewater rijk aan opgeloste nutriënten en arm aan slib zijn wellicht minder groot dan wordt verondersteld. De bijdrage van minerale stikstof (vaak hoog in winter en voorjaar) zou wel een belangrijke factor in de stikstofeutrofiëring kunnen zijn. Daarnaast is onduidelijk hoe groot de invloed van sulfaat in het overstromingswater is op het vrijkomen nutriënten uit terrestrische bodems. Bij langdurige inundatie kan veel fosfaat vrijkomen uit voormalige landbouwgronden en uit nooit bemeste bodems met een hoge anorganische fosfaatfractie; dit kan negatieve invloed hebben op de voedselrijkdom van zulke locaties zelf (interne eutrofiëring) en ook op kwaliteit van het oppervlaktewater (bij terugvloeiing van overstromingswater naar de beek).

De effecten van eutrofiëring door overstroming kunnen verschillen tussen situaties met en zonder kwel. Algemeen wordt door ecologen aangenomen dat op plekken met kwel overstroming niet of minder eutrofiërend werkt omdat voedselrijk water niet kan doordringen in de bodem. Hoewel er vanuit het veld aanwijzingen zijn dat overstroomde kwelplekken minder productief zijn, is onduidelijk welke mechanismen daaraan ten grondslag liggen. Vergelijkend onderzoek in hooilanden laat zien dat soortenrijke matig productieve hooilanden kunnen voorkomen bij overstroming met voedselrijk slibrijk oppervlaktewater. De vraag is of dit ook geldt bij broekbossen en (semi)aquatische locaties met sedimentatie waar door het ontbreken van afvoerbeheer en gereduceerde omstandigheden in de bodem het risico op eutrofiëring waarschijnlijk groter is.

Van oudsher was basenbuffering van terrestrische ecosystemen door overstroming en bevoeiing met beek- en ander oppervlaktewater belangrijk. Door sterke regulatie van beken en ontwatering is overstroming uit veel beekdalen verdwenen en bevoeiing is met de veranderingen in de landbouw aan het eind van de 19e eeuw verdwenen. Het is aangetoond dat de aanvoer van beekwater met ijzerrijk slib een gunstig effect kan hebben op de buffering van de zuurgraad. Onderzoek heeft verder uitgewezen dat aanvoer van ijzerrijk beekwater (ijzer gebonden aan organische deeltjes) kan

bijdragen aan een lage fosfaatbeschikbaarheid. De extrapolatie van zulke waargenomen processen naar beekdalschaal moet nog gebeuren.

2.7 Ecologische betekenis van soorten

2.7.1 Knelpunten

- Sterke verandering van de bodemfauna in verzuurde terrestrische ecosystemen en in sterk vermeste ecosystemen kan immobilisatie van nutriënten belemmeren en het voorkomen van plantensoorten van voedselarme ecosystemen belemmeren.
- Bij beekherstel wordt niet of nauwelijks gebruik gemaakt van biotische interacties en sleutelsoorten die sterk bepalend zijn voor de toestand van beekecosystemen.
- Exoten nemen in beekecosystemen toe en kunnen bestaande ecologisch waardevolle beken aantasten en herstel van meer natuurlijke beken belemmeren.
- Bij beekherstel en herstel van connectiviteit in beken wordt geen rekening gehouden met de verspreiding van exoten en invasieve soorten die grote invloed kunnen hebben op inheemse soorten en het functioneren van beekecosystemen.

2.7.2 Kennislacunes

- De rol van de ontwikkeling van het humusprofielen en de bodemfauna op de herstelbaarheid van vochtige tot matig natte terrestrische ecosystemen op verdroogde en verzuurde standplaatsen en voorheen zwaar bemeste landbouwgronden in relatie tot herstelmaatregelen.
- De kennis van biotische interacties en sleutelsoorten in beken is zeer gering terwijl deze interacties grote invloed op het functioneren en de kwaliteit van beekecosystemen uitoefenen.
- De invloed van exoten en invasieve soorten op het functioneren en de kwaliteit van beekecosystemen.
- De factoren die in beken van invloed zijn op het succes van invasieve exoten die een grote invloed hebben op het functioneren van beekecosystemen en met welke maatregelen uitbreiding van zulke exoten kan worden tegengegaan.

2.7.3 Kennisvragen

Overkoepelende kennisvragen zijn:

22	Hoe kunnen voedselarme terrestrische ecosystemen, hun humusprofielontwikkeling en bodemleven duurzaam worden hersteld?	H	J/E(N)
23	Welke sleutelsoorten kunnen ingezet worden bij herstel en ontwikkeling van beekdalen en beken?	H	J/E(N)
24	In hoeverre zijn invasieve soorten een knelpunt voor inheemse biodiversiteit en het functioneren van beekecosystemen?	H	J/E/N
25	Hoe kan bij beekdalherstel omgegaan worden met exoten en invasieve soorten?	H/M	J/E

Legenda:

prioriteit H=hoog, M=matig, L=laag. OBN-onderzoek: J=uitvoering in OBN-programma, E=uitvoering in andere programma's, N=fundamenteel onderzoeksprogramma.

Zie ook vraag 17.

Zie voor detailvragen bijlage 1.

2.7.4 Toelichting

Rol van bodemleven en humusprofiel bij herstel van voedselarme terrestrische ecosystemen

Een aandachtspunt bij het herstel van voedselarme terrestrische ecosystemen vormt de samenstelling van het bodemleven. Dit speelt vooral bij natuurontwikkeling op

voormalige landbouwgronden die t.a.v. van nooit ontgonnen terreinen een sterk veranderde samenstelling van bodemorganismen hebben. Maar in natuurgebieden hebben ook milieufactoren als verzuring en verdroging geleid tot verschuivingen in het bodemleven. De vraag is of dit geen belemmering vormt voor het beoogde natuurherstel, omdat micro-organismen (bacteriën, schimmels, protozoa, nematoden) direct en indirect van grote invloed zijn op de plantengroei en de bodemmacrofauna (o.a. mijten, wormen). Tot nu toe is hieraan weinig aandacht besteed, zodat niet duidelijk is in hoeverre herstel van bodemleven optreedt, waar de knelpunten liggen in zulk herstel en met welke praktische maatregelen knelpunten kunnen worden weggenomen. Dergelijke inzichten kunnen een belangrijke rol spelen bij de beoordeling van de effectiviteit van herstelmaatregelen. Het is immers denkbaar dat abiotische condities op orde zijn, terwijl het bodemleven zich nog niet heeft hersteld.

Interacties tussen soorten in beken

De kennis van biotische interacties en functionele sleutelsoorten in Nederlandse laaglandbeken is zeer gering. Voor de hand liggende relaties als vis-macrofauna interacties zijn onbekend terwijl deze grote invloed op het functioneren en de natuurwaarde bepaling van beken uitoefenen. Herstel van beeksystemen zonder kennis van dergelijke relaties leidt tot foute interpretaties over maatregelen en beoordeling van effecten. Ook kan kennis over sleutelsoorten met een grote invloed op het functioneren van beekecosystemen kunnen worden aangewend voor het ontwikkelen van effectieve herstelmaatregelen. Ingrijpen op het niveau van sleutelsoorten kan van grote invloed zijn op het herstelvermogen van beekecosystemen. Sleutelsoorten kunnen ook zorgen voor het optreden van alternatieve, stabiele toestanden in beekecosystemen.

Exoten en invasieve soorten in beken

Exoten en invasieve soorten kunnen bestaande ecologisch waardevolle beken aantasten en herstel van meer natuurlijke beken belemmeren. Verbreiding van exoten zal inwerken op de concurrentiepositie van inheemse soorten. Invasieve soorten kunnen ook grote effecten hebben op het functioneren van beekecosystemen. Deze effecten van exoten en invasieve soorten zijn grotendeels onbekend. Er is ook een grote kennislacune met betrekking tot factoren die het succes van exoten in beken bepalen. Bekend is dat zowel kenmerken van de soort (die samen zijn levensstrategie vormen) als de eigenschappen van zijn nieuwe habitat (bijvoorbeeld de soortdiversiteit en de mate van verstoring ervan) bepalen of een exoot zich invasief gaat gedragen. Kennis over levensstrategieën van inheemse en uitheemse aquatische soorten en de effecten van exoten en invasieve soorten op het functioneren van beekecosystemen is dringend gewenst, wegens de snelle toename in het aantal exoten in beken en het gelijktijdig streven naar meer natuurlijke beken. Typering van soorten naar levensstrategieën en functionele kenmerken is daarbij een veelbelovende aanpak. Deze kennis kan worden gebruikt voor het inperken van invasieve uitheemse soorten met effectieve maatregelen.

2.8 Ecologische eisen van soorten

2.8.1 Knelpunten

- Veel macro- en visfauna in beekdalen is bedreigd.
- Maatregelen en het beheer in beekdalen is nauwelijks afgestemd op het voorkomen en de eisen van macro- en visfauna.
- Overstromings- en inundatiegevoelige dier- en plantensoorten kunnen in structuurarme en reliëfarme beekdalen achteruitgaan bij toename of herstel overstroming/ inundatie.
- De grote onzekerheid over de invloed van overstroming en inundatie in beekdalen op fauna en flora.
- Hoge nitraatconcentraties kunnen het voorkomen plantensoorten in beken belemmeren.

- Overstroming met vervuild beekwater kan leiden tot toxische effecten op fauna.
- De schaalvergroting naar beheer van uitgestrekte natuurgebieden geeft dilemma's tussen lokaal aangepast beheer waarbij plant en diersoorten hun levenscyclus kunnen voltooien en kosten efficiënt uniform beheer.



Foto 6: Beek met een bedding van grond en zand waarin ook veel bladstrooisel aanwezig is. De aanwezigheid van organische structuren is voor beekfauna belangrijk (foto Camiel Aggenbach).

2.8.2 Kennislacunes

- Mate van bedreiging van diersoorten (met name evertibraten) in beekdalen.
- Habitatieisen van fauna en uitwerking van fauna in beekdalen naar levensstrategieën en functionele groepen zijn weinig voorhanden evenals consequenties daarvan voor inrichting en beheer.
- Eisen van diersoorten aan terreinheterogeniteit voor het voltooien van hun levenscyclus en hoe beheer daarmee rekening kan houden.
- De eisen van diersoorten aan ruimtelijke structuren, structuurvariatie en de interactie daarvan met overstromings- en inundatiedynamiek zijn vaak niet bekend.
- Het minimale ruimtebeslag voor een duurzame populatie van de diverse aquatische diersoorten is onbekend.
- De herstelbaarheid van beekecosystemen in relatie tot de functionele kenmerken van soorten en hun biotische interacties.
- De respons van de functioneel belangrijke groepen van soorten in beken op afvoerdynamiek is weinig bekend.
- Invloed van overstroming op het voorkomen van terrestrische fauna is onbekend.
- De eisen van diersoorten aan afvoer-, overstromings- en inundatiedynamiek en de interactie daarvan met ruimtelijke structuren en reliëf.
- De eisen van terrestrische soorten en ecosystemen aan overstromingsregime in relatie tot de kwaliteit van het oppervlaktewater (nutriënten, toxische stoffen).
- Het effect van morfologie en structuurvariatie op de inundatietolerantie van diersoorten.
- Invloed van overstroming op vergiftiging van fauna.

2.8.3 Kennisvragen

Overkoepelende kennisvragen zijn:

26	Voor welke diersoorten zijn beekdalen belangrijk en welke eisen stellen die soorten ?	H(L)	J/E/N
27	Hoe kunnen populaties van bedreigde soorten en soortgroepen duurzaam hersteld worden?	H	J/E

Legenda:

prioriteit H=hoog, M=matig, L=laag. OBN-onderzoek: J=uitvoering in OBN-programma, E=uitvoering in andere programma's, N=fundamenteel onderzoeksprogramma.

Zie ook vraag 4, 6, 13, 14, 17, 19.

Zie voor detailvragen bijlage 1.

2.8.4 Toelichting

Diersoorten waarvoor beekdalen belangrijk zijn

Uit analyse van fauna in beekdalen ((paragraaf 5.3) blijkt dat in hoge mate onbekend is voor welke macrofauna beekdalen belangrijk zijn. Dit geldt vooral voor terrestrische macrofauna. Hierdoor is het op dit moment moeilijk om maatregelen en beheer integraal af te stemmen op fauna. Van belang is daarom om te weten voor welke macrofauna beekdalen belangrijk is, welke daarvan bedreigd zijn en tot welke soortgroepen op basis van levensstrategie en functionele kenmerken deze soorten behoren. Deze kennis kan dan worden aangewend voor een doordachte leefgebiedenbenadering in beekdalen.

Ecologische eisen van soorten

Voor de uitwerking van maatregelen die ingrijpen op de waterstandsdynamiek, afvoer-, stromings- en overstromingdynamiek, terreinheterogeniteit, morfologie van beken en kwaliteit van grondwater, bodem en oppervlaktewater is het nodig meer kennis te hebben van eisen van dier- en plantensoorten. De grootste kennislacunes zitten op het terrein van macrofauna en vissoorten. Voor een kleiner deel is er sprake van kennislacunes over de eisen van plantensoorten. Voor fauna zijn ook de eisen aan de minimale omvang van een terrein voor deel- en metapopulaties van belang. Voor koudwatersoorten ligt er ook een vraag ten aanzien van drempelwaarde voor de watertemperatuur in verband met de temperatuursstijging door klimaatsverandering.

2.9 Dispersie van soorten

2.9.1 Knelpunten

- Door vermindering van overstroming in beekdalen treedt minder dispersie van soorten op. Veel soorten zijn voor hun dispersie afhankelijk van overstroming.
- Vestiging van beekfauna na uitvoering van beekherstelprojecten wordt belemmerd door een gebrekkige dispersie.
- Vestiging van flora na uitvoering van herstelprojecten wordt vaak belemmerd door een gebrekkige dispersie of het ontbreken in de zaadbank.
- Veel karakteristieke flora en fauna zal zich in herstelde beekdalen niet spontaan hervestigen.
- Het ontbreken van dispersiemogelijkheden van monding tot bron door barrières in de waterloop.
- Het ontbreken van dispersiemogelijkheden dwars door het beekdal door middel van bijv. vrije looproutes voor zoogdieren.

2.9.2 Kennislacunes

- Dispersiemogelijkheden van zowel inheemse als invasieve dier- en plantensoorten zijn vaak niet bekend.

- Over de invloed van de afstand tot deelpopulaties van een soort op vestiging op een herstellocatie is voor dieren nog niets bekend terwijl het mogelijk in veel gevallen bepalend is voor het succes van herstel.
- Voor planten zijn de afstanden tussen bronpopulaties en herstellocaties vaak te groot om te overbruggen. Hoe en waar geschikte “stepping stones” in het landschap kunnen worden gemaakt is nog onduidelijk.
- Voor veel dier- en plantensoorten is een minimale dichtheid van vitale populaties in het landschap noodzakelijk om een duurzame metapopulatie te vormen. Wat dit betekent in termen van inrichting en beheer van beekdallandschappen is nog onduidelijk.

2.9.3 Kennisvragen

Overkoepelende kennisvragen zijn:

28	Wat zijn effecten van herstel van laterale en longitudinale connectiviteit in beekdalen via oppervlaktewater?	H(M)	J/E/N
29	Welke soorten kunnen zich in beekdalen alleen of vrijwel alleen hervestigen door middel van herintroductie?	H	J/E
30	In combinatie met welke herstelmaatregelen is herintroductie van soorten succesvol?	H	J/E
31	Welke landschappelijke configuratie van biotopen leidt tot duurzame populaties van bedreigde dier- en plantensoorten en van te (her)introduceren soorten?	H	E/N

Legenda:

prioriteit H=hoog, M=matig, L=laag. OBN-onderzoek: J=uitvoering in OBN-programma, E=uitvoering in andere programma's, N=fundamenteel onderzoeksprogramma.

Zie voor detailvragen bijlage 1.

2.9.4 Toelichting

Dispersie van terrestrische soorten

Veel terrestrische soorten waren voor hun verbreiding ook afhankelijk van overstroming met oppervlaktewater. Onduidelijk is hoe herstel van overstroming bijdraagt tot de verspreiding van soorten in transversale en longitudinale richting van het beekdal.

Dispersie van beeksoorten

De laatste decennia zijn veel beekherstelprojecten uitgevoerd. Het gaat hierbij om een groot aantal verschillende maatregelen. In een deel van de beekherstelprojecten trad ook daadwerkelijk herstel op van de natuurlijke omstandigheden in het water: een goede waterkwaliteit en de aanwezigheid van de juiste habitats voor het voorkomen van indicator- en doelsoorten die horen bij het betreffende referentiebeeld. Toch blijkt in een deel van de gevallen dat de gewenste soorten niet of slechts voor een deel terugkeren, ondanks het feit dat aan de abiotische randvoorwaarden is voldaan. De oorzaak hiervan ligt waarschijnlijk in de mogelijkheden die de soorten hebben om de afstand van de dichtstbijzijnde populatie naar het herstelde oppervlaktewater te overbruggen. Over de invloed van de afstand tussen deelpopulaties en de dispersiemogelijkheden van soort en voor beekorganismen nog niets bekend.

Versnippering

Landgebruik en milieudruk leiden tot een afname van geschikte habitats en tot versnippering van habitats. Dispersie van soorten wordt hierdoor bemoeilijkt. Herkolonisatie van herstelde beken kan decennia lang duren tenzij de oorspronkelijke aquatische fauna kunstmatig wordt geherintroduceerd. Als een diersoort niet voorkomt in het stroomgebied van de herstelde beek is herkolonisatie door vrouwtjes van elders noodzakelijk. De dispersiecapaciteit van soorten is dan belangrijk. Deze hangt bijvoorbeeld af van gedrag en vliegkracht maar ook van fysische factoren zoals de afstand tussen de beken/stroomgebieden en het weer. Van groot belang is de

dispersierange, de afstand die een soort normaliter aflegt vanaf de habitat van herkomst. De benodigde kennis hiervoor ontbreekt vooralsnog.

Dispersie en exoten

Exoten en invasieve soorten breiden zich in beken uit. Meer kennis over de dispersiemogelijkheden van exoten en invasieve soorten is gewenst wegens de mogelijke grote effecten op de soortendiversiteit in en de effecten op het functioneren van bekecosystemen. Deze kennis kan worden aangewend om te bepalen in hoeverre en wanneer maatregelen die dispersie van beeksoorten bevorderen moeten worden genomen. Zie verder voor exoten en invasieve soorten bij het thema *‘Ecologische betekenis van soorten’* (paragraaf 2.7).

2.10 Klimaatverandering

2.10.1 Knelpunten

- In beken kunnen koudwater-soorten achteruitgaan door opwarming als gevolg van klimaatverandering.
- Terrestrische grondwaterafhankelijke ecosystemen in beekdalén kunnen sterk beïnvloed worden door de effecten van klimaatverandering op de waterhuishouding waarbij diepe grondwaterstanden dieper en langduriger kunnen wegzakken. De effecten kunnen al opgetreden verdrogingseffecten versterken.

2.10.2 Kennislacunes

- De gevolgen van het verdwijnen van aquatische koudwater-soorten door klimaatverandering voor het bekecosystem is onbekend en in hoeverre inrichting en beheer deze effecten kan mitigeren.
- De effecten van veranderingen in neerslag- en verdampingspatroon op de dynamiek van grondwaterstanden.
- De reactie van ecosystemen op de nieuwe hydrologische situatie en hoe de verdampingseigenschappen van de vegetatie veranderen onder invloed van klimaatverandering is grotendeels onbekend.
- Hydrologische effecten van klimaatverandering en door werking daarvan op grondwaterafhankelijke terrestrische ecosystemen.
- De herstelmogelijkheden van natuurlijke lengteprofielen bij toekomstige afvoerdynamiek onder invloed van een verandering in het neerslag-verdampingspatroon. Afvoerdynamiek kan ook nog veranderen onder invloed van verandering van landgebruik, afwatering en klimaatverandering.

2.10.3 Kennisvragen

Overkoepelende kennisvragen zijn:

31	Welke temperatuurseffecten heeft klimaatsverandering op bekecosystemen?	L	N
32	Welke hydrologische effecten heeft klimaatsverandering op grondwaterafhankelijke terrestrische ecosystemen en wanneer veranderen deze ecosystemen?	L/H	E/J/N
33	Welke hydrologische effecten heeft klimaatsverandering op bekecosystemen en andere oppervlaktewateren in het beekdal en wanneer veranderen deze ecosystemen?	L	E/J

Legenda:

prioriteit H=hoog, M=matig, L=laag. OBN-onderzoek: J=uitvoering in OBN-programma, E=uitvoering in andere programma's, N=fundamenteel onderzoeksprogramma.

Zie voor detailvragen bijlage 1.

2.10.4 Toelichting

Effecten van klimaatverandering op temperatuur

Temperatuur is één van de meest storende factoren in biologische systemen. Verschillende klimaatsmodellen voorspellen een verhoging van de gemiddelde temperatuur van 1,5 tot 4,5°C. Een verschuiving van het temperatuursregime kan grote gevolgen hebben voor de beekgemeenschappen. Het areaal van veel soorten is afhankelijk van het temperatuurregime. De temperatuur is direct van invloed op de groei, fysiologie, levenscyclus en het gedrag van soorten. Vooral de koudwaterminnende diersoorten in beken zullen bij temperatuurverhoging in de knel komen. De gevolgen van het verdwijnen van deze soorten voor het bekecosysteem is vooralsnog onbekend. Om verantwoord beheer of herstel van oppervlaktewateren in de toekomst te waarborgen zal in ieder geval rekening gehouden moeten worden met de toekomstige temperatuurverhoging. Een mogelijke maatregel om temperatuurverhoging van beekwater te beperken is het bevorderen van beschaduwing van beken.

Effecten van klimaatverandering op waterhuishouding

Effecten van klimaatsverandering kunnen sterk doorwerken in de waterhuishouding van beekdalen. Daarbij worden waterstandsdynamiek, kwel/infiltratiepatroon en afvoerdynamiek beïnvloed. De mate waarin is onbekend door onzekerheid in de vraag of de jaarlijkse neerslag toe- of afneemt en de grote bandbreedte in voorspelde klimaatsverandering (neerslagverdeling, verdamping). Ook kan de doorwerking op het grondwaterregime, kwel/infiltratiepatroon en afvoerregime sterk variëren afhankelijk van geohydrologische karakteristieken. Ook is nog veel onbekend over de reactie van ecosystemen op de nieuwe hydrologische situatie en hoe de verdampingseigenschappen van de vegetatie veranderd onder invloed van klimaatsverandering. Gemeten trends in verandering van het klimaat van ca. de afgelopen eeuw zijn niet op hun effecten op beekdalnatuur geëvalueerd in kwantitatief en kwalitatief opzicht. Terwijl de effecten van de nog komende klimaatsverandering erg onzeker zijn, zou uit de al opgetreden veranderingen waardevolle kennis afgeleid kunnen worden. Mogelijk zitten in de opgetreden veranderingen ook regionale verschillen door de ligging van Nederland in een klimatologische gradiënt (van Atlantisch naar continentaal). Onduidelijk is hoe afvoerregimes van beken gaan veranderen en wat de gevolgen daarvan zijn op bekecosystemen. Ook is onduidelijk hoe diverse typen grondwaterafhankelijke ecosystemen reageren op een sterker en fluctuerende grondwaterstand als gevolg van nattere winters, zomers met een grilliger neerslagpatroon (vaker droge perioden en vaker neerslagpieken). Daarbij zou een 'nieuw' klimaat met een ander hydrologisch en temperatuurregime ook nieuwe natuurtypen kunnen opleveren.

Op dit moment worden veel studies verricht naar mogelijkheden voor aanpassing van het waterbeheer op de gevolgen van klimaatverandering voor de waterbeheersing. Dit vindt vooral plaats uit het oogpunt van veiligheid (voorkomen wateroverlast) en leidt ook in het kader van WB21 tot grote aanpassing van de waterhuishouding in beekdalen (o.a. waterberging, aanpassen beekprofielen). Onderzoek voor aanpassing van de waterhuishouding ten behoeve van grond- en oppervlaktewaterafhankelijke natuur vindt nauwelijks plaats. De effecten van veranderingen in de waterhuishouding van afgelopen eeuw zijn bovendien vermoedelijk veel groter zijn geweest dan de effecten van komende klimaatverandering. Aanpassing van de waterhuishouding zou daarom negatieve effecten van klimaatverandering op ecosystemen kunnen compenseren. Zulk onderzoek zou zich dan kunnen richten op de kritische factoren voor belangrijke natuurtypen en aangeven in hoeverre die met aanpassing in het waterbeheer en grondgebruik zijn te beïnvloeden. Daarnaast moet ook geanalyseerd worden wat de consequenties zijn voor de inrichting van beekdalen op stroomgebiedschaal. Dit geldt vooral voor de dynamiek van grondwaterstanden, afvoerdynamiek en het waarborgen van voldoende grondwateraanvulling.

2.11 Onderzoeksstrategie

De hoofdvragen en kennisvragen bestrijken een dusdanig breed werkveld dat aanpak van de urgente vragen niet mogelijk is binnen het onderzoeksbudget van OBN. Daarnaast zal een aanzienlijk deel de kennisvragen ook behandeld worden of kunnen worden in andere onderzoeksprogramma's. Bij de kennisvragen is aangegeven welke onderzoeksvragen binnen het OBN-programma passen en welke al dan niet in combinatie met andere onderzoeksprogramma's moeten plaatsvinden. Bepaalde vragen zijn van dien aard dat ze het beste in programma's voor fundamenteel of onderbouwend onderzoek kunnen worden ondergebracht. Bij een verdere uitwerking van de onderzoekagenda van het DT Beekdallandschap dient aansluiting en samenwerking gezocht te worden met andere - vooral toepassingsgerichte - onderzoeksprogramma's. Programma's op het terrein van waterbeheer, natuur en klimaat lenen zich hiervoor. Belangrijk is dan wel dat het deskundigenteam zorg blijft dragen het vertalen onderzoeksresultaten binnen de context van natuurherstel in beekdalen. Wanneer het DT Beekdallandschap haar onderzoeksprioriteiten heeft vastgesteld dienen de mogelijkheden en samenwerking met andere onderzoeksprogramma's verkend te worden. Omdat veel onderzoeksthema's gerelateerd zijn aan processen op stroomgebiedschaal is ook participatie van waterbeheerders in het onderzoek nodig.

Aangezien veel kennisvragen gerelateerd zijn aan processen op landschapsschaal wordt aanbevolen onderzoeksprojecten te concentreren in één of enkele grote beekdalgebieden waar veel basisinformatie van beschikbaar is. Het is goed mogelijk om verschillende deelonderzoeken goed op elkaar af te stemmen.

2.12 Afstemming met onderzoeksagenda van andere deskundigenteams

Afstemming van de onderzoeksagenda van het DT Beekdallandschap zal plaats moeten vinden met de deskundigenteams van aanpalende landschapstypen (Heuvelland, Nat en Droog zandlandschap, Rivierenlandschap). De uitgewerkte kennisvragen hebben allereerst een grote relevantie voor het Heuvellandschap. Het preadvies beekdalen heuvelland (Schaminée et al. 2008) is daarom afgestemd op de inhoud van dit preadvies. Afstemming met het Nat en Droog zandlandschap en Rivierenlandschap heeft nog niet kunnen plaatsvinden en zal moeten plaatsvinden bij een verdere uitwerking van de onderzoeksagenda's van het DT Beekdallandschap. Geadviseerd wordt dat het DT Beekdallandschap het daadwerkelijke programma van onderzoeksprojecten afstemt met dat van de andere deskundigenteams (Heuvelland, Nat en Droog zandlandschap, Rivierenlandschap).

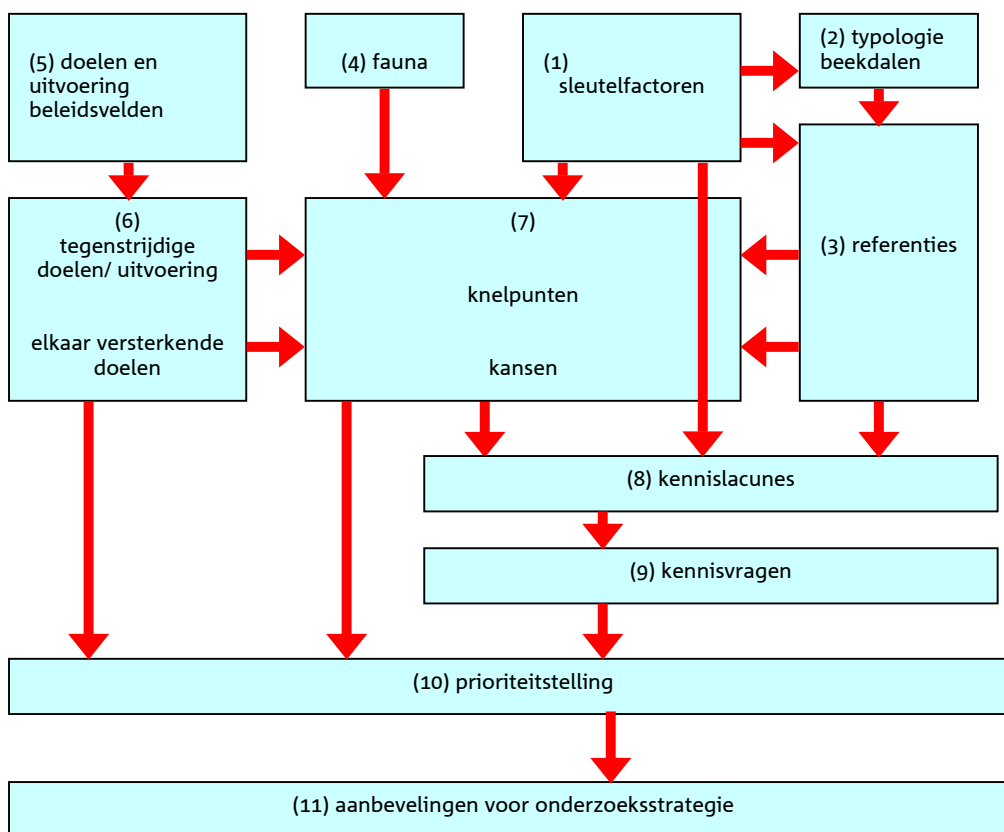
Deel 2

Achtergronddocumentatie

3 Aanpak en reikwijdte van preadvies

3.1 Aanpak preadvies

Dit preadvies doorloopt een aantal stappen (figuur 1). De eerste belangrijke stap is het identificeren en beschrijven van de sleutelfactoren (1) die van belang zijn voor natuur in beekdalen. Bij de analyse van deze factoren wordt duidelijk waar het inzicht in factoren goed bekend is en over welke factoren nog onduidelijkheid bestaat. Tegelijk is ook een typologie voor beekdalen opgesteld (2) met het doel de grote variatie in beekdalen te duiden en hierin de relatie te leggen naar processen, ecosysteemttypen en mogelijke herstelmaatregelen in de waterhuishouding. Deze typologie dient ook als natuurreferentie voor beekdalen (3) maar heeft hierin wel zijn beperkingen. Op basis van de analyse van sleutelfactoren is daarom aangegeven waar een aanvulling van referenties nodig is (8). De fauna is eerst apart bekeken met het doel hiervoor sleutelfactoren af te leiden. Daarnaast is de herstelopgave vanuit het natuurbeleid geconfronteerd met ontwikkelingen op andere belangrijke beleidsvelden in beekdalen waaronder het waterbeheer en de landbouw (5). Deze analyse geeft inzicht in tegenstrijdigheden tussen en overeenkomsten in beleidsdoelen en de uitvoeringspraktijken van zulke beleidsvelden (6). Samen met de andere stappen leidt dat tot inzicht in de knelpunten en kansen voor natuurherstel in beekdalen (7). De fauna is eerst apart bekeken met het doel hiervoor sleutelfactoren af te leiden. Daarnaast is de herstelopgave vanuit het natuurbeleid geconfronteerd met ontwikkelingen op andere belangrijke beleidsvelden in beekdalen waaronder het waterbeheer en de landbouw (5). Deze analyse geeft inzicht in tegenstrijdigheden tussen en overeenkomsten in beleidsdoelen en de uitvoeringspraktijken van zulke beleidsvelden (6). Samen met de andere stappen leidt dat tot inzicht in de knelpunten en kansen voor natuurherstel in beekdalen (7).



Figuur 1: werkstappen bij het opstellen van het preadvies.

Confrontatie hiervan met de bestaande kennis van sleutelfactoren levert inzicht in de kennislacunes (8) en leidt tot de uitwerking van kennisvragen (9). Op basis van de omvang van knelpunten en de ontwikkelingen in de belangrijke beleidsvelden een prioriteitsstelling van kennisvragen voorgesteld (10). Ten slotte zijn aanbevelingen gedaan voor een onderzoeksstrategie en wordt ingegaan op de afstemming met deskundigenteams van ‘aanpalende’ landschapstypen (11).

3.2 Afbakening beekdallandschap

Dit preadvies behandelt de beekdalgebieden die ressorteren onder DT Beekdallandschap en DT Heuvellandschap. Het betreft beekdalgebieden van Nederland in de Pleistocene en oudere delen en de overgangen van Pleistoceen naar Holocene. Het begrip ‘beekdal’ moet daarbij breed worden opgevat. Niet alleen dalen met beken vallen er onder maar ook (geïsoleerde) laagten en natte gebieden zonder beken of waterlopen, zolang ze maar in sterke mate onder invloed van (tijdelijke) toestroming van grond- en/of oppervlaktewater staan. De nadruk van het preadvies ligt daarbij vooral op de delen die door toestroming van grond- en oppervlaktewater worden beïnvloed. Uiteraard worden beekdalen en beken bekeken binnen het hele landschap zodat ook de positie in het hele stroomgebied en de relatie met infiltratiegebieden in beeld blijft. Bekken en duinrellen in de kustduinen vallen door bovengenoemde fysisch-geografische inperking buiten dit preadvies.

Omdat het beekdallandschap veel diffuse overgangen vertoont met nat zandlandschap, rivierenlandschap en laagveen- en kleilandschap zijn de volgende praktische afbakeningen gemaakt:

- Van het nat zandlandschap vallen grote heidegebieden, lenshoogvenen, hoogveenvennen en de meeste andere venen buiten dit preadvies. Basenarme hellingvenen met grondwaterinvloed zijn wel meegenomen, aangezien die onderdeel kunnen zijn van beekdalflanken.
- Van het rivierenlandschap zijn grote rivieren met hun uiterwaarden niet behandeld. Kleine riviersystemen in het laagland met een (tot voor kort) actieve geomorfodynamiek van het stroombed zijn niet meegenomen. Benedenlopen van beken en kleine riviertjes op de overgang van Pleistoceen naar Holocene met een (vroegere) sterke slibtoevoer en zonder sterke geomorfodynamiek van het stroombed zijn wel meegenomen wanneer hier toevoer van grondwater een rol speelt.
- Van het laagveen- en kleilandschap zijn beken en kleine rivieren die door uitgestrekte delen van Holocene Nederland stromen zonder dat ze via grondwaterstroming nog een relatie hebben met Pleistocene delen, niet behandeld. Beekdalen op de overgang van Pleistoceen en Holocene met (enige) grondwatervoeding zijn wel beschouwd. De overgang van benedenlopen naar het laagveen en kleigebied is overigens zeer diffuus.

Dit preadvies omvat ook de beekdalen van het heuvelland. Omdat dit preadvies tegelijk is opgesteld met een speciaal preadvies voor de beekdalen in het heuvellandschap, is tussen het DT Beekdallandschap en het DT Heuvellandschap afgesproken dat het preadvies beekdalen de heuvellandbeekdalen meeneemt voor wat betreft beekdaltypologie, processen, factoren en kennislacunes die op landelijk niveau voor de beekdalen kunnen worden beschreven. Het preadvies voor de heuvellandbeekdalen zelf zal dieper ingaan op processen, factoren en kennislacunes van de beekdalen in het heuvelland.

De bovengenoemde afbakening houdt ook in dat (voormalige) beken en duinrellen in duingebieden niet zijn opgenomen in de typologie van beekdallandschappen; dit geldt ook voor riviertjes en (veen)beken die geheel in het Holocene deel van Nederland liggen.

3.3 Afbakening kennisvelden

In beekdalen spelen veel factoren een rol. Knelpunten en kennislacunes raken daardoor ook aan diverse vakgebieden.

Het DT Beekdallandschap geeft in haar kennisagenda (versie april 2007) een aantal prioritaire werkvelden aan. Deze zijn:

- de invloed van bodemfauna op het functioneren van (aquatische) nutriëntenkringlopen in ongestoorde ecosystemen en herstelreeksen;
- herstel van natte natuur op voormalige landbouwgronden;
- morfologie, morfodynamiek en hydrodynamiek van beken;
- effecten klimaatverandering op beken en beekdalen;
- effecten van overstroming/waterberging in beken en beekdalen;
- metapopulaties en dispersie van doelsoorten;
- effectiviteit van natuurherstelmaatregelen.

Aansluitend hierop is in dit preadvies gekozen om de volgende werkvelden en thema's te behandelen:

- grondwaterkwantiteit;
- oppervlaktewaterstroming en inundatieregime;
- terreinheterogeniteit van beekdalen en morfologie beken;
- kwaliteit van grondwater en bodem (vooral nutriënten-, basen-, redoxhuishouding, humusprofielen);
- oppervlaktewaterkwaliteit (vooral nutriënten- en basenhuishouding);
- ecologische betekenis van soorten;
- ecologische eisen van soorten;
- dispersie van soorten;
- klimaatverandering.

Binnen dit preadvies kunnen echter niet al deze thema's uitputtend behandeld worden. Het thema dispersie van soorten is beperkt tot dispersie van soorten in de beken zelf. Het thema klimaatverandering wordt op hoofdlijnen besproken.

4 Sleutelfactoren in beekdallandschappen

4.1 Aanpak

Onder sleutelfactoren worden verstaan die abiotische en biotische factoren en processen die de aanwezigheid, de omvang en de kwaliteit van ecosysteemttypen en soortpopulaties in sterke mate beïnvloeden in zowel positieve als negatieve zin en waarop met inrichting- en beheermaatregelen kan worden ingegrepen. Sleutelfactoren doen zich voor op een schaal variërend van standplaats tot landschap.

Er zijn twee stappen uitgevoerd om te komen tot een overzicht van sleutelfactoren.

Stap 1: selecteren en clusteren van processen in beekdalen

Allereerst is vanuit een brede invalshoek een lijst van sleutelfactoren geselecteerd. Als beperkende criteria zijn gehanteerd:

- het proces treedt regelmatig of vaak op in beken of beekdalen;
- het proces is relevant voor natuurherstel in beken of beekdalen;
- het proces moet op basis van onderzoek zijn aangetoond of moet op basis van onderzoek of ervaring uit de natuurherstelpraktijk naar voren zijn gekomen als mogelijke stuurfactor voor natuurherstel.

De sleutelfactoren zijn geclusterd in groepen met een herkenbaar kennisveld. Deze clusters zijn:

- hydrologische processen;
- morfologie en stromen in beken;
- stikstof-, zwavel- en ijzerchemie;
- regulatie basenrijkdom;
- regulatie voedselrijkdom;
- bodenvorming en bodemleven;
- dispersie van soorten;
- klimaatverandering.

Stap 2: beschrijven van processen

De tweede stap bestaat uit het beschrijven van de processen. Daarbij worden de volgende aspecten beschreven:

- bondige beschrijving hoe het proces functioneert;
- reversibiliteit van proces;
- kennislacunes bij het proces;
- schaalniveau van optreden effecten;
- belang voor ecosysteemttypen en soorten met herstelopgave;
- mate van voorkomen in beekdalen.

Deze aspecten zijn per proces/factor bondig in tabelvorm beschreven (bijlage 2). Per cluster van processen/factoren is in paragraaf 4.2 t/m 4.9 een nadere toelichting gegeven op het belang in beekdalen, de samenhang tussen de sleutelfactoren, en de stuurbaarheid.

4.2 Hydrologische processen

4.2.1 Beekdalen als drainage- en afwateringssysteem van de hogere zandgronden

Nederland heeft een gematigd zeeklimaat met een jaarlijks neerslagoverschot (neerslag minus werkelijke verdamping). Hydrologisch gezien zijn beekdalen laagten die de hogere gebieden van Nederland ontwateren en het neerslagoverschot vervolgens afvoeren. Beekdalen staan daardoor altijd onder invloed van grondwater. De grondwaterstand zit dicht aan of rond maaiveld en op veel plaatsen is er sprake van kwel. Door het geringe verhang van de Nederlandse beekdalen treden in natte perioden inundaties op, zowel van oppervlaktewater dat van elders wordt aangevoerd, als van regenwater en grondwater dat ter plekke exfiltreert.

Door de grote infiltratiecapaciteit van de bodem infiltreert de meeste neerslag op de hoger gelegen gronden tussen de beekdalen. Het geïnfiltreerde water dat niet wordt gebruikt door planten voor transpiratie, de grondwateraanvulling, stroomt vervolgens ondergronds af naar het ontwateringssysteem. Afvoer van neerslagwater over maaiveld (surface runoff, oppervlakteafvoer) treedt in het laagland alleen op over korte afstanden bij hevige buien en bodems met een lage infiltratiecapaciteit of op bodems met een ondiepe grondwaterstand. In laagten wordt het water tijdelijk geborgen waarna het alsnog de grond indringt. In hellende gebieden met een slecht-doorlatende ondergrond of bodem (steile delen van stuwwallen met leem, heuvelland met lössdek) kan in natte perioden wel over grotere afstanden oppervlakteafvoer optreden. Hierdoor zijn in deze gebieden erosiegeulen en beken ontstaan. De Vries (1976) neemt aan dat na de laatste ijstijd het drainagesysteem van de hogere gronden zich dusdanig heeft ontwikkeld dat het in staat was het toen heersende neerslagoverschot grotendeels als grondwater af te voeren.

Tegenwoordig zijn de meeste beekdalen en hun omringende plateau's intensief en diep ontwaterd zodat de neerslag goed kan infiltreren en oppervlakteafvoer slechts beperkt optreedt. Substantiële afvoer van water over maaiveld treedt alleen op in hellende gebieden met een slecht-doorlatende bodem van klei of leem. Voorbeelden hiervan zijn de lössgronden in het heuvelland en gebieden met ondiepe voorkomens van tertiaire kleien in het oosten van Nederland. Daarnaast is ook de groundbewerking van invloed, bij kale grond kan na ploegen de infiltratiecapaciteit sterk afnemen door verslapping en leiden tot een sterke toename van oppervlakteafvoer. Voor de grootschalige artificiële ontwateringen, zullen er meer natte gebieden zijn geweest, zoals venen en moerassen, met een grondwaterstand nabij maaiveld. In zulke natte situaties kan weinig water in de bodem worden geborgen. Bij hevige regen kwam dan een deel van de neerslag over grotere afstanden over maaiveld tot afstroming door moerassen en venen. Over de exacte invloed van de ruwheid van bodemoppervlak en vegetatie en fijschalig reliëf op de afstromingspatronen over maaiveld in zulke situaties is echter nog weinig bekend.

In de hogere zandgronden met weinig reliëf hebben beekdalen zich als volgt ontwikkeld (naar De Vries 1976). De helling van dit gebied bedraagt ca. 1:2.000 en na de laatste ijstijd (Weichselien) bestond de primaire drainage uit het aangrenzende Holocene gebied, de grote rivieren en enkele oerstroomdalen. Dit primaire drainagestelsel was in het nattere Holoceen (meer neerslag dan in Weichselien) niet voldoende om het neerslagoverschot als grondwater af te voeren. Hierdoor, en ook door zeespiegelrijzing, bolde de grondwaterstand op en ontwikkelde zich op de hogere zandgronden venen, moerassen en een fijnmaziger secundair drainagestelsel. Dit drainagestelsel bestond uit beken en laagten met afvoer over maaiveld. Ontginning door de mens heeft er voor gezorgd dat het secundaire ontwateringssysteem verder is ontwikkeld als een uitgebreid slootstelsel. Ook zijn veel 'beken' aangelegd, door lokale laagten met elkaar te verbinden. De toename van de ontwatering door de mens heeft gezorgd dat de drainagecapaciteit is verhoogd naar een maximum van ca. 12 mm/d. De dichtheid van het drainagestelsel is zowel gerelateerd aan de grondwaterstand ten opzichte van maaiveld (hoe hoger, des te

korter de slootafstand) als aan het doorlaatvermogen van het watervoerende pakket (hoe beter doorlatend en dikker het pakket, des te groter de slootafstand).

Afwatering en ontwatering

Bij beschouwing van de waterhuishouding is het van belang onderscheid te maken in afwatering en ontwatering. Afwatering is de afvoer van oppervlaktewater.

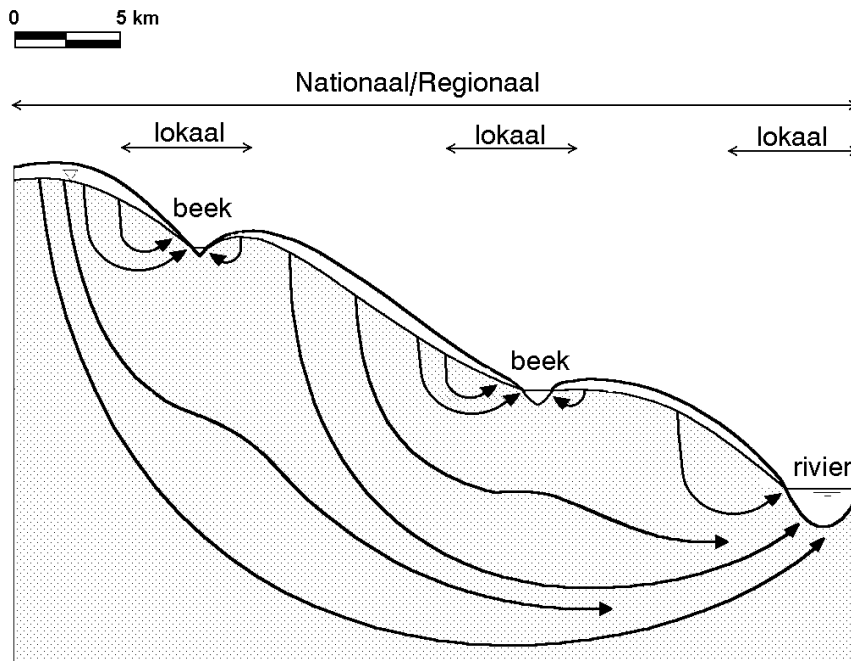
Ontwatering is de afvoer van grondwater door drainage. Ontwatering die door de mens is aangelegd beoogt een bepaalde drooglegging van de bodem (grondwaterstand ten opzichte van maaiveld).

4.2.2 Grondwaterstroming en -systemen

Grondwater stroomt van hoger gelegen infiltratiegebieden naar kwelgebieden. Het infiltratiegebied van een kwelgebied wordt ook intrekgebied genoemd. In de niet hellende delen van de hogere zandgronden worden beken, sloten en andere ontwatering voornamelijk gevoed door kwel van grondwater. De hoeveelheid kwel in een beekdal en het daarmee verbonden ontwateringstelsel wordt bepaald door de grondwateraanvulling in de infiltratiegebieden. De grondwateraanvulling is de neerslaghoeveelheid minus de werkelijke verdamping (slecht vertaald uit het Engels ook vaak aangegeven als 'actuele verdamping') en minus de oppervlakteafvoer, als die aanwezig is. De werkelijke verdamping wordt in sterke mate bepaald door de vegetatie, maar ook door bodemeigenschappen. Dichte opstanden van naaldbomen als Douglas en Fijnspar verdampen veel, ongeveer 650 mm/jaar, vooral in de vorm van interceptie. Dat is de hoeveelheid regenwater dat op de vegetatie blijft zitten en van daaruit weer verdampt. Een vegetatie met veel kale grond verdampt echter relatief weinig. De verdamping van kale grond bedraagt namelijk maar ongeveer 200 mm/jaar. Met een gemiddelde neerslag in Nederland van circa 800 mm/jaar bedraagt dan de grondwateraanvulling onder een Douglasbos 150 mm/jaar en onder een kale zandgrond 600 mm/jaar. Voor de grondwateraanvulling en dus ook het beekdebiet betekent dit per hectare omgerekend een bijdrage van respectievelijk 0,05 en 0,19 l/s.

De afvoer van oppervlaktewater over maaiveld wordt bepaald door de infiltratiecapaciteit en de diepte van de grondwaterstand ten opzichte van maaiveld. Hoe kleiner de infiltratiecapaciteit en hoe ondieper de grondwaterstand, des te meer oppervlakteafvoer zal optreden. Ondiepe freatische standen zorgen voor een kleine bergingcapaciteit van neerslagwater in de bodem. Dit komt tot uitdrukking in de normen voor de maatgevende afvoer, zoals vastgelegd in het Cultuurtechnisch Vadamecum: hoe ondieper de grondwaterstand ten opzichte van maaiveld is, hoe hoger de maatgevende afvoer is. De maatgevende afvoer is de afvoer die één á twee keer per jaar wordt overschreden.

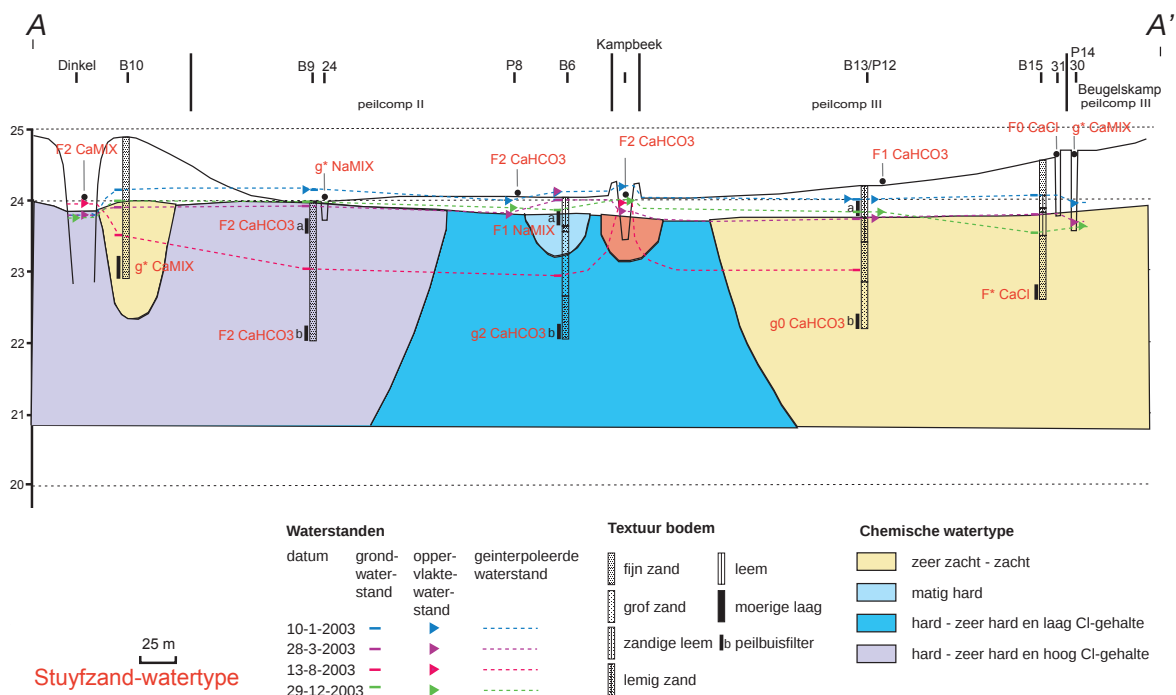
Grondwaterstromingstelsels (grondwatersystemen) transporteren grondwater van infiltratie- naar kwelgebieden. Meerdere grondwaterstromingstelsels kunnen genest in elkaar voorkomen (zie figuur 2). Het voorkomen van grondwatersystemen wordt bepaald door het reliëf en de opbouw van de ondergrond met watervoerende pakketten en slecht-doorlatende lagen. Grondwatersystemen waar het infiltratie- en kwelgebied aan elkaar grenst zijn 1^e orde systemen. Wanneer deze een kleine omvang hebben worden ze ook wel betiteld als lokale grondwatersystemen. Naar mate er meer lokaal reliëf aanwezig is, met laagtes die zorgen voor drainage, komen meer lokale grondwatersystemen voor. Grondwatersystemen waarvan het kwel- en infiltratiegebied door één of meerdere andere grondwatersystemen wordt gescheiden zijn 2^e- en hogere-orde-grondwatersystemen. Een hoger-orde-grondwatersysteem en een grondwaterstelsel dat zich over een groot gebied uitstrekt (afstand tussen kwel- en infiltratie gebied meerdere km's) wordt dat vaak aangeduid als een regionaal grondwatersysteem. Het voorkomen van regionale grondwatersystemen hangt samen met het regionale reliëf. De verblijftijden van het grondwater in grondwatersystemen (tijd tussen infiltratie en kwel) variëren sterk van meestal enkele jaren (lokaal grondwatersysteem) tot eeuwen en ouder (regionaal grondwatersysteem). In beekdalen zijn zowel lokale als regionale grondwatersystemen van belang voor natte ecosystemen.



Figuur 2: grondwatersystemen in beekdalen in relatie tot reliëf. De twee beekdalen draineren 1e orde, lokale grondwatersystemen en het rivierdal twee hoger orde, regionale grondwatersystemen en een 1e orde 1e orde, lokaal grondwatersysteem naar Klijn & Witte 1999”.

De snelheid waarmee de grondwaterstand en de beekafvoer reageren op het weer, wordt vooral bepaald door de weerstand tegen stroming van infiltratiegebied naar kwelgebied. De weerstand is hoger bij een kleiner doorlaatvermogen (is dikte maal doorlatendheid van het doorstroomde pakket) en bij een grotere afstand tussen de beken. Grondwatersystemen met een grote weerstand (zoals de Veluwe) hebben een trage respons. Zulke systemen verzorgen dan ook een continue voeding van kwelgebieden, sloten en beken. Vaak zijn dit grote grondwatersystemen. Kleine grondwatersystemen en gebieden met zeer goed doorlatend materiaal (grof zand, grind) reageren snel op het weer en de afvoerdynamiek van de beken is daar dan ook groot. In neerslagarme perioden kunnen sloten en beken dan zelfs droogvallen.

De chemische samenstelling van het grondwater wordt bepaald door de kwaliteit van het wegzijgende neerslag- en bodemwater (atmosferische depositie, bemesting, CO_2 -afgifte door wortels) en de geochemische eigenschappen van watervoerende pakketten en slecht-doorlatende lagen (o.a. kalk en ijzerverbindingen). Hierdoor varieert het naar beekdalen toestromende grondwater sterk in chemische samenstelling (basenrijkdom, nutriëntengehalten, redoxtoestand) (zie figuur 3). Vaak verschilt de grondwaterkwaliteit van het toestromende grondwater tussen verschillende grondwatersystemen. Binnen een grondwatersysteem kunnen echter ook grote verschillen in chemische samenstelling aanwezig zijn door chemische omzetting en uitwisselingsprocessen. In veel beekdalen in zandgebieden met een sterk uitgeloozd freatisch pakket zijn de lokale grondwatersystemen vaak basenarmer dan de grotere grondwatersystemen. Hierop zijn echter veel uitzonderingen; vaak zijn ook lokale grondwatersystemen basenrijk door het ondiep voorkomen van kalk in de ondergrond. De verblijftijd van grondwater in grondwatersystemen is geen causale factor voor de chemische samenstelling van grondwater in kwelgebieden. De ouderdom van grondwater is in Nederland wel gekoppeld aan de mate van belasting door bemesting en atmosferische depositie in het intrekgebied. Grondwater ouder dan ca. 50 jaar is niet of veel minder vermist en beïnvloed door atmosferische zuurdepositie dan jonger grondwater dat is geïnfilteerd ten tijde van zware bemesting in landbouwgebied en ten tijde van sterke zuur- en stikstofdepositie (zie paragraaf 7.3.2).



Figuur 3: Patronen in grondwaterkwaliteit in een beekdal. Dit voorbeeld toont De Mors en Voel Broek op het landgoed Singraven bij de Dinkel (uit Aggenbach, 2005). Het beekdal staat onder invloed van toestroming van geïnfiltreerd water van de Dinkel (paars), basenrijk grondwater vanuit de stuwwal (blauw) en basenarm grondwater (geel).

4.2.3 Grondwaterstandsdyndamiek

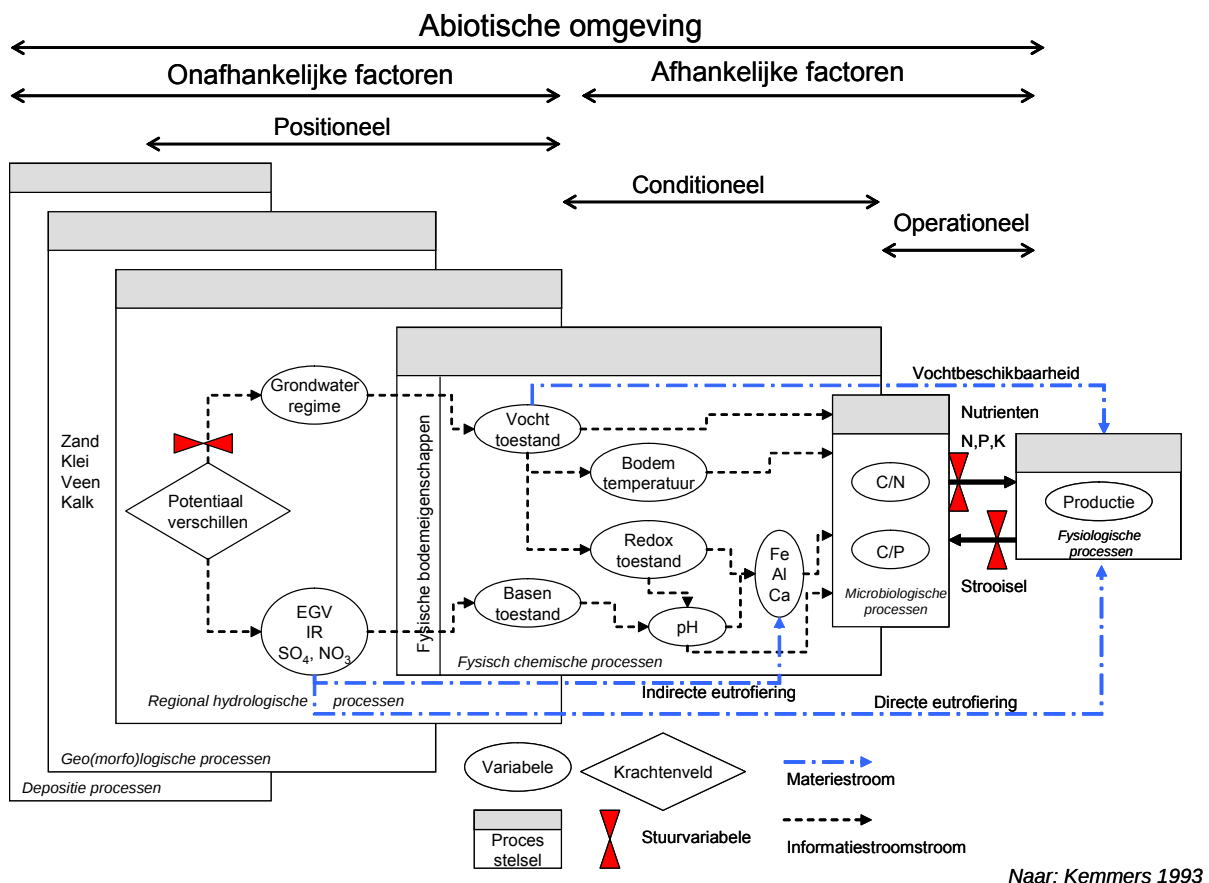
Door een lage verdamping in de winter en hoge verdamping in de zomer vertoont het grondwaterregime een seizoensmatige fluctuatie: hoge standen in de winter en het voorjaar en lage standen in de nazomer en vroege najaar. In infiltratiegebieden is deze seizoensmatige fluctuatie sterker dan in de kwelgebieden van beekdalen. In delen met sterke kwel wordt de seizoensfluctuatie in meer of mindere mate gedempt omdat het verlies aan bodemwater wordt gecompenseerd door de aanvoer van grondwater. Op dwarsgradiënten in beekdalen neemt de seizoensfluctuatie van de grondwaterstand meestal van laag naar hoog toe. In de zomer zakt het grondwater uit naar een regionale drainagebasis die bepaald wordt door het beekpeil en door andere diepe ontwatering of de aanwezigheid van een intensief drainagesysteem op regionale schaal. In de winter en het voorjaar, wanneer lokale drainage optreedt, ligt het drainageniveau dicht bij het maaiveld. Dit is vooral het geval in gebieden met een minder goed doorlatend freatisch pakket. Ingrepen in de lokale ontwatering beïnvloeden vooral de hoogste grondwaterstanden. Ingrepen in diepere ont- en afwateringsmiddelen of ingrepen in de waterhuishouding op een bovenlokale schaal beïnvloeden vooral de laagste grondwaterstanden. Veel beekdalgebieden hebben langdurig snel en diep wegzakkende grondwaterstanden als gevolg van een laag regionaal drainageniveau. Grondwateronttrekkingen kunnen een soortgelijk effect hebben.

Kwel van grondwater is het naar boven stromen van grondwater en afvoer van dat grondwater uit de bodem. Kwel treedt op door het uitreden van grondwater aan maaiveld van percelen of in ontwateringsmiddelen. Kwel kan ook optreden bij grondwaterstanden onder maaiveld, zolang het kwelwater wordt afgevoerd door verdamping. Planten voeren ook grondwater af door opname van grondwater dat capillair wordt aangevuld naar de wortelzone. Voorwaarde is dat de grondwaterstand zo hoog is dat capillaire nalevering kan optreden. In kwelgebieden kan permanent of

periodiek kwel optreden. Kweldynamiek is een kwestie van grondwateraanvulling en weerstand in de ondergrond van het grondwatersysteem. Meer aanvulling van grondwater en meer weerstand geeft een meer constante kwelflux. Weinig grondwateraanvulling en een kleine weerstand geeft meer fluctuatie in kwelflux. Seizoensfluctuatie van de grondwaterstand in kwelgebieden kan ook zorgen voor een sterke dynamiek van basenarm water (geïnfiltreerd regenwater) boven op basenrijk grondwater (aangevoerd door het grondwatersysteem).

4.2.4 Belang van grondwater voor terrestrische ecosystemen

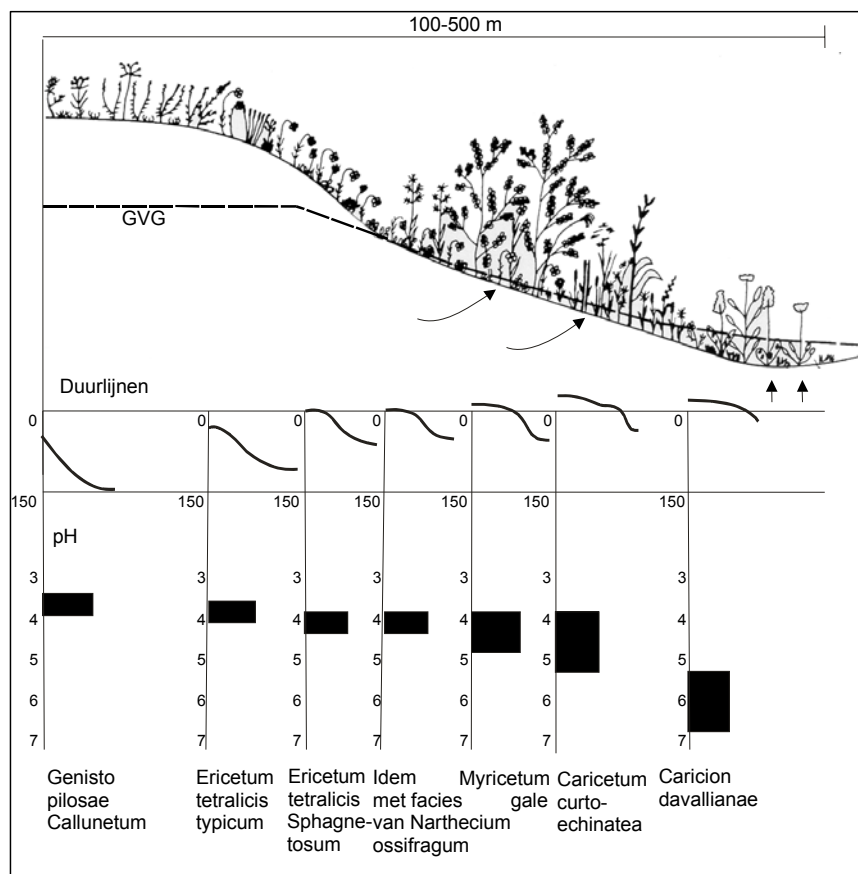
Samen met de samenstelling van de bodem is de hydrologische dynamiek en stroming van grondwater een sterk bepalende factor voor de terrestrische flora en fauna. In beekdalen is de ruimtelijke variatie in het hydrologische regime en de stroming van grondwater verantwoordelijk voor een groot deel van de variatie in standplaatsen. De grondwaterdynamiek en de sterke invloed van kwel en infiltratie op de grondwaterkwaliteit in de wortelzone zijn ook dominante factoren in de bodemvorming en standplaatseigenschappen (Grootjans 1985, Everts & De Vries 1991, Schipper & Streefkerk, 1993) (figuur 4). Het hydrologische regime bepaalt de vochtvoorziening, de zuurstofbeschikbaarheid, de redoxtoestand en de temperatuur in de wortelzone. De aanvoer van grondwater (kwel) of afvoer (infiltratie) is sterk bepalend voor de basentoestand, ijzertoestand, redoxtoestand en temperatuur in de bodem. Beïnvloeding van deze factoren werkt op een complexe wijze door in de regulatie van de voedselrijkdom en het bodemleven. Beekdalgradiënten in bodem, standplaatstypen en vegetatie worden bepaald door hydrologische gradiënten (figuur 5).



Figuur 4: Afhankelijkheid van factoren op verschillende schaalniveaus voor terrestrische ecosystemen.

Waterregime

In (semi-)terrestrisch en semi-aquatische ecosystemen is de dynamiek van (grond)waterstand, kwel- en infiltratie bepalend voor de operationele factoren vochttoestand, zuurstofvoorziening en redoxtoestand en, via deze factoren, voor de vegetatie. De duur van hoge waterstanden en bij lagere grondwaterstanden in het groeiseizoen en het aantal dagen dat een vochttekort optreedt, zijn sterk bepalend voor de vegetatie. Hoge grondwaterstanden zorgen voor waterverzadiging in de wortelzone en belemmeren daarmee de toevoer van zuurstof naar de wortels voor respiratie en voor microbiologische oxidatieprocessen. Bij hoge grondwaterstanden treedt voor plantenwortels zuurstofstress op. Bij langdurige hoge standen treedt een lage redoxpotentiaal op. Standplaatsen waar langdurig hoge grondwaterstanden optreden hebben daarom een hoog aandeel van moerasplanten die aan zuurstofloosheid zijn aangepast. In waterverzadigde bodems is de redoxpotentiaal lager dan in onverzadigde bodems. Het niveau van de redoxpotentiaal wordt echter naast de grondwaterstand ook bepaald door de bodem- en grondwaterkwaliteit (onder andere afbreekbaarheid van organisch materiaal, chemische samenstelling van het toestromende water). Lage redoxpotentialen kunnen zorgen voor toxiciteit voor planten in het wortelmilieu (paragraaf 4.4.2). Vochttekorten voor de vegetatie kunnen optreden in de zomer, wanneer de vochtbeschikbaarheid in de wortelzone aan het begin van het groeiseizoen onvoldoende is (de vochtbeschikbaarheid is de hoeveelheid water tussen veldcapaciteit en verwelkingspunt), en er ook onvoldoende capillaire nalevering is om de verdamping te compenseren. Beide factoren zijn afhankelijk van de bodemtextuur.



Figuur 5: Voorbeeld van een hydrologische gradiënt (van hoog/ droog/ inzijging naar zeer nat/ kwel en de doorwerking in de standplaatsfactoren grondwaterstandverloop (weergegeven als duurlijnen) en zuurgraad (pH) (naar Jansen, 1991).

Tijdelijke inundatie door regenwater, kwelwater of overstroming is ook van belang. Planten- en diersoorten variëren sterk in hun tolerantie voor overstroming. Van invloed zijn daarbij de duur en moment van overstroming. Overstroming en inundatie in het groeiseizoen heeft veel grotere effecten op de vegetatie dan wanneer dit in de winter of voorjaar optreedt. Er zijn echter ook soorten die een voorkeur hebben voor (langdurige) inundatie en droogval in de zomer. Ecosystemen met periodieke inundatie zijn door de sterk verbeterde ontwatering sterk afgenomen. Op veel plekken is inundatie door stagnatie van lokaal water of door overstroming verdwenen. In benedenlopen is de overstromingsdynamiek ook sterk beïnvloed omdat het overstroombare oppervlak sterk is verkleind door bekading van het beekdal.

Kwel en infiltratie

De hydrologische voeding van de wortelzone is in beekdalen een sterk bepalende factor voor de hydro- en geochemie en daarmee ook voor bodemvorming en de vegetatie. Infiltratie leidt tot uitloging van de bodem. In delen met toevoer van grondwater vindt juist opwaarts transport plaats in de bodem en kunnen opgeloste stoffen worden aangevoerd naar de bodem en oppervlaktewateren (beken, sloten, bronnen). Aanvoer van basen via het grondwater is een belangrijk proces voor de zuurgraadbuffering (paragraaf 4.5) en aanvoer van ijzer is belangrijk voor de nutriëntenhuishouding (paragraaf 4.4).

In grondwatersystemen met een constante toestroming van grondwater naar kwelgebieden zijn permanent nat waardoor veenvorming optreedt. Vroeger - voor de intensieve ontwatering in beekdalen - is daardoor vaak veen gevormd. De kwelzones van grondwatersystemen met een kleine weerstand (vaak lokale systemen) zijn in de zomer te droog voor veenontwikkeling en worden vaak gekenmerkt door goor- en beeekeerdgronden. Tegenwoordig hebben genoemde bodemtypen vaak een fossiel karakter, omdat ze zijn ontwaterd.

Verdroging en afname kwelinvloed

Beekdalen zijn sterk beïnvloed door veranderingen in de waterhuishouding. Dit heeft geleid tot verlaging van de grondwaterstand en verandering van de waterstandsdynamiek. Daarbij hebben diepe ontwateringsmiddelen en de grootschaligheid van de ont- en afwatering gezorgd voor een verlaging van de regionale drainagebasis. Hierdoor hebben veel beekdalgebieden last van langdurig diep uitzakkende zomerstanden. Ontwatering heeft ook geleid tot een afname en het verdwijnen van de kwelinvloed in het wortelmilieu van terrestrische standplaatsen. Verlaging van peilen zorgt voor een groter stijghoogteverschil en dus voor een grotere flux naar het ontwateringstelsel. In de percelen neemt de kwel af of slaat om naar infiltratie van regenwater. Hierdoor is in de wortelzone de invloed van basenarm neerslagwater toe genomen ten gunste van basenrijker grondwater. Vaak leidt omslag van kwel naar infiltratie tot verzuring en ontijzing van de bodem. Veranderingen in waterstandregime en basenhuishouding werken ook door in de nutriëntenhuishouding. Verdroging en vermindering van kwelinvloed op de standplaats van terrestrische standplaatsen door ontwatering zijn in veel beekdalen dominante knelpunten voor een breed spectrum aan grondwaterafhankelijke ecosystemen (Aggenbach et al., 2007a+b). In mindere mate spelen grondwateronttrekking (drinkwater, industrie, landbouw) en afname van grondwateraanvulling door de toename van bos in het intrekgebied een rol. In sterk hellende beekdalen zorgt ook insnijding van het stroombed van beken en waterlopen door ingrepen in de beek zelf of het stroomgebied voor sterke verlaging van de drainagebasis. Veel kwelstromen zijn tegenwoordig afgebogen naar ontwateringstelsels en verdiepte beken. Al deze veranderingen hebben grote, negatieve gevolgen gehad voor grondwaterafhankelijke ecosystemen.

4.2.5 Afvoerregime en stroomgebied

Het neerslagoverschot stroomt vooral toe als grondwater en wordt in beekdalen gedraineerd en afgevoerd als oppervlaktewater. De afvoer van oppervlaktewater vindt plaats door de beken en sloten. Bekken zijn vaak onderdeel van een artificieel ont- en afwateringsstelsel van sloten, greppels en buisdrains dat zeer efficiënt het grondwater van het stroomgebied draineert en afvoert (zie paragraaf 4.2.1). Vaak strekt het ontwateringstelsel zich uit tot in de infiltratieplateaus. In laagten met geen of weinig artificiële ontwatering vindt afvoer van water gedeeltelijk over maaiveld plaats. Dit laatste is nu alleen nog het geval in oorsprongen zonder ontwatering. Het hele ontwateringstelsel wordt tegenwoordig voornamelijk gevoed door kwel van grondwater. In de laaglandbeekdalen is het aandeel van afvoer van oppervlaktewater over maaiveld klein (paragraaf 4.2.1). In hellende gebieden met slecht doorlatende bodems (heuvelland, stuwwallen van lemige en kleiige afzettingen) speelt oppervlakteafvoer wel een kwantitatieve rol.

De hoeveelheid water die een beek gemiddeld afvoert, wordt bepaald door neerslagoverschot in stroomgebied (neerslag minus werkelijke verdamping). De afvoer van een beek neemt in stroomafwaartse richting toe, tenzij onderweg infiltratie van beekwater optreedt. Doordat tevens het longitudinale verhang in het landschap meestal afneemt, blijft de stroomsnelheid in veel gevallen ongeveer gelijk of neemt af omdat de dimensies van het stroombed toenemen (Faber 1972; De Vries 1980).

Beken hebben in de tijd een variabele afvoer en stroomsnelheid door seizoensmatige variatie van het neerslagoverschot en kortstondige fluctuaties in het neerslagpatroon. In de winter is de afvoer hoger dan in de zomer. De afvoer die optreedt in de zomer in een periode zonder zware regenval is de basisafvoer. Wanneer in neerslagarme perioden in het stroomgebied geen grondwater meer naar de beek en sloten optreedt, valt de beek droog. Droogval heeft grote ecologische effecten op bekecosystemen (Boulton 2003). Piekafvoeren treden veelal op in de winter na een periode met veel neerslag. In de zomer kunnen ook pieken optreden na een regenbui maar deze zijn doorgaans niet zo hoog als in de winter doordat de bodem dan minder verzadigd is met water en zodoende veel neerslag kan bergen. In stroomgebieden met een groot aandeel verstedelijkt gebied kunnen wel hoge afvoerpieken in de zomer optreden, wegens oppervlakteafvoer over het verharde oppervlak. Een voorbeeld hiervan is de Regge die binnen één dag na een heftige zomerbui in de Twentse stedenband (Almelo-Hengelo-Enschede) een afvoerpiek geeft. Daarentegen laat de Dinkel, waarvan het stroomgebied een veel lager aandeel van stedelijk gebied heeft, geen enkele reactie op de afvoer zien bij heftige zomerbuien (gegevens Waterschap Regge & Dinkel). In een stroomgebied met lage grondwaterstanden komen neerslagpieken gedempt tot uiting in het ontwateringstelsel wegens de grote berging in de onverzadigde zone van bodem. Bij een stroomgebied met natte bodems is de berging geringer en zullen afvoerpieken groter zijn. Laagtes die inunderen bij sterke neerslag zonder het oppervlaktewater snel af te voeren zorgen ook voor een demping van neerslagpieken benedenstrooms van die laagtes. Verder hangt de reactietijd van het oppervlaktewaterstelsel op neerslagpieken af van het doorlaatvermogen van het watervoerende pakket (hoe hoger, des te hoger de afvoerpiek is) en de slootafstand (hoe kleiner, hoe hoger de afvoerpiek). Omdat in natte periode met een hogere grondwaterstand meer sloten en greppels met een korte slootafstand bijdragen aan de ontwatering is de reactiesnelheid in periode met een hoge grondwaterstand hoger dan in een periode met een lage grondwaterstand (De Vries 1976). Daarom treedt er juist in natte perioden veel aanvoer van nutriënten naar het oppervlaktewaterstelsel en ook de beek op. Waterstanden kunnen dan ook zo hoog zijn dat kortstondig afvoer over maaiveld optreedt. Wanneer in een stroomgebied geïnundeerde delen voorkomen is ook een zeer snelle afvoercomponent aanwezig (De Jager 1965). Al met al is de waterhuishouding van het stroomgebied daarom sterk bepalend voor de afvoerdynamiek van de beek. Het afvoerregime is sterk bepalend voor het stromingsregime en daarmee de morfologie en morfodynamiek van beken en voor het overstromingsregime.



Foto 7: Opstuwen van water in een broekbosgebied dat door ontwatering in het omringende landbouwgebied is verdroogd. Zulke interne maatregelen worden vaak genomen terwijl aanpak van de externe ontwatering lang op zich laat wachten (foto Camiel Aggenbach).

Ingrepen in de waterhuishouding werken door in de afvoerdynamiek van stroomgebieden en beken. Ingrepen die van invloed zijn op de afvoerdynamiek zijn afwatering, ontwatering, veranderingen van landgebruik in onbebouwde gebieden en verstedelijking. Tabel 1 geeft een overzicht van diverse ingrepen die vanaf de Middeleeuwen van invloed zijn geweest op de totale afvoer, piekafvoeren en basisafvoer in stroomgebieden van Nederlandse beekdalen. De meeste ingrepen hebben alleen effect op de piek- en basisafvoer. Alleen ontbossing en bebossing hebben invloed op de totale afvoer. Uit de tabel blijkt dat ingrepen deels tegengestelde effecten hebben op de piek- en basisafvoer en dat deze ingrepen deels in verschillende perioden hebben plaatsgevonden. Omdat ont- en afwatering vaak gelijktijdig is opgetreden, zijn de effecten daarvan ook sterk afhankelijk van de uitgangssituatie waarin veranderingen plaatsvinden (De Jager 1965), en is de historische ontwikkeling van afvoerregimes in beperkte mate te generaliseren. Wanneer er sprake is van een toename van piekafvoeren is dat te verklaren uit drie zaken: (1) toename van neerslag door klimaatsverandering (o.a. et al. Cirkel 2003), (2) het verbeteren van afwatering, waardoor laagtes geen water meer bergen, en (3) toename verhard oppervlak. Vroeger inundeerden zeer grote stukken land van Nederland door een slechte afwatering; nu stroomt dit af via waterlopen. In veel beekdalen werd in de jaren '50-'70 de afvoercapaciteit van beken verhoogd met kanalisatie en normalisatie. In de 2e helft van de 20e eeuw is in veel stroomgebieden met landbouw de detailontwatering geïntensiveerd met ruilverkavelingen. Door het verdiepen van de ontwatering zijn in veel gebieden piekafvoeren afgenomen en is basisafvoer toegenomen. In het Cultuurtechnisch Vademecum is de maatgevende

afvoer van gebieden met af- en ontwatering daarom afhankelijk gesteld van de grondwaterstand ten opzichte van maaiveld. De achterliggende reden is een toename van de berging in de bodem naar mate de grondwaterstand dieper onder maaiveld zit. Diverse meetreeksen laten zien dat piekafvoeren afnemen na het vergroten van de ontwateringsdiepte (Warmerdam 1979, Van der Schaaf 1999). Deze 'verbeterde' ontwatering is bijna altijd gepaard gegaan met een herziening van de afwatering. Verdrogingsbestrijding waarbij de drainagediepte wordt verminderd leidt tot toename van de afvoerpieken (o.a. Cirkel et al. 2003). De dichtheid van drains heeft nog een ander effect. Wanneer buisdrains draineren zorgen ze voor een snelle reactie op het neerslagoverschot vanwege de korte afstand tussen de drains. Een toename van de aanleg of een toename van buisdrains kan daardoor de extreem hoge piekafvoeren verhogen terwijl ze een verlagend effect hebben op de maatgevende afvoeren. De invloed van ontwatering op afvoerregimes is daarom complex en dit blijkt ook uit de effecten van diverse typen maatregelen voor waterconservering en -retentie (Van Bakel et al., 2008).

Verstedelijking heeft vaak bijgedragen aan een verhoging van de piekafvoer. Bij neerslagpieken treden grote pieken in het oppervlaktewaterstelsel op door vooral afvoer over verhard oppervlak (wegen, daken) en door lozingen via overstorten en hogere debieten in rioolzuiveringen. Verhard oppervlak zorgt vaak ook voor minder grondwataeraanvulling, tenzij veel regenwater en afvalwater dat in het riool infiltreert door lekkages zorgt voor grondwataeraanvulling. Nieuwbouwwijken worden zo ontworpen dat ze niet sneller mogen afvoeren dan landbouwgebied. Bij toepassing van wadi's kan de grondwataeraanvulling groter worden dan in de uitgangssituatie omdat de verdamping van stedelijk gebied lager is dan van bijvoorbeeld mais.

Effluent van rioolzuiveringen kan een groot aandeel hebben in de basisafvoer van beken. In Twente bijvoorbeeld bleven de Dinkel, de Regge en een aantal bovenstroomse beken in de zomer van 2006 watervoerend dankzij effluent. Andere beken met uitzondering van de brongevoede stuwwalbeken vielen toen droog (Waterschap Regge & Dinkel, 2006).

Tabel 1 Effecten van diverse ingrepen op de totale afvoer (lager,/hoger), piekafvoeren (maximale afvoer lager/hoger, frequentie piekafvoeren lagere/hogere) en basisafvoer (lager/ hoger). Legenda: - = lager, + = hoger.

verandering	omvang effect			toelichting	periode	effect in beekdaltrajecten
	totale afvoer	piek-afvoer	basis-afvoer			
ontbossing, bodemdegradatie en ontwikkeling naar heide en stuifzanden	+	?	+	- meer grondwateraanvulling door lagere verdamping - minder berging in vegetatie en bodem - in hellende gebieden met slecht-doorlatende bodem meer runoff bij neerslagpieken - podzolvorming kan effect in natte gebieden hebben tegengewerkt	- op grote schaal in late Middeleeuwen - vanaf eind 20e eeuw lokaal voor herstel heide, stuifzanden en vernatting beekdalen	alle beekdaltrajecten
meer afwatering	=	+	-	- sneller transport van oppervlaktewater door greppels en sloten tov transport over begroeid maaiveld - afwatering van laagten die eerst niet afwaterden via beek of sloot en daardoor berging voor oppervlaktewater hadden - geen grondwateraanvulling meer door infiltratie van tijdelijk geborgen oppervlaktewater - weinig effect gehad in beekdalen die van nature al goed afwaterden	- vanaf Middeleeuwen - einde 19e eeuw en 1e helft 20e eeuw ook veel op infiltratieplateau's met boswachterijen	in vroegere tijden alle beekdaltrajecten later ook oorsprongen en bovenlopen bij boswachterijen
verminderen/ stoppen overstroming door verdiepen beken (normalisatie, kanalisatie, intensief onderhoud)	=	+	=	- berging van oppervlaktewater in overstroomde delen zorgt benedenstroom voor lagere piek	- vooral in 19e en 20e eeuw tot ca. 'jaren '70	alle beekdaltrajecten
hogere dichtheid ontwateringstelsel	=	+	-	- kortere drainageafstand leidt tot snelle afvoerreactie van neerslag door drains - sterk effect van greppels (ook bosgebieden) en buisdrainage in gebieden met dun freatisch pakket - diepe buisdrainage kan sterk effect hebben afname basisafvoer	- vooral in 19e en 20e eeuw - buisdrainage neemt nog toe	alle beekdaltrajecten
meer en verdiepen drainage	=	-	+	- door ontwatering van natte gebieden is meer bergingscapaciteit in de bodem ontstaan - op grote schaal opgetreden, groot effect gehad in stroomgebieden die vroeger een groot aandeel waterverzadigde bodems hadden - in gebieden waar in zeer natte perioden bodem waterverzadigd raakt alleen verlagend effect op middelmatige piekafvoeren en verhoging van hoogste piekafvoeren	- geleidelijke vanaf einde Middeleeuwen □ op sterke intensivering in 20e eeuw	alle beekdaltrajecten

verandering	omvang effect			toelichting	periode	effect in beekdaltrajecten
	totale afvoer	piek-afvoer	basis-afvoer			
minder en verondiepen drainage	=	+	-	- door verhoging freatische stand neemt de bergingscapaciteit van de bodem af - alleen sterk effect bij drastische vermindering ontwatering zonder vermindering van de afwatering - is bijeffect van verdrogingsbestrijding	- vanaf jaren '80 van 20e eeuw	alle beekdaltrajecten
verminderen afwatering	=	-	+	- minder snelle of geen afvoer van oppervlaktewater - geen afwatering van laagten - meer grondwateraanvulling door infiltratie van tijdelijk geborgen oppervlaktewater	- lokaal vanaf jaren '90 van 20e eeuw	oorsprongen en bovenlopen bij boswachterijen
bebossing, vergrassing heide	-	-	-	- minder grondwateraanvulling door hogere verdamping - meer berging in vegetatie en bodem	- vanaf einde 19e eeuw tot halverwege 20e eeuw	vooral in bovenlopen en oorsprongen, ook middenlopen
verharding oppervlak door verstedelijking	=	+	-	- snelle runoff van woonwijken, industrieterreinen en wegen; via rioolstelsel en greppels lozing op beken - mate van verharding verschilt sterk per (deel)stroomgebied - nieuwbouw met afkoppeling van hemelwater geen of minder groot effect	- vanaf halverwege 19e eeuw tot ver in 20e eeuw	alle beekdaltrajecten
aanleg rioolwaterzuiveringen	?	=/+	+	- lozing effluent op beken - in beken groot aandeel in basisafvoer - in kleine beken grote invloed op piekafvoeren door variabel debiet van effluent	- vanaf halverwege 20e eeuw	alle beekdaltrajecten

4.2.6 Stroomsnelheid in beken

In laaglandbeken varieert de stroomsnelheid van tientallen tot meer dan honderd centimeter per seconde. De stroomsnelheid van water in een beek is afhankelijk van de afvoer, het verhang van de bedding en de weerstand van het stroombed. De gemiddelde stroomsnelheid van een waterloop met een stationaire en uniforme stroming kan beschreven worden met de formule van Manning (zie tekstkader)

Stroomsnelheid van een waterloop met de formule van Manning:

$$v = k_m A R^{2/3} s^{1/2}$$

waarbij:

v is de gemiddelde stroomsnelheid (m/s)

A is de natte doorsnede (m²)

R is de hydraulische straal (m)

s is het verval: de helling van het wateroppervlak voor stationaire en uniforme stroming (m/m)

k_m Manning-coëfficiënt, die de geleiding van het water aangeeft (m^{1/3}/s)

De hydraulische straal kan worden uitgedrukt als:

$$R = A/O$$

waarbij

O is de natte omtrek van het stroombed (m)

Hieruit is de afvoer (Q in m³/s) af te leiden met $v = Q/A$

$$Q = k_m A^2 R^{2/3} s^{1/2}$$

De geleiding van het water, de Manning-coëfficiënt, wordt vooral bepaald door de aanwezige vegetatie en de aanwezigheid van obstakels (o.a. boomstammen, takken). In niet beheerde beken is de weerstand door de aanwezigheid van vegetatie en obstakels veel hoger dan in beken die regelmatig geschoond worden (lage k_m). Het regelmatig schonen van de beek die zonder schonen begroeid is met watervegetatie maakt een factor 1,5 tot 10 verschil uit voor k_m en daarmee ook voor de gemiddelde stroomsnelheid.

Uit de formule kan worden afgeleid dat een toename van de meandering van een beek, bij een gelijkblijvende breedte van de beek, zorgt voor een grotere waterdiepte van de beek (afstand tussen beekpeil en beekbodem). Meandering leidt zowel tot een geringer verval als tot een lagere k_m. Bij een gegeven debiet Q (dat geheel wordt bepaald door het neerslagoverschot), moet dit leiden tot een hogere waarde van A en R. Dat kan - zolang de beek niet uit haar oevers treedt - alleen maar gebeuren door het waterpeil te laten stijgen. Ook bij dezelfde waarde voor k_m hebben meanderende beken een grotere waterdiepte dan rechte beken.

De dwarsdoorsnede van het stroombed en het wel of niet kunnen optreden van overstroming is ook van grote invloed. In een natuurlijk profiel treden hogere stroomsnelheden bij basisafvoer op dan in een genormaliseerd profiel. Bij hoge afvoeren treedt de beek met een ondiep stroombed buiten zijn oevers, waardoor de gemiddelde stroomsnelheid getemperd wordt. In een natuurlijke beek (meanderend, vertakt, vlechtend profiel) is ook meer ruimtelijke variatie in stroomsnelheid mede door de begroeiing en obstakels (bomen, takken, strooisel) dan in een genormaliseerd profiel. In een diep genormaliseerd profiel waarbij de beek bij hoge afvoeren niet kan overstroomd worden kan een hoge afvoer alleen verwerkt worden door een grotere waterdiepte en stroomsnelheid. Omdat in zo'n beekprofiel weinig ruimtelijke variatie in stroomsnelheid optreedt, is de stroomsnelheid bij extreme afvoeren overal zeer hoog. Een ander belangrijk effect is dat in smalle, diepe profielen met steile oevers waarvan de beek niet overstroomt (dit kan het geval zijn in niet genormaliseerde beken) grotere

fluctuaties in het beekpeil optreden door fluctuatie van de afvoer dan in beken met een ondiep stroombed die kunnen overstromen.

4.2.7 Stroming van oppervlaktewater en morfologie van beken

In een beek waarin begroeiing en andere obstakels voor stroming geen of nauwelijks een rol spelen, bepalen erosie en sedimentatie de morfologie. De dimensies van het dwarsprofiel passen zich daarbij dusdanig aan de het afvoerregime dat netto geen sedimentatie of erosie van sediment optreedt. De grenswaarde van de stroomsnelheid vanaf waar sediment (meestal zand) wordt getransporteerd is daarbij bepalend. De profielen van genormaliseerde beken werden ook dusdanig ontworpen dat ze een stabiel dwarsprofiel hebben (normalisatie op maatgevende afvoeren en type substraat). Ook voor het lengteprofiel en verval van de beekbedding geldt dat dit op de lange termijn in evenwicht is met aanvoer van sedimentatie en erosie. Bij een verandering in het afvoerregime door ingrepen in de waterhuishouding kan het stroombed verdiepen (erosie) of ophogen (verzanding, dichtslibben). Bij het 'normaliseren' van beken streeft men echter naar het voorkomen van erosie en sedimentatie, naar maximale snelheden dus. De meeste genormaliseerde beken hebben daarom een stabiel profiel. Waar onstabiele waterlopen voorkomen is dat vaak is te wijten aan "oude ontwerpen" die niet zijn berekend op de ontwateringswerken die daarna bovenstrooms hebben plaatsgevonden. De Buurserbeek bijvoorbeeld snijdt zich steeds dieper in doordat veel stroomgebieden zijn aangesloten op deze gegraven beek. Diverse beken in hellende gebieden (stuwwallen en heuvelland) hebben zich de laatste 2-3 decennia ingesneden. De achterliggende oorzaak is vaak de toename van piekafvoeren door toename van de drainagedichtheid van het bovenstroomse intrekgebied (mondelinge mededeling R. van Dongen; Aggenbach et al. 2007a: analyse Springendal & Dal van de Mosbeek), toename van verhard oppervlak door verstedelijking en effluentlozingen van rioolwaterzuiveringen (Aggenbach et al. 2007a: analyse Noorbeemden & Hoogbos). Klimaatverandering kan ook effect hebben gehad op een toename van (extreme) afvoerpieken. In benedenstroomse delen van zulke beken waar het verhang lager is (rand van de stuwwal) blijft het geërodeerde zand weer liggen. Daar zijn daarom veelvuldig zandvangers aangelegd vanuit onderhoudsoogpunt (mondelinge mededeling R. van Dongen).

In een beek met een onregelmatige vorm is het stroomsnelheidsprofiel complex. In binnenbochten treden lagere en in buitenbochten hogere stroomsnelheden op. In een beek treden, bij verandering van het debiet, steeds wisselingen in stroomsnelheden op. Dit leidt tot wisselende stroomsnelheden nabij de oever en de bodem wat resulteert in een wisseling in erosie en sedimentatie. De eventueel aanwezige vegetatie heeft hier ook invloed op. Materiaaltransport in beken vertoont dan ook sterke periodieke wisselingen. Voor een uitgebreide beschrijving van stromingsprofielen in meanderende beken wordt verwezen naar Calow & Petts (1992, 1994). Juist deze variaties in de stroomsnelheid en stromingsrichting zorgen ervoor dat er allerlei verschillende factoren in verschillende mate werkzaam zijn en dat daardoor allerlei habitats ontstaan (Gordon et al. 2004). Deze variaties in structuur (verdeling korrelgrootte, detritus en bladafzetting, dammetjes) hoeven geen gevolg te zijn van een actief erosie-sedimentatie proces. Een stabiele beekbedding zonder sedimentatie en erosie op macroschaal kan zelfs rijker zijn aan dergelijke habitats dan beken met sedimentatie en erosie op macroschaal en is zeker rijker aan biodiversiteit. In een stabiele beekbedding zorgen de organische structuren (zoals ingevallen bomen, takken en blad) voor de structuur- en stromingsvariatie (zie ook paragraaf 4.3.3). Het afvoerregime kan de micromorfologie sterk beïnvloeden. Bij hoge pieken van de stroomsnelheid verdwijnen algen, mossen, organische structuren, bladdammen en andere habitatstructuren (D'Angelo et al. 1991) en wordt de retentie van nutriënten in het bekecosysteem verminderd (Newbold 1996).

4.2.8 Stuurbaarheid van hydrologische processen

Het grondwaterregime en de kwel en infiltratiepatronen zijn stuurbaar door maatregelen in de waterhuishouding (verminderen ontwatering, aanpassen beekpeilen, aanpassen afwatering, verminderen grondwateronttrekkingen) en vegetatiebeheer van het intrekgebied (onder andere vergroten grondwateraanvulling door omvorming naar

minder verdampende vegetatie). Voor het oplossen van verdrogingseffecten is aanpak van ont- en afwatering binnen natuurgebieden in de omgeving noodzakelijk. Maatregelen buiten de bestaande natuurgebieden zijn door conflicterende belangen met andere sectoren moeilijker realiseerbaar. De uitvoering daarvan stagneert en vergt langdurige processen. Vermindering van de ontwatering in bestaand bebouwd gebied is (vrijwel) onmogelijk. Voor goede resultaten vergt het plannen van maatregelen tegen verdroging en voor herstel van kwel altijd een gebiedsspecifieke uitwerking op basis van analyse van zowel lokale als regionale gegevens en in veel gevallen ook hydrologische modellering.

Herstel van inundatie en overstroming is mogelijk, maar het afvoerregime van oppervlaktewater in beekdalen en daarmee ook mogelijke inundatiepatronen zijn sterk en deels irreversibel veranderd door veranderingen in landgebruik, de ont- en afwatering op stroomgebiedschaal. Daar waar delen van beekdalen volledig kunnen worden ingericht voor natuur, liggen wel mogelijkheden voor vergaande aanpassingen. Het regime en ruimtelijke patroon van stroomsnelheid in beken kan in sterke mate worden beïnvloed door aanpassing van het dwarsprofiel (verandering van diep genormaliseerde profielen naar profielen met meer variatie in waterdiepte, toestaan overstroming). Herstel van grondwateraanvulling in intrekgebieden met veel verhard oppervlak (bebouwing, wegen) is door de hoge kosten praktisch onmogelijk.

4.3 Morfologie en stofstromen in beken

4.3.1 Lengteprofielen

Onder lengteprofiel van een beek wordt hier de beddingvorm van een beek in de longitudinale richting verstaan. Dit betreft de mate waarin een beekbedding kronkelt, het aantal beeklopen en de mate van vertakking van beeklopen.

Het lengteprofiel is afhankelijk van de afvoerdynamiek (hoeveelheid water per tijdseenheid), het verval (helling van het stroombed) en de samenstelling van het getransporteerde sediment, de samenstelling van het beddingmateriaal (mineraal en organisch materiaal) en de vegetatie. Bij een klein verval en sterk wisselende afvoer, vooral wanneer de bedding periodiek droogvalt, worden zandbanken op ogenschijnlijk willekeurige plaatsen in de bedding gevormd. Hierdoor ontstaat uiteindelijk een vertakt (anabranche) of vlechtend (anastomose) tracé (onder andere Schumm 1977). Zandbanken, ijzeroerbanken, ingevallen bomen en andere obstakels kunnen ook tot lengteprofielwijzigingen leiden. Dergelijke processen kunnen van nature optreden - ook bij een lage afvoerdynamiek - door bijvoorbeeld het omwaaien of afsterven van bomen, moerasvorming of door de activiteit van grote grazers en bevers. Ook hierdoor ontstaan ook vertakte en vlechtende systemen. Juist in vlakke dalen of in kommen in het landschap wordt het vertakte patroon zo diffuus dat eerder sprake van moeras is dan van een duidelijk stelsel van beeklopen. Dergelijke beekvormen kwamen van nature in het laagland veelvuldig voor en bieden gevarieerde en waardevolle beekmilieu's. De lengteprofielontwikkeling in langzaam stromende beken met weinig verval is sinoïd (zwak slingerend) of meanderend van karakter. In zulke lengteprofielen bepalen vooral fysische processen (erosie en sedimentatie) de morfologie van het lengteprofiel. Snelstromende beken met een groot verval zijn recht tot zwak slingerend (sinoïd) (Yu & Wolman 1987). Dit is het geval met beken die ontspringen op stuwwallen en beken in de hogere delen van het heuvelland. Hierop zijn echter veel uitzonderingen mogelijk als gevolg van voeding, bodemsamenstelling en oeverbegroeiing. Voor de dimensies van bochtstralen, meanderlengte, meanderbreedte) geldt dat ze groter zijn naarmate de piekafvoer groter is.

Onder natuurlijke omstandigheden zijn de lengteprofielen van beeksystemen in Nederland min of meer stabiel. Dynamiek in de morfologie vindt vooral plaats binnen het stroombed van de beek (Wolfert, 2001). Over middellange termijn (decennia) verandert er weinig aan het lengteprofiel en de beddingvorm, er is sprake van een evenwicht. Op lange termijn (decennia tot eeuwen) kunnen erosie en sedimentatie wel

geleidelijk veranderingen in lengteprofiel en het verhang veroorzaken. De morfologische beddingdynamiek is meestal zeer laag onder moeras- of vertakkende omstandigheden en deze neemt steeds verder toe gaande van vertakte, meanderende naar rechte lengteprofielen.



Foto 8: In trajecten van de Rode Beek in Zuid-Limburg is beekherstel uitgevoerd waarbij een meanderend lengteprofiel is aangelegd (foto Camiel Aggenbach).

Een deel van de beekdalen liggen in diepe smeltwatergeulen en stroomdalen die tijdens de ijstijd al aanwezig waren. Diverse beeklopen volgden en volgen nog steeds deze dalen. Daarnaast zijn ook na de laatste ijstijd afwateringspatronen van duidelijke beken en diffuse afwateringspatronen ontstaan in laagten tussen de smeltwaterdalen en oude stroomdalen. Vanaf het Laat-Holoceen heeft de mens op afwateringspatronen ingegrepen. Veel moerasvormige, vertakte beeksystemen zijn uit laagten en dalen verdwenen door ontginning en aanleg van drainage en afwatering vanaf de Middeleeuwen. De aanleg van ont- en afwatering leidde waarschijnlijk tot het ontstaan veelal beken met één duidelijke stroomgeul die in loop der tijd vaak een meanderend of sinoid lengteprofiel kregen. Zulke ‘aanleg’ van beken kan ook bij gedragen hebben aan het ontstaan van beken in en door laagten tussen de stroom- en erosiedalen uit de ijstijd. De scheiding tussen land en oppervlaktewater werd daarmee steeds scherper. Vroegere ingrepen in de waterhuishouding beïnvloedde de afvoer, het afvoerregime van stroomgebieden en het verval van beken waardoor lengteprofielen uit evenwicht raakten en tijdelijk relatief grote dynamiek vertoonden. In veel meanderende beken zijn de meanders waarschijnlijk in relatief korte perioden ontstaan na ingrepen in beekloop of stroomgebied en vervolgens ‘tot rust’ gekomen. Veel meanderende beken hebben nu een (zeer) lage migratiesnelheid van het stroombed. In de 20e eeuw zijn veel meanderende beken rechtgetrokken (kanalisatie) en tegelijk zijn de dwarsprofielen genormaliseerd tot standaardprofielen (normalisatie) met een verdiept stroombed. Om in de zomer droogval te voorkomen (gevolg van de normalisatie) werden vervolgens nog vaak stuwen aangebracht. Ook beken die nu nog meanderen hebben door schoningsbeheer en moedwillige verdieping voor drainage een steeds dieper stroombed gekregen. De beekbodem ligt daardoor tegenwoordig vaak veel dieper (1 tot ca 3 m) onder de dalbodem. De huidige beek lijkt dan vaak ook meer op een sloot of kanaal met een door stuwen gereguleerd peil.

4.3.2 Dwarsprofiel en structuren in het stroombed

Met het dwarsprofiel van een beek wordt het ruimtelijke verloop loodrecht op de lengterichting van de beek tussen beide beekoevers aangeduid. Het verhang, de regelmatig optredende piekafvoeren, het materiaal van het stroombed en de weerstand

van het stroombed zijn direct van invloed op de dwarsprofielgegevens. Deze factoren zijn bepalend voor erosie en sedimentatie. Dimensies van het dwarsprofiel passen zich dusdanig aan dat netto geen erosie of sedimentatie plaatsvindt in het stroombed. Het afvoerregime is mede verantwoordelijk voor de variatie in stroomsnelheid en is dientengevolge van invloed op de veranderingen in het dwarsprofiel. Veranderingen van de stroomsnelheid resulteren in veranderingen in het sedimenttransporterende vermogen wat kan leiden tot erosie of sedimentatie van bodem en oever. Hierdoor treden veranderingen op in beddingdimensies en -samenstelling wat de stroomsnelheid kan beïnvloeden; een terugkoppelingsmechanisme.

Van nature waren beeksystemen zeer ondiep en plaatselijk smal of breed tot zeer breed. Hierdoor was een grote structuurvariatie en daarmee biodiversiteit mogelijk. Op de ene plek treedt erosie op, terwijl op een andere plek sedimentatie optreedt. Hierdoor ontstaat een grote variatie in de samenstelling van het beddingmateriaal in een traject en in het dwarsprofiel van een bocht. Afhankelijk van verschillen in stroomsnelheid wordt het sediment verplaatst en gesorteerd, wat leidt tot substraatmozaïeken. Zo kan door het uitzeven van fijnere deeltjes uit de bovenste laag, deze laag een zodanig grove samenstelling krijgen dat bij het actuele stromingsregime geen erosie meer optreedt (onder andere Schumm, 1977). Oever- en bodemerosie treden vooral op tijdens en na perioden van hoge afvoer en bepalen dan de macrovormen in het stroombed. Bij lage afvoeren in de zomerperiode vormen zich onder invloed van sedimentatie mesovormen (Wolfert, 2001).

Een van de belangrijkste relaties van de beek met haar directe omgeving wordt bepaald door de waterplanten- (indien aanwezig) en oeverbegroeiing. Waterplantbegroeiingen in meanderende beken dragen bijvoorbeeld in de zomerperiode bij aan de vorming van mesovormen doordat ze sedimentatie van silt en organisch deeltjes bevorderen (Wolfert, 2001). Ook zijn waterplant begroeiingen van grote invloed op de hydraulische weerstand van het stroombed. Van nature komen houtige gewassen veel langs beken voor (Brown, 1997). De relatie tussen het beekmilieu en de oever- en beekbegroeiing uit zich in de mate van beschaduwing (effect op watertemperatuur en hoeveelheid lichtinstraling) en de hoeveelheid (vooral dood) organisch materiaal die in het water terecht komt. Daarnaast kan ook de oevervegetatie de beekmorfologie beïnvloeden vooral als gevolg van de bewortelvorm (Gregory et al. 1985). Dus de begeleidende vegetatie legt het lengte- en dwarsprofiel vast en is een belangrijke bron van organisch materiaal. Juist de organische structuren hebben een cruciale invloed op de hydraulische en morfologische processen, vooral ten aanzien van stromingsweerstand, oeverstabiliteit, oevervorm, sedimentatie en damvorming (Hickin & Nansen 1984; Collins & Montgomery, 2002). De morfologie en morfodynamiek van vegetatierijke beken is daarom niet alleen te verklaren en modelleren op grond van processen voor erosie en sedimentatie.

Door menselijke ingrepen in lengte- en dwarsprofielen (paragraaf 4.3.1) is veel van de variatie aan structuren in beken verloren gegaan en trad een sterke verkleining van het contact tussen het aquatische en terrestrische milieu op. De gradiënt veranderde in een abrupte overgang met een sterke verarming in structuurvariatie. Wanneer door kanalisatie het water langzamer stroomt en in de zomer zelfs tijden lang stil staat, sterven zuurstofbehoefte dieren of trekken weg. Daarnaast treden in veel beken verlies aan structuur op als gevolg van regelmatig onderhoud. Het vrij maken en houden van stroombed grijpt in op een basaal proces (patroondifferentiatie) in het functioneren van beekecosystemen. Het verwijderen van omgevallen bomen, ingevallen takken en waterplanten leidt tot een verwijderen van natuurlijke obstakels die de beekbodem vasthouden en voor het grootste deel van de habitatvariatie in een beek zorgen. Door schoningsbeheer zijn beken ook verder verdiept en hebben ze bij een basisafvoer een beekpeil dat diep onder het niveau van de dalbodem ligt. Structuren in het stroombed verdwijnen ook als gevolg van hoge pieken in stroomsnelheid in het hele genormaliseerde en verdiepte stroombed. Voor beekherstel is daarom verondieping van het dwarsprofiel en het stoppen van schoningsbeheer noodzakelijk.

4.3.3 Organisch materiaal en substraatmozaïeken

In een natuurlijke beek is veel organisch materiaal aanwezig in de vorm van boomstammen, takken, bladpakketten, detritusafzettingen en slibzones. Aangezien beken van nature in de laagste delen van een dal liggen, fungeren ze als verzamelbekkens voor dood organisch materiaal zoals blad en takken die wind en oppervlaktewater worden verplaatst. Daarnaast kan ook direct organisch materiaal invallen (bos, overbegroeiing) en vormt de vegetatie in het stroombed zelf ook organisch materiaal. Deze aanvoer van organisch materiaal zorgt voor een constante voedselaanvoer in de voedselketen en de vorming van organische structuren in de beek. Opeenhopingen van organisch materiaal bieden micro-organismen (bacteriën en schimmels) en macro-organismen (macrofauna, vissen) schuilplaatsen en voedsel (Cummins 1975). De natuurlijke aanvoer van organisch materiaal is het hoogst in de herfst. De organische structuren worden vooral verplaatst, gevormd en weggeslagen tijdens afvoerpieken in vooral het voorjaar en na zomerbuien. Echter, de structuren worden ook bij en door lage afvoeren beïnvloed, bijvoorbeeld een bladdam kan na opdrogen verwaaien. Stormen kunnen leiden tot een sterk verhoogde toevoer van organisch materiaal naar de beek. Omgevallen bomen, afgebroken takken en grote hoeveelheden blad komen in de beek terecht en kunnen daar worden vastgehouden (Gregory et al. 1985).

De invloed van takjes, takken en stammen op stromende wateren uit zich in een wijziging van de (micro-)morfologie van de beek maar induceert ook wijzigingen in het lengteprofiel waardoor vertakte beekstelsels met meerdere lopen en aanwezigheid van poelen kunnen ontstaan (Walter & Merritts, 2008). In een natuurlijke laaglandbeek in bos bestaat gemiddeld ongeveer 25% van de bodem van een bronbeek of bovenloop uit dood hout terwijl nog eens gemiddeld ongeveer 25% bestaat uit detritusafzettingen, afgezet in de luwte van organische structuren (Anderson & Sedell 1979). Dit betekent dat ongeveer de helft van het natuurlijke beekmilieu wordt gevormd door organisch materiaal. Daarbij komt nog dat op macroschaal de loop van de beek sterk bepaald wordt door de aanwezigheid van levend organisch materiaal zoals bomen (Gregory et al. 1985). In de benedenlopen loopt het aandeel van dood organisch materiaal ongeveer met de helft terug. De fysische rol van hout in de beek als vormver van de micromilieus is belangrijker dan de metabolische rol als voedselbron. Voor ingevallen blad geldt het omgekeerde (Cummins et al. 1981).



Foto 9: Losgespoelde boomwortels en holle oevers zijn belangrijke schuilplaatsen voor larven van beekbewonende insecten (foto Tim Termaat/ De Vlinderstichting).

Door organische structuren en obstakels wordt de stroomsnelheid met een factor twee tot drie vertraagd (opstuwning). Ook het sedimenttransport en de oevererosie nemen dan significant af terwijl de habitatdiversiteit toeneemt (Anderson et al. 1978). Door het verwijderen van organische structuren uit beken door schoningsbeheer en sterke afname van bos langs beken is de morfologie en het substraat van laaglandbeken drastisch veranderd. Bovendien worden genormaliseerde beekbeddingen bij hoge stroomsnelheden veel organische structuren weggeslagen.

Ophoping van organisch materiaal in beken is van essentieel belang bij de vorming van opeenvolgingen van stroomversnellingen en poelen, de beddingruwheid, de oeverstabiliteit en de dwars- en lengteprofielontwikkeling. Deze laatste kan op lange termijn weer resulteren in het afsnijden van bochten en daarmee het ontstaan van oude armen. Daarbij sturen ophopingen van organisch materiaal de stroomdraad en de erosie-sedimentatie processen. Ophopingen van organisch materiaal kunnen ook leiden tot inundatie van het beekdal en retentie van organisch en anorganisch sediment bevorderen. Daarnaast zorgen accumulaties van organisch materiaal voor variatie in de stroomsnelheid en habitatvorming wat kan leiden tot een grotere soortdiversiteit (Tolkamp 1981). Plaatselijk ontstaan stroomversnellingen, waardoor vooral in sneller stromende beken, indien grind aanwezig is, grindsubstraten kunnen ontstaan, terwijl in de luwte van de stroom afzetting van fijn organisch materiaal plaatsvindt. Stroomversnellingen en watervalletjes zorgen voor turbulentie met als gevolg een goede zuurstofvoorziening. Bekken zijn van nature met zuurstof verzadigd, behalve op plaatsen met weinig doorstroming en grote ophoping van blad.

Samenvattend kan gesteld worden dat de vegetatie, vooral houtige vegetatie, rond en in beken van grote invloed is op aard en variatie van beekhabitats. Belangrijke factor daarbij is de toevoer en aanwezigheid van hout en blad in de beekbedding. Door sturing van de vegetatieontwikkeling (onder andere bos- en moerasontwikkeling) en het achterwege laten van schoningsbeheer in de beekbedding, kan de ruimtelijke habitatstructuur en daarmee biodiversiteit hersteld worden.

4.3.4 Stofstromen in beken

Primaire productie en nutriëntenhuishouding

Van nature komen fosfor en stikstof niet evenredig verdeeld over een stroomgebied voor. In feite begint de hydrologische kringloop van een beek bij het infiltratiegebied. Hier vormt neerslag de belangrijkste bron van water en stoffen. Omdat neerslag van nature arm is aan opgeloste stikstof- en fosforverbindingen was het infiltratiegebied voedselarm of oligotroof. Dit geldt voor de randen van het stroomgebied (waterscheiding) en andere hoog gelegen infiltratiegebieden (Grootjans 1980). Door landbouw in de hoge delen van het stroomgebied en atmosferische depositie zijn deze delen voedselrijker geworden.

Door transport door of over de bodem van het stroomgebied worden oplosbare stikstof- en fosforverbindingen uit de bodem aan het water toegevoegd. Vooral in de winter en het voorjaar is de stikstof en fosfaat uitspoeling groot via korte ondiepe stroombanen en door afstroming over maaiveld. Fosfaat wordt in de beek vooral getransporteerd via slib omdat het daaraan geadsorbeerd wordt.

Ook spelen processen in de beek zelf een rol in de nutriëntenhuishouding. De beek wordt bovenstrooms gevoed met grof organisch materiaal. Naarmate dit materiaal stroomafwaarts wordt verplaatst, wordt het verder afgebroken en komen steeds meer opgeloste organische stoffen en/of nutriënten vrij. In de bovenloop en de middenloop resulteert dit in voedselarme tot matig voedselrijke (oligo- tot mesotrofe) omstandigheden. Benedenlopen zijn van nature dikwijls matig voedselrijk tot voedselrijk (eutroof) (onder andere Wallace et al. 77, Vannote et al. 1980).

De beekwaterkwaliteit wordt momenteel sterk antropogeen beïnvloed. Door overbemesting van landbouwgronden gedurende de laatste decennia spoelt veel stikstof uit naar het oppervlaktewaterstelsel. Nitraat wordt nauwelijks gebonden in de

bodem waardoor het snel uitspoelt. Dit leidt tot een hoge belasting van de beek met stikstof. Hoewel fosfaat sterk wordt gebonden aan de bodem zorgt bemesting ook voor uitspoeling van fosfaat. Belasting met nutriënten treedt ook op door riooloverstorten en rioolwaterzuiveringen. Vooral akkerbouw leidt tot erosie in het stroomgebied en daarmee tot aanvoer van mineraal sediment (Brown 1997). Rioolwaterzuiveringen zorgen nog voor een hoge belasting met fosfaat. De laatste decennia treedt, naast verrijking van oppervlaktewater, in toenemende mate verontreiniging van grondwater op.

Grondwater wordt vervuild door vooral uitspoeling van meststoffen uit landbouwgebieden en daarnaast door puntlozingen, riooloverstorten, riool lekkages en atmosferische depositie. Omdat grondwatersystemen steeds dieper vervuild raken door meststoffen neemt de toevoer van nutriënten en ook sulfaat via het grondwater ook toe. Ook wordt er in de pleistocene delen van Nederland water ingelaten om watertekorten in de zomer tegen te gaan. Inlaat van gebiedsvreemd water leidt tot verandering van de natuurlijke watersamenstelling. Naast inlaat speelt hier afkoppeling en aankoppeling van beektrajecten een rol.

Plaatselijk is de waterkwaliteit beïnvloed door milieuvreemde stoffen afkomstig van industrie, overstorten, rioolzuiveringen en oppervlakkige en ondiepe afstroming vanuit de landbouw. Het betreft toevoer van microverontreinigingen, zware metalen en bestrijdingsmiddelen (vergiftiging). Zware metalen nemen overigens ook toe onder invloed van pyrietoxidatie door vermist van het grondwater en door verdroging. In beekdalen waar overstroming optreedt, zorgt een hoge nutriëntenbelasting voor aanvoer van nutriënten naar overstroomde delen en vormt daar een knelpunt voor voedselarme ecosystemen. Toevoer van sedimentatie van slib is een belangrijke factor bij deze eutrofiëring (Runhaar & Jansen, 2004).

Geconcludeerd kan worden dat de toevoer van fosfor, stikstof en toxische stoffen naar beken en beekdalen met aanpassing van het landgebruik, verbeteren van rioolwaterzuiveringen en afkoppelen van riooloverstorten kan worden verminderd.

Basenrijkdom

Het calcium- en bicarbonaatgehalte van het voedende grondwater bepalen in hoge mate de zuurgraad, alkaliniteit en hardheid van een beek. Afhankelijk van de samenstelling van het grondwater varieert de basenrijkdom van het beekwater. De Zuid-Limburgse bronnen zijn bijvoorbeeld van zeer basenrijk (circa 100 mg Ca/l) terwijl de Veluwe sprengen kalkarm zijn (circa 15-25 mg Ca/l) (Redeke 1948). Naast de basenrijkdom van het voedende grondwater speelt de hoeveelheid detritus in beken een rol. Bij anaërobe afbraak van detritus ontstaan humuszuren die de pH in het bovenstaande water kunnen verlagen.

De zuurgraad heeft een belangrijke invloed op de fysiologie van waterorganismen. Om bij een lage pH te kunnen overleven hebben waterorganismen speciale aanpassingen nodig. Het aantal soorten met dergelijke aanpassingen is gering. Zo worden bij een pH lager dan circa 5,5 geen *Mollusca* en *Hirudinea* meer aangetroffen (Hall & Liekens 1980).

Waterplanten zijn voor de voorziening van koolstof afhankelijk van het aanwezige opgeloste kooldioxide of bicarbonaat. Is weinig bicarbonaat aanwezig dan komen weinig macrofyten voor (Haslam 1987). Door bemesting en bekalking van landbouwgronden is de hardheid van het beken die voorheen relatief basenarm waren, toegenomen. De verharding van het beekwater is tegen te gaan door aanpassing van bemesting en bekalking in infiltratiegebied.

Zuurstof

Het zuurstofgehalte oefent een belangrijke invloed uit op de fysiologie van organismen. Buiten anaërobe bacteriën zijn er geen organismen die strikt zonder zuurstof kunnen leven. In water is de hoeveelheid zuurstof, in vergelijking met die in de buitenlucht, ongeveer 7,5 maal geringer. De concentratie loopt uiteen van 0 tot $\pm$ 20 mg/l. De zuurstofconcentratie in water is temperatuurafhankelijk; bij hogere temperatuur treedt bij een lagere concentratie zuurstofverzadiging op. Bij lagere

temperatuur kan het water meer zuurstof bevatten. Zuurstof komt in het water terecht door diffusie uit de lucht, door menging van lucht en water als gevolg van waterbeweging en door de fotosynthese door waterplanten en algen (Brehm & Meijering 1982). De normale ranges van het zuurstofpercentage in beekwater lopen uiteen tussen de 80 en 120% van de evenwichtsconcentratie (Verdonschot et al. 1995).

Organisch materiaal en decompositie

Van al het organische materiaal dat een natuurlijke beek bereikt, bestaat circa 70 (50-85)% uit blad en 30 (15-50)% uit hout. In naaldbossen kan het aandeel hout tot 70% oplopen. De aanvoer vindt plaats door directe inval (circa 67%), door wind (circa 17%) en door zijdelingse toevoer (circa 17%). In een natuurlijke laaglandbeek wordt ongeveer 60-75% van de jaarlijkse aanvoer van organisch materiaal ter plaatse opgeslagen in structuren en deels afgebroken. Ongeveer 25-40% van het aangevoerde organische materiaal wordt stroomafwaarts getransporteerd. Waarschijnlijk zijn de afbraak en de afvoer op jaarbasis in redelijk in evenwicht met de aanvoer, met als correctie lokale ophopingen zoals in binnenbochten (Andersson & Sedell 1979). De rol van organisch materiaal als bron van voedsel kan onderverdeeld worden naar microbiologische en biochemische criteria. Gaande van grove partikels, fijne partikels tot opgeloste organische moleculen neemt de rol van de schimmels af en die van de bacteriën toe. Een groot deel van de macrofauna in beken gebruikt dood organisch materiaal als voedselbron.

Afbraak van organisch materiaal leidt tot de toevoer van voedingsstoffen naar het beekwater. Daarnaast kunnen ophopingen van organisch materiaal leiden tot verlaging van de zuurstofconcentratie. Een teveel aan organisch materiaal kan zelfs leiden tot zuurstofloosheid in de bodem en het oppervlaktewater. Dit kan optreden op plaatsen waar de beek zwaar beschaduwd is en onvoldoende afvoer plaatsvindt. De mate van organische belasting wordt uitgedrukt in de saprobiegraad die op het ammoniumgehalte of het biologisch zuurstofverbruik kan worden gebaseerd (Sladeczek 1973). In zuurdere systemen wordt de nitrificatie geremd waardoor van nature hogere ammoniumgehalten optreden zonder dat dit tot saprobiëring leidt.



Foto 10: Dood hout in de beek levert veel mogelijkheden op voor beekbewonende fauna (foto Sicco Ens/ De Vlinderstichting).

De beekwaterkwaliteit wordt vaak beïnvloed door de antropogene aanvoer van organisch materiaal. De toevoer van organische stoffen beperkt zich tegenwoordig tot incidentele lozingen met zuurstofbindende stoffen uit RWZI's (calamiteiten), riooloverstorten, spoelen van mesttanks en melktanks, illegale mestlozingen en afspoeling uit kuilvoer en mestdepots. Organische piekbelasting leidt tot tijdelijke zuurstofloosheid (verstikking) (Friedrich & Lacombe 1992).

Samenvattend kan gesteld worden dat organisch materiaal essentieel is voedselbron voor beekfauna. Het terugbrengen van hout in en langs beken leidt tot een herstel van deze oorspronkelijk aanwezige voedselbron.

IJzer en sulfaat

De ijzerconcentratie in beken is belangrijk voor beekecosystemen. IJzer is in gereduceerde vorm (Fe^{2+}) is toxisch. De Fe^{2+} -concentratie in het beekwater kan hoog zijn door toestroming van ijzerrijk grondwater uit ontwatering, door beregening, door bronnering. Overbemesting kan ook leiden tot een hoge Fe^{2+} -concentratie in het gedraineerde grondwater (paragraaf 4.4.2). Het ijzerrijke grondwater komt door kwel terecht in beken. In de beek wordt het ijzer door oxidatie omgezet in het niet giftige hydroxides van Fe^{3+} . Daarom vindt stroomafwaarts van locaties waar ijzerrijk water de beek instroomt uitvloeking van ijzer plaats.

In oppervlaktewateren die geen ijzerrijk grondwater ontvangen of waar gebiedsvreemd water ingelaten wordt, zijn het sulfaat- en bicarbonaatgehalte vaak hoog (Nijboer 1996). Deze stoffen leiden bij hoge concentraties tot interne eutrofiëring en de vorming van sulfiden (paragraaf 4.4). Zulke eutrofiëring en sulfidevorming treden op in anaërobe sedimenten zoals sterke blad- en detritusophoppingen of organisch materiaal dat na piekafvoeren bedekt raakt met zand. Bij een tekort aan ijzer kan de sulfideconcentratie in het bodemwater zo hoog oplopen dat sulfidetoxiciteit optreedt voor gravende macrofauna die in de bodemlaag leeft. Deze processen treden in veel beken lokaal op. In beken met inlaat van gebiedsvreemd water én kwel van ijzerrijk grondwater, zijn deze effecten niet waargenomen. Interne eutrofiëring en sulfidetoxiciteit kunnen worden verminderd door vermindering van de bemesting en het voorkomen van waterinlaat.

4.3.5 Stuurbaarheid

Het dwars- en lengteprofiel van beken zijn op macroniveau in sterke mate en snel te beïnvloeden met graafwerk. Dwarsprofielen kunnen binnen de mogelijkheden die het afvoerregime worden aangepast door bijvoorbeeld beekbeddingen te verondiepen, oevers minder steil te maken en de beek de mogelijkheid te geven om bij hoge afvoeren buiten haar oevers te treden. Ook lengteprofielen kunnen worden aangepast. Vaak worden gekanaliseerde beken in een meanderend profiel gebracht door graafwerk. De wijze waarop lengteprofielen kunnen worden aangepast en of ondiepe beddingen mogelijk zijn met overstroming, hangen af van de ruimte die er voor een beek in het beekdal is. In beekdalen waar de dalbodem bestaat uit natuurgebied of natuurontwikkelingsgebied zijn meer mogelijkheden voor herstel dan in gebieden met waar landbouw de hoofdfunctie is of met bebouwing. In beekdalen waar grootschalige natuurontwikkeling plaatsvindt of al veel bestaande natuur is, zijn er mogelijkheden voor vergaand herstel dwars- en lengteprofielen. Daarbij zijn er mogelijkheden voor ondiepe beken, meanderende beken, vertakte en vlechtende beekstelsels. Ook kan gedacht worden aan beekdalen of -trajecten waarin oppervlaktewater over maaiveld wordt afgevoerd en daarbij zijn eigen weg zoekt. Bij beken door landbouwgebieden zijn de mogelijkheden beperkt. Door gebrek aan ruimte kunnen hier geleidelijke overgangen tussen aquatisch en terrestrisch niet of in geringe mate worden gerealiseerd.

Op een kleiner schaalniveau is de morfologie te sterk beïnvloeden door aanpassing van het onderhoud (niet schonen, beperkt, met veel lagere frequentie). Met het vegetatiebeheer van de beek en haar omgeving kan de morfologische ontwikkeling van beken op macro- en lager schaalniveau worden gestuurd (omgevallen bomen, oevervegetatie, moerasvegetatie, strooisel, takken). De mogelijkheden voor aanpassing

van schoningsbeheer en ontwikkeling van biotische structuren in de beek hangen af van de functies in een beekdal en effecten van minder intensief schoningsbeheer op de afvoercapaciteit (meer weerstand in de beek) en nat-schade in landbouwgebieden. In veel beken is met eenvoudige maatregelen al een sterke verbetering van de kleinschalige morfologie te bereiken zonder dat landbouw en bebouwing hier nadeel van ondervinden.

Afvoerregimes van beken zijn moeilijker stuurbaar (1) door de aanwezigheid van uiteenlopende functies die eisen stellen aan waterstand en daarmee afwatering en ontwatering en door (2) effecten van een veranderend klimaat. In veel gevallen bestaat het stroomgebied van beekdalen uit vooral landbouwgebieden en stedelijk gebied. Via het waterbeleid wordt met het programma WB21 wel invloed uitgeoefend op afvoerregimes door maatregelen. Ook de belasting met nutriënten en antropogeen organisch materiaal is moeilijk stuurbaar omdat bemesting voor landbouw en lozingen van rioolzuiveringen op grote schaal hier bepalend in zijn. Bij het huidige beleid zullen de nutriëntengehalten ondanks een vermindering van de belasting hoge blijven. Alleen in meestal kleinere beekdalen (vaak bovenlopen) waar het deelstroomgebied natuurfunctie krijgt is wel een sterke verbetering mogelijk. Verbetering of verplaatsen van rioolzuiveringen kan voor specifieke beken een sterke verbetering van de waterkwaliteit geven.

4.4 Stikstof-, zwavel- en ijzerchemie

De stikstof-, zwavel- en ijzerchemie hangen nauw met elkaar samen en spelen een belangrijke rol in natte ecosystemen. Processen op de schaal van het landschap werken daarbij door op de biogeochemische processen en nutriëntenhuishouding van de standplaats. Grondwaterafhankelijke systemen in het beekdal worden gevoed door grondwater dat inzicht op aanzienlijke afstand van de standplaats. De biogeochemische reacties in de ondergrond bepalen uiteindelijk de chemische samenstelling van het voedende grondwater. Reacties tussen de componenten van het grondwater en de lokale bodem zijn uiteindelijk weer bepalend voor de beschikbaarheid van nutriënten en de basenverzadiging van de bodem.

In de volgende subparagrafen worden de belangrijkste sleutelprocessen voor de chemie van stikstof, zwavel en ijzer besproken.

4.4.1 Nitraat

In Nederland heeft het freatische grondwater vaak hoge nitraatconcentraties door de uitspoeling van nitraat uit overbemeste landbouwgronden en (naald)bossen. Dit kan leiden tot hoge nitraatconcentraties in beken maar ook in beekbegeleidende ecosystemen waar nitraatrijk grondwater kwelt (eutrofiëring).

De effecten van hoge nitraatconcentraties in het water op waterplanten worden nog niet goed begrepen. Een hoge nitraatconcentratie in het oppervlaktewater kan een negatieve invloed hebben vanwege de eutrofiërende werking. Dit geldt met name voor niet door fosfaat gelimiteerde systemen. Daarnaast kan de assimilatie van nitraat door planten leiden tot verstoringen in het metabolisme van waterplanten die juist zijn aangepast aan de opname van ammonium via de wortels. In aquatische systemen met een reductieve en ammoniumrijke bodem lijkt dit meer voor te komen. In combinatie met verslechterde lichtcondities, die in eutrofe systemen vaak heersen (veel zwevende stof, algen, slib), kan een hoge nitraatconcentratie in de waterlaag op deze wijze bijdragen aan de achteruitgang van wortelende waterplanten zoals *Potamogeton alpinus* (Boedeltje et al., 2005).

Een hoge opname van nitraat door planten kan ook leiden tot het neerslaan van ijzer in de plant (ijzerchlorose). Zo is voor Veldrus (*Juncus acutiflorus*) aangetoond dat op locaties waar veel nitraatrijk water toestroomt de planten ijzerchlorose kunnen vertonen (Smolders et al, 1997)

4.4.2 Interacties tussen de stikstof-, zwavel- en ijzerchemie op landschapschaal

In de bodem treden tussen stikstof-, zwavel- en ijzerverbindingen chemische processen op waardoor deze stoffen elkaars concentraties in de bodemvocht sterk beïnvloeden. Redoxreacties (zie tekstkader en figuur 8) spelen hierbij een belangrijke rol.

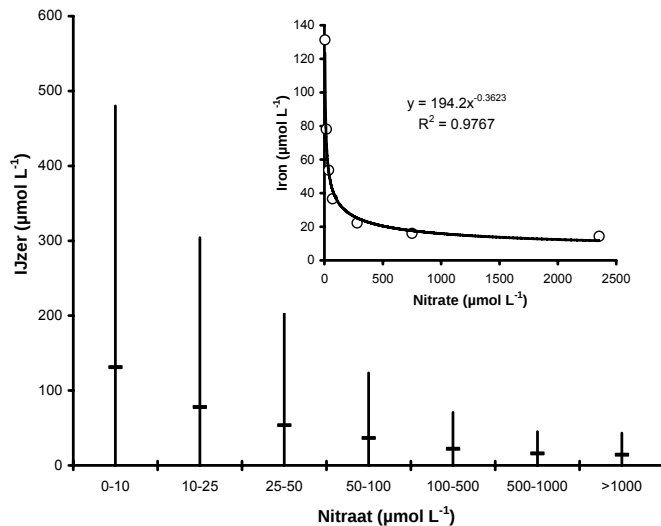
Redoxchemie

Bij een redoxreactie vindt uitwisseling van elektronen plaats tussen een reductor die deze afstaat en een oxidator die ze opneemt. Welke oxidator met welke reductor een reactie aangaat hangt af van de mate waarin elektronen gebonden zijn. Een redoxreactie kan alleen plaatsvinden wanneer er zowel een oxidator als een reductor aanwezig is. Elektronen kunnen in tegenstelling tot protonen namelijk niet vrij in de natuur voorkomen. De redoxpotentiaal E_h (uitgedrukt in mV) is een maat voor de elektronenactiviteit. Ze daalt naar mate de reacties moeilijker verlopen. Micro-organismen zoals schimmels en bacteriën fungeren als katalysator voor redoxreacties en gebruiken ze om stoffen om te zetten of af te breken. De energie die hierbij vrijkomt gebruiken ze onder andere voor groei (Drever, 1997; Smolders et al., 2006). Hoe lager de redoxpotentiaal hoe minder energie micro-organismen uit de reactie halen. In afwezigheid van zuurstof zullen achtereenvolgens, nitraat (NO_3^-), mangaan (Mn^{4+}), ijzer (Fe^{3+}), sulfaat (SO_4^{2-}) en koolstofdioxide (CO_2) als alternatieve oxidatoren optreden (figuur 7). Hierbij worden ze gereduceerd tot respectievelijk stikstofgas (N_2), stikstofoxide (N_2O) of ammonium (NH_4^+), mangaan (Mn^{2+}), ijzer (Fe^{2+}), sulfide (S^{2-}) en methaan (CH_4).

In de ondergrond kan nitraat uit het grondwater verdwijnen door anaërobe denitrificatiereacties. Hierbij wordt het nitraat omgevormd tot stikstofgas (N_2). Het meest voorkomend is denitrificatie waarbij nitraat wordt omgezet in N_2 onder invloed van organisch materiaal. Daarnaast kan ook ammonificatie optreden waarbij nitraat wordt omgezet in ammonium. Denitrificatie wordt geremd door aërobe condities, een geringe beschikbaarheid van afbreekbaar organisch materiaal en een lage pH. Verder genereert denitrificatie als redoxreactie per saldo zuurbufferende capaciteit (een netto alkaliniteit). Dit kan leiden tot een verharding van het grondwater.



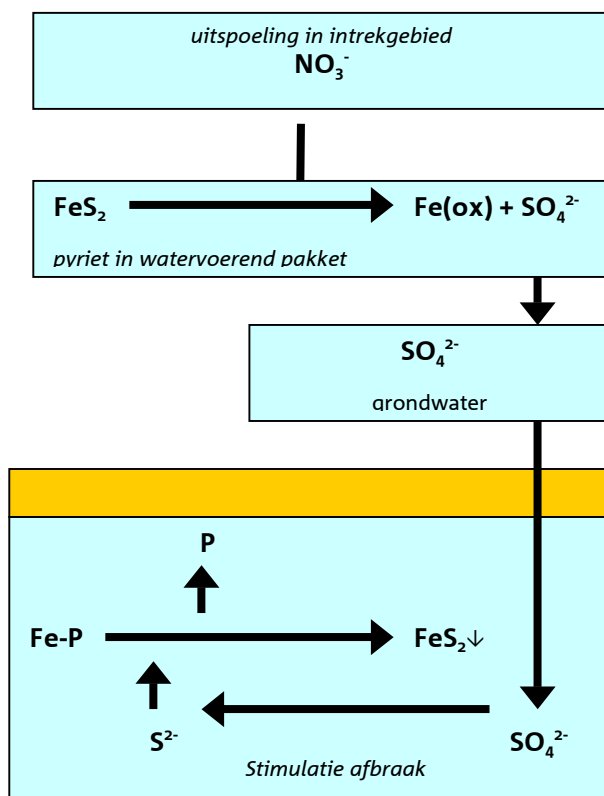
Foto 11: Kwel van ijzerrijk grondwater is in beekdalen een belangrijke factor in de regulatie van de fosfaathuishouding in de bodem (foto Camiel Aggenbach).



Figuur 6. Relatie tussen de nitraatconcentratie en de ijzerconcentratie van Nederlands grondwater. De figuur is gebaseerd op 1000 grondwateranalyses uit het archief van Onderzoekcentrum B-WARE. Het horizontale streepje geeft de mediaan weer voor elke nitraat concentratie-klasse, de verticale streep de spreiding van de gemeten ijzer concentraties.

De aanwezigheid van nitraat (als eerste alternatieve oxidator) voorkomt het reduceren van geoxideerd ijzer en zwavel (figuur 7). Nitraat werkt daardoor als een redoxbuffer waardoor het ijzer en zwavel in de geoxideerde staat blijven en het ijzer efficiënt fosfaat kan immobiliseren (Smolders et al., 2006a).

Wanneer nitraat in de ondergrond reageert met pyrietrijke (FeS_2) afzettingen verdwijnt het nitraat en vindt er een verrijking van het grondwater plaats met sulfaat en, bij onvolledige oxidatie van pyriet, ook een verrijking met ijzer (zie figuur 6). Dit ijzer kan vervolgens fosfaat immobiliseren (Lucassen et al, 2004a+b). De mate waarin oxidatie van pyriet plaatsvindt, bepaalt dus de verhouding van nitraat, sulfaat en ijzer in het grondwater en is daarmee een belangrijke factor in de redoxreacties die optreden wanneer het grondwater het kwelgebied bereikt. In het Nederlandse grondwater wordt naast een sterke toename van de nitraatconcentraties dan ook een toename van de sulfaatconcentraties gemeten. Van nature komt in Nederland sulfaatrijk grondwater voor wanneer er sprake is van brakke kwel. Dit speelt vooral in het westen van het land en lokaal op de Waddeneilanden.



Figuur 7. Uitspoeling van nitraat kan tot hogere sulfaat concentraties in het grondwater leiden. Een hoge sulfaat belasting kan resulteren in eutrofiëring van natte natuur door fosfaat mobilisatie (Smolders et al. 2006).

Een toename van de sulfaatreductie kan in combinatie met een afname van de ijzerinput in de organische bodem de beschikbaarheid van fosfaat verhogen (figuur 7). Indirect (via pyrietoxidatie) kan nitraatuitspoeling uit landbouwgronden dus leiden tot een fosfaatprobleem door het verhogen van de beschikbaarheid van fosfaat in anaërobe bodems die gevoed worden met grondwater uit infiltratiegebieden met nitraatuitspoeling.

Bij de reactie met pyriet kunnen sporenelementen worden gemobiliseerd zoals nikkel, kobalt, zink en arseen. Deze kunnen accumuleren in het grondwater en leiden tot een overschrijding van de streefwaardes (Broers et al., 2004). In sloten en beken kan dit ook leiden tot hoge concentraties van dergelijke zware metalen.

Wanneer alle ijzer in de bodem is vastgelegd als ijzersulfide kan er ook giftig sulfide ophopen (rotte-eierengeur). Vermoedelijk zijn slechts weinig water- en moerasplanten hier tegen bestand. Voorlopige onderzoeksresultaten indiceren dat *Juncus*-soorten relatief ongevoelig en *Carex*-soorten relatief gevoelig zijn voor sulfide. Daarnaast kan met name in aquatische systemen ijzergebrek optreden wanneer de concentratie aan ijzer in de bodem te laag wordt (Smolders et al., 2006b).

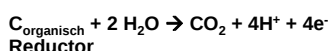
In grote delen van het land worden watertekorten in de zomer aangevuld door de inlaat van relatief hard en sulfaatrijk water. Onder invloed van hard en sulfaatrijk water wordt echter zowel de afbraak van organisch materiaal gestimuleerd (zie bij anaërobe afbraak van organisch materiaal) als de ijzer-fosfaatbinding verstoord. Een nadeel van de inlaat van sulfaatrijk oppervlaktewater is met name dat dit bijna per definitie arm is aan opgelost ijzer. Wanneer er in een (semi-)aquatisch systeem veel meer sulfaat dan ijzer binnenkomt valt te verwachten dat de mobilisatie van fosfaat aan ijzer te kort gaat schieten en de fosfaatbeschikbaarheid toeneemt (Smolders et al., 2003b; Smolders et al., 2006c).

4.4.3 Anaërobe afbraak van organisch materiaal

De afbraak van organisch materiaal is een redoxreactie (zie tekstkader redoxchemie). Onder aërobe omstandigheden wordt zuurstof gebruikt als oxidator. Onder anaërobe omstandigheden is nitraat de eerste alternatieve oxidator (zie tekstkader en figuur 8). De verhoogde aanwezigheid van nitraat en sulfaat kan daarom onder anaërobe omstandigheden leiden tot een versnelde afbraak van organisch materiaal. Bij de afbraak van het organisch materiaal komen nutriënten (onder andere ammonium en fosfaat) vrij waardoor de voedselrijkdom van het systeem toeneemt. Bij de anaërobe afbraak van organisch materiaal wordt alkaliniteit gegenereerd wat een positieve terugkoppeling heeft op de snelheid van de afbraak omdat dit proces in zure of zwakgebufferde veenbodems wordt geremd door een lage pH.

Met name wanneer de bodem uit veen bestaat en een hoge grondwaterstand heeft, kunnen de verhoogde nitraat- en sulfaatconcentraties leiden tot een ernstige eutrofiëring als gevolg van een versnelde afbraak van het veen.

Afbraak van organisch materiaal:



Electronen kunnen niet vrij voorkomen in de natuur. Deze reactie kan dus alleen verlopen indien er tegelijkertijd een reactie plaatsvindt waarbij de electronen worden geconsumeerd.

De oxidator wordt ook wel elektronenacceptor genoemd

Oxidatoren (met een voorbeeld van een bijbehorende reactie):

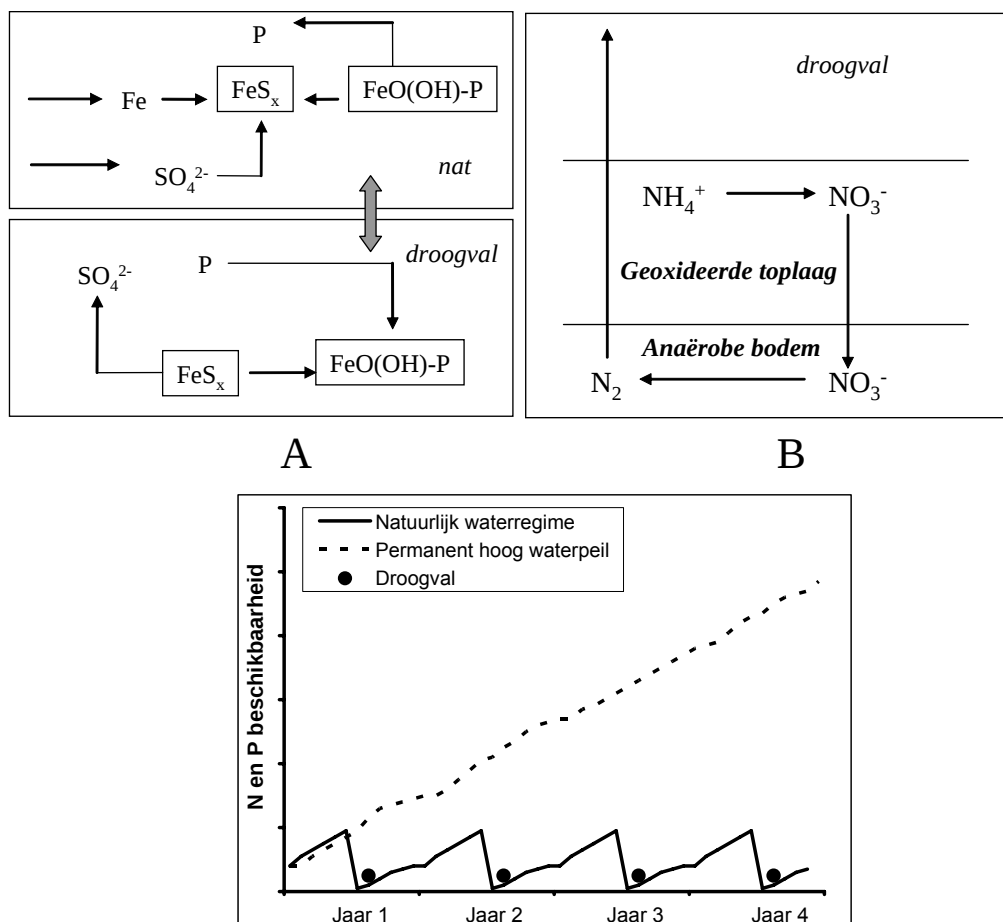
Afmnemende alkaliniteit ↓	Zuurstof:	$O_2 + 4 H^+ + 4 e^-$	->	$2 H_2O$
	Denitrificatie:	$2 NO_3^- + 12 H^+ + 10 e^-$	->	$N_2 + 6 H_2O$
	Nitraatreductie naar ammonium:	$NO_3^- + 10 H^+ + 8 e^-$	->	$NH_4^+ + 3 H_2O$
	Mangaanreductie:	$MnO_2 + 4 H^+ + 2 e^-$	->	$Mn^{2+} + 2 H_2O$
	Ijzerreductie:	$Fe(OH)_3 + 3 H^+ + e^-$	->	$Fe^{2+} + 3 H_2O$
	Sulfaatreductie:	$SO_4^{2-} + 8 H^+ + 8 e^-$	->	$S^{2-} + 4 H_2O$
	Methaanvorming:	$CO_2 + 8 H^+ + 8 e^-$	->	$CH_4 + 2 H_2O$

Figuur 8: De rol van (alternatieve) elektronenacceptoren bij de afbraak van organisch materiaal.

4.4.4 Tijdelijke droogval van natte bodems

In het koude jaargetijde verloopt de sulfaatreductie langzaam omdat het proces van sulfaatreductie een microbiel proces is en dus sterk temperatuursafhankelijk is. Gedurende de zomer kan het, met name voor met sulfaatrijk grondwatergevoede systemen, van belang zijn dat de toplaag van de bodem droogvalt. Door tijdelijk droogval kan zuurstof de bodem binnendringen waardoor oxidatiereacties optreden. Deze oxidatiereacties zorgen voor een verlaging van de nutriëntengehalten in het systeem (figuur 9).

Ammonium wordt onder invloed van zuurstof geoxideerd tot nitraat. Dit nitraat wordt dieper in de bodem gedenitrificeerd waardoor er dus netto een verlies van stikstof optreedt. Ook worden bij droogval ijzersulfide-verbindingen geoxideerd waardoor opnieuw ijzer(hydr)oxiden ontstaan en sulfaat vrijkomt. Wanneer vervolgens het waterniveau weer stijgt, kan het sulfaat uitspoelen terwijl immobiele ijzer(hydr)oxiden in de bodem achterblijven. Als gevolg hiervan neemt de hoeveelheid ijzer die beschikbaar is voor het immobiliseren van fosfaat toe en wordt de fosfaatbeschikbaarheid verlaagd. Omdat de oxidatieprocessen alle zuurgenererend zijn, wordt ook de zuur bufferende capaciteit (alkaliniteit) van het systeem verlaagd.



Figuur 9: Schematisch overzicht van de effecten van periodiek droogvallen op het trofieniveau van natte systemen.

4.4.5 Stuurbaarheid

De interacties tussen de stikstof-, ijzer en zwavelchemie op landschapsschaal laten zien dat een beschouwing van het beekdalsysteem in zijn geohydrologische context onontbeerlijk is. Bijna zonder uitzondering liggen de beekdalen in een agrarische omgeving met een vaak zeer intensief landbouwkundig gebruik. Inzicht in grondwaterstroming en de ligging van inzijsgebieden kunnen helpen om de gebieden te definiëren die het meest bepalend zijn voor de kwaliteit van het grondwater op

standplaatsniveau. Het inrichten van de ecologische hoofdstructuur, waarbij met name ook rekening wordt gehouden met het terugdringen van de nitraatuitspoeling uit specifieke inrijgebieden, behoort tot de mogelijkheden. De inrichting van robuuste natuurgebieden kan bijdragen doordat de meest kwetsbare natuurdoeltypen op deze wijze beschermd kunnen worden door een 'schone' omgeving. De positieve effecten van deze maatregelen zijn pas op langere termijn te verwachten. Er is daarom ook behoefte aan effectgerichte maatregelen op terrein- en standplaatschaal. Door het verleggen van naaldbossen en de omvorming van naaldbossen naar loofbossen de uitspoeling van nitraat naar het grondwater worden beïnvloed (door minder invang van stikstof door loofbossen).

Op de zandgronden worden op dit moment lokaal nitraatconcentraties van 300 mg/l in het ondiepe grondwater gemeten. De huidige Europese doelstelling van 50 mg/l (806 µmol/l) nitraat in het grondwater wordt op veel locaties niet gehaald. Deze 50 mg/l is gestoeld op de vereisten voor de drinkwatervoorziening maar is vanuit een ecologisch standpunt bekeken te hoog. Daarbij is ook geen rekening gehouden met de schadelijke gevolgen van nitraat via redoxreacties voor fosfaateutrofiëring.

In ecosystemen met een hoge grondwaterstand kunnen wisselende waterstanden de trofiegraad van grondwaterafhankelijke systemen verlagen door de afwisseling van reductie- en oxidatieprocessen in de toplaag van de bodem (Smolders et al., 2003a; Lucassen et al., 2005). Vooral wanneer het grondwater rijk is aan sulfaat zijn wisselende waterstanden belangrijk om eutrofiëring van natte systemen te voorkomen. Permanent waterverzadigde situaties kunnen onder deze omstandigheden leiden tot een ernstige eutrofiëring. Het tijdelijk droogvallen van venige bodems hoeft niet zonder meer te leiden tot een versnelde oxidatieve afbraak van het veen. Alleen bij het langdurig droogvallen van veenbodems is dit het geval.

4.5 Regulatie basenrijkdom

De zuurgraad van de bodem bepaalt in belangrijke mate de vegetatieontwikkeling in ecosystemen. Dit komt doordat de zuurgraad (pH) een parameter is die invloed heeft op nagenoeg alle biogeochemische processen. (Semi-)terrestrische bodems zullen van nature de neiging hebben te verzuren doordat oxidatieprocessen (die in de geaëreerde toplaag van de bodem plaatsvinden) netto zuur genereren. Hierbij moet gedacht worden aan processen als de afbraak van organisch materiaal, de oxidatie van ijzer, en de nitrificatie van ammonium. Wanneer een bodem onvoldoende bufferend vermogen heeft om deze zuurproductie te neutraliseren zal er vroeg of laat onherroepelijk verzuring van de bodem optreden.

Atmosferische depositie (zowel droog als nat) werkt ook verzurend. In Nederland is de regen niet zuur maar bevat wel hoge concentraties aan ammonium. In de bodem wordt dit ammonium genitrificeerd tot nitraat waarbij netto zuur vrijkomt. Het is dus beter te spreken over verzurende depositie. In het verleden zijn vooral de zwakgebufferde systemen (met name heide en vennen) indirect verzuurd ten gevolge van deze hoge ammoniumdepositie.

Er zijn vele factoren die invloed hebben op de zuurbuffering van de bodem. De natuurlijke kalkrijkdom van de bodem is uiteraard belangrijk. Daarnaast speelt, vooral voor de bodems die in landbouwkundig gebruik zijn, de mate van bekalking een belangrijke rol. In beekdalen is daarnaast de aanvoer van basen via het grondwater en via overstroming met beekwater van groot belang. De hydrologische condities bepalen zo in belangrijke mate de basenverzadiging (de bezetting van het bodemadsorptiecomplex met calcium en magnesium) van de bodem. Deze basenverzadiging werkt zuurbufferend omdat het bodemadsorptiecomplex waterstofionen kan verwijderen uit het bodemvocht door deze uit te wisselen tegen de basische kationen.

Naast de rol in het op peil houden van de basenverzadiging is de waterhuishouding belangrijk omdat deze de waterverzadiging van de bodem beïnvloedt.

Reductieprocessen die in waterverzadigde bodems plaatsvinden genereren per saldo buffercapaciteit. Verdroging van natte systemen gaat dan ook vaak samen met

verzuring. Hierbij speelt ook nog een rol dat inzijging van basenarm en zuur regenwater gaat optreden, waardoor ook basen kunnen uitspoelen uit de bodem (leaching).

In het beekdallandschap heeft elk vegetatietype zijn eigen optimale groeilocatie. Belangrijk hierbij is de laterale gradiënt in het beekdal. Vanaf de hoogste flanken van het beekdal naar de dalbodem toe vinden we vaak een gradiënt van droge, zure voedselarme, via vochtige, zure voedselarme naar natte, basenrijke, mesotrofe tot (matig) eutrofe vegetatie. Deze natuurlijke gradiënt wordt in belangrijke mate bepaald door de buffercapaciteit van de bodem, die toeneemt naar de beek toe. Dit hangt weer samen met infiltratie/kwelpatronen, grondwaterstroming en eventuele overstroming met beekwater (zie voor beschrijving van zulke gradiënten bijlage 3).

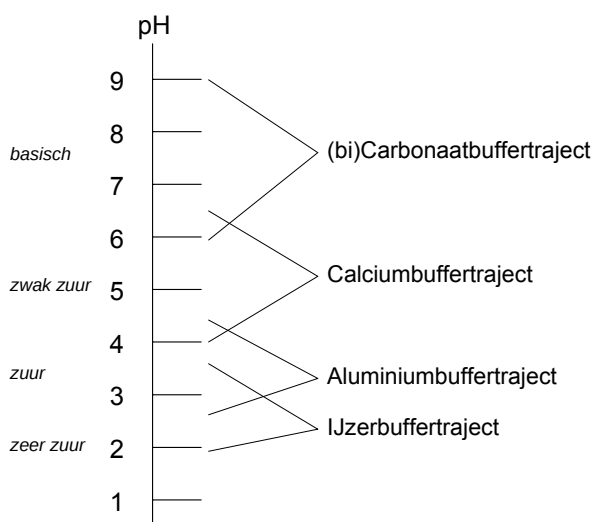
Voor vegetatietypen van matig zure tot basische bodems is een voldoende hoog zuurbufferend vermogen van de bodem van groot belang. Voor planten toxische stoffen kunnen hierbij ook een rol spelen. In zure bodems kunnen aluminium (vooral Al^{3+}) en ammonium ophopen. Beide stoffen zijn giftig voor soorten die hier niet aan zijn aangepast. Zo zijn veel zeldzame soorten van soortenrijke heiden gevoelig voor aluminium en ammonium en daarom komen ze niet voor op zure bodems (pH lager dan 4,5). Een algemene soort als Struikheide is ongevoelig voor aluminium en ammonium en komt wel onder (zeer) zure omstandigheden voor.

In de volgende subparagrafen worden de belangrijkste sleutelprocessen voor de regulatie van de basenrijkdom besproken.

4.5.1 Zuurbuffering

De buffercapaciteit geeft de mate aan waarin een systeem in staat is te compenseren voor veranderingen in zuurconcentraties. In natuurlijke waterige systemen betekent dit meestal dat een (bi)carbonaatbuffer (HCO_3^-) nieuw gevormde waterstofionen (protonen, H^+) neutraliseert onder vorming van koolstofdioxide (CO_2) en water (H_2O). Afhankelijk van de concentraties aan bufferende stoffen en de concentraties zuur blijft de pH hierbij constant in het zogenaamde (bi)carbonaatbuffertraject welke ligt tussen een waarde van ongeveer 6.2 en 8.6. Carbonaten als calciëet (CaCO_3) en dolomiet ($\text{CaMg}(\text{CO}_3)_2$) kunnen bij lager wordende pH waarden in oplossing gaan en zo netto buffercapaciteit genereren. Wanneer er echter meer waterstofionen worden gevormd dan er met bicarbonaat kunnen reageren, kan verzuring optreden waarbij de pH waarde daalt.

In kalkloze bodems wordt de bodem gebufferd door kation-uitwisseling (figuur 10). Omdat het calcium-ion het belangrijkste basische kation is wordt ook wel gesproken van het calcium-buffertraject. Dit buffertraject bevindt zich globaal tussen een pH van 4.5 en 6.5.



Figuur 10: Belangrijke pH buffertrajecten in bodems

Kationbuffering komt tot stand doordat kleimineralen en dood organisch materiaal aan het oppervlak licht negatief elektrisch geladen zijn. Zo vormen deze in de bodem het zogenaamde kationadsorptiecomplex. Positief geladen kationen als calcium, magnesium en kalium worden hierdoor aangetrokken en hieraan geadsorbeerd. Bij verzuring kan dit complex bijdragen aan verwijdering van waterstofionen uit het bodemvocht door deze uit te wisselen tegen de genoemde kationen. Is het kationadsorptiecomplex op een gegeven moment verzadigd met waterstofionen dan neemt de zuurconcentratie in het bodemvocht weer toe en daalt de pH verder. Beneden een pH van ongeveer 4,5 gaan aluminium(hydr)oxiden, die over het algemeen in iedere bodem in aanzienlijke hoeveelheden gevonden kunnen worden, in oplossing. Hiermee is het aluminiumbuffertraject bereikt. Daalt de pH nog verder dan wordt het ijzerbuffertraject bereikt waarbij als gevolg van de zeer zure omstandigheden de oplosbaarheid van ijzer(hydr)oxides toeneemt. De grootte van het kationadsorptiecomplex en de mate waarin dit complex bezet is met basische kationen, bepalen hoeveel zuur er geneutraliseerd kan worden alvorens aluminium en vervolgens ijzer in oplossing gaan in het bodemvocht nadat de carbonaatbuffering is uitgeput. Organische stof- en lutumrijke bodems hebben vanwege hun grote kationadsorptiecapaciteit een grote buffercapaciteit, organisch-stofarme zandbodems hebben een lage kationadsorptiecapaciteit.

4.5.2 Effecten van grondwaterstand op zuurbuffering

Wanneer grondwater uittreedt aan maaiveld of via capillaire opstijging de wortelzone bereikt omdat het grondwaterpeil niet te diep onder maaiveld wegzakt, wordt een bodem vanuit de permanent grondwaterverzadigde laag die onder de toplaag ligt in voldoende mate aangerijkt met bicarbonaat en calcium om verzuring te voorkomen. De min of meer aërobe omstandigheden in systemen met capillaire opstijging die (lokaal) in de toplaag zelf optreden maken het ook voor de planten die slecht tegen anaërobe omstandigheden kunnen mogelijk om zich te handhaven en te profiteren van een hoge basenrijkdom. Langdurige perioden van lage grondwaterstanden leiden in grondwaterafhankelijke systemen echter tot een sterkere oxidatie van de toplaag van de bodem door meer aeratie en een hogere temperatuur. Omdat oxidatieprocessen zuurgenererend zijn leidt dit tot een afname van de alkaliniteit (zuurbufferend vermogen) van het bodemvocht en de pH. Daarnaast zal door lage grondwaterstanden ook de invloed van regenwater toenemen. Hierdoor wordt het gebufferde ondiepe grondwater vervangen door niet gebufferd regenwater. Hierdoor kan de verzuring van de bodem worden versneld, ook omdat per saldo kationen uit het systeem worden uitgespoeld.

Wanneer de bodem weer permanent grondwaterverzadigd wordt en geen wegzijging van suboxisch regenwater meer plaatsvindt, kan er ook weer buffercapaciteit worden opgebouwd door reductieprocessen (zie paragraaf 4.4.3). Deze reductieprocessen zijn microbiële processen die pas op kunnen treden vanaf het vroege voorjaar wanneer de bodem begint op te warmen. In ijzerrijke bodems kan de reductie van ijzer(hydr)oxiden (Fe(III)OOH) in de toplaag leiden tot de vorming van alkaliniteit. Deze ijzerhydroxiden worden in de bodem gereduceerd waarbij Fe^{2+} vrijkomt. Dit Fe^{2+} is in tegenstelling tot de geoxideerde vorm van ijzer goed oplosbaar waardoor de ijzerconcentratie van het bodemvocht toeneemt. Bij deze reactie wordt ook netto alkaliniteit gegenereerd omdat er protonen worden geconsumeerd en eventueel omdat het CO_2 dat vrijkomt deels weer met CaCO_3 in de bodem kan reageren, waardoor ook calcium vrijkomt. Vooral in ijzerrijke bodems kan er dus sprake zijn van een interne generatie van buffercapaciteit en Fe^{2+} die wordt veroorzaakt door alleen een toename van grondwaterstand en niet door aanvoer van basische kationen of bicarbonaat. Ook de reductie van sulfaat kan hierbij bijdrage aan de opbouw van alkaliniteit in de bodem (zie paragraaf 4.4.2).



Foto 12: Een sterk verdroogd elzenbroekbos. Ontwatering buiten het natuurreserveaat heeft gezorgd voor sterke daling van de grondwaterstand, omslag van kwel naar infiltratie en verzuring. Voor de verdroging kwam het Elzenzegge-Elzenbroek voor. Door verdroging is een soortenarme ondergroei van Braam ontstaan. Alleen de boomlaag van Zwarte elzen herinnert nog aan een natter verleden (foto Camiel Aggenbach).

4.5.3 Verzuring en metalen

Binnen regio's van het zandgebied (onder andere Zuid-Nederland) komen verhoogde concentraties van cadmium, nikkel en zink voor in het grondwater. Het meest aannemelijk is dat dit het gevolg is van de oxidatie van pyriet (hierin komen deze metalen voor) onder invloed van de uitspoeling van nitraat en verdroging (Van Beek, 1997). Deze metalen kunnen mobiel blijven in het bodemvocht onder relatief zure omstandigheden, omdat ze bij lagere pH waarden niet meer geadsorbeerd worden aan het bodemadsorptiecomplex.

Als gevolg van extreme verzuring ten gevolge van het droogvallen van pyrietrijke bodems, kunnen nabij het maaiveld zeer lokaal metaalionen worden gemobiliseerd (Lucassen et al., 2002; Smolders et al., 2006b). De mate waarin dit gebeurt hangt af van de redoxcondities en de pH. Aluminium (Al) en zware metalen als zink (Zn), nikkel (Ni), cadmium (Cd), kobalt (Co), en mangaan (Mn) kunnen vrijkomen in het bodemvocht als de redoxpotentiaal stijgt en de pH daalt. Hierbij kunnen ze in hoge concentraties toxisch zijn voor zowel flora als fauna. Metalen als ijzer (Fe), koper (Cu) en lood (Pb) blijven langere tijd vastgelegd omdat ze sterk adsorberen aan met name de ijzer(hydr)oxiden die onder oxidatieve omstandigheden gevormd kunnen worden (Drever, 1997; Lucassen et al. 2002). Deze ijzer(hydr)oxiden lossen pas op bij pH waarden lager dan 3,5 en het is dan ook alleen bij ernstige verzuring dat ook de concentraties van deze metalen sterk stijgen (Drever, 1997; Lucassen et al. 2002).

In het traject beneden pH 4,5, stijgt de aluminiumconcentratie aanzienlijk. Vele karakteristieke soorten van schraallanden (bijvoorbeeld Valkruid en Spaanse ruiter) blijken gevoelig te zijn voor hoge aluminiumconcentraties in het bodemvocht (de Graaf et al., 1997). Met name de wortelgroei van de planten wordt hierdoor aangetast. Interessant hierbij is dat de verhouding tussen aluminium en calcium in het bodemvocht de mate van toxiciteit mede bepaald. Hoe dit precies werkt is nog onbekend. Calcium speelt ook een belangrijke rol in het zuurbufferende vermogen van het systeem (zie boven) en daarmee in het voorkomen van aluminiumtoxiciteit (de Graaf et al., 1997; Lucassen et al. 2002).

4.5.4 Verzuring en ammoniumtoxiciteit

Ammonium kan door nitrificerende bacteriën in goed geaëreerde bodems worden omgezet in nitraat (nitrificatie). Hierbij wordt H^+ gevormd dat bij onvoldoende buffercapaciteit in een systeem tot verzuring kan leiden. Indien de pH van de bodems te sterk daalt ($pH < 5$) kan de nitrificatie worden geremd en kan ammonium ophopen in de bodem. In lage concentraties is ammonium een belangrijke stikstofbron. In hoge concentraties kan ammonium echter een negatieve invloed hebben op planten als gevolg van toxische effecten en metabolisch stress (de Graaf et al. 1998; Lucassen et al. 2003). Wanneer planten ammonium opnemen scheiden ze voor elk molecuul ammonium een waterstofion (H^+) uit. Wanneer de pH van het omringende milieu hoog is, kunnen planten over het algemeen gemakkelijk ammonium opnemen zonder dat dit schadelijk is voor de plant. Bij een lage bodem-pH kan ammoniumopname echter leiden tot verzuring van de wortels omdat ze de protonen die vrijkomen bij de ammoniumopname niet snel genoeg kunnen afgeven. Verzuring van de wortels is voor veel gevoelige planten, zoals de Spaanse ruiter (*Cirsium dissectum*), een belangrijke oorzaak waardoor ze niet op zure ammoniumrijke bodems kunnen groeien (Lucassen et al., 2003). Een ander negatief effect van hoge ammoniumconcentraties is dat de opname van andere kationen zoals magnesium en kalium verminderd kan worden. Hierdoor kunnen met name op basenarme bodems magnesium- en kaliumgebrek optreden (Marschner, 1995). Ook een chronische hoge belasting met ammonium is voor veel plantensoorten schadelijk.

4.5.5 Stuurbaarheid

In het algemeen is de buffercapaciteit van een bodem goed te sturen. Bekalken van bodems is in principe een goede maatregel om de basenverzadiging en de buffercapaciteit van een bodem omhoog te krijgen. Dit geldt vooral voor minerale bodems. Het nadeel van bekalken is dat het een weinig subtiele manier is om de basenverzadiging te herstellen en in bodems met organisch stof leidt tot interne eutrofiëring en deels ook ammoniumtoxiciteit.

De aanvoer van basen via het grondwater kan gestuurd worden door hydrologische maatregelen te nemen die het grondwater gedurende een langere tijd aan maaiveld brengen. Tevens zullen gemiddeld nattere condities er voor zorgen dat buffercapaciteit wordt opgebouwd door reductieprocessen. De grondwaterkwaliteit kan echter door vermisting zorgen voor afbraak en eutrofiëring in kwelgebieden (zie onderdeel ijzer-, zwavel-, stikstofcyclus, paragraaf 4.4.2). Ook bevoeien of inunderen met beekwater kan de buffercapaciteit van de bodem verhogen. Hierbij speelt dan niet alleen de aanvoer van basen via het beekwater een rol maar ook de aanvoer van slib met geadsorbeerde kationen en reduceerbaar ijzer. Het nadeel van inundatie met beekwater is dat het vaak rijk is aan nitraat, sulfaat en/of fosfaat. Voor de buffering van semi-terrestrische systemen wordt bevoeiing met diep grondwater nog niet toegepast maar dit is in principe wel mogelijk.

Plaggen eventueel in combinatie met bekalking kan een goede maatregel zijn om de ammoniumconcentratie in de toplaag van een verzuurde bodem terug te dringen (bijvoorbeeld op soortenrijke heides).

4.6 Regulatie voedselrijkdom

De relatie tussen soortenrijkdom en productiviteit van ecosystemen verloopt via een optimum curve, de zogenaamde 'Hump-back' relatie. Bij een laag en een hoog productieniveau is een lage biodiversiteit te verwachten. De grootste soortenrijkdom is te verwachten bij niet te hoge en niet te lage niveaus. De respons van ecosystemen op beschikbaarheid van voedingsstoffen wordt daarom meestal gerelateerd aan de productiviteit van de vegetatie.

De productiviteit van de vegetatie wordt meestal door stikstof, maar vaak ook door fosfaat of kalium of combinaties daarvan beperkt. De beschikbaarheid van elk van deze voedingsstoffen wordt gereguleerd door een hiërarchisch stelsel van, geomorfologische, regionaal hydrologische, fysisch chemische, microbiologische en fysiologische processen (figuur 4). Geomorfologische processen hebben de belangrijkste invloed gehad op de in het landschap voorkomende grondsoorten (het moedermateriaal). De eigenschappen van het moedermateriaal (zand, klei, veen, kalk, leem/löss) zijn medebepalend voor de

voedselrijkdom. De overige processen grijpen in op dit moedermateriaal waardoor voedingsstoffen vrijgemaakt of juist vastgelegd kunnen worden. Zij zijn in de genoemde volgorde werkzaam op de schaal van het landschap, de standplaats, het humusprofiel en het operationele niveau van de individuele plant (figuur 12).

Op de schaal van het landschap zijn hydrologische gradiënten de belangrijkste drijvende kracht achter het grondwaterstandregime en de samenstelling van het grondwater op het niveau van de standplaats. Op de schaal van de standplaats is het grondwaterregime bepalend voor het vochtgehalte, de bodemtemperatuur en de redoxtoestand in de bodem, evenals via grondwaterstromen uiteindelijk de basen- en ijzertoestand worden beïnvloed. Op de schaal van het humusprofiel zijn vochtgehalte, zuurgraad, bodemtemperatuur, redoxtoestand, basen- en ijzertoestand bepalende randvoorwaarden voor chemische interacties tussen onder andere calcium, ijzer, sulfaat en fosfaat, en voor microbiologische processen zoals strooiseldecompositie, stikstof- en fosfaatmobilisatie en immobilisatie. Al deze processen reguleren uiteindelijk de beschikbaarheid van voedingsstoffen in de bodem via decompositie, mineralisatie en opbouw van organische stof en chemische reacties tussen componenten.

Naast bovengenoemde processen die op indirecte wijze de beschikbaarheid van voedingsstoffen beïnvloeden, zijn er ook directe invloeden zoals atmosferische stikstofdepositie en aanvoer van nitraat, fosfaat of kalium door grondwater- of oppervlaktewaterstromen.

In de volgende subparagrafen worden de belangrijkste sleutelfactoren/processen voor de regulatie van de voedselrijkdom besproken.

4.6.1 Kalium

Kalium kan beschikbaar komen via decompositie van organisch materiaal of door verwerking van veldspaten. Het meest relevant is decompositie. In het vocht van plantencellen is veel K^+ aanwezig, dat beschikbaar komt door afbraak van cellen (cytolyse). Kalium kan tijdelijk worden geadsorbeerd door het kationenadsorptiecomplex, maar spoelt gemakkelijk uit. In humusprofielen met slecht afgebroken organische stoflagen (fibrics) is kalium via cytolyse doorgaands ruim beschikbaar. Kaliumlimitatie treedt vaak op in sterk gehumificeerde en verteerde gronden (humics), omdat kalium door uitspoeling is verdwenen.

4.6.2 Stikstof

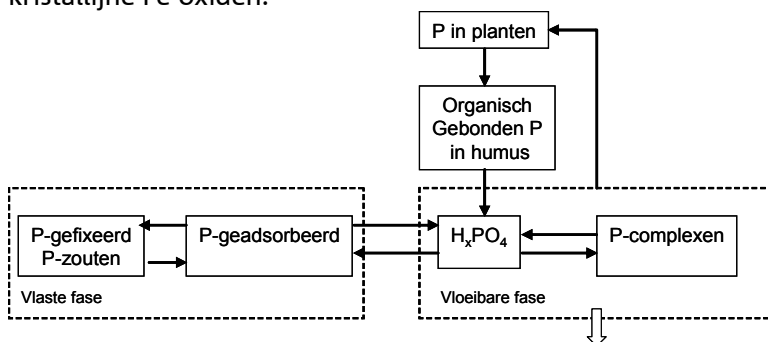
Stikstof komt door mineralisatie uit organische stof beschikbaar in de vorm van ammonium (ammonificatie) en kan afhankelijk van de zuurgraad worden omgezet in nitraat (nitrificatie). Bodemtemperatuur heeft een belangrijke invloed op de N-mineralisatie. Atmosferische depositie is een andere belangrijke bron van stikstof. Ammonium kan giftig zijn voor bepaalde plantensoorten (zie paragraaf 4.5.4). Nitraat kan onder anaërobe omstandigheden verdwijnen als stikstofgas door denitrificatie. Nitraat en ammonium kunnen door micro-organismen worden opgenomen voor eiwitsynthese (N-immobilisatie) tijdens een proces wat humificatie wordt genoemd. De verhouding tussen N-mobilisatie en N-immobilisatie is afhankelijk van de vitaliteit van het bodemleven en kan verschuiven in de richting van N-mobilisatie bij afname van vitaliteit door verzuring. Dit gaat waarschijnlijk gepaard met een verschuiving van bacterieel naar schimmel gedomineerd bodemleven. De daadwerkelijke beschikbaarheid van stikstof is bovendien afhankelijk van de totale stikstofvoorraad in de bodem. Standplaatsen met stikstofbeperking kunnen over de gehele gradiënt van het beekdal voorkomen.

4.6.3 Fosfaat

Fosfaat in beekdalen

Fosfaat komt beschikbaar door verwerking van mineralen (langzaam, minder relevant) of door mineralisatie uit organische stof (figuur 11). Na mineralisatie kan fosfaat worden opgenomen door micro-organismen in de bodem, of worden geadsorbeerd aan ijzer- en aluminiumoxiden. Vorming van onoplosbare fosfaatzouten (Ca-P, Fe-P) vindt nauwelijks plaats tenzij hoge concentraties van deze componenten voorkomen. Door de veelheid van interacties die mogelijk is na mineralisatie is het uiterst moeilijk P-mineralisatie te meten.

In beekdalen spelen met name ijzeroxiden een belangrijke rol bij de regulatie van de fosfaatbeschikbaarheid. Aluminiumoxiden komen veel voor in lemige en kleiige gronden en kunnen dan een belangrijke rol spelen bij de regulatie van de fosfaatbeschikbaarheid. Er zijn talrijke methoden in omloop om de fosfaatbeschikbaarheid vast te stellen op basis van meer of minder agressieve extractiemethoden. De verhouding tussen geadsorbeerd P en amorphe Fe-oxiden (de fosfaatverzadigingsindex: PSI) is bepalend voor de chemische beschikbaarheid van fosfaat. De beschikbaarheid van P is goed te verklaren uit het theoretische evenwicht tussen geadsorbeerd en in bodemvocht opgelost P. Bij een lage PSI is de beschikbaarheid gering, naarmate de PSI toeneemt, verschuift het evenwicht naar de opgeloste fase en neemt de P-beschikbaarheid toe. Onder anaërobe reducerende omstandigheden lossen Fe-oxiden op, waardoor de fosfaatadsorptiecapaciteit afneemt, de PSI stijgt en P in oplossing komt. Bij continue waterafvoer kan hierdoor veel fosfaat beschikbaar komen, waardoor eutrofiëring en/of uitspoeling (oppervlaktewaterbelasting) optreedt. Vernatting kan dus leiden tot verhoogde P-beschikbaarheid en eutrofiëring. Dit proces wordt versterkt naarmate de pH lager is en in aanwezigheid van sulfaat (interne eutrofiëring) (zie paragraaf 4.4.2). Onder de reducerende omstandigheden wordt sulfaat omgezet in sulfiden, die met gereduceerd Fe moeilijk oplosbare FeS verbindingen vormen. Er zijn aanwijzingen dat wisselend natte en droge omstandigheden leiden tot toename van de fosfaatadsorptiecapaciteit en afname van de chemische beschikbaarheid. Dit zou het gevolg zijn van de nieuwvorming van amorphe Fe-oxiden uit kristallijne Fe-oxiden.



Figuur 11: Kringloop van fosfaat in terrestrische ecosystemen.

Hoe al deze processen verlopen is sterk afhankelijk van het lokale waterregime en de aard van het moedermateriaal (veel, weinig ijzer, aluminium, kalk etc.). Op voorhand is het daarom niet aan te geven onder welke condities P-beperking optreedt. P-beperkte standplaatsen komen over de gehele gradiënt van het beekdal voor.

Fosfaat kan ook de vorm van fosfaatzouten worden vastgelegd wanneer het calciumgehalte in de bodem hoog is. Dit is vooral het geval in kalkrijke bodems die in beekdalen beperkt voorkomen (vooral Zuid-Limburg en Noord-Brabant). Deze vastlegging is ongevoelig voor redoxtoestand en daarmee ook voor waterregime.

Fosfaat in landbouwgronden

Door bemesting is de fosfaatverzadigingsindex van de voorheen arme zandgronden vaak hoog. Op ijzerrijke gronden hoeft dat niet altijd het geval te zijn. Afhankelijk van het geduld dat men heeft kan worden besloten het surplus aan fosfaat te verwijderen door af te graven of door uit te mijnen. Afgraven levert vaak een snelle winst op korte termijn, maar leidt tot verlies van het bodemleven, dat een belangrijke randvoorwaarde vormt voor herstel van bovengrondse biodiversiteit. Uitmijnen van fosfaatverzadigde gronden gaat aanvankelijk snel omdat P gemakkelijk beschikbaar is. In latere stadia gaat uitmijnen steeds langzamer. Na 25-30 jaar zijn ook zonder afgraven op voormalige landbouwgronden laag productieve omstandigheden te realiseren. Doelsoorten ontbreken echter, wat samenhangt met een lege zaadbank of geringe dispersie.

Fosfaat en overstroming

Fosfaat kan ook door beken via sediment worden aangevoerd bij overstroming. Dit proces lijkt vooral afhankelijk van de sedimentsamenstelling. Slibrijk materiaal (Al-oxiden) bevat veel fosfaat terwijl aan zwevend organisch stof weinig fosfaat maar wel veel ijzer gebonden (chelaten). Onderzoek in Drentse beekdalen liet zien dat bevoeiing, waarbij eerst slib wordt weggevangen maar zwevend organisch stof wel

kan uitstromen over het maaiveld, leidt tot aanvoer van extra ijzer dat ten goede komt aan het fosfaatbindend vermogen.

4.6.4 Stuurbaarheid

Via intern beheer van natuurgebieden heeft de lokale beheerder grote invloed op de regulatie van nutriëntstromen via maaien en afvoeren, plaggen en chopperen. Hierdoor kunnen voedingsstoffen worden onttrokken aan de kringloop. Vervolgens is het grondwaterstandverloop een van de meest dominante en makkelijkst te beïnvloeden processen, die mede verantwoordelijk zijn voor de regulatie van beschikbaarheid van voedingsstoffen. Ook de watersamenstelling is bepalend voor deze regulatie, maar omdat die juist afhankelijk is van grondwaterstroming op landschapsschaal hebben we daar veel minder invloed op. Via manipulatie van waterstanden kan de beheerder dus een belangrijke invloed uitoefenen op de beschikbaarheid van voedingsstoffen. In veel gevallen komt het aan op subtiel maatwerk als vooropgestelde doelen gerealiseerd moeten worden. De directe invloeden (stofstromen) zijn over het algemeen enigszins te beheersen door het creëren van afstand tussen de bron en het natuurgebied: bufferzones; emissiezones.

Naast 'bestaande' natuur zijn er ook natuurontwikkelingsgebieden, die veelal gekenmerkt worden door een voormalig agrarisch gebruik en grote nutriëntvoorraden. Deze voorraden zijn zo dominant dat bovengenoemde regulatiemechanismen, zeker in de beginfasen, niet relevant zijn. Er moet dan een afweging gemaakt worden tussen rigoureuze ingrijpen via verwijdering van de bouwvoor of inzetten van beheersmaatregelen als verschralen, uitmijnen van de grond, ijzertoevoeging of het opgang brengen van processen die de beschikbaarheid van nutriënten verminderen. Dit hangt in hoge mate af van de lokale uitgangstoestand en vraagt veelal maatwerk.

4.7 Bodemvorming en bodemleven

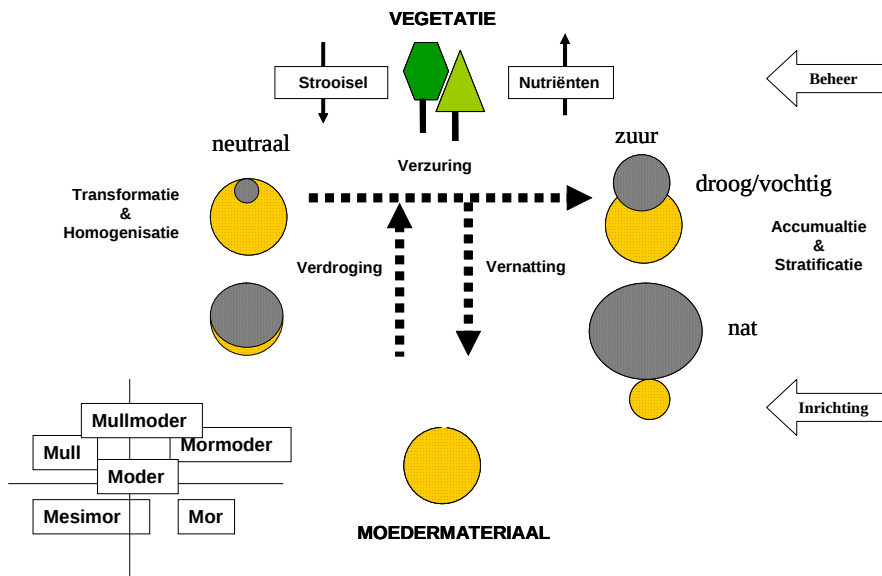
Hydrologische processen (wegzijging/kwel) en de aard van het moedermateriaal zijn evenals bij de vegetatieontwikkeling, de belangrijkste factoren bij de bodemvorming. Bij bodemvorming (figuur 12) kan onderscheid worden gemaakt tussen het onafhankelijke deel, de grondsoort of moedermateriaal (gespikkelde bollen) en het afhankelijke of veranderlijke deel van de bodem, het humusprofiel (grijze bollen). De standplaatsen van natuurlijke vegetaties zijn vooral in verband te brengen met dynamische processen die zich in het humusprofiel afspelen. Daarom ligt veel relevante procesinformatie opgeslagen in het humusprofiel van de bodem.

Het humusprofiel is dat deel van de bodem waarin de biologische activiteit zich grotendeels afspeelt. Insecten, wormen, aaltjes, schimmels en micro-organismen zorgen ervoor dat strooisel al dan niet wordt gefragmenteerd, gemineraliseerd, gehumificeerd en gehomogeniseerd met de minerale ondergrond. Het humusprofiel integreert het effect van strooiselaanvoer en biologische activiteit over de tijd. De mate waarin de verschillende bodemorganismen actief zijn, wordt sterk beïnvloed door de bodemzuurgraad, de aëratie, het vochtgehalte, eventuele toxische stoffen en nutriënten. Het humusprofiel is daardoor in verband te brengen met genoemde bodemfactoren.

De vorm waarin het humusprofiel aanwezig is, geeft aan of er transformatie en homogenisatie van organische stof door bodemorganismen plaatsvindt dan wel dat accumulatie plaatsvindt door geringe bodembioologische activiteit. Onder vochtige en neutrale en (mineralogisch) rijke omstandigheden ontstaan sterk gehomogeniseerde profielen (mull, mullmoder). Onder extreme omstandigheden (lage of hoge zuurgraad, nat, koude) ontstaan sterk gelaagde humusprofielen door strooiselaccumulatie (mor, mesomor). De humusvorm informeert daarom niet alleen over milieucondities of bodemomstandigheden, maar ook over nutriëntenvoorraden en -kringloopsnelheden. Omdat strooiselomzetting een relatief snel proces is, verstrekt het humusprofiel informatie over dynamische bodemprocessen. Het humusprofiel weerspiegelt daarom in veel sterkere mate de actuele bodemtoestand dan het traditionele pedogenetische bodemprofiel dat zich beperkt tot profielvorming in de minerale laag.

Het humusprofiel wordt getypeerd naar het voorkomen van en de dikteverhoudingen tussen organische horizonten in en op de bovenste 40 cm van de minerale ondergrond.

De verteringsgraad van de organische stof en de omstandigheden waaronder vertering heeft plaatsgevonden zijn belangrijke criteria en kunnen aan de hand van veldkenmerken worden vastgesteld. Bodemcondities (vocht, basen, temperatuur, nutriënten) zijn mede sturend voor de activiteit van de bodemfauna in verschillende trofische niveaus (voedselleagues of functionele groepen). Zij sturen de mineralisatie en immobilisatie van N en P en zijn de motor achter nutriëntkringlopen (figuur 11 en 13). Met name wormen en microben kunnen een omvangrijke sinkterm van koolstof en nutriënten in de bodem vormen in de vorm van sterk gehumificeerde stabiele humus.



Figuur 12: Factoren die bodemvorming op terrestrische standplaatsen bepalen. In de volgende subparagrafen worden de belangrijkste sleutelfactoren/processen voor de bodemvorming en het bodemleven besproken.

4.7.1 Ontwikkeling van bodemprofielen

Veenvorming

Veen is een bijzondere vorm van een humusprofiel. Onder zeer natte omstandigheden met een stabiele of weinig fluctuerende waterstand treedt veenvorming op onder anaërobe omstandigheden. In beekdalen treedt veenvorming vooral bij kwel op. Een hoge kwelintensiteit zorgt voor een permanent hoge grondwaterstand en buffert ook de zuurgraad. Vroeger, voordat beekdalen sterk werden ontwaterd, trad veel veenvorming op.

Vorming humusprofieltypen

Vegetatie- en bodemontwikkeling zijn sterk gecorreleerd. Onder extreme omstandigheden (zuurgraad, vocht, temperatuur) is bodemvorming vegetatie gecontroleerd (mor-achtige typen). Onder neutrale omstandigheden is de vegetatieontwikkeling bodem gestuurd (mull-achtige typen). Onder natuurlijke omstandigheden is een gradiënt van mor naar mull aanwezig. Door milieustress zijn veel 'homogenized' humusprofieltypen op drift geraakt en zich aan het ontwikkelen naar een 'stratified' karakter.

Wortelmatten en verzuring

Accumulatie van ruw strooisel in graslandssystemen door verzuring en/of vernatting en wegvallen van regenwormen geeft een ontwikkeling van gestratificeerde profielen. Er treedt dan verschuiving op van bacteriële naar schimmel gedomineerde decompositie met doorgaands versterkte N-mineralisatie en verminderde N-immobilisatie.

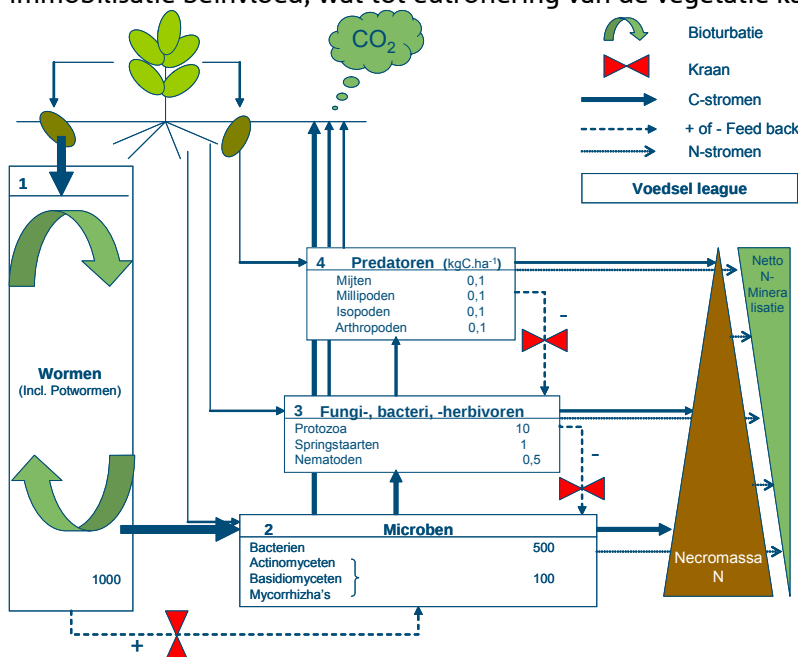
4.7.2 Effecten op samenstelling bodemfauna en -flora

Effect landbouw op samenstelling bodemfauna en -flora

Landbouwkundig gebruik van de bodem beïnvloedt de samenstelling van bodemflora en fauna. De blauwdruk daarvan blijft nog vele decennia aanwezig bij natuurontwikkeling. Bij de transitie van landbouw naar natuurbeheer vindt een afname plaats van organische stofvoorraden door organische stofdecompositie in combinatie met zuurder wordende omstandigheden. Met het verdwijnen van organische stof wordt onder invloed van atmosferische depositie tevens een stijging van de stikstofvoorraden en beschikbaarheid in de bodem geconstateerd. Voor een gewenste vegetatieontwikkeling blijkt vaak nog een te grote stikstofbeschikbaarheid aanwezig te zijn, zodat het wenselijk is dat de stikstofbalans opschuift in de richting van een versterkte stikstofimmobilisatie. Het lijkt erop dat de afwezigheid van actieve schimmel- en of bacteriepopulaties in de bodem deze ontwikkeling verhindert. Een actieve schimmel- en of bacteriepopulatie is in staat grote hoeveelheden stikstof in de bodem vast te leggen in zogenaamde stabiele organische stof, die slechts langzaam mineraliseert. De omvang van deze microbenpopulaties wordt sterk gecontroleerd door bacterie- en schimmel-etende organismen zoals mijten of wormen, die op hun beurt weer in omvang worden gereguleerd door predatoren (zie figuur 13).

Effect verdroging en verzuring op samenstelling bodemfauna en -flora

Vooralsnog is hypothetisch dat milieustress leidt tot veranderde samenstelling van het bodemvoedselweb. Verzuring leidt tot afname van regenwormen. Sommige koolstofafbrekende schimmels zijn zeer gevoelig voor verzuring (witrot). Door deze veranderingen wordt de N- en P-kringloop via toe/afname van mineralisatie en immobilisatie beïnvloed, wat tot eutrofiëring van de vegetatie kan leiden.



Figuur 13: Stromen van koolstof en stikstof in de bodem en in relatie tot humusvorming.

4.7.3 Effecten op nutriëntenaanbod

Immobilisatie N en P door bodemleven

In de competitie om voedingsstoffen met hogere planten zijn microben in het voordeel. Tijdens organische stofafbraak wordt veel minerale N en P door microben opgenomen voor opbouw van lichaamseiwitten. Dit proces van gelijktijdige afbraak en opbouw van complexe organische verbindingen, wordt humificatie genoemd en leidt tot stabiele complexe vormen van organische stof met een lage (netto) mineralisatie snelheid.



Foto 13: Langdurige verdroging leidt in beekdalen tot sterke veraarding van veen. Deze els staat hierdoor op 'stelten'. Verdroging leidt ook tot verzuring en verandering van de nutriëntenhuishouding (foto Camiel Aggenbach).

Veraarding en mineralisatie veen door verdroging

Bij veraarding en mineralisatie van veen treedt een verschuiving op in nutriëntenaanbod (meer beschikbaar N en P) en biomassaproductie (hoger). Vermoed wordt dat bij verdroging van (laag)veen meer anorganisch P beschikbaar komt dan nodig is voor de vegetatie. Dit overschot wordt vastgelegd aan Fe, Al of Ca in de bodem.

Invloed boomsoort op humusprofiel, nutriënten en basenrijkdom

De strooiselkwaliteit van boomsoorten in bos is van invloed op het nutriëntenaanbod en de basentoestand (Linde, Es, Haagbeuk versus Beuk, Eik, Conifeer). Linde is in staat via zijn wortelstelsel Ca uit de ondergrond naar boven te pompen. Lindestrooisel is daardoor Ca-rijk en goed verteerbaar. Strooisel wordt goed verteerd en gehumificeerd, waardoor stabiele organische stofverbindingen ontstaan, waarin veel N en P is vastgelegd (lage C/N- en C/P-verhouding). Deze stabiele organische stof mineraliseert slechts langzaam maar vormt een geringe maar zekere bron van stikstof voor de ondergroei. Beuk en Eik pompen geen Ca rond en produceren moeilijk verteerbaar strooisel met hoge C/N en C/P verhoudingen. In deze labiele organische stof is relatief meer mineralisatie dan immobilisatie.

4.7.4 Stuurbaarheid

Bodemvorming is, evenals ecosysteemontwikkeling, een langzaam proces en speelt zich af op een tijdschaal van eeuwen. Op de 'klassieke' bodemvorming is daarom via beheer

nauwelijks invloed uit te oefenen. Binnen het afhankelijke deel van de bodem, het humusprofiel, zijn processen echter veel dynamischer: ze verlopen op een tijdschaal van decennia.

Door menselijk ingrijpen in de hydrologische kringloop of via effecten van atmosferische depositie zijn sinds de 60-er jaren processen als verdroging en verzuring op gang gekomen die zich op ruime schaal uiten in veranderingen van het humusprofiel. Ook zijn er voorbeelden waarbij effecten van vernatting sinds de 80-er en 90-er jaren zich uiten in het humusprofiel. Zowel via beheer en inrichting (regulatie van organische stofstromen, verdrogen, vernatten, ontzuren) is dus wel degelijk te sturen in bodemvormende processen en dus op nutriëntenkringlopen. De termijn waarop effecten optreden zijn echter niet binnen een decennium te verwachten, tenzij rigoureus wordt ingegrepen door afgraving en de bodemvorming vanuit het nieuwe dagzomende moedermateriaal weer van scratch af moet beginnen. Op korte termijn zijn dan wel pionierachtige vegetaties te verwachten met eventueel bijzondere soorten, maar een nieuw evenwicht tussen bodem en vegetatie zal pas op de tijdschaal van eeuwen tot ontwikkeling komen. Bij transitie van landbouw- naar natuurbeheer kan besloten worden de bouwvoor al dan niet te verwijderen. Na verwijdering start een nieuwe bodemontwikkeling in het dagzomende moedermateriaal. Afhankelijk van de hydrologisch positie in het landschap zal bodemontwikkeling plaatsvinden in de richting van mull of moderprofielen. Voor een nieuwe evenwichtssituatie is ingesteld moet gedacht worden aan een termijn van eeuwen. Zonder verwijdering van de bouwvoor ontstaat ook een nieuwe bodemontwikkeling. De blauwdruk van landbouwkundig gebruik blijft lang aanwezig in nutriëntvoorraden. De aanwezigheid van een 'goede' bodemfauna is waarschijnlijk belangrijk voor bodemontwikkeling. Niettemin kunnen binnen een termijn van enkele decennia schrale condities ontstaan met laag productieve vegetaties door N- en/of K-limitatie. De fosfaatvoorraad is vaak veel persistenter, maar hoeft niet per definitie een belemmering te vormen voor ontwikkeling van schrale begroeiingstypen. Ook van deze ontwikkelingslijn is het niet bekend hoe lang een nieuwe evenwichtssituatie op zich laat wachten.

4.8 Dispersie van beeksoorten

Voor het behoud van duurzame populaties is de uitwisseling van individuen tussen lokale populaties nodig. Habitatplekken op dispersieafstand van elkaar gelegen vormen een netwerk dat voor de overleving van de soort een bepaalde minimumomvang dient te hebben. Beekdalen vormen een belangrijk habitat voor tal van soorten. Veel beeksoorten zijn echter bedreigd in hun voortbestaan. Dispersie (zie tekstkader) is daarom belangrijk voor soorten. De dispersie van soorten wordt bepaald door de soortspecifieke dispersiecapaciteit en door barrières in het landschap. Barrières bemoeilijken uitwisseling tussen populaties. De belangrijkste barrières in beken zijn stuwen/(vis)passages), duikers, ongeschikte habitats op het dispersietraject (bijvoorbeeld stilstaande wateren die stromende wateren onderbreken of het terrestrische milieu voor dieren uit beekbegeleidende, geïsoleerde wateren. De mate waarin fysische barrières overwonnen kunnen worden door beekdieren hangt af van de kenmerken van de barrière (bijvoorbeeld het verval, de stroomsnelheid, de bodem van de duiker) en van de kenmerken van de soort (bijvoorbeeld zwemsnelheid en sprongcapaciteit). Terwijl het overleven in een ongeschikte habitat afhangt van de mate van ongeschiktheid, de afstand die de soort door dit ongeschikte habitat moet afleggen en de snelheid waarmee de soort dit kan.

In de volgende subparagrafen worden een paar sleutelfactoren/processen voor de dispersie van beeksoorten besproken. Andere beekdalsoorten worden niet in deze paragraaf behandeld.

4.8.1 Dispersiecapaciteit

Dispersie kan worden onderverdeeld in actieve en passieve dispersie. Passieve dispersie omvat de volgende mogelijkheden of transportroutes:

- transport door watervogels: intern of extern;
- transport door andere gastheren, zoals kevers of wantsen;

- transport of transportmogelijkheden gecreëerd door menselijke activiteiten;
- drift (stroomafwaarts drijven);
- dispersie door de wind

Het relatieve aandeel en de mate en frequentie van dispersie via de verschillende transportroutes is niet bekend. Potentieel kan passieve dispersie een grote rol spelen maar het is niet aangetoond of dat daadwerkelijk zo is. In ieder geval is voor bekende stroomafwaartse drift van groot belang. Waarschijnlijk kan echter passieve dispersie van één of enkele individuen per generatie al voldoende zijn om genenuitwisseling tussen populaties te laten plaatsvinden. Er is wel meer kennis nodig van de mate en frequentie waarin passieve dispersie optreedt in beken en naar de relatie tussen kenmerken van de propagulen of de organismen zelf in relatie tot de passieve dispersiecapaciteit.

Een voor beken nog onbekend terrein is die van de actieve dispersie. Actieve dispersie vindt plaats via de lucht (vliegen), via het land (kruipen) of via het water (zwemmen of kruipen). Vooral de dispersie via de lucht gebeurt bij veel fauna (insecten). Het vliegvermogen verschilt van soort tot soort en hangt samen met de morfologie van de soort. Hierbij hangt de afgelegde vliegafstand ook af van het landschap en het weer. De meeste adulte beekinsecten vliegen stroomopwaarts (longitudinaal). De stroomopwaartse verbreiding heeft in beken vaak te maken met voedselbeschikbaarheid, het bereiken van een ander stadium (bijvoorbeeld om te verpoppen of om zich voort te planten) of om drift te compenseren. De afgelegde afstanden verschillen sterk per soort. Het aantal individuen dat van de beek af (transversaal) vliegt is laag en het aantal gevonden individuen neemt exponentieel af met de afstand tot de beek. Er zijn weinig aquatische soorten die zich via het land verplaatsen. En als dit optreedt dat vindt de verplaatsing plaats langs de oever of via natte habitats. Wel verbreiden veel aquatische (vooral niet vliegende) soorten zich door het water, veelal via luwe zones in de beek.

Bij beekvissen is het onderscheid tussen dispersie en migratie moeilijk te maken, omdat veel soorten bewegingen over grote afstanden kunnen maken. Dergelijke migratie kan optreden vanwege het zoeken van een paai-, overwinterings-, opgroei-, voedselgebied of een schuilplaats. Dispersie kan juist optreden als er nieuwe habitats worden gekoloniseerd, zoals na de uitvoering van een beekherstelplan. De mate van migratie/dispersie hangt af van het oriëntatievermogen van de vissoort, de zwemcapaciteit en het gedrag en verschilt sterk tussen verschillende soorten en levensstadia.

Dispersie

Dispersie kan gedefinieerd worden als de beweging van individuen over populatiegrenzen. (Her)kolonisatie is een belangrijke een categorie van dispersie in relatie tot herstel. Kolonisatie is het vestigen van een nieuwe populatie door één of meer zich verplaatsende individuen. Met andere woorden er is sprake van dispersie als een organisme zich naar een andere populatie, locatie of habitat begeeft. De vorm van het organisme kan verschillen, bijvoorbeeld als larf, adult, ei of plantendeel. Dispersie is belangrijk in het concept van metapopulaties. Een metapopulatie is een groep van populaties, elk onderworpen aan stochastische extincties en aan elkaar gekoppeld door dispersie (met uitwisseling van genen). Dispersie heeft voor- en nadelen, zoals het kunnen ontsnappen aan ongunstige omstandigheden en het risico geen gunstige nieuwe locatie te vinden. Soorten kunnen investeren in dispersie tactieken of andere aspecten van de levenscyclus. Dit is een trade-off. Dispersie is pas succesvol voor het overleven van de soort op lange termijn als de soort zich op de nieuwe locatie kan handhaven gedurende meer generaties. Belangrijk hierbij is dat succesvolle dispersie zorgt voor uitbreiding van het areaal.

De dispersiecapaciteit van een soort bepaalt in hoeverre de soort geneigd is om zich naar andere habitats te begeven en welke afstand de soort kan overbruggen. De dispersiecapaciteit van soorten is niet alleen van belang voor het koloniseren van herstelde habitats maar ook in het kader van klimaatsverandering. Als de omstandigheden hierdoor zodanig veranderen dat de huidige macrofauna in een oppervlaktewater zich niet kan handhaven is het van belang dat deze soorten zich kunnen verbreiden naar wateren waar de omstandigheden nog wel gunstig zijn.

Andersom geeft dit mogelijkheden voor nieuwe soorten om het 'lege' habitat te koloniseren.

Herkolonisatie van herstelde beken kan decennia vergen tenzij de originele aquatische fauna kunstmatig wordt geherintroduceerd. Als een soort niet voorkomt in het stroomgebied van de herstelde beek is herkolonisatie door vrouwtjes van elders noodzakelijk. De dispersiecapaciteit wordt dan belangrijk. Deze hangt bijvoorbeeld af van gedrag en vliegkracht maar ook van fysische factoren zoals de afstand tussen de beken/stroomgebieden en het weer. Van groot belang is de dispersierange, de afstand die een soort normaliter aflegt vanaf het habitat van herkomst. De benodigde kennis hierover ontbreekt vooralsnog.

4.8.2 Dispersiebarrières in beken voor doel- en indicatorsoorten

Stroomafwaartse verbreiding van organismen in beken is een vorm van natuurlijke verbreiding die verloopt via drift. Wanneer barrières aanwezig zijn, bijvoorbeeld in de vorm van duikers, sifons, stuwen, zandvangen en andere ongeschikte habitats of fysieke barrières, wordt drift beperkt of verhinderd. Het afkoppelen van delen van stroomgebieden heeft ook geleid tot dispersiebarrières. De meer natuurlijke beekrestanten komen nog slechts versnipperd over Nederland voor. Deze versnippering wordt nog versterkt door de slechte milieuomstandigheden in tussenliggende beektrajecten.

Toch is stroomafwaartse verbreiding relatief eenvoudig ten opzichte van stroomopwaartse verbreiding. Stroomopwaartse verbreiding verloopt via de lucht (actief door vliegen of passief door wind en via andere mobiele organismen), het land, het water of gastheren.

Stuwen, duikers en andere fysieke barrières beperken vooral verbreiding door het water. Open zones naast de beek kunnen verbreiding via de lucht sterk beïnvloeden. Zandvangen, genormaliseerde beektrajecten en andere ongeschikte habitats beperken de verbreiding via het water (Verdonschot 1996).

4.8.3 Dispersiebarrières in beken voor invasieve soorten

Bronnen van invasieve soorten zijn verstoorde (grote) rivieren (dus van benedenstrooms naar bovenstrooms), inlaat uit kanalen en vijvers en tuincentra. Duikers, stuwen, zandvangen en andere ongeschikte habitats of fysieke barrières kunnen de verbreiding van invasieve soorten naar beken beperken. De beperkende werking is sterk afhankelijk van de verbreidingsstrategie van de exoot (Paulissen & Verdonschot 2007). Een andere belangrijke barrière lijkt de mate van natuurlijkheid van het beekecosysteem. Mogelijk hebben exoten in natuurlijke beeksystemen veel minder kans om zich te vestigen dan in niet natuurlijke systemen. Dit is een gevolg van de beschikbaarheid van niches voor exoten, die in minder of niet-natuurlijke beeksystemen groter is dan in natuurlijke beeksystemen.

4.8.4 Stuurbaarheid

Een goede ruimtelijke rangschikking van geschikte habitats is van groot belang voor de verbreiding van soorten en natuurlijke beekdalsystemen bieden meer weerstand tegen invasieve soorten.

De laatste decennia zijn veel beekherstelprojecten uitgevoerd. Het gaat hierbij om een groot aantal verschillende maatregelen. In een deel van de beekherstelprojecten trad ook daadwerkelijk herstel op van de natuurlijke omstandigheden in het water: een goede waterkwaliteit en de aanwezigheid van de juiste habitats voor het voorkomen van indicator- en doelsoorten die horen bij het betreffende referentiebeeld. Toch blijkt in een deel van de gevallen dat de gewenste soorten niet of slechts voor een deel terugkeren, ondanks het feit dat aan de abiotische randvoorwaarden is voldaan. De oorzaak hiervan ligt waarschijnlijk in de mogelijkheden die de soorten hebben om de afstand van de dichtstbijzijnde populatie naar het herstelde oppervlaktewater te overbruggen. Landgebruik leidt tot een afname van natuurlijke habitats en tot versnippering van habitats. Ook aquatisch kan dit een rol spelen. Dispersie van soorten wordt hierdoor bemoeilijkt.

4.9 Klimaatverandering

Inmiddels wordt wetenschappelijk algemeen aanvaard dat het klimaat verandert op een wereldwijde schaal. Uit onderzoek aan klimatologische meetreeksen (Klein Tank, 2004) blijkt bijvoorbeeld dat de jaarlijkse neerslag in Nederland vanaf 1906 sterk, trendmatig toegenomen is (+18%). Dit komt vooral voor rekening van de winter (+26%), het voorjaar (+21%) en de herfst (+26%). In de zomer is de neerslaghoeveelheid nauwelijks veranderd (+3%). Het KNMI heeft in 2006 een viertal klimaatscenario's uitgewerkt specifiek voor Nederland voor de periode 2050-2100 (Van den Hurk et al., 2006). Welk scenario voor Nederland realiteit wordt is onzeker. De volgende verwachte veranderingen zijn voor de grondwaterhydrologie belangrijk: een toename van de gemiddelde jaarverdamping, een toename van de gemiddelde neerslag in de winter, toename van de extremen in neerslag en verdamping. Afhankelijk van welk scenario realiteit wordt treedt een toe- of afname van de gemiddelde jaarneerslag op, een (lichte) toe- of (grotere) afname van de gemiddelde neerslag in de zomer en een toe- of afname van het gemiddelde jaarlijkse neerslagoverschot. Een toename van de verdamping wordt mogelijk gereduceerd door een toename van de CO₂-concentratie. Planten gaan dan minder verdampen (Kruijt et al., 2008; Witte et al., 2006).

Verschuivende klimaatsmodellen voorspellen een verhoging van de gemiddelde temperatuur van 1,5 tot 4,5°C als gevolg van de verdubbeling van het CO₂-gehalte. Het klimaat verandert snel, wat zich onder andere uit in een verwachte temperatuurstijging wat tevens het meest directe effect is. Temperatuur is één van de meest sturende factoren in biologische systemen. De temperatuur is direct van invloed op de groei, fysiologie, levenscyclus en het gedrag van soorten.

Uiteraard heeft klimaatverandering ook effecten op beekdalen en de soorten die in beekdalen leven. In de volgende subparagrafen worden een paar sleutelfactoren/processen besproken die door klimaatverandering beïnvloedt kunnen worden.

4.9.1 Effecten op waterstandregime

De effecten van klimaatverandering op het waterstandregime bestaan uit een toename van kortdurende extremen (inundatie, extreme droogteperiode in de zomer), toename van de gemiddelde jaarfluctuaties en afhankelijk van welk scenario realiteit wordt een toe- of afname van de gemiddelde grondwaterstand. Voor de stroming van grondwater treden ook gevolgen op waarvan de richting nu nog moeilijk te bepalen is en vermoedelijk sterk afhankelijk is van de hydrologische karakteristieken van de specifieke situatie c.q. beekdal. Hydrologische effecten van klimaatverandering hangen ook sterk af van ingrepen in de waterhuishouding (bestrijding verdroging, adaptatie aan klimaatverandering).

4.9.2 Effecten op afvoerregime beken

Door veranderingen in het neerslag- en verdampingspatroon zal het afvoerregime van beken veranderen. Meyer et al. (1999) verwachten meer extreme peilen (inclusief droogval) en meer dynamische (hoge en lage) afvoeren. Kruijt et al. (2008) verwachten juist dat de basisafvoer gaat toenemen. Veranderingen in de afvoerdynamiek in de beken leidt tot verschuivingen in de erosie-sedimentatie balans en daarmee in de hydromorfologie en samenstelling in flora en fauna. Wanneer de afvoerdynamiek toeneemt, ondervinden organismen van stabielere beekecosystemen meer druk (Hoorn et al., 2008). De verwachte toename van extreme zomerbuien kan leiden tot een wegspoelen en bedolven raken van de natuurlijke stromendwater flora en fauna zal leiden (Verdonschot et al. 2007). Het bedolven raken onder zand leidt bijvoorbeeld bij kwetsbare kokerjuffers binnen enkele dagen tot sterfte.

4.9.3 Effecten van temperatuurstijging op beken

Een verschuiving van het temperatuursregime kan grote gevolgen hebben voor de beekgemeenschappen, bijvoorbeeld tot het verdwijnen van koud-stenotherme (zie tekstkader) (vaak zeldzame en/of indicatieve) soorten. Een temperatuurstijging heeft effect op het temperatuurverloop in beken in longitudinale en verticale richting. De watertemperatuur volgt de luchttemperatuur, een stijging van de luchttemperatuur, heeft dus een stijging van de watertemperatuur over het gehele systeem tot gevolg. In beken is de watertemperatuur benedenstrooms hoger dan bovenstrooms. Na een temperatuurstijging van het klimaat wordt dus ook de hoogste maximumtemperatuur verwacht in de benedenstroomse delen verwacht. Ook kan een aan klimaatsverandering gerelateerde stijging van de grondwatertemperatuur aanzienlijke effecten hebben op het temperatuurverloop in de bovenstroomse delen. Dit kan leiden tot het verdwijnen van koud-stenotherme soorten uit bronnen en bronbeken omdat de letale maximumtemperatuur overschreden wordt. Koud-stenotherme fauna zal zich stroomopwaarts verplaatsen omdat het meer benedenstrooms te warm is geworden. Zulke fauna die al beperkt is tot bron- en bovenlopen kan zich echter niet verder stroomopwaarts verplaatsen en zal daardoor verdwijnen. Anderzijds kunnen ook bepaalde eurytherme soorten hun verspreidingsgebied in bovenstroomse richting uitbreiden. Ook treden in beken veranderingen op in concurrentieverhoudingen (sommige soorten groeien bijvoorbeeld sneller, maar de uiteindelijke grootte blijft kleiner wat resulteert in minder nakomelingen, terwijl andere soorten meer generaties voortbrengen), treedt vervroegde emergentie en reproductie op en dit alles kan leiden tot veranderingen in soortensamenstelling. Natuurlijke beken die al negatief beïnvloed worden door veranderd en geïntensiveerd landgebruik, hydromorfologische aantasting en vervuiling ondervinden door temperatuursverandering nog meer stress.

Stenotherme soorten: soorten die slechts een smalle range van temperatuurverschillen kunnen verdragen.

Eurytherme soorten: soorten die een bredere range van temperatuurverschillen kunnen verdragen.

4.9.4 Stuurbaarheid

Klimaatveranderingen zelf zijn op termijn van decennia nauwelijks stuurbaar omdat de oorzaken op mondiale schaal optreden en de toegenomen broeikasgassen voor langdurige naijling zorgen. Hydrologische effecten daarvan zijn deels omkeerbaar of te verkleinen door maatregelen in de waterhuishouding en beheer/landgebruik. Over de doorwerking van temperatuurstijging voor de natuurwaarden in beken is niet veel bekend. Om verantwoord beheer of herstel van beken in de toekomst te waarborgen zal in ieder geval rekening gehouden moeten worden met de toekomstige gewijzigde temperatuur. Inzicht is nodig in de directe effecten van het klimaat, in termen van temperatuur, op de soortensamenstelling van beeksystemen en het functioneren daarvan. Wat zijn te verwachten gevolgen van kleine temperatuursveranderingen en hoe kunnen we daarmee omgaan in relatie tot beheer en maatregelen.

5 Fauna in beekdalen

5.1 Inleiding

In dit hoofdstuk zal worden ingegaan op de fauna in beekdalen. Dit betreft zowel de fauna die in de beek leeft, zoals vissen en aquatische beekmacrofauna, als de fauna die leeft in de terrestrische delen van beekdalen. De fauna in beekdalen omvat daarmee een breed spectrum aan diersoorten. Voor veel van deze soorten ontbreekt de elementaire kennis over hun habitat en biologie of is deze kennis slecht toegankelijk. Hierdoor is een soortgerichte aanpak, waarbij knelpunten en onderzoekslijnen worden achterhaald en onderbouwd vanuit een analyse van de beschikbare kennis voor elke soort, binnen het kader van dit preadvies niet haalbaar voor alle taxonomische soortgroepen die voorkomen in beekdalen. Daarom is alleen voor de soortgroepen dagvlinders, libellen, vissen en watermacrofauna een nadere analyse uitgevoerd om knelpunten in beeld te brengen.

De factoren die voor de fauna belangrijk zijn, worden in algemene zin besproken omdat zo'n bespreking niet per taxonomische soortgroep of functionele groep haalbaar is. Hierbij worden algemene functionele relaties die ten grondslag liggen aan de binding van verschillende faunagroepen aan beekdalen nader toegelicht. Vanuit de kenmerken van het beekdallandschap en de veranderingen hierin door aantasting en herstel is getracht om een overzicht te krijgen van:

- de knelpunten die diersoorten ondervinden in beekdallandschappen;
- de belangrijkste kennislacunes in de oorzaken van en oplossingen voor deze knelpunten.

De nadruk ligt hierbij op voor fauna belangrijke factoren die niet of weinig worden behandeld in hoofdstuk 4.

5.2 Groeperen van soorten naar preferenties en functionele relaties

Beekherstelplannen worden vaak uitgevoerd ten behoeve van bepaalde soorten of een bepaalde levensgemeenschap. Voor de waterbeheerder vormt het voorkomen van macrofauna- en vissoorten een belangrijke graadmeter van de toestand en het functioneren van een beekstelsel. Het groeperen van soorten kan helpen bij het hanteerbaar maken van de grote rijkdom aan soorten (zie paragraaf 5.3) en het achterhalen van de knelpunten. Vanuit ecologisch oogpunt geldt het optreden van diersoorten en -gemeenschappen als volgvariabele van de omstandigheden in een systeem. Niet alle soorten komen overal voor. Elke diersoort heeft zijn eigen eisen aan abiotische en biotische factoren. Wanneer het voorkomen van een diersoort wordt uitgezet tegen een gradiënt in een milieufactor kan boven en beneden bepaalde waarden van de milieufactor de soort niet overleven, terwijl deze soort overleeft en reproduceert in het traject tussen de minimum- en maximumwaarde. In een ecosysteem reageert een diersoort niet op één enkele factor maar op het samenspel van meerdere factoren. Aan het voorkomen of de afwezigheid van bepaalde soorten in een ecosysteem is de werking van milieufactoren herkenbaar. Deze indicatieve

waarde van soorten wordt gebruikt voor het doen van uitspraken over de toestand en het functioneren van ecosystemen. Bij deze benadering gaat het steeds om afzonderlijke diersoorten en milieufactoren; de autecologie. In een synecologische benaderingswijze spelen naast abiotische factoren ook biotische relaties een rol. Het meest duidelijk zijn de voedselrelaties in het voedselweb zoals bijvoorbeeld tussen herbivore organismen en algen, tussen predatoren en prooien, en tussen parasieten en gastheren. Naast directe relaties bestaan er ook indirecte relaties tussen soorten en factoren. Een voorbeeld is de aanwezigheid van structuren zoals een bladpakket waarin verschillende diersoorten leven.

Om op basis van het voorkomen van soorten of levensgemeenschappen de toestand of het functioneren van een ecosysteem te analyseren moeten de eisen aan factoren en vooral ook de functionele eigenschappen van de aanwezige soorten en/of groepen bekend zijn. De functionele eigenschappen van een soort zijn de eigen aanpassingen (bijvoorbeeld dispersiecapaciteit, levenscyclus) en relaties met andere soorten (concurrentie, predatie, parasitisme, mutualisme en commensalisme). Een plaats specifieke koppeling tussen het voorkomen van een diersoort en de omgeving is complex door de grote variatie in mobiliteit en het gebruik van de omgeving op uiteenlopende schaalniveaus. Dit betekent dat het 'standplaatsconcept', zoals gehanteerd voor de relatie van plantensoorten met fysische en chemische factoren voor veel fauna niet bruikbaar is. Veel diersoorten reageren sterker op structuurvariatie en veranderingen in structuur op een schaalniveau die de standplaats van planten overstijgt, dan op veranderingen op één standplaats. Ook zijn bepaalde diersoorten afhankelijk van veranderingen in structuur op een grote tijdschaal waarbij dynamiek, voorspelbaarheid, frequentie en amplitude belangrijk zijn. Andere diersoorten benutten juist kleinere ruimtelijke eenheden of zijn afhankelijk van veranderingen op een kleine tijdschaal. Sommige soorten volbrengen hun levenscyclus op één vierkante meter, terwijl andere soorten hiervoor vierkante kilometers en sommige vogelsoorten zelfs de halve wereld nodig hebben. In de levenscyclus van een soort komen meerdere levensstadia voor (bijvoorbeeld bij veel insecten ei-larve-pop-imago stadium). Elk levensstadium stelt zijn eigen eisen aan één of meerdere, vaak ruimtelijk gescheiden, habitat- of biotooptypen, soms met de daarbij behorende vegetatiesamenstelling en vegetatiestructuur.

Voor het groeperen zijn daarom twee fundamenteel verschillende wijzen van groeperen te onderscheiden: één waarbij soorten worden gegroepeerd die hetzelfde habitat prefereren en één waarbij soorten worden gegroepeerd die dezelfde functionele relaties hebben.

De habitatpreferentie van diersoorten kan worden gebruikt om na te gaan welke soorten in meer of mindere mate karakteristiek zijn voor beekdalen. Daarbij kan de autecologie van individuele soorten nuttig gebruikt worden voor de herkenning van menselijke beïnvloedingen en voor de effecten van beekherstel. De soort fungeert dan als een indicator voor een bepaalde factor of factorcomplex. De indicatieve waarde wordt groter naarmate er voor de desbetreffende factor meer kenmerkende soorten worden aangetroffen. Het aantal kenmerkende soorten kan in de tijd worden gevolgd om een indruk te verkrijgen van de ontwikkeling in bijvoorbeeld een beek. In de literatuur is informatie te vinden over de autecologie van afzonderlijke macrofaunasoorten en de synecologie van gemeenschappen. Belangrijk nadeel is dat een indeling naar habitatpreferentie geen volledig inzicht verschaft in de oorzaken van aan- of afwezigheid van fauna omdat niet gekeken wordt naar factoren die het schaalniveau van habitats overstijgen en niet gekeken wordt naar de dynamiek van habitats.

De functionele relaties tussen het voorkomen van soorten of soortgroepen en de omgevingscondities in beekdalen zijn beter bruikbaar om de koppeling te leggen met de patronen en processen in beekdalen. Op basis van functionele kenmerken van soorten wordt getracht ruimtelijke en temporele patronen in het voorkomen van soorten en soortgroepen te verklaren. Dergelijke kenmerken zijn geëvolueerd als aanpassing aan of weerstand tegen bepaalde milieu-omstandigheden. Voorbeelden

zijn fysiologische aanpassing tegen hoge chloridegehalten of lage zuurgraad, droogteresistentie en fysieke aanpassing aan waterstroming bij watermacrofauna. Andere voorbeelden zijn een korte levensduur of droogteresistente eieren om een droogteperiode te overleven, een adembuis om zuurstofarme condities te overwinnen en een chitineuze huid om osmotisch onafhankelijk te zijn van de omgeving. Vanuit het perspectief van het functioneren van het ecosysteem vervult iedere soort meerdere functies in het systeem zoals schakel in de voedselketen, vormer van structuur of leverancier van zuurstof. Het vervullen van deze functies wordt ook bepaald door soortkenmerken zoals predator, knipper, of snelle verspreider. Door te kijken naar functionele eigenschappen kunnen de oorzaken van knelpunten die soorten of soortgroepen in beekdalen ondervinden worden opgespoord. Met dit inzicht kunnen de maatregelen worden gekozen om deze knelpunten op te heffen.

Het indelen van diersoorten in levensstrategieën kan ook helpen bij het groeperen van soorten. Southwood (1977) opperde het idee dat soorten aanpassingen hebben die door het milieu als mal zijn vormgegeven. Zo bezit elke soort als het ware een aantal kenmerken (aanpassingen of specialisaties) die waar nodig ingezet kunnen worden met als doel uiteindelijk te overleven en voort te planten. Combinaties van kenmerken leiden tot een strategie die onder bepaalde condities succesvol is. Een groepering van soorten met een vergelijkbare strategie cq. aanpassingskenmerken levert een functionele groep op. Een eerste aanzet waarbij strategieën worden onderscheiden op kenmerken van soorten is de indeling in K- en r-strategen (onder andere MacArthur & Wilson 1967). K-strategen zijn soorten van stabiele, soortenrijke en complexe levensgemeenschappen, terwijl r-strategen een nomadische levenswijze combineren met een hoge reproductie en minder goed zijn aangepast aan complexe levensgemeenschappen. Dit idee heeft veel invloed gehad, maar veel soorten zijn niet goed te plaatsen langs één enkele gradiënt met twee uitersten (r-strategie en K-strategie). Met zijn idee van overlevingsstrategieën bracht Southwood (1977) een synthese tot stand van de ideeën rondom milieufilters, niche, en r-K selectie (Statzner *et al.* 2001). Voor soorten zijn andere soorten eveneens onderdeel van hun milieu. Biotische interacties en de respons daarop vormen dus impliciet onderdeel van de strategieën van een soort. Ook hier spelen meerdere schalen: een soort kan een strategie bezitten zodanig dat de soort misschien tijdelijk op de ene plek verdwijnt maar op de andere juist opkomt. Op metapopulatie-niveau blijft de soort dan constant.

De benadering om functionele relaties en eigenschappen te analyseren en zo te groeperen in overlevingsstrategieën is zeer complex. In feite wordt hier informatie over de verschillende aspecten van de biologie van een soort geïntegreerd. Het achterhalen van de exacte eisen en beperkingen van soorten vereist zeer gedetailleerde studies, maar door te werken met overlevingsstrategieën is het wel mogelijk om vanuit de soortkenmerken te analyseren op welke manier een functionele soortgroep het landschap gebruikt. Met dit inzicht kan worden aangegeven hoe door veranderingen in omgevingscondities sommige overlevingsstrategieën minder succesvol zullen zijn (zodat soorten die daartoe behoren afnemen) en andere succesvoller zullen zijn (zodat soorten behorend tot die strategie toenemen). Vandaar dat vaak wordt gewerkt met functionele soortgroepen, waarbij soorten worden gegroepeerd op basis van gemeenschappelijke kenmerken van de levenscyclus, reproductiecapaciteit, dispersiecapaciteit, voedselrelatie en voedingswijze (Bink, 1992; Cummins, 1973; Turin, 2000). Uitwerkingen naar overlevingsstrategieën zijn ontwikkeld voor bodemarthropoden (Siepel 1994), aquatische macrofauna van stilstaande wateren (Verberk 2008) en een uitwerking voor mieren van kalkgraslanden is in ontwikkeling (Van Noordwijk *et al.* in prep). Het operationaliseren van dit concept voor beekdalen vereist echter veel informatie over de soortkenmerken. Uitwerkingen naar overlevingsstrategieën specifiek voor de fauna van beekdalen ontbreken vooralsnog.

Geconcludeerd wordt dat het werken met functionele soortgroepen op basis van overlevingsstrategieën het meeste perspectief biedt voor het onderkennen van knelpunten en maatregelen voor natuurherstel. Voor deze benadering bestaat echter een grote kennislacune op het gebied van kennis over de functionele kenmerken en

relaties van soorten van de meeste taxonomische diergroepen in beekdalen en de beschikbare kennis is versnipperd aanwezig.

5.3 Soortenrijkdom en selectie van aandachtsoorten in beekdalen

Het begrenzen wat wel en niet tot de fauna van beekdalen gerekend dient te worden is lastig. Voor de eigenlijke aquatische beekfauna ligt dit nog enigszins voor de hand (Verdonschot 2000), maar voor de aquatische fauna in andere beekdal delen, zoals die in oude armen en beekmoerassen en voor de terrestrische fauna is de grens veel diffuser. Bovendien zijn de meeste diersoorten niet strikt gebonden aan beekdalen. Voor sommige soorten vormen beekdalen namelijk slechts een deel van hun totale habitat, terwijl andere soorten een specifieke combinatie van omgevingscondities nodig hebben die ook aanwezig is in landschappen buiten de beekdalen. Het zal ook duidelijk zijn dat het aantal diersoorten dat beekdalen gebruikt, sterk afhankelijk is van welke natuurtypen nog wel of juist niet meer tot beekdalen worden gerekend.

Het natuurbeleid richt zich deels op specifieke soorten. De instandhoudingsdoelen in Natura 2000-gebieden met beekdalen bestaan uit soorten (tabel 8, paragraaf 7.1.3) en habitattypen (tabel 7, paragraaf 7.1.3). Voor elk van de habitattypen zijn ook weer soorten als kwaliteitsindicator geformuleerd (Bal 2007). Naast deze soorten zijn ook een aantal relevante soorten van bijlage 4 van de Habitatrictlijn voor beekdalen relevant. Al deze soorten samen vormen een lijst van bijna 50 soorten (tabel 2). Deze tabel geeft vooral een globale indruk van soorten van beekdalen en is geen volledige lijst van beekdalsoorten. In de benadering vanuit kwaliteitsindicatoren van habitattypen ontbreken namelijk de soorten die gebonden zijn aan ecosystemen van het beekdallandschap die niet gedekt worden door de Natura 2000 habitattypen (in beekdalen bijvoorbeeld vele beektypen, oude beekarmen, de dotterbloemhooilanden en grote-zeggenmoerassen).

De lijst soorten is dan ook eenvoudig uit te breiden met extra soorten, zowel vanuit de in tabel 2 genoemde soortgroepen, als vanuit andere soortgroepen (bijvoorbeeld nachtvlinders, zweefvliegen, loopkevers, bodemmijten, enzovoorts). Bovendien zijn ook meer algemene soorten van belang, zeker vanuit het functioneren van een ecosysteem. Het is dus onmogelijk om een eenduidige en complete lijst te geven van de soorten die nog wel tot het beekdal gerekend dienen te worden. Als voorbeeld is wel een fauna-uitwerking gemaakt voor dagvlinders (als vertegenwoordigers van het terrestrische deel van het beekdal) en voor libellen, vissen en watermacrofauna (als vertegenwoordigers van het aquatische deel van het beekdal). Maar het mag duidelijk zijn dat beekdalen een belangrijk habitat vormen voor veel meer diersoorten en dat een dergelijke uitwerking als voor deze vier groepen niet mogelijk is voor alle taxonomische groepen. De enorme diversiteit aan fauna kan worden geïllustreerd met een onderzoek in het natuurreservaat 'De Brand'. Hier werden in een hooiland met één enkele malaiseval ruim 2000 soorten insecten gevangen in een tijdsbestek van slechts acht maanden (van Zuijlen *et al.* 1996).

Bij de selectie van vlinder- en libellensoorten die worden besproken (paragraaf 5.5.1 en 5.5.2), is uitgegaan van (1) afhankelijkheid van beekdalen voor de voortplanting of het voortbestaan en (2) in Nederland vastgestelde soorten die vermeld worden op de Rode Lijst, in de Flora- en Faunawet of in de Habitatrictlijn. Met deze selectie worden zowel terrestrische als aquatische delen van het beekdal bestreken en ook de diversiteit in de beekdalsystemen zelf. Van de geselecteerde soorten wordt in tabel 2 de status in Nederland en de omringende landen, de voorkeur voor beekdaltype en enkele belangrijke ecologische eigenschappen gegeven.

Tabel 2 (op volgende pagina): Lijst met kwaliteitsindicatoren voor de habitattypen waarvoor in Natura 2000-gebieden met beekdalen instandhoudingsdoelen zijn geformuleerd, uitgebreid met een aantal relevante soorten van de Habitatrichtlijn (HR).

Indicatie typische soorten

K: karakteristiek voor betreffende habitatype

C: constante soort die naast in het betreffende habitatype ook in andere typen kan voorkomen.

Constante soorten geven een indicatie van een goede abiotische toestand (t.a.v. bodem- en watereigenschappen en minimumoppervlak; aangeduid met **Ca**) en/of een goede biotische structuur (betreft o.a. horizontale en verticale vegetatiestructuur – al of niet temporeel van aard – en trofische niveaus ; aangeduid met **Cb**)

Rode-Lijstindicatie

TNB: thans niet bedreigd;

GE: gevoelig;

KW: kwetsbaar;

BE: bedreigd;

EB: ernstig bedreigd,

zzz: zeer zeldzaam;

ttt: zeer sterk afgenomen;

tt: sterk afgenomen;

t: afgenomen;

o/+: stabiel of toegenomen.

De volgende habitattypen zijn opgenomen: Beken en rivieren met waterplanten (waterranonkels) (H3260A), Stroomdalgraslanden (H6120), Heischrale graslanden (H6230), Blauwgraslanden (H6410), Glanshaver- en vossenstaarthooilanden (grote vossenstaart) (H6510B), Overgangs- en trilvenen (trilvenen) (H7140A), Overgangs- en trilvenen (veenmosrietlanden) (H7140B), Galigaanmoerassen (H7210), Eiken-haagbeukenbossen (hogere zandgronden) (H9160A), Hoogveenbossen (H91D0), Vochtige alluviale bossen (essen-iepenbossen) (H91E0B), Vochtige alluviale bossen (beekbegeleidende bossen) (H91E0C).

Nederlandse naam (* = verdwenen soort)	Wetenschappelijke naam	Systematische groep	RL-status/ Status habitatrichtlijn	H3260A	H6120	H6230	H6410	H6510B	H7140A	H7140B	H7210	H9160A	H91D0	H91E0B	H91E0C
	Heptagenia flava	Haften	KW (zzz, t)	K											
	Ephemerella ignita	Haften	TNB	K											
	Ecdyonurus torrentis	Haften	GE (zzz, 0/+)	K											
	Baetis vernus	Haften	TNB	Cab											
	Baetis rhodani	Haften	TNB	K											
Weidebeekjuffer	Calopteryx splendens ssp. splendens	Libellen	TNB	Cab											
Mercuurwaterjuffer	Coenagrion mercurillae	Libellen	HR												
Gewone bronlibel	Cordulegaster boltonii ssp. boltonii	Libellen	BE (zzz, tt)	K											
Gaffellibel	Ophiogomphus cecilia	Libellen	HR; EB (zzz, ttt)	K											
Beekrombout	Gomphus vulgatissimus	Libellen	BE	K											
Rivierrombout	Gomphus flavipes	Libellen	HR												
Bronsiibel	Oxygastra curtisii	Libellen	HR												
	Perlodes microcephalus	Steenvliegen	KW (zzz, t)	K											
	Nemoura avicularis	Steenvliegen	KW (zzz, t)	K											
Veldkrekel	Gryllus campestris	Sprinkhanen & krekels	BE			K									
Gouden sprinkhaan	Chrysocraon dispar	Sprinkhanen & krekels	KW							K					
	Lype phaeopa	Kokerjuffers	KW	K											
	Limnephilus incisus	Kokerjuffers	EB (zzz, ttt)							K					
	Lepidostoma hirtum	Kokerjuffers	BE (zzz, tt)												K
	Brachycentrus subnubilus	Kokerjuffers	EB (zzz, ttt)	K											
	Athripsodes albifrons	Kokerjuffers	EB (zzz, ttt)	K											
	Anobolia brevipennis	Kokerjuffers	KW (zzz, t)						K	K					
Pimpernelblauwtje	Maculinea teleius	Dagvlinders	HR												
Donker pimpernelblauwtje	Maculinea nausithous	Dagvlinders	HR												
Zilveren maan	Boloria selene	Dagvlinders	BE				K								
Tweekleurig hooibeestje *	Coenonympha arcania	Dagvlinders	VN ('89)			K *									
Moerasparelmoervlinder *	Euphydryas aurinia ssp. aurinia	Dagvlinders	VN ('83)				K *								
Kleine ijsvogelvlinder	Limenitis camilla	Dagvlinders	BE												K
Grote weerschijnvlinder	Apatura iris	Dagvlinders	EB (zzz, ttt)												K
Grote vuurvlinder	Lycaena dispar ssp. batava	Dagvlinders	EB (zzz, ttt)							K					
Grote ijsvogelvlinder *	Limenitis populi	Dagvlinders	VN ('96)											K *	K *
Geelsprietdikkopje	Thymelicus sylvestris	Dagvlinders	TNB		Cb	Cb		Cb							
Aardbeivlinder	Pyrgus malvae ssp. malvae	Dagvlinders	BE			K									
Riviergrondel	Gobio gobio	Vissen	TNB	Ca											
Bermpje	Barbatula barbatulus	Vissen	TNB	Ca											
Vuursalamander	Salamandra salamandra ssp. terrestris	Amfibieën	BE (zzz, tt)												K
Hazelworm	Anguis fragilis ssp. fragilis	Reptielen	KW												
Zwarte specht	Dryocopus martius ssp. martius	Vogels	TNB									Cb			
Watersnip	Gallinago gallinago ssp. gallinago	Vogels	BE				Cab			Cab					
Nachtegaal	Luscinia megarhynchos ssp. megarhynchos	Vogels	KW											Cab	
Matkop	Parus montanus ssp. rhenanus	Vogels	GE										Cb	Cb	Cb
Houtsnip	Scolopax rusticola	Vogels	TNB										Cab		
Grote bonte specht	Dendrocopos major ssp. pinetorum	Vogels	TNB											Cb	Cb
Graspieper	Anthus pratensis ssp. pratensis	Vogels	GE		Cab										
Bosuil	Strix aluco ssp. aluco	Vogels	TNB									Cb			
Boomklever	Sitta europaea ssp. caesia	Vogels	TNB									Cb			Cb
Blauwborst	Luscinia svecica ssp. cyanecula	Vogels	TNB								Cab				
Appelvink	Coccothraustes coccothraustes ssp. coccothraustes	Vogels	TNB									Cb			Cb
Waterspitsmuis	Neomys fodiens ssp. fodiens	Zoogdieren	KW												Cab

5.4 Belangrijke factoren voor fauna in beekdalen

Hieronder worden de invloed van terreinheterogeniteit, hydrodynamiek en voedselrelaties tussen soorten op fauna in beekdalen besproken.

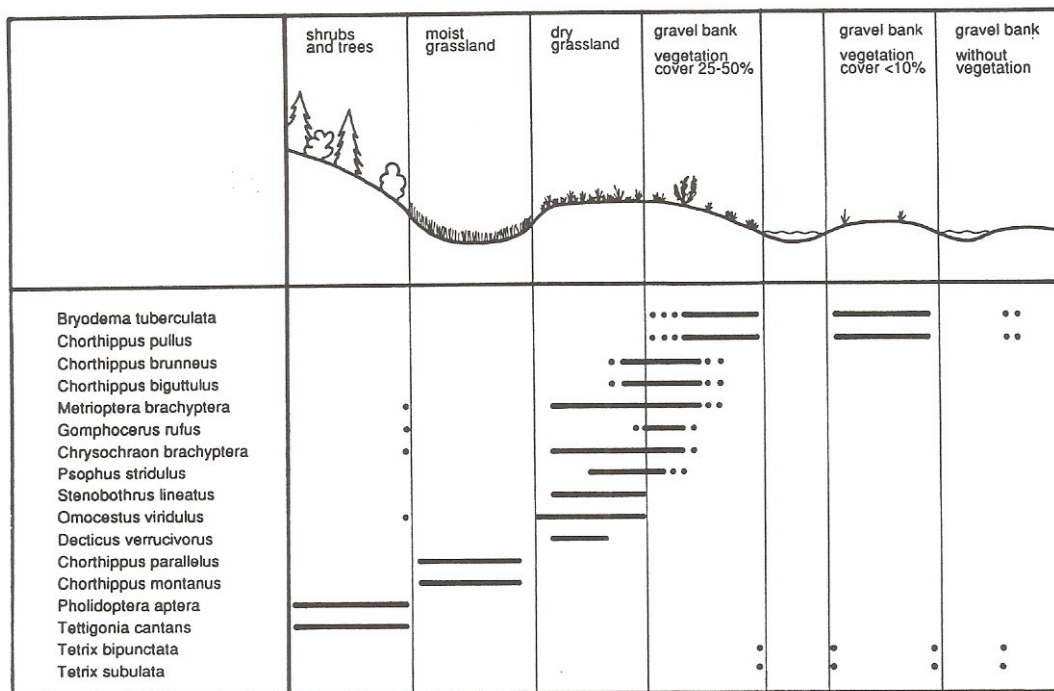
De meeste diersoorten zijn afhankelijk van uiteenlopende omstandigheden die ruimtelijk en gedurende een bepaalde periode in het landschap aanwezig moeten zijn. De voedselbeschikbaarheid, structuur en structuurvariatie en de frequentie, voorspelbaarheid en amplitude van variatie in omgevingscondities in de tijd, zijn factoren die in zijn algemeenheid van belang zijn voor fauna (Bink *et al.*, 1998). Wat betreft trofische relaties hebben ongewervelde herbivoren nauwe relaties met de vegetatiesamenstelling en groeicondities van planten. Detritivoren daarentegen zijn sterk afhankelijk van de kwaliteit van dood organisch materiaal en veelal onafhankelijk van de plantensoort. Voor ongewervelde carnivoren zijn vegetatiestructuren belangrijk. Voor mobiele soorten, zoals veel gewervelden wordt de relatie met terreinheterogeniteit op het schaalniveau van het landschap belangrijk. De temporele dynamiek grijpt via de levenscyclus aan op de beperkingen en mogelijkheden die soorten ondervinden, bijvoorbeeld in termen van voedsel of beschutting. Voedsel, terreinheterogeniteit en temporele dynamiek staan uiteraard niet los van elkaar en voor iedere diersoort grijpen de versturende factoren weer op een ander niveau aan.

5.4.1 Terreinheterogeniteit

Intacte beekdalen worden gekenmerkt door een grote gevarieerdheid aan abiotische omstandigheden die zorgen voor een grote verscheidenheid aan biotopen zoals bron-, broek- en beekbegeleidende bossen, natte graslanden, moerassen, natte ruigten en natuurlijk de beek zelf met onder meer overhangende oevers, sedimentatiezones en een variatie aan organische structuren. Naast de verschillen in structuur kan een terrein heterogeen zijn door verschillen in vochtgraad, voedselrijkdom, en temporele dynamiek. Terreinheterogeniteit manifesteert zich op verschillende schaalniveaus (bijvoorbeeld structuurvariatie rondom een bladpakket, in een beektraject, rondom een graspol, binnen graslanden en combinaties van graslanden, moerasruigte en beekbossen) en komt tot uitdrukking in gradiënten en mozaïeken (zoals de grootschalige gradiënt van beek naar hogere gronden, of een mozaïek van natte laagtes, hogere ruggen en bossen).

Hoewel terreinheterogeniteit lastig is te definiëren is ze belangrijk voor een hoge biodiversiteit (Houte de Lange, 1987; MacArthur & MacArthur, 1961; Harper *et al.* 1997). Een hogere terreinheterogeniteit met meer variatie kan meer soorten herbergen door een additief effect: verschillende onderdelen herbergen elk hun eigen karakteristieke soorten, zodat meer onderdelen tot een hoger aantal soorten leidt. Dit effect zal vooral opgaan voor soorten die op kleinere schaal hun omgeving gebruiken en een vrij nauwe relatie hebben met de vegetatiesoortensamenstelling, zoals ongewervelde herbivoren waaronder sprinkhanen (figuur 14). Daarnaast kan mozaïek-heterogeniteit een meerwaarde hebben via een synergistisch effect. Dit effect doet zich voor bij diersoorten die gedurende hun levenscyclus verschillende onderdelen in het landschap gebruiken en zal vooral gelden voor soorten die niet zozeer een directe binding hebben met de vegetatiesoortensamenstelling maar veeleer met de vegetatiestructuur en de structuurvariatie, zoals carnivoren. Soorten waarvoor het synergetische effect van mozaïeken optreedt, zijn meestal ook meer mobiele soorten, zoals de Grote gele kwikstaart (*Motacilla cinerea*), die verschillende plekken gebruikt voor de voortplanting, als rustplaats of om voedsel te zoeken (figuur 15). Bij insecten kan worden verwacht dat deze meerwaarde van heterogeniteit zich vooral voordoet wanneer de morfologie en levenswijze van de larven sterk verschilt met die van de adulten, zoals onder andere bij holometabole insecten. Vlinders zijn een bekend voorbeeld, zoals de Grote weerschijnvlinder (*Apatura iris*), waarbij de rups vooral Boswilg als waardplant gebruikt en adulten zich voornamelijk voeden met mineralen uit modder, kadavers of uitwerpselen die ze op onverharde boswegen vinden. Ook het

sap van bloedende bomen (vooral eiken) trekt de vlinders aan (Bink, 1992). Tijdens de paring draagt het mannetje niet alleen sperma over, maar ook zouten die belangrijk zijn voor een betere ontwikkeling van de eitjes (Bos *et al.*, 2006). Ook bij libellen is terreinheterogeniteit van belang. Libellen zijn ecologisch te karakteriseren als carnivoren. Ze hebben relatief kortlevende adulte stadia (enkele weken of maanden) die betrekkelijk mobiel zijn en langlevende larvale stadia (enkele maanden tot een aantal jaren) die relatief immobiel zijn. De larven zijn sterk afhankelijk van de beek zelf en gebruiken daar tijdens hun verschillende larvale stadia ook verschillende habitats en voedselbronnen. De adulten moeten in de beek geschikte voortplantingslocaties kunnen vinden, maar tijdens de uithardingsfase en tijdens het voedsel zoeken zijn ze niet per se aan de beek zelf gebonden. Vaak zijn adulten aanwezig in de beekbegeleidende structuren, zoals bosranden, om te jagen, maar soms kunnen ze kilometers van de beek weg zwerven.



Figuur 14: Habitatpreferentie van sprinkhanen in het dal van de Isar (uit: Reich, 1991).



Figuur 15: Schema van het biotoop van de Grote gele kwikstaart voor A: de voortplanting; B: voedsel zoeken en C: rustplaats (uit: Schepers & Schols, 1990)

De terreinheterogeniteit is sterk afgenomen in beekdalen. Door lagere grondwaterstanden, beeknormalisatie en insnijding van de beek zijn natte onderdelen (bronbossen, beekmoerassen) afgenomen of verdwenen. De hogere, schralere delen zijn vaak geëutrofeerd. In combinatie met intensivering van de landbouw en ook door patroonbeheer in natuurterreinen is het oppervlak waarop gradiënten en mozaïeken in stand dienen te worden gehouden of waar zij kunnen worden ontwikkeld veelal te gering. Bates *et al.* (2007) suggereren eveneens dat een groter oppervlak aan meer keversoorten onderdak zal bieden omdat zich dan door verschillen in reliëf en afstand tot het water een sterkere differentiatie in onder andere temperatuur, overstromingsfrequentie, voedselbeschikbaarheid en vegetatiestructuur kan ontwikkelen.

Het verlies aan heterogeniteit is een belangrijke oorzaak voor de achteruitgang van veel soorten. Zo wordt voor het Paapje (*Saxicola rubetra*) het verlies aan structuurrijke vegetaties met een rijk insectenleven als belangrijke oorzaak voor de achteruitgang genoemd (Sovon 2002). Een te grote eenvormigheid in beekbegeleidende bossen (volledige kroonsluiting, slecht ontwikkelde bosrand) is één van de oorzaken van de achteruitgang van de Grote weerschijnvlinder (Groenendijk & Mensing, 2007). De Knoflookpad is achteruitgegaan door verlies van geschikte voortplantingswateren (voedselrijk maar visvrij water) en landhabitat (zandige bodems). De voortplantingswateren moeten laagdynamisch zijn en bevinden zich in of aan de rand van het beekdal, in de vorm van moerassen en verlandende wateren. De landhabitat is in de meeste gevallen reliëfrijk en kan sterk variëren (rivierduinen, zandige oeverwallen van beken, zandige dijktafsluitingen, heideterreinen, volkstuintjes). Juist het verlies van de combinatie van beide onderdelen in het landschap op korte afstand van elkaar (tot 250 meter), is de belangrijkste oorzaak voor de achteruitgang van de Knoflookpad (Crombaghs & Creemers, 2001). Ook voor de Geelbuikvuurpad (*Bombina variegata*) is geopperd dat beek- en rivierdalen de primaire habitats vormden en ook daar terreinheterogeniteit van belang is omdat de soort andere eisen stelt aan de zogenaamde voortplantingspoelen, waar de larven opgroeien en verblijfpoelen, dan waar de adulten in de zomer verblijven (Platform Geelbuikvuurpad en Vroedmeesterpad, 2006).

5.4.2 Hydrodynamiek

Vooraf in de weinig hellende beekdalen kunnen de lagere delen overstromen met beekwater waardoor slib, bufferstoffen, nutriënten en verontreinigingen worden aangevoerd en afgezet. Daarnaast kan inundatie optreden in semi-terrestrische delen door een stagnatie van neerslag en geëxfiltreerd grondwater op maaiveld. In de overgangen van aquatische naar terrestrische delen worden de interacties tussen beide sterk gestuurd door inundatie. De ruimtelijke structuren hebben bovendien een sterke invloed op deze interacties (paragraaf 5.4.1). Junk (1999) beschrijft de uitwisseling van nutriënten, bufferstoffen en soorten tussen een waterloop (rivier of beekloop) en de omgeving (uiterwaard of beekdal). Dit leidt tot een koppeling van productie, decompositie en consumptie waardoor het aquatische en het terrestrische milieu wordt verweven. De hydrodynamiek in deze overgangszones tussen het aquatische en het terrestrische milieu biedt verschillende mogelijkheden (verhoogde voedselbeschikbaarheid, transportmogelijkheid, afwezigheid van concurrenten doordat vroege successiestadia worden gecreëerd) en beperkingen (verdrinking, verstikking, afvoer) met bijbehorende aanpassingen en strategieën om daarmee om te gaan. Het is onbekend hoe groot de invloed van overstroming en inundatie was op de interacties tussen het aquatische en het terrestrische milieu in de oorspronkelijke of meer natuurlijke beekdalen in het laagland. Gezien de geringe reliëfverschillen in het laagland mag worden verwacht dat de invloed van overstromingen en inundatie op de structuur en het functioneren van het beekdal substantieel was en zich over een groot gebied deed gelden. Dit was zeker het geval in beekdalen waar vroeger - voor ingrepen van de mens - vertakte, vlechtende en diffuse afvoerstelsels met bijbehorende rijk gestructureerde dwarsprofielen voorkwamen (Walter & Merritts, 2008). Door ingrepen van de mens trad ontwikkeling op naar beken met één veelal meanderende of zwak slingerende stroombed en vaak een diep liggend stroombed met steile oevers (zie paragraaf 4.3.1 en 4.3.2). Besef van de oorspronkelijke omstandigheden in het

beekdal waarin soorten zijn geëvolueerd kan leiden tot begrip van de aanpassingen die soorten hebben.

Facilitatie door hydrodynamiek

Aquatische ongewervelden en terrestrische ongewervelden die van elders met de stroom worden meegevoerd kunnen als voedselbron dienen voor oevergebonden ongewervelden (spinnen, loopkevers, mieren) en gewervelden, zoals de Waterspitsmuis (*Neomys fodiens*). Het belang van deze voedselbron verschilt per soortgroep (Paetzold *et al.*, 2006), afhankelijk van het dieet en de fenologie. Zo namen de Loopkevers (*Carabidae*) af, wanneer deze voedselbron experimenteel werd afgeschermd, terwijl mieren (*Formicidae*) die voornamelijk een terrestrisch dieet hebben, een extra toename lieten zien wanneer deze voedselbron experimenteel werd verhoogd. Voor spinnen (*Lycosidae*), waarvan het dieet voor slechts een deel uit aquatische bronnen bestaat, werd tenslotte geen effect gevonden. Bij de Waterspitsmuis spelen voedsel en concurrentie om voedsel een belangrijke rol. Zo neemt de dagactiviteit van de soort toe naarmate er meer concurrentie is met andere spitsmuizen. Daarbij is de soort territoriaal tijdens de winterperiode, wanneer het voedselaanbod lager is en de populaties het grootst. In de winter wordt vaak aas gegeten en soms treedt kannibalisme op. Het verlies van geschikt habitat (overstromingsgebiedjes en zacht glooiende oevers) door beeknormalisatie is waarschijnlijk een belangrijk knelpunt voor deze soort. In de beek zelf speelt de stroming een belangrijke bron bij de zuurstof- en voedselhuishouding van veel stromingsminnende soorten. Dergelijke soorten hebben allerlei aanpassingen om optimaal in hun zuurstofbehoefte te voldoen en om bijvoorbeeld met behulp van gesponnen netjes of zeefvormige lichaamsstructuren voedseldeeltjes uit het water te filteren.

Het transport van organismen met de waterstroom kan ook helpen bij de dispersie van een soort. Sommige soorten lijken daar juist ook op in te spelen. Een deel van de aquatische macrofauna maakt actief gebruik van drift om zich te verspreiden, echter ook passieve drift treedt op. Zo worden eieren van de Gouden sprinkhaan (*Chrysochraon dispar*) afgezet in dood hout of stengels die met de stroming kunnen worden meegevoerd en dit zou een belangrijke manier van verspreiding kunnen zijn in rivier- en beekdalen (Hochkirk, 1996). De andere manier waarop de Gouden sprinkhaan zich kan verspreiden is namelijk via langvleugelige exemplaren, maar langvleugelige vrouwtjes kunnen waarschijnlijk veel minder eitjes leggen. Boeren (2006) geeft aan dat in het Maasdal en langs de Geul geen langvleugelige dieren zijn aangetroffen en dat bijna alle plekken die in het Maasdal zijn bevolkt, de laatste jaren waren geïnundeerd, waardoor het waarschijnlijk is dat de toename in het Maasdal wordt veroorzaakt door aangespoeld plantenmateriaal met eieren. Ook loopkevers kunnen met het water worden getransporteerd en veel soorten kunnen zwemmen of hebben aanpassingen om lange periodes onder water te overleven (Andersen, 1968). Daarnaast zijn er ook soorten, zoals de langvleugelige *Bembdion atrocaeruleum* die juist bij inundatie een hogere dispersie vertonen (Bates *et al.*, 2006).

Voor een aantal soorten is een zekere dynamiek noodzakelijk omdat dit vroege successiestadia of pioniermilieus creëert. Zo is voor de sprinkhaan *Bryodema tuberculata* aangetoond dat deze een optimaal habitat vindt in nieuw ontstane zandbanken waar vervolgens weer langzaam in successie optreedt (Stelter *et al.*, 1997). Terreinheterogeniteit bleek hierbij ook van belang aangezien de inundaties het beste kunnen worden overleefd in de (minder optimale) oudere deels begroeide zandbanken. De uitwisseling tussen de verschillende zandige oeverbanken vond op kleine schaal plaats (enkele tientallen meters) en was deels afhankelijk van periodieke droogval omdat vrouwtjes dan lopend stroomgeultjes konden doorkruisen (Reich, 1991). Voor de larven van de beekprik is de menging van zand en fijn slib randvoorwaarde voor een geschikt biotoop. Dergelijke beekbodemstructuren ontstaan alleen bij enige vorm van dynamiek. Door vroegere kanalisatie en normalisatie van de beek verdwenen meanders, nam de invloed van erosie en sedimentatie af en werd de beekstructuur sterk verarmd. Hierdoor verdween veel variatie in stroomsnelheid en bodemsamenstelling, waar larven van veel

beekbewonende diersoorten juist van afhankelijk zijn (Tolkamp 1981), bijvoorbeeld om de predatie door vissen te ontlopen. Daarnaast zijn grote schommelingen in stroomsnelheid en waterdiepte in genormaliseerde profielen ongunstig voor veel waterdieren zoals libellenlarven, bijvoorbeeld doordat waterplanten verdwijnen of dierensoorten wegspoelen. In beken met een kleine of matige hydrodynamiek en met watervegetatie zijn veel schuilmogelijkheden voor vissen, libellenlarven en andere soorten watermacrofauna tegen predatoren.

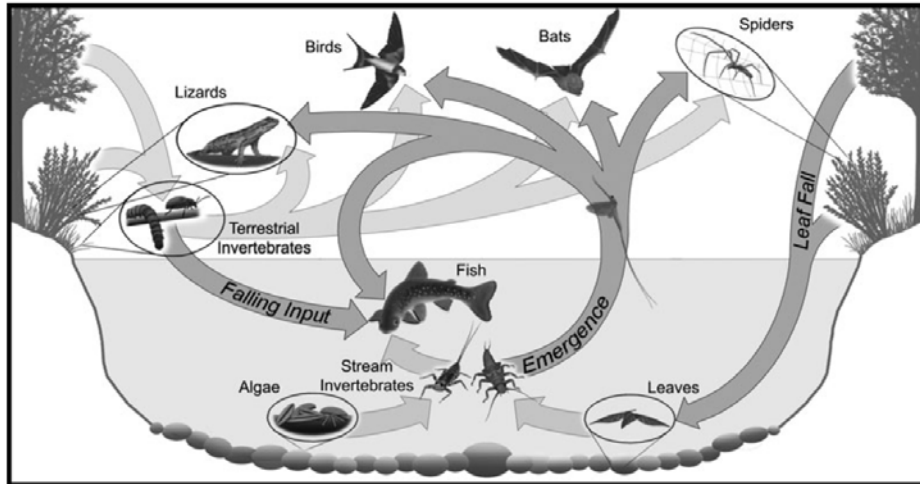
Beperkingen door hydrodynamiek

De noodzaak voor soorten om aanpassingen te hebben aan overstromingen en inundaties zijn afhankelijk van de frequentie, duur en voorspelbaarheid waarmee deze zich voordoen. In de oorspronkelijke situatie zullen de hogere delen minder vaak inunderen, terwijl in de lagere delen frequenter overstromingen optraden en daarmee ook vaak productiever waren door de aanvoer van slib, nutriënten en bufferstoffen. Overigens was de oorspronkelijke situatie complexer, doordat inunderende delen ook laag productief konden zijn. Dit ruimtelijke verschil in inundatie weerspiegelt zich in de verspreiding van soorten. Op hogere delen is inundatie minder frequent en minder lang, dus missen de daar voorkomende soorten aanpassingen om daarmee om te gaan. Zo zijn Moerassprinkhaan (*Stethophyma grossum*) en Zompsprinkhaan (*Chorthippus montanus*) beide gebonden aan natte schraallanden (Reemer & Krekels, 2007). Hun eieren zijn gevoelig voor uitdroging wat hun binding aan deze natte graslanden verklaart. De grotere Moerassprinkhaan zet de eieren af net boven of oppervlakkig in de bodem. Voor deze soort is verder een mozaïekstructuur van hoge en lage vegetaties belangrijk. Een hoog grondwaterpeil in de winter is belangrijk. Overstroming wordt getolereerd, waarschijnlijk vergemakkelijkt door de dikke schaal rond de eieren (Detzel, 1998), maar vanaf maart dient de bodem niet meer onder water te staan. Ook de Zompsprinkhaan komt voor in natte graslanden, maar is gebonden aan schralere condities. Tevens mijdt de soort gebieden die 's winters inunderen. Om uitdroging te voorkomen is de soort daarom gebonden aan door grassen gedomineerde biotopen met een enigszins stabiel grondwaterpeil. Deze plekken kwamen vermoedelijk wat hoger op de gradiënt op plekken met kwel. Vermoedelijk zijn dergelijke plekken sterker afgenomen door aantasting, wat zou verklaren dat de Zompsprinkhaan ook zeldzamer is dan de Moerassprinkhaan. Vanuit de ecologische eigenschappen van deze twee soorten sprinkhanen is dus een verschil in reactie op inundatie te verwachten, die ook deels hun voorkomen bepaalt. Daarbij verschilt de noodzaak tot herkolonisatie ook en dat uit zich in de mobiliteit van beide soorten. De Moerassprinkhaan is volledig gevleugeld en kan goed vliegen en doet dat ook geregeld. Door frequentere inundatie zal lokaal uitsterven wellicht vaker optreden, waardoor herkolonisatie voor deze soort ook belangrijker is. Voor de Zompsprinkhaan is dat niet het geval. Deze soort is in principe niet in staat om te vliegen door de gereduceerde achtervleugels, hoewel volledige gevleugelde individuen soms in populaties voorkomen. De soort kan dus wel nieuwe plekken die tijdelijk ongeschikt waren herkoloniseren, maar zowel zijn vermogen als de noodzaak daartoe zijn minder groot.

De poppen van de aquatische larve van de kokerjuffer *Agapetus fuscipes* zijn sessiel en ontwikkelen precis op de waterlijn op stenen. Peilverhoging gedurende de ontwikkeling van de pop leidt tot lagere zuurstofcondities en daarmee het sterven van de poppen. De soort overleeft dan ook alleen in beken met een constante afvoer. Voor de meeste vlinders is periodieke overstroming een te grote beperking. Bij overstroming sterven rupsen en poppen meestal snel en zijn de meeste vlindersoorten niet in staat om hun levenscyclus te voltooien. Bijzondere soorten dagvlinders in een beekdal zijn dan ook meestal te vinden op de hogere delen. Ook terrestrische chironomiden (*Diptera*) zijn op verschillende manieren aangepast aan inundatie. Zo blijkt vrijwel elke soort een ander gedrag te vertonen in reactie op (periodieke) overstroming van graslanden. Daarbij spelen jaargetijde en ruimtelijke variatie in het grasland een belangrijke rol (Moller Pillot, 2005). Ook voor de aquatische macrofauna is het belang van ruimtelijke variatie om temporele dynamiek te overleven een bekend fenomeen (Lancaster & Hildrew, 1993; Townsend & Hildrew, 1994).

Voedselinteracties tussen soorten

Naast de uitwisseling van nutriënten, bladmateriaal en houtige structuren zijn ook de voedselrelaties van belang van enerzijds terrestrische ongewervelden die in de beek vallen en een voedselbron vormen voor beekvissen en anderzijds de aquatische insecten die na het uitzwerven een voedselbron vormen voor terrestrische diergroepen waaronder vogels, vleermuizen en spinnen (figuur 16).



Figuur 16: Schema van voedselrelaties, waarbij interacties tussen het terrestrische en het aquatische milieu met donkergrijze pijlen zijn aangegeven (uit: Baxter et al. 2005).

Het belang van deze wederzijdse aanrijking tussen het aquatisch en terrestrische milieu heeft belangrijke consequenties voor dynamische voedselwebben en het functioneren van beekdalen (Baxter et al., 2005). Verschuivingen in het prooiaanbod door het seizoen verliepen niet synchroon voor aquatische en terrestrische milieus. Emergentie van aquatische insecten piekte in het voorjaar wanneer juist het aanbod aan terrestrische ongewervelde laag was, terwijl 's zomers er een hoge input was van terrestrische ongewervelden naar de beek. Door dit mechanisme van wederzijdse aanvulling herbergen combinaties van terrestrische en aquatische milieus hogere dichtheden en meer soorten dan elk milieu afzonderlijk (Nakano & Murakami, 2001).

Diersoorten kunnen worden beperkt in hun voorkomen niet alleen doordat de abiotische condities niet toereikend zijn, maar ook door interacties tussen soorten, waarbij voedselrelaties het meest voor de hand liggen. Voor toppredatoren zoals vogels kan de voedselhoeveelheid of de beschikbaarheid te laag zijn. Zo wordt een gebrek aan een groot en gevarieerd aanbod van grotere prooien gedurende het broedseizoen verantwoordelijk gehouden voor de achteruitgang van de Grauwe klauwier (*Lanius collurio*) (Kuper et al., 2001; Beusink et al., 2003). Een groot en gevarieerd aanbod van grote insecten hangt vervolgens weer samen met de terreinheterogeniteit (Peters, 2002). Voor herbivoren kan de relatie zeer direct zijn naar specifieke waardplanten (zie tekstkader pimperlblauwtjes).

Voedselinteracties komen ook voor hoger in de voedselketen. De larven van libellen zijn carnivoren en worden zelf weer gegeten door vooral vissen (zie paragraaf 5.2.3). In een natuurlijk beekstelsel is ruim voldoende terreinheterogeniteit om te sterke predatie door vissen te voorkomen. Ingrijpende aantastingen van de beekstructuur kunnen de effecten van voedselrelaties dus versterken. Bovendien hebben libellen verschillende aanpassingen om vispredatie te vermijden. Larven graven zich in het sediment in, zijn alleen 's nachts actief of houden zich schuil tussen waterplanten. Een dergelijke predator-prooi relatie komt bij veel benthische macrofauna voor. Daarnaast worden grote rugdoorns van veel larven en de geringe activiteit bij het jagen als aanpassing gezien om de predatie door vissen te beperken (Johansson & Samuelsson, 1994), maar de effectiviteit van de rugdoorns is niet duidelijk. In een natuurlijk ecosysteem zijn libellenlarven voldoende aangepast en zijn er voldoende schuilmogelijkheden om naast de vissenfauna ook een gezonde libellenfauna te hebben. In structuurarme, genormaliseerde en gekanaliseerde beken zullen schuilmogelijkheden geringer zijn. Naast veranderingen in schuilmogelijkheden kunnen ook veranderingen in de oorspronkelijke visstand negatieve gevolgen hebben voor

de libellenfauna (zie paragraaf 5.2.3). Er is in Nederland geen onderzoek verricht naar de effecten van het uitzetten van vis.



Foto 14: De Grauwe klauwier (Lanius collurio) is gebonden aan gevarieerde, kleinschalige landschappen waaronder beekdalen. Hier vindt deze toppredator een groot en gevarieerd aanbod van grotere prooien gedurende het seizoen en kan zo een hoog broedsucces behalen (foto Peter Beusink).

Pimpernelblauwtjes en terreinheterogeniteit

In Europa komen twee soorten pimpernelblauwtjes voor: het Donker pimpernelblauwtje (*Maculinea nausithous*) en het Pimpernelblauwtje (*Maculinea teleius*). Beide soorten gebruiken de Grote pimpernel als waardplant en beide zijn parasitair op speciale knooppieren. In de eerste weken van hun leven, eten de rupsen van de bloemen van de waardplant. Later laten ze zich van de plant vallen en worden door de waardmier meegenomen naar het mierennest, waar ze zich voeden met mierenbroed. De pimpernelblauwtjes hebben een voorkeur voor ruige vegetaties in matig voedselrijke graslanden, hooilanden, moerassen en wegbermen. Beide soorten hebben in hun gehele verspreidingsgebied een belangrijke relatie met beekdalen.

Vanuit de vlinder geredeneerd zijn diverse factoren van belang voor het voortbestaan van populaties van beide soorten pimpernelblauwtjes. De aanwezigheid van de Grote pimpernel (*Sanguisorba officinalis*) is van belang. Voor het Donker pimpernelblauwtje moeten ten tijde van de ei-afzet waardplanten aanwezig zijn met relatief forse bloemhoofdjes die nog geen bloeiende bloempjes hebben en nog geen nectar produceren. Het Pimpernelblauwtje vliegt iets eerder en zoekt kleinere bloemhoofdjes uit. Door deze specificiteit ontlopen beide soorten elkaar enigszins en is de concurrentie tussen de rupsen beperkt. De mobiliteit van het Donkere pimpernelblauwtje is groter dan van het gewone pimpernelblauwtje, maar beide soorten zijn niet in staat om grote afstanden af te leggen. Pas bij hoge dichtheden aan vlinders (meer dan enkele honderden vlinders per hectare) worden niet gekoloniseerde locaties meer dan 100 meter van een populatie vandaan bevolkt. Voor de vlinders is het verder van belang dat de waardplanten slechts enkele meters van een mierennest afstaan. De waardmier van het Donker pimpernelblauwtje is meestal de Gewone steekmier (*Myrmica rubra*). Voor het Pimpernelblauwtje is dit meestal de Moerassteekmier (*Myrmica scabrinodus*). De nesten van de waardmieren verdwijnen geregeld door teveel predatie door de rupsen; de blauwtjes zijn dan gedwongen om nieuwe plekken te zoeken.

Voor Grote pimpernel is het belangrijk dat er 's winters vochtige omstandigheden zijn (vaak met het water iets boven maaiveld) en in de zomer oppervlakkig droog. De bodemsoort kan sterk uiteenlopen, hoewel sterk kalkrijke en zure bodems door de plant worden vermeden. Ontwatering en vermessing hebben een sterk negatief effect op de Grote pimpernel. De waardmieren zijn gebaat bij droge omstandigheden om hun nesten te maken. Met name de Moerassteekmier heeft een zeer lage mobiliteit, van slechts enkele meters in de omgeving van het nest. Het voortbestaan van de beide pimpernelblauwtjes, maar indirect ook van de beide waardmieren is mede afhankelijk van een hoge dichtheid aan mierennesten. De vegetatie mag niet te sterk verruigd zijn, omdat anders de mieren geen nesten kunnen maken.

Uit deze beschrijving van het samenspel tussen waardmier, blauwtje en waardplant blijkt het belang van terreinheterogeniteit in beekdalen. Daarmee wordt duidelijk dat verschillende ingrediënten aanwezig moeten zijn. Niet alleen structuurvariatie binnen graslanden en combinaties van graslanden, moerasruigte, maar ook gradiënten van beek naar hogere gronden en een mozaïek van natte laagtes, en hogere ruggen.

Waardplanten, steekmieren en ook het blauwtje zelf hebben ieder specifieke eisen, waardoor alleen in een beekdal waarin een hoge terreinheterogeniteit en veel gradiënten aanwezig zijn, de balans voldoende is voor het voorkomen van de pimpernelblauwtjes (Bos et al, 2006; Weeda et al, 1987; Wynhoff, 2001).

5.5 Uitwerking van een aantal taxonomische groepen

5.5.1 Vlinders

De elf geselecteerde dagvlinders zijn ecologisch te karakteriseren als herbivoren (tabel 3). Alleen de beide soorten pimperlblauwtjes zijn partieel carnivoor en hebben een parasitaire relatie met knoopmieren. Alle soorten hebben relatief kortlevende adulte stadia (enkele dagen of weken), waarvan de meeste weinig mobiel zijn en die zich voeden met nectar. De soorten hebben meestal een generatie per jaar, maar enkele soorten zijn in staat om meerdere generaties te ontwikkelen. De meeste soorten hebben langlevende larvale stadia (een aantal weken tot enkele maanden). De meeste soorten hebben weinig mobiele, lang (een aantal weken tot enkele maanden) levende larvale stadia die leven als min of meer waardplantenspecifieke herbivoren. De meeste van de geselecteerde aandachtsoorten (en ook de meeste andere dagvlinders) overwinteren als rups. Doordat alle vlinderstadia zich op een relatief klein oppervlakte afspelen, vereist dit een grote variatie en terreinheterogeniteit met een ruimtelijke samenhang. In onderstaande paragrafen wordt hier aandacht aan besteed. De geselecteerde dagvlinders en hun rupsen zijn een beperkt onderdeel in het voedselweb van het beekdalecosysteem, vanwege de relatief lage dichtheden.

Zowel de larven als de vlinders zijn afhankelijk van structuren in het beekdal en niet van de beek zelf. In hoge mate is een grote terreinheterogeniteit en ruimtelijke samenhang belangrijk (zie bijvoorbeeld het kader over de pimperlblauwtjes). Vlinders, ei-afzet, jongere rupsen, overwintering, oudere rupsen, popstadium vereisen ieder in hun eigen stadium speciale omstandigheden, die dus een hoge mate van diversiteit van het terrein vragen. Daarnaast zijn veel vlinders afhankelijk van bepaalde waardplanten (zie hieronder). De terrestrische delen in beekdalen zijn belangrijke gebieden voor vlinders, maar in delen die regelmatig overstromen, kunnen vlinders vaak niet hun gehele levenscyclus voltooien.

Acht van de elf geselecteerde soorten dagvlinders hebben nog populaties in Nederland. Twee soorten zijn met zekerheid verdwenen, maar komen nog wel in de nabije buurlanden nog voor. De Purperstreepparelmoervlinder heeft de laatste jaren tijdelijke populaties gehad. Definitieve vestiging van zowel de Rode vuurvlinder als de Purperstreepparelmoervlinder behoort in de nabije toekomst tot de reële mogelijkheden. Voor de Moerasparelmoervlinder zijn de perspectieven minder gunstig. De mobiliteit van de geselecteerde dagvlinders is beperkt en bijvoorbeeld geringer dan van de libellen. Ze komen daarom doorgaans voor in een metapopulatieverband van een netwerk van kleinere tot grotere plekken (aren tot hectaren) op onderlinge afstanden van enkele honderden meters. Incidenteel kunnen echter wel afstanden van meerdere kilometers worden afgelegd. Dit kan de basis vormen voor nieuwe kolonisaties. De factoren die verplaatsingen op grotere afstand bepalen zijn echter niet goed bekend.

Tabel 3: Aandachtssoorten onder de dagvlinders die belangrijk zijn in beekdalen. Informatie uit Bos et al. (2006).

Naam	Status en voorkomen in Nederland	Voorkomen in buurlanden	Biotoop	Ecologische notities
Bont dikkopje (<i>Carterocephalus palaemon</i>)	Vrij zeldzaam, heeft nog populaties in beekdalen in Noord-Brabant, midden-Limburg, de Achterhoek en Twente; Rode Lijst: kwetsbaar.	In België relatief zeldzaam en lokaal; ook aanwezig in midden en zuid-Duitsland.	Vochtige, grazige vegetaties in beboste delen.	Overwintert als volwassen rups; waardplanten pijpenstrootje en hennegras.
Aardbeivlinder (<i>Pyrgus malvae</i>)	Zeldzaam; populaties in duinen en droge heiden; lokaal in andere regio's; Rode Lijst: bedreigd.	In België zeldzaam en lokaal; in Duitsland algemener en talrijker.	Oorspronkelijk aan-wezig in natte schrale graslanden in beek-dalen. Tegenwoordig vooral in droge graslanden op de pleistocene zandgronden en de duinen.	Overwintert als pop; heeft diverse roosachtigen als waardplant; in Nederland vooral tormentil en dauwbraam.

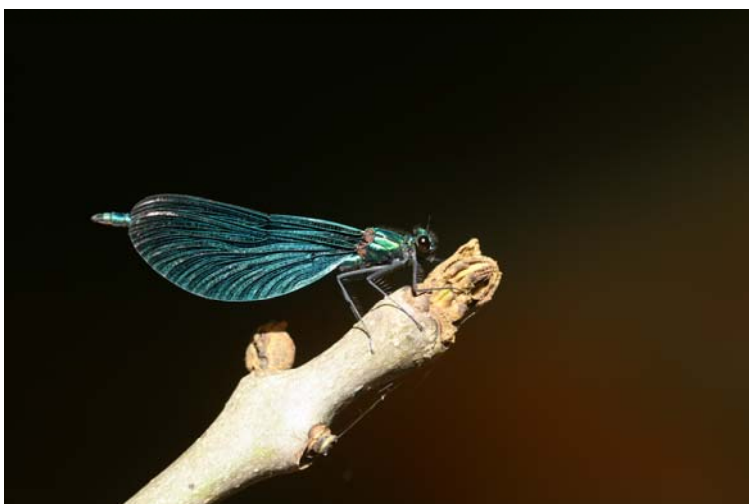
Naam	Status en voorkomen in Nederland	Voorkomen in buurlanden	Biotoop	Ecologische notities
Bruine vuurvliinder (<i>Lycaena tityrus</i>)	Schaars; in Groningen, Friesland, Drenthe, Overijssel en Gelderland lokaal talrijk; Rode Lijst: kwetsbaar.	In België zeldzaam en erg lokaal; in Duitsland ruim verspreid en talrijk.	Beschutte, kruidenrijke graslanden; vooral op overgangen van voedselrijkere naar voedselarmere situaties.	Overwintert als halfvolgroeide rups; heeft diverse soorten zuring als waardplant.
Rode vuurvliinder (<i>Lycaena hippothoe</i>)	Rode Lijst: verdwenen sinds 1946.	Dichtstbijzijnde locaties in Duitsland in de Eifel; in België in de Ardennen.	Schrle tot matig voedselrijke vochtige en natte graslanden.	Overwintert als halfvolgroeide rups in het derde stadium; heeft diverse soorten zuring als waardplant.
Pimpernelblauwtje (<i>Maculinea teleis</i>)	Uitgestorven sinds 1970; in 1990 geherintroduceerd met nu een populatie in Noord-Brabant; Rode Lijst: ernstig bedreigd; Habitatrictlijn: bijlage II en IV.	Niet meer in België; in Duitsland op slechts enkele locaties in het midden en zuiden.	Vochtige, meestal vrij voedselarme hooilanden.	Overwintert als halfvolgroeide rups in nesten van de waardmier; heeft grote pimpernel als waardplant; zie ook het tekstkader in hoofdstuk 5.
Donker pimpernelblauwtje (<i>Maculinea nausithous</i>)	Uitgestorven sinds 1970; in 1990 geherintroduceerd met nu een populatie in Noord-Brabant en een spontane hervestiging in Limburg; Rode Lijst: ernstig bedreigd; Habitatrictlijn: bijlage II en IV.	Niet in België; lokaal in midden en zuidelijk Duitsland.	In ruige vegetaties van vochtige, meestal matig voedselrijke hooilanden.	Overwintert als halfvolgroeide rups in nesten van de waardmier; heeft grote pimpernel als waardplant; zie ook het tekstkader in hoofdstuk 5.
Grote weerschijnvliinder (<i>Apatura iris</i>)	Zeldzaam; populaties in Noord-Brabant, Gelderland en Overijssel, soms daarbuiten; Rode Lijst: ernstig bedreigd.	In België lokaal verspreid en soms relatief talrijk; ook in Duitsland lokaal talrijk.	Oudere, vochtige loofbossen, wilgenbroekbossen en bosstructuren in beekdalen.	Overwintert als halfvolgroeide rups; gebruikt vooral boswilg als waardplant.
Kleine ijsvogelvliinder (<i>Limenitis camilla</i>)	Vrij zeldzaam; populaties in Noord-Brabant, Limburg, Gelderland en Overijssel, soms daarbuiten; Rode Lijst: bedreigd.	In Duitsland voorkomend over bijna het gehele land; ook in België lokaal aanwezig en soms relatief talrijk.	Gearieerd vochtig gemengd bos en loofbos.	Overwintert als halfvolgroeide rups; gebruikt wilde kamperfoelie als waardplant.
Moerasparelmoervliinder (<i>Euphydryas aurinia</i>)	Rode Lijst: verdwenen sinds 1982; Habitatrictlijn: bijlage II.	In Duitsland zeer versnipperd en lokaal; in België zeldzaam in de Ardennen.	Vochtige en schrale graslanden en blauwgraslanden.	Overwintert als halfvolgroeide rups in rupsennest; gebruikt blauwe knoop als waardplant in vochtige gebieden; duifkruid in droge kalkgraslanden.
Purperstreepparelmoervliinder (<i>Brenthis ino</i>)	Rode Lijst: verdwenen sinds 1962; soms tijdelijke populaties in Limburg.	Dichtstbijzijnde vindplaatsen in Duitsland rond Aken en in de Eifel; in België in de Ardennen.	Natte tot vochtige matig voedselrijke ruigtes en beekdalgraslanden.	Overwintert in het ei-stadium of als jonge rups; gebruikt moeraspirea als waardplant.
Zilveren maan (<i>Boloria selene</i>)	Zeldzaam, populaties vooral in de noordelijke helft van het land; Rode Lijst: bedreigd.	In Duitsland vooral in het oosten; in de Belgische Ardennen lokaal; ook op de zinkflora in het Belgisch deel van het Geuldal.	Natte tot vochtige, schrale graslanden en bloemrijke hooi- en rietlanden.	Overwintert als halfvolgroeide rups; gebruikt verschillende soorten viooltjes als waardplant.

5.5.2 Libellen

Alle geselecteerde soorten libellen zijn ecologisch te karakteriseren als carnivoren (tabel 4). Ze hebben relatief kortlevende adulte stadia (enkele weken of maanden) die

betrekkelijk mobiel zijn en langlevende larvale stadia (enkele maanden tot een aantal jaren) die relatief immobiel zijn. De larven zijn afhankelijk van de beek zelf. De imago's moeten in de beek geschikte voortplantingslocaties kunnen vinden, maar zijn tijdens de uithardingsfase en tijdens het voedsel zoeken niet per se aan de beek of beekbegeleidende structuren gebonden. In sommige gevallen kunnen ze kilometers van de beek weg zwerven. Zowel de larven als de imago's zijn predatoren. Ze worden zelf ook als voedselbron gebruikt door bijvoorbeeld vogels, hoewel libellen (vanwege de relatief lage dichtheden) maar een klein deel van het voedselpakket uitmaken.

De verschillende soorten libellen komen gezamenlijk over een breed spectrum in zowel de aquatisch-ecologische beektypen (bijlage 4) als de hydro-ecologische beekdaltypen (bijlage 3) voor. In natte infiltratiegebieden met lokale kwel zullen soorten als Bandheidelibel, Beekoeverlibel en mogelijk in de toekomst ook Mercurwaterjuffer zich vestigen, vooral als er sprake is van basenrijke kwel of kalkrijke bodems. Deze soorten bewonen ook weinig hellende beekdalen. Andere soorten die hier opduiken zijn bijvoorbeeld de Bosbeekjuffer op beschaduwde delen en de Beekrombout. Mogelijk dat in deze beken de Bronslibel zich in de toekomst zou kunnen vestigen. In vlakke beekdalen met sterke slibafzetting kan de Beekrombout zich eveneens thuis voelen. In sterk hellende beekdalen zijn in ideale gevallen populaties van de Gewone bronlibel, de Kleine tanglibel en soms de Gaffellibel aanwezig. Typische libellen van bovenloopjes zijn de Gewone bronlibel, de Mercurwaterjuffer en de Bosbeekjuffer. Middenlopen worden bewoond door de Beekrombout, de Kleine tanglibel, de Gaffellibel en de Bronslibel. Een typische soort van de benedenloop van beken is de Rivierrombout.



*Foto 15: De bosbeekjuffer (*Calopteryx virgo*) komt voor in beschaduwde boven- en middenlopen met een sterke stroming en een goede waterkwaliteit. De meeste soorten libellen zijn relatief mobiel en reageren snel op verbetering van de beekmorfologie of waterkwaliteit (foto Tim Termaat/ De Vlinderstichting)*



*Foto 16: De gewone bronlibel (*Cordulegaster boltonii*) is een bewoner van permanente bronnen en bovenloopjes. Veel variatie, een constante watertemperatuur en een hoog zuurstofgehalte zijn belangrijke voorwaarden voor de aanwezigheid van de gewone bronlibel (foto Kars Veling/ De Vlinderstichting).*



Foto 17: De Beekrombout (*Gomphus vulgatissimus*) heeft het zwaartepunt in zuurstofrijk, stromend water. De larven graven zich in de bodem en doen 2 tot 4 jaar over hun ontwikkeling (foto Wilco Verberk).

Acht van de elf geselecteerde soorten libellen hebben nog populaties in Nederland. Drie soorten zijn verdwenen, maar komen in de nabije buurlanden nog voor. De Mercurwaterjuffer en de Bronslibel zijn weliswaar ook zeldzaam in het nabije buitenland, maar voor beide soorten geldt dat nog populaties binnen circa 100 km van de Nederlandse grens voorkomen. De Kleine tanglibel is relatief algemeen in het nabije buitenland en vestiging in de nabije toekomst behoort tot de reële mogelijkheden. Voor de Bronslibel en de Kleine tanglibel zijn de dispersiemogelijkheden waarschijnlijk voldoende groot. Voor de Mercurwaterjuffer is de mobiliteit waarschijnlijk een stuk geringer. Van de resterende acht soorten is gebleken dat een aantal snel reageert op beekherstelprojecten en dat deze soorten dus een relatief grote mobiliteit hebben. De Bosbeekjuffer, de Beekoeverlibel, de Zuidelijke oeverlibel en de Bandheidlibel hebben allen voldoende dispersievermogen om te reageren op gunstige ontwikkelingen. Ditzelfde geldt waarschijnlijk voor alle genoemde *Gomphidae*. Ook voor de Gewone bronlibel is mobiliteit waarschijnlijk geen beperkende factor.

Tabel 4: Aandachtssoorten onder de libellen die belangrijk zijn in beekdalen. Informatie uit NVL (2002) en Bouwman et al. (2008).

Naam	Status en voorkomen in Nederland	Voorkomen in buurlanden	Beekdaltype/ beek type	Ecologische notities
Bosbeekjuffer (<i>Calopteryx virgo</i>)	Zeldzaam en lokaal; op sommige locaties iets talrijker, met name in Brabant, Limburg en de Achterhoek. Rode Lijst: bedreigd.	Algemeen, zowel in Duitsland als in België, met name in meer heuvelachtige streken.	Sterk hellende hoge en lage beekdalen met (lokale) kwel. Snel stromend, permanent, vaak beschaduwde, meestal vrij smal.	Mannetje houdt territorium op snelstromende delen van de beek; vrouwtje legt eieren in dood hout, oeverstruik of waterplanten. Larven veel in holle oevers en tussen losgespoelde wortelpallisades in steile oevers. Levenscyclus twee jaar.
Mercurwaterjuffer (<i>Coenagrion mercuriale</i>)	Niet meer in Nederland; mogelijk nog waargenomen in 1953 (Herkenbosch). Rode Lijst: verdwenen; Habitatrichtlijn: bijlage II.	Zeldzaam in België, met slechts enkele populaties in het zuidoosten; ook in het aangrenzende Duitsland niet algemeen.	Weinig hellende beekdalen met kwel; permanente langzaam tot snel stromende bronnen en bovenloopjes. Veelal zonbeschenen, basisch, en met veel emerse vegetatie.	Ei-afzet in de ondergedoken vegetatie of in de oevervegetatie. Tussen dichte begroeiing van bijvoorbeeld waterpeper of watermunt. Levenscyclus: een jaar.

Naam	Status en voorkomen in Nederland	Voorkomen in buurlanden	Beekdaltype/ beek type	Ecologische notities
Rivierrombout (<i>Gomphus flavipes</i>)	Sinds 1996 herontdekt in Nederland; Tegenwoordig in alle grote rivieren, maar ook in grote beken (de Roer). Rode Lijst: verdwenen; Habitatrichtlijn: bijlage IV.	Niet in België; in Duitsland (met name in het oostelijk deel) talrijk langs de meeste riviersystemen.	Weinig hellende, vlakke beekdalen met sterke slibafzetting; benedenlopen of kleine riviertjes.	Nog veel onbekend. Ei-afzet op het midden van de rivier; eitjes worden in vlucht afgestroken aan het water. Waarschijnlijk in zandige en slibbige stilstaande delen van de rivier. Levenscyclus in twee tot vier jaren.
Beekrombout (<i>Gomphus vulgatissimus</i>)	Vrij zeldzaam; Op diverse beeksystemen in oostelijk en zuidelijk Nederland. Rode Lijst: bedreigd.	In België zeldzaam; in de Kempen en in het zuidoostelijke deel een aantal populaties. In grote delen van Duitsland relatief algemeen.	Weinig hellende beekdalen met kwel. Ook in Weinig hellende, vlakke beekdalen met sterke slibafzetting. Behoeft water van een relatief goede kwaliteit met weinig fosfaten en nitraten en veel zuurstof.	Nog veel onbekend. Eieren worden in vlucht afgestroken op het wateroppervlak. Levenscyclus in twee tot vier jaren.
Kleine tanglibel (<i>Onychogomphus forcipatus</i>)	Onduidelijk, waarschijnlijk geen vaste populaties; enkele malen voortplanting vastgesteld in de Roer.	In België zeldzaam; in het zuidoostelijke deel een aantal populaties. In grote delen van Duitsland talrijker.	Sterk hellende beekdalen met (lokale) kwel. Stenige substraten zijn belangrijk.	Vrijwel niets bekend. Levenscyclus in drie of meerdere jaren.
Gaffellibel (<i>Ophiogomphus cecilia</i>)	Zeldzaam; een zekere populatie in de Roer; waarschijnlijk ook een populatie in de Swalm. Rode Lijst: ernstig bedreigd; Habitatrichtlijn: bijlage II en IV.	Niet aanwezig in België, wel op een aantal beeksystemen in Duitsland.	Weinig hellende, vlakke beekdalen met sterke slibafzetting; ook sterk hellende beekdalen met lokale kwel. Hoge dynamiek is belangrijk.	Ei-afzet op het midden van de rivier; eitjes worden in vlucht afgestroken aan het water. Verder weinig bekend. Levenscyclus in twee tot vier jaren.
Gewone bronlibel (<i>Cordulegaster boltonii</i>)	Zeer zeldzaam, slechts enkele populaties in Limburg en Brabant. Rode Lijst: bedreigd.	Een vrij algemene soort in België met meerdere populaties in de Kempen en ook verder zuidelijk. Ook in aangrenzend Duitsland algemeen.	Sterk hellende hoge en lage beekdalen met (lokale) kwel. Permanent, relatief constante (koude) watertemperatuur en hoog zuurstofgehalte.	Ei-afzet in ondiepe delen met relatief veel detritus. Levenscyclus soms in twee, maar meestal in drie tot vijf jaar; soms nog langer.
Bronslibel (<i>Oxygastra curtisii</i>)	Niet meer in Nederland; laatste waarneming in 1982 bij Eindhoven. Habitatrichtlijn: bijlage II en IV.	Zeer zeldzaam in België, bekend van de middenloop van de Ourthe. Dichtstbijzijnde populatie in Duitsland in grensrivier met Luxemburg; verder zeer zeldzaam of afwezig.	Weinig hellende, vlakke beekdalen met sterke slibafzetting. Beschaduwde delen zijn essentieel.	Ei-afzet in de oeverzone met dichte boomwortels op plekken met relatief langzame stroomsnelheid. Levenscyclus twee of drie jaar.
Zuidelijke oeverlibel (<i>Orthetrum brunneum</i>)	Zeldzaam, maar vooruitgaand; vooral in oostelijk en zuidelijk Nederland relatief veel nieuwe vestigingen en (tijdelijke) populaties. Rode Lijst: gevoelig.	In België en Duitsland nog vrij zeldzaam, en verspreid voorkomend. Naar het zuiden algemener.	Natte infiltratie-gebieden met lokale kwel. Ook afvoerloze laagtes of weinig hellende beekdalen met kwel; water is onbeschaduwd, veel in pioniermilieus.	Ei-afzet in ondiep water, vaak minder dan een centimeter. Larven leven in zachte bodemsubstraten op zonnige ondiepe plekkjes. Levenscyclus twee jaar.

Naam	Status en voorkomen in Nederland	Voorkomen in buurlanden	Beekdaltype/ beek type	Ecologische notities
Beekoeverlibel (<i>Orthetrum coerulescens</i>)	Vrij zeldzaam; Op diverse beeksystemen in oostelijk en zuidelijk Nederland. Rode Lijst: kwetsbaar.	In België zeldzaam en verspreid voorkomend. Relatief veel populaties in de Belgische Kempen. In Duitsland algemener.	Natte infiltratiegebieden met lokale kwel. Ook afvoerloze laagtes of weinig hellende beekdalen met kwel; water is onbeschaduwd, veel in heidegebieden; vaak samen voorkomend met zuidelijke oeverlibel.	Ei-afzet in ondiep water, vaak minder dan een centimeter. Larven leven in zachte bodem-substraten op zonnige ondiepe plekjes. Levenscyclus twee jaar.
Bandheidelibel (<i>Sympetrum pedemontanum</i>)	Vrij zeldzaam; Op diverse beeksystemen in oostelijk en zuidelijk Nederland. Zwervers mogelijk door het hele land.	In België zeldzaam en verspreid voorkomend. Relatief veel populaties in de Belgische Kempen. In Duitsland, met name naar het oosten toe, algemener.	Weinig hellende beekdalen met kwel; ook natte infiltratiegebieden met lokale kwel en afvoerloze laagtes. Een goed ontwikkelde oevervegetatie is van belang.	Ei-afzet in ondiep water of vochtige vegetatie. Larven leven in zachte bodemsubstraten op zonnige ondiepe plekjes met veel begroeiing. Levenscyclus een jaar.

5.5.3 Belangrijke factoren voor dagvlinders en libellen

Beekmorfologie, afvoerdynamiek en waterkwaliteit

Kanalisisatie en normalisatie van beken heeft geleid tot een monotone morfologie van het stroombed en het verwijderen van struwelen en bossen op oevers van beken. Voor libellen van beschaduwde beekdelen zijn gekanaliseerde en genormaliseerde beken niet meer geschikt. De Bosbeekjuffer, en in de bovenloopjes ook de Gewone bronlibel, kunnen beken dan niet meer gebruiken voor voortplanting. Een belangrijk neveneffect is dat de inspoeling van gemakkelijk afbreekbaar organisch materiaal is toegenomen, waardoor het beekwater met voedingsstoffen verrijkt wordt en de zuurstofconcentratie afneemt. Voor beide genoemde soorten is dit een ernstige bedreiging. In gekanaliseerde beken die eerst meanderend waren is de morfologie van het stroombed monotoon geworden. Larven van veel beekbewonende fauna zijn juist afhankelijk van variatie in substraat en stroomsnelheid. In genormaliseerde beken treden bovendien grote schommelingen van het waterpeil op, die vermoedelijk ook een negatieve invloed op de aanwezige fauna hebben. Intensief schoningsbeheer werkt verarmend op de morfologie en leidt ook tot het ontbreken van een hoge kruidenrijke oevervegetatie die rust- foerageer- en schuilmogelijkheden voor de imago's en andere beekgebonden fauna biedt.

Verdroging

Bronnen en bovenloopjes van beken zijn gevoelig voor verdroging. Een droogval van enkele dagen of weken kan al leiden tot het verdwijnen van populaties van libellen omdat de larven, en dan vooral jongere stadia gevoelig zijn voor droogval. De Mercurwaterjuffer is mede hierdoor uit Nederland verdwenen. Droogval is ook voor de Gewone bronlibel en de Bosbeekjuffer een belangrijke oorzaak van achteruitgang. Verdroging kan worden bestreden door gebiedsvreemd water in te laten. Vaak is dit van een slechte kwaliteit. De precieze gevolgen voor beeklibellen zijn niet goed bekend. Voor vlindersoorten die afhankelijk zijn grondwaterafhankelijke waardplantsoorten kan verdroging ook negatief uitwerken.

Belasting met nutriënten en organisch materiaal

Een hoge belasting van het beekwater met nutriënten en organisch materiaal veroorzaakt ook zuurstofloosheid, algenbloei, een dikke detrituslaag en vertroebeling van het water. Het gevolg is een minder divers habitat met een soortenarme libellenfauna. Er zijn aanwijzingen dat juist de rheofiele libellensoorten hier door bedreigd worden. Een Australisch onderzoek vergeleek de libellenfauna van een rivier voor en na de inlaat van een rioolwaterzuivering. De diversiteit bleek

benedenstrooms sterk verlaagd, waarbij vooral specifiek stroomminnende soorten waren verdwenen. Een toename van de nutriëntenrijkdom van beekwater leidt tot een afname van het doorzicht. Als zichtjagers zijn vooral de latere stadia van libellenlarven afhankelijk van betrekkelijk helder water. Een hoog zuurstofgehalte is van belang voor de larven van Gewone bronlibel, Mercurwaterjuffer en Bosbeekjuffer. Dit hangt mede af van een lage watertemperatuur en dus van een zekere beschaduwing of een korte afstand van het beektraject van het bron- of kwelgebied. Voor larven van de Zuidelijke oeverlibel en de Beekoeverlibel is daarentegen een hogere watertemperatuur van ondiepe, zonbeschenen wateren van belang.

Vegetatie en waardplanten

Voor vlinders is het patroon in de vegetatie, het voorkomen van waardplanten voor rupsen en nectarplanten voor volwassen dieren van belang. Voor de rupsen van de geselecteerde dagvlinders zijn bijvoorbeeld niet altijd zeldzame waardplanten van belang, maar is veeleer de structuur en beheer van de vegetatie belangrijk. Denk hierbij bijvoorbeeld aan het Klaverblauwtje (op rode klaver) en de Rode vuurvlinder (op veldzuring) die in extensief beheerde graslanden hoge dichtheden kunnen bereiken. Voor deze soorten is vooral de (veelal open) structuur van de vegetatie van belang. De rupsen van het Klaverblauwtje worden ook door verschillende soorten schubmieren (*Lasius*) bezocht. Alleen de rupsen van de Moerasparelmoervlinder en de Zilveren maan hebben waardplanten die in de huidige beekdalen minder algemeen zijn. De rupsen van de Moerasparelmoervlinder ontwikkelen zich in beekdalen op Blauwe knoop en op kalkgrasland op Duifkruid. De Zilveren maan is afhankelijk van viooltjes, in beekdalen vooral Hondsviooltje en Moerasviooltje. Vooral in de periode van de ei-afzet gebruiken dagvlinders veel nectar. De aanwezigheid van nectarbronnen in de buurt van waardplanten en daarmee patronen in de vegetatie is dus van belang. Voor soorten die in meerdere generaties vliegen is het belangrijk dat het nectaraanbod is gespreid over het hele groeiseizoen. Eutrofiëring kan een negatieve invloed op de aanwezigheid van nectar in een gebied hebben. Voor veel libellen zijn in beken waterplanten en oevervegetatie van belang voor de eiafzet, als omgeving voor de larven en als substraat voor het uitsluipen van imago's. Eitjes van de Mercurwaterjuffer worden op zonbeschenen waterplanten en oevervegetatie afgezet en de larven leven tussen de dichte oevervegetatie van bijvoorbeeld Kleine waterrepe of Watermunt.

Toxische stoffen

De directe effecten van toxische stoffen op libellen is slechts in een enkel geval onderzocht. Belangrijk is om rekening te houden met soortspecificiteit en met leeftijd van de larvale stadia. Bijna al het toxicologisch onderzoek is gedaan in het laboratorium. Dat maakt het moeilijk om de invloed van toxische stoffen in het gehele ecosysteem te duiden. Vergeleken met andere waterinsecten zijn libellen relatief tolerant ten aanzien van vervuiling met toxische stoffen. Over het algemeen hebben herbiciden minder invloed dan insecticiden. Een ander algemeen mechanisme is dat libellen vooral indirect worden beïnvloed, door afname van prooidieren. In stromend watersystemen kan de invloed van toxische stoffen door puntlozingen tijdelijk heel groot zijn. De meeste kennis is beschikbaar voor zware metalen en insecticiden.

Of toxische stoffen daadwerkelijk effect hebben op beekbewonende libellen hangt af van vele factoren. Een hoge concentratie en een langdurige blootstelling zullen tot grote sterfte of zelfs tot uitroeien van populaties kunnen leiden. Heel hoge kortstondige piekbelasting kan eveneens leiden tot vernietiging van ecosystemen. Bij lagere belasting zijn de effecten vaak minder opvallend, maar bij chronische blootstelling kunnen ze eveneens ernstig zijn en het overleven van een populatie bedreigen. Een voorbeeld hiervan zijn de larven van de glazenmaker *Aeshna umbrosa* die bij blootstelling aan giftige chloorverbindingen een verhoogde zuurstofbehoefte hebben. Bij aanhoudende blootstelling zal dit belemmerend werken. Naast de concentratie van de toxische stof en de duur van de belasting is ook de ecologie van een soort bepalend voor effecten. Zo ontloopt in rijstvelden in Japan de beekjuffer

Calopteryx atrata door zijn fenologie grotendeels de gevolgen van gebruikte insecticiden.

Versnippering

Libellen van stromend water hebben minder last van versnippering dan soorten van stilstaand water. In stromende wateren is vaak sprake van het bestaan van een langgerekte metapopulatie met subpopulaties op geschikte delen langs het traject. Hierdoor is de kans op (lokaal) uitsterven gering. Ook kunnen de larven van deze soorten door drift andere deelpopulatie bereiken, waardoor genetische diversiteit behouden blijft. Van de geselecteerde soorten libellen is alleen de Mercurwaterjuffer weinig mobiel, waardoor versnippering een probleem zou kunnen zijn. Bij vlinders is versnippering wel vaak een probleem. Veel populaties zijn klein geworden en de uitwisseling tussen deelpopulaties wordt steeds moeilijker doordat populaties tientallen kilometers van elkaar zijn verwijderd. De meeste vlinders zijn slechte vliegers en ook de rupsen zijn vrijwel immobiel.

Visuitpoot

Vissen hebben een grote invloed op de libellenstand. De grote doorns en de geringe activiteit van de larven worden als aanpassing gezien om de predatie door vissen te beperken. Zwitsers onderzoek laat zien dat bij visloze wateren tot twaalf maal hogere aantallen larvenhuidjes werden verzameld in vergelijking met vergelijkbare wateren met vis (Wildermuth, 1991). In een natuurlijk ecosysteem zijn libellenlarven voldoende aangepast en zijn er voldoende schuilmogelijkheden om naast de vissenfauna ook een gezonde libellenfauna te hebben. Onnatuurlijke beïnvloeding van de visstand kan echter negatieve gevolgen hebben voor de libellenfauna. Wel is geopperd dat de achteruitgang van de Bosbeekjuffer (*Calopteryx virgo*) in de Geul te maken heeft met het uitzetten van forel (*Salmo trutta*). Ook indirect zijn er negatieve effecten mogelijk. Bij visuitpoot van plantenetende vissen zoals bijvoorbeeld graskarpers, kan de vegetatiestructuur worden aangetast of zelfs geheel verdwijnen. Ook kan door de begrazing gemakkelijk vertroebeling van het water plaatsvinden (Kalkman et al., 2002).

5.5.4 Beekvissen

Beekvissen zijn belangrijke graadmeters voor het beekdallandschap. De terrestrische vegetatie voert blad en takken naar de beek. De wortels van de semi-aquatische vegetatie bieden in de beek schuilplaatsen en structuur. Beide componenten zijn essentieel voor het functioneren van de beek zelf. Het ingevallen blad is de energiebron waarvan veel macrofauna leeft. Beekvissen benutten de macrofauna als voedsel en gebruiken de houtige structuren als schuilplaats. Typische beekvissen zoals de kwabaal zijn ten aanzien van deze componenten zeer kritisch (zie tekstkader Kwabaal). Indien de typische beekvissen in een beek duurzame populaties vormen dan is niet alleen de beek op orde maar is het beekdallandschap in goede staat. Zonder dit landschap zouden deze kritische beekvissen niet kunnen overleven. Daarbij staan vissen ook bovenaan in de voedselketen in beken en vormen ze daarmee bij uitstek een indicator voor de kwaliteit van het beekmilieu en beeklandschap. Bij de opgaven voor Natura 2000-gebieden behorende tot het beekdallandschap zijn instandhoudingsdoelen geformuleerd voor verschillende beekvissen, te weten Kleine en Grote modderkruiper, Rivierdonderpad, Rivierprik en Bittervoorn. De Rode Lijst bevat eveneens veel beekvissen, waaronder de bedreigde soorten Beekprik, Barbeel, Sneep, Elrits en Kwabaal.

Kwabaal: ambassadeur van het beekdallandschap

De kwabaal (*Lota lota*) is uitgeroepen als ambassadeur van het deskundigenteam Beekdallandschap. De Kwabaal is een koudwaterminnende, benthische, omnivore soort van meren en rivieren in Europa. In Nederland wordt de soort nog maar sporadisch waargenomen in de grote rivieren. Kwabalen komen vooral voor in bovenlopen van riviersystemen, vooral wanneer wortelrijke, holle oevers aanwezig zijn. Voor de kwabaal biedt de begeleidende houtige oevervegetatie de benodigde beschaduwning van de beek en daarmee de noodzakelijke koelte. Overdag rust de kwabaal in de oever tussen de wortels van bomen. In België is een uitgebreide studie verricht naar de populatiedynamica, habitatecologie, waterkwaliteitsvereisten, voedsel, trofische relaties en temperatuurecologie van de kwabaal. Daarnaast is een habitatgeschiktheid model opgesteld welke gebruikt is voor het selecteren van kansrijke locaties voor de herintroductie van de kwabaal in 2005 en 2006. Tot dusver lijkt de herintroductie in Vlaanderen te zijn geslaagd. Er zijn grote overeenkomsten tussen de Vlaamse en Nederlandse laaglandbeken.

Beekvissen houden hun populaties in stand op basis van enkele belangrijke biologische factoren: voortplanting, voeding, groei en zelfbescherming. Elk van deze biologische aspecten is gekoppeld aan bepaalde milieu-omstandigheden. Deze relatie samengevat in tabel 5.

Tabel 5: De relatie tussen biologische factoren en habitatkenmerken voor vissen in beekdalen (naar Milner 1994).

biologische factor	habitat kenmerk
1. Voortplanting - migratie naar paaiplaats - ei-afzetting - incubatie	- voldoende diepte en geschikte troomsnelheid - afwezigheid barrières - geschikt substraat - stabiliteit substraat, geschikte temperatuur, voldoende zuurstof en waterbeweging
2. Voeding en groei - beschikbaarheid voedsel - optimaal energiegebruik voor bewegen en voedsel zoeken	- oever- en aquatische vegetatie, - substraat geschikt voor macro-evertebraten productie, aanvoer allochtoon organisch materiaal - schuilplaatsen en beschutting (schaduw) zoals obstakels, boomwortels, diversiteit in stromingspatronen, substraattypen en oever en waterbegroeiing, geschikte temperatuurrange
3. Zelfbescherming - tegen fysieke verplaatsing - tegen predatie - tegen inter- en intraspecifieke concurrentie	- beschutting en visuele isolatie d.m.v. gevarieerd substraat, onderspoelde oevers, - boomwortels, takken, omgevallen bomen, bladdammen, watervegetatie, luwte zones, aangesloten oude armen

Bij al deze biologische aspecten speelt migratie een rol. Onder migratie van vissen wordt verstaan de beweging van vissen van de voedselgebieden naar de paaigebieden en terug, van de paaigebieden naar de opgroeigebieden, van de opgroeigebieden naar de fourageer- of overwinteringsgebieden (Buskens & Nijhof 1990). Met andere woorden: migratie is de beweging van vis tussen functiegebieden. Volgens deze definitie heeft migratie betrekking op de regelmatige, seizoensgebonden (temporeel), verplaatsing tussen twee of meer ruimtelijk gescheiden habitats van individuele vissen, delen van een populatie dan wel leeftijdsklassen (Raaijmakers 1994). Deze verplaatsingen van de vis zijn functioneel voor de overleving van de soort (Raaijmakers 1994). Deze verplaatsingen hangen overigens ook samen met compensatietrek (Steinmann et al. 1937) bijvoorbeeld als de vis passief door de stroom stroomafwaarts is verplaatst, of met stroomopwaartse verplaatsing bij toenemende watertemperatuur, het zoeken naar paaiplaatsen en dergelijke.

5.5.5 Beekmacrofauna

Aquatische macrofauna is afhankelijk van een groot aantal factoren en hun samenspel. Op ecosysteemniveau zijn vooral temperatuurhuishouding en permanentie van water van groot belang. Slechts een kleine groep macrofauna is aangepast aan droogval, voor de meeste is ontbreken van oppervlaktewater funest. Koudwatersoorten zijn erg gevoelig voor temperatuurverhoging door bijvoorbeeld houtkap of klimaatverandering (zie paragraaf 4.9.3).

Beekmacrofauna is aangepast aan of prefereert stromend oppervlaktewater: de belangrijkste sleutelfactor in het beekmilieu. Veel beek macrofauna heeft daarom de volgende aanpassingen en milieueisen:

- Een goede zuurstofvoorziening. Een aantal stroomminnende soorten - zoals sommige steenvliegen en eendagsvliegen - is oxybiont, dat wil zeggen dat ze uitsluitend in wateren met een hoog en constant zuurstofgehalte leven. Diersoorten van stromend water hebben vaak een hoog zuurstofverbruik omdat ze veel energie verbruiken om de stroming te weerstaan. Ze zijn daarom gevoelig voor verlaging van het zuurstofgehalte door lozingen of afspoeling van organische meststoffen;
- Voedselvoorziening: sommige soorten zijn aangewezen op materiaal dat met de waterstroom wordt aangevoerd;
- Stress door waterstroming: om zich te handhaven op een bepaalde plaats moet een organisme continu energie investeren en bewoont mede daarom zelden de stroomdraad zelf. Veel stromingsminnende dieren hebben gedragsaanpassingen het zoeken van beschutting (onder structuren, in de bodem), morfologische en/of fysiologische aanpassingen (haken, kleefstoffen, een gestroomlijnde of afgeplatte vorm, gebruik van verzwarende materialen);
- Gebruiken van verschillende habitats: gebruik van luwten als schuilplaatsen (Brown 1974), als paaiplaats, voor eiafzet en als milieu voor de ontwikkeling van jonge dieren. Juist het mozaïek aan micromilieus biedt veel organismen levenskansen.

De eisen van macrofauna aan waterstroming is nauwelijks kwantitatief beschreven.

Beekmacrofauna is ook sterk geassocieerd met de structuren in de beek, beekbodem en beekoevers. De korrelgroottesamenstelling van het minerale substraat heeft grote invloed op de verspreiding van beekorganismen. Veel diersoorten zijn specifiek gebonden aan minerale substraten (habitat). Daarbinnen zijn soorten weer gekoppeld aan grovere en fijnere, zandige en grindige substraten (zie bijvoorbeeld Tolkamp 1981). Veel beekdieren leven in de bovenste centimeters van het substraat omdat ze hier minder stromingsstress ondervinden terwijl de zuurstofvoorziening nog goed is. Kleiïge en lemige substraten worden door minder dieren bewoond, de substraatstructuur maakt het ingraven en bewegen moeilijker en dit type substraat is vaak zuurstofarm of -loos waardoor in zulke substraten alleen diersoorten met speciale aanpassingen voorkomen. Bij lozingen van RWZI's of riooloverstorten wordt de fijne slibfractie dominant over de andere substraten waardoor de omstandigheden voor de veel beekmacrofauna ongunstig worden beïnvloed.

Organische substraten beïnvloeden de macrofaunagemeenschap omdat ze fungeren als voedsel- en voedingsstoffen, schuil- en aanhechtingsplaatsen voor organismen en van invloed zijn op de zuurstofhuishouding (zie ook paragraaf 4.3.3). De vorming van microhabitats door ingevallen blad, takjes, takken en boomstammen is cruciaal. Takken en stammen bieden afhankelijk van, de ruwheid, de plaats in de stroom, de grootte van het oppervlak en het afbraakstadium, een schuilplaats aan allerlei macrofaunaorganismen. Op het aan zonlicht blootgestelde oppervlak groeien algen die voedsel voor allerlei grazers en schrapers vormen. In de stroming fungeert het hout als hard substraat waarop veel organismen zoals platwormen, bloedzuigers, kokerjuffers en kriebelmuggen een aanhechtingsplaats vinden. In bronnen en bovenlopen is de soortensamenstelling van de macrofauna op dood organisch materiaal vele malen hoger ten opzichte van die op de schaars aanwezige hogere planten (Wright et al. 1984, Ormerod 1988). De hoeveelheid dood organisch materiaal wordt uitgedrukt in de saprobiegraad en gemeten als chemisch - of biologisch

zuurstofverbruik (CZV of BZV). Tevens is de partikelgrootte (grof en fijn) en het systeemcompartiment (bezunken, gesuspenseerd en opgelost) van belang. Het gebruik van de verschillende deeltjes dood organisch materiaal hangt samen met de voedingswijze van de verschillende macrofaunagroepen. Onder de macrofauna vinden we functioneel gezien in bronnen en bovenlopen veel knippers die blad en takjes fragmenteren en opeten, en in benedenstroomse trajecten verzamelaars en filtreerders die de fijne fracties opnemen. Dieren zijn zowel rijk aan calorieën als aan eiwitten en vormen zelf een zeer geschikte voedselbron voor weer andere macrofauna (predatoren zoals libellen en sommige kokerjuffers en kevers). In bronnen en bovenlopen is rol van mossen als habitat voor macrofauna groot. In midden- en benedenlopen hebbende hogere planten vaak een grote rol als habitatvormer (Dawson 1988, Wright et al. 1992). Oevervegetatie en dan vooral overhangende wortels en takken zijn eveneens belangrijke structuurvormer (Jenkins et al. 1984).

Het epilython bestaat uit een combinatie van aangehechte algen en detritus, inclusief de geassocieerde microflora en microfauna aan minerale substraten. Schrapers voeden zich door algen van harde substraten te schrapen. Ondanks het feit dat vaak detritus als component overheerst, zijn de algen vooral de diatomeeën het belangrijkste voedsel voor de schrapers wegens de lage C/N-ratio. Levend plantaardig materiaal van hogere waterplanten en mossen wordt door aquatische macrofauna zelden als voedsel gebruikt (Tokeshi & Pinder 1985). Uitzonderingen zijn de kokerjuffers van de familie *Limnephilidae* (bijvoorbeeld *Limnephilus lunatus*) en de kokerjuffersoort *Triaenodes bicolor*. Het niet consumeren van levend plantaardig materiaal wordt toegeschreven aan de hoge C/N-ratio, het hoge gehalte aan cellulose en lignine in waterplanten en verminderde verteerbaarheid van de eiwitten. Wel fungeren de hogere waterplanten als schuilplaats en indirecte voedselbron in de vorm van epifytische algen, ingevangen slib en afstervend plantaardig materiaal. Het laatste is van groot belang in grotere beken/riviertjes en autotrofe systemen.

De relaties van de macrofauna met de chemische waterkwaliteit zijn minder duidelijk. Toleranties van macrofaunasoorten voor de zuurgraad lopen zeer uiteen. De meeste in Nederlandse beken voorkomende soorten prefereren een pH-range van 5 tot 7. De pH-range van 4 tot 5 is minder suboptimaal of lethaal voor soorten. De lethaliteit is niet alleen een direct gevolg van de overmaat aan H^+ -ionen, maar is ook een effect van giftige metalen zoals aluminium. Een lage pH beïnvloedt de volgende fysiologische functies van waterorganismen: (1) de natrium-regulatie, (2) de calcium-regulatie, (3) de respiratie en (4) de zuur/basen-balans (Havas 1981). Macrofaunagroepen, zoals slakken en kreeftachtigen, zijn gebonden aan relatief hoge pH's en hardheid voor de opbouw van hun huisje respectievelijk exoskelet. De nutriëntenrijkdom (stikstof en fosfaat) is in stromende aquatische systemen vooral van indirect van belang door de invloed op de groei van plantaardige organismen (algen en hogere planten). Daarnaast kunnen toxische stoffen zoals ammoniak en nitriet gevormd worden. Deze relaties zijn nauwelijks gekwantificeerd.

De natuurlijke beekmacrofaunagemeenschap wordt op allerlei manieren door de mens verstoord. Hiertoe behoren onder andere het verwijderen van beekbegeleidende vegetatie en beekbodem (schooningsbeheer), het uitzetten van vissen en andere dieren, het vangen van vis en het introduceren van invasieve soorten.

5.6 Invasieve soorten

De laatste decennia is de aandacht voor exoten (uitheemse soorten) in aquatische ecosystemen sterk toegenomen. De groeiende bezorgdheid over de gevolgen van invasies van aquatische exoten hangt samen met de economische schade die ze kunnen veroorzaken, de bedreiging die ze vormen voor de inheemse biodiversiteit en het inzicht dat het gestaag toenemende verkeer tussen continenten ook in de toekomst zal blijven zorgen voor aanvoer van exoten. Volgens recente schattingen

bereikt iedere drie weken één nieuwe soort de Europese wateren. Exoten nemen een plaats in het ecosysteem in. Hierbij kunnen ze inheemse soorten verdringen waardoor deze afnemen of verdwijnen. Ook kunnen ze het functioneren van het ecosysteem drastisch wijzigen met dezelfde gevolgen. De problematiek rond exoten speelt in alle oppervlaktewateren, dus ook in beken. Het Verdrag van Rio de Janeiro draagt de EU-lidstaten op problematische exoten te bestrijden. In de Kaderrichtlijn Water en het Nederlandse en Europese natuurbeleid wordt echter betrekkelijk weinig aandacht besteed aan exoten. De Grote waternavel (*Hydrocotyle ranunculoides*) is een uitzonderlijk voorbeeld van een exoot waarvoor in Nederland een verbod op bezit, handel of vervoer is ingesteld.

Belangrijke vectoren voor exoten zijn ballastwater van schepen en aangroei op scheepswanden. Kanalen tussen stroomgebieden spelen een belangrijke rol bij de aanvoer van exoten via waterwegen. Daarnaast zijn ontsnapping uit aquacultuur, aquaria of tuinen en het uitzetten van uitheemse soorten kwantitatief belangrijke bronnen. Beeksystemen kunnen ook gebruikt worden door exoten om hun verspreidingsgebied uit te breiden. Een voorbeeld hiervan is de Amerikaanse zonnebaars (*Lepomis gibbosus*) waarvan niet bekend is of deze soort zich in beken voortplant maar wel succesvol voortplant in stilstaande wateren, zoals vennen, vijvers en poelen. Sinds omstreeks 1990 neemt de soort exponentieel toe in Nederland. Zo blijkt de soort vooral talrijk te zijn in wateren, die gegraven zijn of waar in het kader van natuurbeheer, -herstel of -ontwikkeling maatregelen zijn genomen. In deze wateren worden populaties van inheemse watermacrofauna gedecimeerd (Van Kleef *et al.* 2008).

6 Typologie voor beekdalen en natuur-referenties

6.1 Aanleiding

Bij de opdrachtverlening van de preadviezen beekdalen (DT Beekdallandschap) en beekdalen heuvelland (DT Heuvellandschap) is afgesproken dat een typologie voor beekdalen wordt opgesteld die de beekdalen in zowel het laagland als het heuvelland bestrijkt. Het doel van de typologie is kennis en kennisvragen over natuurherstel en ontwikkeling van beekdalen te kunnen relateren aan de grote variatie in beekdalen. Een typologie geeft dan op een vrij grof niveau inzicht in die variatie.

Beken en beekdalen bevatten talrijke planten- en diergemeenschappen met ieder eigen standplaats- respectievelijk habitateisen. Een standplaats of habitat is het resultaat van hydrologische, geomorfologische en chemische processen en van trofische interacties en is van plek tot plek in het beekdallandschap anders. Deze processen zijn het meest sturend voor de biologische elementen in het landschap en vormen daarmee een geschikte basis voor een typologie van beekdallandschappen.

Verscheidene studies hebben aangetoond dat patronen in de aanvoer van water en de geochemische eigenschappen van de ondergrond en bodem leiden tot een aantal steeds terugkerende gradiënten in plantengroei en standplaatsfactoren (onder andere Grootjans 1985, Everts en De Vries 1991, Aggenbach et al. 1995, Jalink et al. 2001, 2003, Kiwa 2000). Deze studies beschouwen veelal het terrestrische deel van het landschap. Verschillende aquatisch-ecologische studies hebben laten zien dat de beekfauna zich op basis van hydromorfologie en hydrochemie op onderlinge vergelijkbare wijze laat typeren (onder andere Redeke 1948, Gardeniers et al. 1996, Verdonschot & Nijboer 2002, Crombachs et al. 2000).

Jalink et al. (2003) definieerden hydro-ecologische systeemtypen voor natte schraallanden. Een systeemtype is een geomorfologisch begrensbaar deel van het landschap (bijvoorbeeld bovenloop, middenloop, beekdalflank, lokale laagte) met een specifieke positie in het regionale hydrologische systeem. Elk systeemtype heeft een karakteristieke combinatie van voedende watersystemen (inzijging, kwel uit lokale of regionale systemen, overstroming) en een karakteristieke gradiënt van standplaatscondities en vegetatietypen. Binnen een systeemtype worden varianten onderscheiden die verschillen in de lokale milieucondities door variatie in de bodem (zand, leem, veen, klei, kalkrijkdom, ijzerrijkdom), de grondwatersamenstelling (basen-, ijzer- en nutriëntenrijkdom), de flux van de verschillende waterstromen (mate van kwel) en de samenstelling van overstromend beekwater (basen- en nutriëntenrijkdom, slibrijkdom). Een variant beschrijft de gradiënt in plantengemeenschappen (gebaseerd op standplaatscondities en bodemtypen) bij een specifieke situatie wat betreft:

- Bodemmateriaal;
- kwaliteit van de voedende watersystemen;
- sterkte van kwelfluxen;
- overstromingsinvloed.

Met de hydro-ecologische systeemtypen worden in het beekdal gradiënten dwars op het beekdal (transversaal) beschreven.

Verdonschot (2000) definieerde de aquatisch-ecologische referentietoestanden van beken in Nederland op basis van de hydrologische (als afgeleide van klimaat en geologie) en hydrochemische factoren gerangschikt in een longitudinale richting van bron naar monding in het beekdallandschap. Natuurlijke beken worden als open, gradiëntrijke systemen beschouwd. De hoofdfactoren verantwoordelijk voor de verschillen tussen beeksystemen zijn temperatuur, hydromorfologie (droogval, stroomsnelheid, grondwater- en oppervlaktewaterstroming, lengte- en dwarsprofielontwikkeling) en hydrochemie (zuurgraad, zuurstof en organisch materiaal, voedingsstoffen, ijzer en sulfaat). De uiteindelijke indelingskenmerken zijn:

- stroomsnelheid die in sterke mate door het verval wordt bepaald;
- permanent watervoerend/ droogvallend (hydrologische voeding);
- dimensies van het dwarsprofiel en morfologie van het stroombed;
- zuurgraad.

Bij aquatisch-ecologische beektypen worden beektypen onderscheiden in de lengterichting van het beekdal (longitudinaal).

Opvallend is dat grofweg bij de hydro-ecologie het accent meer ligt op de transversale (dwarsrichting in het beekdallandschap) variatie in het beekdal, terwijl aquatisch-ecologisch de nadruk op de variatie in longitudinale richting (lengterichting in het beekdallandschap). Dit verschil in benadering is mede een gevolg van menselijk handelen die de afvoer van het oppervlaktewater in het beekdal steeds verder terug heeft gedrongen in een smalle loop.

6.2 Doel

Het doel van een typologie voor beekdallandschappen is het bieden van een referentiekader waarmee bij herstelmaatregelen in het beekdallandschap beter over het nut, de noodzaak, de haalbaarheid en de wenselijkheid van het doel gecommuniceerd kan worden. Omdat beekdallandschappen gradiënten en mozaïeken van standplaatsen en habitats bevatten, kunnen typen gezien worden als referentiepunten waarbij de grenzen tussen typen geleidelijk in elkaar kunnen overgaan.



Een gradiënt op een beekdalflank in de Drentse Aa. Op de beekdalflank treedt toestroming op van basenarm grondwater en komt een veenmosrijke Kleine zeggen-vegetatie voor. In de beekdalbodem treedt kwel op van basen- en ijzerrijk grondwater. Hier is een vegetatie van Holpijp en Snavelzegge aanwezig (foto Camiel Aggenbach).

6.3 Reikwijdte van de typologie

Bij de opdrachtverlening voor dit preadvies zijn de volgende werkafspraken over de uit te werken typologie gemaakt:

- de typologie omvat de beekdalen van zandgebieden, stuwwallen en het heuvelland;
- voor de hydro-ecologische aspecten wordt uitgegaan van de hydro-ecologische systeemtypen voor natte schraallanden in pleistoceen Nederland die wordt verbreed wat betreft natuurtypen (bossen, moerassen);
- de typologie wordt afgestemd met 'aanpalende' OBN-DT's (Heuvellandschap, Rivierenlandschap en Nat zandlandschap);
- de typologie wordt in nauwe samenwerking met het preadvies beekdallandschap heuvelland opgesteld; in het preadvies Beekdallandschap Heuvelland worden de beekdaltypen die in het heuvelland voorkomen inhoudelijk uitgediept naar een detailniveau dat voor het preadvies Beekdallandschap te diepgaand is.

In principe worden in de typologie de beekdalgebieden behandeld die resulteren onder het DT Beekdallandschap en het DT Heuvellandschap. Het betreft beekdalgebieden in brede zin van Nederland in de Pleistocene en oudere delen en de overgangen van Pleistoceen naar Holocene. Niet alleen dalen met beken vallen er onder, maar ook laagten zonder beken of waterlopen met invloed van toestromend grond- en/of oppervlaktewater. Omdat de overgang tussen het beekdallandschap en het nat zandlandschap diffuus is, zal de typologie ook elementen van het nat zandlandschap bevatten.

Inperking

- Diepe afvoergoten zijn niet beschreven als beekdaltypen of componenten daarvan, vanwege de geringe natuurwaarden. De beschreven beektypen hebben een ondiep stroombed waar gewoonlijk door heen gelopen kan worden, behalve bij (sommige) riviertjes die daarvoor te diep zijn. Uiteraard zijn diepe afvoergoten door hun sterk ontwaterend effect wel van grote invloed op de huidige toestand van veel beekdalen.
- Lenshoogvennen, hoogveenvennen en de meeste andere venen van de hogere zandgronden zijn niet opgenomen in de typologie. Basenarme hellingvenen met grondwaterinvloed zijn wel meegenomen in de beekdaltypologie, aangezien die onderdeel zijn van beekdalflanken.
- Afgrenzing met rivieren: grote rivieren met hun uiterwaarden vallen buiten de typologie. Kleine riviersystemen in het laagland met een (tot voor kort) actieve geomorfodynamiek van het stroombed zijn eveneens niet meegenomen. Benedenlopen van beken en kleine riviertjes op de overgang van Pleistoceen naar Holocene met (vroeger) sterke slibafzetting en zonder sterke geomorfodynamiek van het stroombed zijn wel meegenomen zolang hier toevoer van grondwater een rol speelt. Diepe dalen van beken en riviertjes in het heuvelland met een fluviale geomorfologie van de dalbodem zijn wel opgenomen als een beekdaltype. Reden voor dit laatste is om de beekdaltypen te bestrijken die van belang zijn voor het preadvies beekdalen in het heuvelland.
- Bekken en kleine rivieren die door delen van Holocene Nederland stromen zonder dat ze via grondwaterstroming nog een relatie hebben met Pleistocene delen zijn ook niet opgenomen. Het beekdal moet minstens aan een zijde worden begrensd door Pleistocene of oudere afzettingen.
- (Voormalige) beken en duinrellen in duingebieden zijn niet opgenomen in de typologie.

6.4 Aanpak

Er is gekozen om zowel een typologie van de hydro-ecologische beekdaltypen (bijlage 3) als van de aquatisch-ecologische beektypen (bijlage 4) te beschrijven. Aan de (semi)terrestrische vegetatietypen worden vegetatietypen gelinkt en aan de aquatisch-

ecologische beektypen beekecosystemen. Een overzicht van de hydro-ecologische beekdaltypen en de aquatisch-ecologische beektypen wordt gegeven in tabel 6. Er is gekozen om twee typologieën uit te werken omdat door menselijke ingrepen er een scherpe scheiding bestaat dus de beken en het terrestrische deel van het beekdal. De karakteristieken van beken hebben hierdoor geen sterke relatie met de transversale gradiënt van de terrestrische ecosystemen in het beekdal. Hoe natuurlijke beektypen zonder menselijke beïnvloeding gerelateerd zijn aan de hydro-ecologische beekdaltypen is niet goed bekend (zie paragraaf 6.5.1). Het is daarom niet mogelijk om op basis van de huidige kennis één integrale typologie van de beekdallandschappen te maken. De huidige kennis staat wel toe om voor het terrestrische deel de hydro-ecologische beekdaltypen en voor de beken de aquatisch-ecologische typen uit te werken. De hydro-ecologische beekdaltypen en aquatisch-ecologische beektypen zijn met elkaar in verband gebracht door aan te geven welk hydro-ecologisch beekdaltypen met welk aquatisch-ecologisch beektype voorkomt (zie tabel 6).

Tabel 6: Overzicht van hydro-ecologische en aquatisch-ecologische typen voor beekdalen.

Positie in stroomgebied/ geomorfologie/ verval	Toevoer water	Basenrijkdom/ bodem	Naam hydro- ecologische beekdaltype	Kenmerken bronnen en beken: permanentie, stroomsnelheid, morfologie, basenrijkdom
Natte infiltratiegebieden met lokale kwel hoge delen in zandgebieden, (zwak hellend) heuvelland periodiek langdurige inundatie met stagnerend of zwak stromend water	regenwatervoeding hooguit zeer lokale kwel in natte periode uit direct aanliggende ruggen	basenarm	1A Natte infiltratiegebieden met lokale kwel: basenarm	1a1 Geen laaglandbeken, wel plaatselijk tijdelijk, zuur, stilstaand tot zwak stromend, ondiep water op maaiveld
		matig basenrijk	1B Natte infiltratiegebieden met lokale kwel: matig basenrijk	1b1 Geen laaglandbeken, wel plaatselijk tijdelijk, zwak zuur tot neutraal, stilstaand tot zwak stromend, ondiep water op maaiveld
		basenrijk kalkhoudende bodems	1C Natte infiltratiegebieden met lokale kwel: kalkrijk/ basenrijk	1c1 Geen laaglandbeken, wel plaatselijk tijdelijk, neutraal tot basisch, stilstaand tot zwak stromend, ondiep water op maaiveld
Afvoerloze laagte laagten in oorspronggebied of op beekdalflanken van zandgebieden met periodiek langdurige inundatie met stagnerend of zwak instromend water	lokale kwel	met kalk in topsysteem, kwel basenrijk	2A Afvoerloze laagte: lokale basenrijke kwel	2a1 Afvoerloze laagte (periodiek watervoerend) in oorspronggebied of op beekdalflanken
	met in- of doorstroming van beekwater	matig basenrijk tot basenrijk	2B Afvoerloze laagte: in- of doorstroming beekwater, matig basenrijk tot basenrijk	2b1 Beekbegeleidend zwak zuur tot neutraal kwelgebied, zonder of met lage afvoer 2b2 Beekbegeleidend neutraal tot basisch kwelgebied, zonder of met lage afvoer
Weinig hellende beekdalen met kwel beekdalen in zandgebieden inclusief keileemplateaus laaglandbeken met langzame stroming	lokale (sterke) kwel	basenarm	3A Weinig hellende beekdalen met kwel: lokale kwel, basenarm	3a1 Droogvallende, zure, langzaam stromende bronnen of bovenloopjes
				3a2 Droogvallende, zure, langzaam stromende boven- of middenlopen
				3a3 Permanente, zure, langzaam stromende bronnen of bovenloopjes
				3a4 Permanente, zure, langzaam stromende boven- of middenlopen
	lokale kwel	matig basenrijk lemige zand- en leemgronden	3B Weinig hellende beekdalen met kwel: lokale kwel, matig basenrijk	3b1 Droogvallende, zwak zure tot neutrale bronnen of bovenloopjes
				3b2 Droogvallende, zwak zure tot neutrale, langzaam stromende boven- of middenlopen
				3b3 Permanente, zwak zure tot neutrale, langzaam stromende bronnen of bovenloopjes
				3b4 Beekmoeras
	lokale kwel	basenrijk met kalk in topsysteem	3C_1 Weinig hellende beekdalen met kwel: lokale kwel, kalk in topsysteem, basenrijk	3c1 Droogvallende, neutrale tot basische, langzaam stromende bronnen of bovenloopjes
				3c2 Droogvallende, neutrale tot basische, langzaam stromende boven- of middenlopen

Positie in stroomgebied/ geomorfologie/ verval	Toevoer water	Basenrijkdom/ bodem	Naam hydro- ecologische beekdaltype	Kenmerken bronnen en beken: permanentie, stroomsnelheid, morfologie, basenrijkdom
Weinig hellende, vlakke beekdalen met sterke (voormalige) slibafzetting beekdalen op overgangen zandgebied naar Holocene en overgangen Pleistoceen- Holocene zonder duidelijke beekdal laaglandbeken met langzame stroming				3C3 Permanente, neutrale tot basische, langzaam stromende bronnen of bovenloopjes
	zwakke regionale kwel	basenrijk	3C_2 Weinig hellende beekdalen met kwel: zwakke regionale kwel, basenrijk	3C4 Permanente, neutrale tot basische, langzaam stromende boven- of middenlopen 3C5 Beekbegeleidend beekmoeras
	sterke regionale kwel	basenrijk	3C_3 Weinig hellende beekdalen met kwel: sterke regionale kwel, basenrijk	
	lokale kwel lemige zand- en leemgronden overstroming met slibrijk beekwater	matig basenrijk	3D Weinig hellende beekdalen met kwel: lokale kwel, overstroming, matig basenrijk	3d1 Permanente, zwak zure tot neutrale, langzaam stromende boven- of middenlopen 3d2 Beekmoeras
	overstroming van slibrijk water (sterke) bovenlokale/ regionale kwel	basenrijk	4A Weinig hellende beekdalen met kwel: bovenlokale/regionale kwel, overstroming, basenrijk	4a1 Inunderende neutrale tot basische, langzaam stromende benedenlopen of riviertjes 4a2 Beekbegeleidende matig voedselrijke tot voedselrijke wateren
	overstroming van slibrijk water stagnatie en wat lokale kwel	matig basenrijk tot basenrijk	4B Weinig hellende beekdalen met slibafzetting: overstroming, stagnatie, weinig lokale kwel	
	lokale kwel periodieke regionale kwel	matig basenrijk tot basenrijk grondwater (kalk)rijke kleigronden	4C Weinig hellende beekdalen met (voormalige) slibafzetting: (kalk)rijke klei, lokale kwel, periodieke regionale kwel	
Sterk hellend, hoge beekdalen met lokale kwel 'hoge' beekdalen op stuwwallen, heuvelland, diep ingesneden beekdalen in plateauranden intermediaire en heuvellandbeken met matige tot snelle stroming	sterke kwel in reliëfrijk gebied	basenarm-matig basenrijke variant	5A Sterk hellend, hoge beekdalen met lokale kwel: sterke kwel, basenarm-matig basenrijk	5 Droogvallende, zure, stromende bronnen of bovenloopjes
				5a1 Droogvallende, zwak zure tot neutrale, stromende tot snel stromende bronnen en bovenloopjes 5b1 Permanente, zwak zure tot neutrale, stromende tot snel stromende bronnen en bovenloopjes
	sterke kwel in reliëfrijk gebied	basenrijke variant eventueel met kalk in topsysteem	5C Sterk hellend, hoge beekdalen met lokale kwel: basenrijk, evt. kalk in topsysteem	5c1 Permanente, zwak zure tot neutrale, stromende tot snel stromende boven- en middenlopen
				5c2 Permanente, neutrale tot basische, stromende tot snel stromende boven- en middenlopen
				5c3 Beekmoeras (=1a1) 5d1 Permanente, neutrale tot basische, stromende tot snel stromende bronnen en bovenloopjes
Sterk hellend, lage beekdalen met kwel diepe dalen in heuvelland heuvellandbeken met matige tot snelle stroming	sterke regionale kwel, eventueel ook lokale kwel overstroming met slibrijk beekwater	basenrijk grondwater basenrijke leem- en kleibodem	6A Sterk hellend, lage beekdalen: regionale kwel, overstroming, basenrijk	6a1 Permanente, neutrale tot basische, snelstromende benedenlopen of riviertjes

Voor beide typologieën worden de volgende uitgangspunten gehanteerd:

- de typen relateren aan een geomorfologische en hydrologische positie in het stroomgebied;
- koppelen van typen aan hydrologische, morfologische en chemische processen;
- koppelen van standplaatseigenschappen en levensgemeenschappen aan processen.

In de uit te werken typologie van de aquatisch-ecologische beektypen is het begrip ‘beek’ breed gehanteerd. Naast waterlopen die duidelijk van de rest van de dalbodem kunnen worden onderscheiden, worden ook diffuse afvoerpatronen van oppervlaktewater als beek beschouwd. Oppervlaktewater hoeft zich in beekdalen niet noodzakelijkerwijs via duidelijk omlinnde waterlopen te stromen. Veel beekdalsystemen hadden van oorsprong in gebiedsdelen met weinig verhang geen duidelijk afgebakende beken. Boven- of benedenstrooms, echter, waren bij voldoende verhang wel beken zichtbaar. In de vlakkere gebiedsdelen stroomde het oppervlaktewater in een natte periode en zelfs permanent diffuus door laagten waarin soms wel en soms niet een duidelijkere stroomdraad herkenbaar was. In vlakke landschappen waar beken geen kans kregen om zich in te snijden, was in het Holoceen sprake van accumulatie en verhoging van de drainagebasis door sedimentatie, veenvorming en dichtstuiven met zand van dalen. Een belangrijk deel van de huidige waterlopen zijn een gevolg van het agrarisch gebruik van beekdalen. Beekdalen zijn vroeg in gebruik genomen en in de 11^e en 12^e eeuw namen de ontginningen hier sterk toe (Wassink, 1999). Tijdens die ontginning werden waterlopen aangelegd voor de afwatering en voor het reguleren van de waterkwaliteit (scheiden van basenrijk en -arm water, bevoeien). Ook werden watermolens gebouwd die ingrepen in de watertoevoer en afvoer vergde. Door ruilverkaveling en intensivering zijn de waterstelsels verdiept en vergroot (onder andere Wassink, 1999). Mozaïeken van meer en minder diffuse afwateringspatronen zijn daardoor nagenoeg verdwenen. Zeldzame voorbeelden van een diffuus afwateringspatroon zijn de bovenloop van de Rode Beek op de Brunssummerheide en delen van de Bosbeek op de Meinweg. Moeras(bos) en beekbedding zijn hier moeilijk van elkaar te onderscheiden. In het laagland van West- en Midden-Europa zijn nog maar weinig goed ontwikkelde voorbeelden van diffuse beekstelsels aanwezig (Brown, 1997), waardoor actuele referenties nauwelijks aanwezig zijn.

In de typologie van de aquatisch-ecologische beektypen zijn ook de semi-stagnante (bijvoorbeeld nog aangekoppelde oude meanders) en stagnante wateren (bijvoorbeeld afgesloten oude meanders en beekpoelen) opgenomen. In natuurlijke beekdalsystemen zal de grens tussen langzaam stromende afvoeren van oppervlaktewater en stagnante wateren diffuus zijn geweest.

Om de typologie in te vullen, is gebruik gemaakt van de abiotische factoren van geo(morfo)logie, hydrologie, hydrochemie (Bakker et al. 1981, Verdonschot et al. 1995). Op basis van positie in het stroomgebied, geomorfologie, verhang zijn zes hoofdgroepen van hydro-ecologische beekdaltypen en aquatisch-ecologische beektypen onderscheiden (tabel 6).

Binnen de hoofdgroepen zijn de hydro-ecologische beekdaltypen onderscheiden op basis van:

- kwel/infiltratiepatroon;
- voedende grondwatersysteem;
- kwelintensiteit;
- basenrijkdom van het grondwater/ondiepe ondergrond;
- het wel of niet optreden van (vroegere) inundatie en slibafzetting.

De ecologisch-aquatische typen zijn onderscheiden op basis van:

- permanent/ periodiek watervoerend;
- dwarsprofiel/ morfologie van het stroombed;
- basenrijkdom.

6.5 Referentiebeelden

Als referentiebeeld voor beekdallandschappen kunnen de typologie voor hydro-ecologische beekdaltypen (bijlage 3) en aquatisch-ecologische beektypen (bijlage 4) dienen. Een aantal van de aspecten die van belang zijn bij de keuze en uitwerking van referentiebeelden worden hier besproken.

6.5.1 Beekdalen met diffuse patronen van stromend oppervlaktewater

Referentiebeelden van natuurlijke afwateringspatronen van oppervlaktewater in beekdalen ontbreken momenteel nagenoeg. Actuele referentiebeelden zijn nauwelijks voorhanden en goed gedocumenteerde historische referentiebeelden ontbreken. In de meeste beekdalen wordt het oppervlaktewater momenteel afgevoerd via duidelijk begrensde waterlopen. In laaglandbeken kwamen in een meer natuurlijke situatie (dus voor ingrepen in de afwatering) juist diffuse, vertakte en vlechtende stromingspatronen veel meer voor. Waarschijnlijk is het ontbreken van zulke voorbeelden ook een reden dat momenteel beekherstelprojecten vaak gericht zijn op het in stand houden van duidelijke waterlopen. In het laagland kwamen van oorsprong meer gevarieerdere stromingsstelsels voor, waaronder vertakte stelsels, complexen van poelen en slenken, tijdelijke inundatie en stroming door beekdalvlaktes. Daarbij was sprake van ruimtelijke verwevenheid van terrestrische en aquatische componenten. Vermoedelijk was het onderscheid tussen beekdaldelen met voeding van grondwater en van oppervlaktewater ook minder scherp. Nagenoeg ongestoorde actuele referentiebeelden van beekdalen met een diffuse stroming van oppervlaktewater zijn in de Atlantische klimaatszone van Noordwest-Europa nauwelijks voor handen als gevolg van een langdurige ontginningsgeschiedenis. Daarmee zijn zulke referentiebeelden ook uit het beeld verdwenen bij mensen en organisaties die zich bezig houden met beekdalen.

Door de ontginning van beekdalen is stroming van oppervlaktewater steeds meer geconcentreerd in waterlopen. In plaats van over het maaiveld stroomt het water onder het maaiveld van de dalvlakte (zie verder paragraaf 4.3.2). Deze waterlopen zijn de beken zoals we die nu tegenkomen in beekdalen. Oude gegraven waterlopen kunnen door meandering sterk lijken op 'natuurlijke' meanderende beken. Bij ruilverkaveling en verdere aanpassing van de waterhuishouding zijn gedurende de 20^e eeuw veel grote, diepe sloten aangelegd in beekdalen en zijn laagtes in de dekzandlandschappen met diepe sloten met elkaar verbonden. In de oude agrarische bedrijfsvoering werd wel in veel beekdalen door middel van bevoeiing oppervlakte- en kwelwater naar percelen gevoerd. Met het beëindigen van de bevoeiingspraktijk in de 19^e eeuw verdween ook dit contact tussen oppervlaktewater en beekdal.

Een terugkeer naar natuurlijke afwateringspatronen wordt bemoeilijkt door de grote veranderingen die afgelopen eeuwen zijn opgetreden in de af- en ontwatering en het landgebruik van stroomgebieden. Meer natuurlijke afwateringsstelsels hadden minder onderscheid in de zonering van het lengteprofiel (bron-bovenloop-middenloop-benedenloop) dan nu het geval is in de sterk door de mens beïnvloede beekdalen. In natuurlijke beekstelsels waren de elementen van deze zones meer verweven en kwamen bron- of bovenloopsoorten ook in de moerassige kwelzones van de benedenloop voor. Het is daarom belangrijk te beseffen dat de uitwerking van de meeste aquatisch-ecologische beektypen (bijlage 4) meer past bij sterk door de mens beïnvloede beekdalen dan bij stroomgebieden met diffuse afwateringsystemen. Een gebrek aan voldoende en toegankelijke kennis maakte de keuze voor deze uitwerking echter noodzakelijk. Bij de invulling en variatie in referentiebeelden van beekdalen met meer natuurlijke afwateringssystemen is daardoor ook veel onbekend. Het gemis aan referentiebeelden voor diffuse afvoerstelsels is in de typologie van aquatisch-ecologische typen ondervangen door typen voor 'beekmoeras' op te nemen.

6.5.2 Scheiding of integratie van aquatisch en terrestrische componenten

In de natuurreferentiebeelden die voor het herstel van beekdalen worden gekozen, bestaat vaak een tweedeling tussen natuurherstel dat gericht is op de terrestrische ecosystemen van het beekdal (veelal natte bossen, schraallanden) en het beekherstel. Het terrestrische natuurherstel richt zich vaak alleen op de beek als deze voor de terrestrische ecosystemen een knelpunt vormt (bijvoorbeeld voor verdroging, inundatie met geëutrofiëerd beekwater). Het beekherstel richt zich vaak uitsluitend op het stroombed van de 'beek' en een smalle oeverzone. Hierbij wordt een beek met een meanderend lengteprofiel en uitwassen zoals plas-dras nagestreefd, en wordt sterk vastgehouden aan de opdeling van de beek in de lengterichting van bron-bovenloop-middenloop-benedenloop, die in sterke mate bepaald wordt door de vroegere ingrepen in de beek en het stroomgebied. Wel wordt in het water een meer natuurlijke omstandigheden

nagestreefd, bijvoorbeeld door het onderhoud (maaien of baggeren) te verminderen. Wanneer er voldoende ruimte is, wordt actieve meandering toegelaten maar vaak is de ruimte dusdanig beperkt dat de inrichting zich richt op stabiel meanderend lengteprofiel. Integratie van beide natuurherstelbenaderingen komt nauwelijks van de grond door de scheiding in organisaties en rollen (landinrichter die land inricht, waterbeheerder die waterlopen inricht en beheert en natuurbeheerder die vooral terrestrische natuur beheert), in disciplines (hydroecologen, hydrologen, aquatisch ecologen), en ook in financiering. Planontwikkeling en uitvoering van natuurherstel voor de verschillende delen van beekdalen doorlopen daardoor gescheiden sporen. Door de gescheiden aanpak komt de ontwikkeling van integraal herstel van de aquatische en de terrestrische beekdalnatuur zelden van de grond. Uiteraard zijn er uitzonderingen waarin herstel van beekdal en beek integraal wordt aangepakt. Integraal herstel van beekdalen vergt een andere kijk op de aard en de ecologische rol van 'beken' in beekdalen. Daarbij is ook meer aandacht nodig voor diffuse stromingsstelsels (zie boven). De planontwikkeling en de uitvoering dient integraal te worden uitgevoerd vanaf visieontwikkeling tot en met beheer.



Een beekdaltraject in de Drentse Aa dat vier jaar geleden is vernat door het dempen van sloten en greppels. Door sterke ijzerrijke kwel is het beekdal nu permanent nat en is een snelle ontwikkeling opgetreden van vochtige graslanden naar laagproductieve Kleine zegge-begroeiingen met veel Snavelzegge, Holpijp en Gewoon puntmos. Op dit soortlocaties zijn goede mogelijkheden voor herstel van boomloze, mesotrofe veenvormende moerassen die vroeger voor ontginning van beekdalen veel voorkwamen. Vraag is of zulke herstellende moerassen duurzaam kunnen voorkomen zonder maaibeheer (foto Camiel Aggenbach).

6.5.3 Gradaties in natuurlijkheid en cultuur

Het natuurbeheer- en herstel heeft zich lange tijd in sterke mate gericht op patronen in abiotiek en biotiek zoals die in het oude cultuurlandschap in beekdalen voorkwamen. Als referentiebeeld wordt hierbij vaak genomen de situatie uit de eerste helft van de 20^e eeuw voordat intensivering van de landbouw optrad. In dit referentiebeeld zijn beekdalen licht ontwaterd en wordt in een groot deel hooilandbeheer gevoerd. Hydrologische gradiënten op landschapsschaal komen in dit referentiebeeld tot expressie, maar zijn in veel gevallen wel verstoord door ingrepen en modern landgebruik in het stroomgebied buiten het beekdal. Bij de aandacht voor het oude cultuurlandschap spelen ook vaak emotionele aspecten een rol (wat men kent geeft men niet graag op). Daarnaast berust de gerichtheid op deze cultuurhistorie op de aanname dat het oude cultuurlandschap veel biodiversiteit herbergde en dat als het oude cultuurlandschap in

stand wordt gehouden die biodiversiteit terugkeert. De vroegere rijkdom aan soorten en ecosystemen wordt echter bepaald door specifieke processen en vormen van landgebruik. Daarnaast is het cultuurlandschap geen stabiel gegeven geweest, maar onderhevig geweest aan sterke veranderingen als gevolg van demografische, economische en technologische ontwikkelingen (Spek, 2005). Bij het toepassen van historische referentiebeelden met cultuurinvloed is dus ook belangrijk uit welke periode of welke toestand wordt gekozen en kennis van hoe specifieke soorten of ecosystemen van een gekozen referentiebeeld in de huidige situatie hersteld kunnen.

Geleidelijk aan wordt ook gedacht aan een andere ontwikkeling van natuur. Door omvorming van landbouwgrond naar natuur in de EHS wordt het mogelijk grotere en meer aaneengesloten natuurgebieden in en rond beekdalen te ontwikkelen. Daarmee komt in bepaalde beekdalen herstel van abiotische en biotische processen op landschapsschaal in beeld. Daarbij doet ook begrazingsbeheer in grotere eenheden zijn intrede. Bij natuurbeheerders vindt momenteel ook visievorming plaats waarbij meer natuurlijke natuurreferentiebeelden voor beekdalen in beeld komen. Uitgangspunt daarbij is dat de abiotische en biotische processen de patronen in tijd en ruimte moeten gaan bepalen. De uitwerking van zulke natuurreferentiebeelden hebben nu nog veelal een abstract niveau. Grote kansen voor meer natuurlijke beekdalen liggen op het terrein van:

- ontwikkeling van veenvormende mesotrofe en eutrofe moerassen;
- ontwikkeling van broekbossen;
- opheffen van de isolatie van oppervlaktewaterstroming ten opzichte van de terrestrische delen en het herstel van meer diffuse afvoerpatronen over maaiveld (zie boven);
- herstel van de ecologische rol van hout en bladstrooisel in beken;
- de rol van grotere zoogdieren in ruimtelijke en temporele patronen.

De mogelijkheden voor ontwikkeling van veenvormende begroeiingen waren al vanaf de jaren '80 onderkend maar vinden pas recent ingang in de praktijk van natuurbeheer en -herstel. In de Drentse Aa zijn enkele jaren geleden maatregelen genomen om dit mogelijk te maken (Schipper & Streefkerk, 1993; Jansen et al., 2000) en op dit moment treden daar veelbelovende ontwikkelingen in de vegetatie op. Wanneer in meer hiervoor geschikte beekdalen zulke ontwikkelingen opgang worden gebracht, kan het beekdallandschap belangrijk worden in het herbergen van veenvormende, mesotrofe zeggenbegroeiingen (*Carcion nigrae*, *Caricion lasiocarpae* en *Caricion davallinae*) in Nederland. Door het optreden van kwel kunnen beekdalen ook duurzame locaties gaan bieden voor zulke begroeiingen. Onder voedselrijkere omstandigheden zijn er ook mogelijkheden voor grote zeggen-begroeiingen (*Magnocaricion*). Diffuse afvoerpatronen in veenvormende moerassen zal ook de structuur van beken verrijken.

De kansen voor de ontwikkeling van allerlei typen broekbos (*Alnion* en *Betulion*) zijn groot in beekdalen. Bij herstel van de abiotische condities kunnen deze zich goed ontwikkelen. Vermoedelijk kunnen daarbij ook zeer natte en zelfs permanent geïnundeerde broekbossen zich ontwikkelen. Ontwikkeling van deze broekbossen in samenhang met die van herstel van diffuse afvoerpatronen geeft ook goede mogelijkheden voor het herstel van de ecologische functie van hout en blad in beken. Broekbossen zullen de variatie in structuur in beken op meso- en microschaal sterk verrijken. Beken doorsnijden drogere beekdalen tussen de verbindingen van moerasachtige laagten. In deze situatie speelt hout en organisch materiaal een belangrijke rol in de natuurlijke beek. Begeleidende houtige vegetaties zijn hier noodzakelijk om een meer natuurlijke referentiebeeld te bereiken.

Momenteel worden grote grazers ingezet om de ruimtelijke structuur in de vegetatie te bevorderen en de vegetatie kort te houden. Van nature voorkomende grote grazers zouden zorg kunnen dragen in het handhaven van boomloze delen. Een complicerende factor daarbij is dat begrazing plaatsvindt in een sterk veranderlijke situatie (net ingerichte gronden, overgang van kleinschalig patroonbeheer naar procesbeheer). De herintroductie van bevers zou ook kunnen bijdragen aan patroondiversiteit en het creëren van moeraszones als gevolg van beverdammen. Zwijnen zorgen door hun wroeten voor het ontstaan van kale bodem.

Visies over natuurlijke beekdalen en vooral ook de uitwerking daarvan in concrete situaties verkeert in een beginstadium en is niet, zoals bij het rivieren- en duinlandschap, sterk doorgedrongen in beleid, inrichting en beheer. Onderdeel van een visie hoort te zijn hoe doelsoorten die in de huidige situatie afhankelijk zijn van specifieke beheervormen hun plek kunnen vinden in meer natuurlijke situaties zonder lokaal uit te sterven. Veel zeldzame soorten hebben nu kleine refugia in delen met vegetatiebeheer waardoor bij grote veranderingen in abiotiek (bijvoorbeeld sterke vernatting van een hooiland) en verandering in het vegetatiebeheer de kans op verdwijnen groot is. Een complicerende factor bij het richten op meer natuurlijke beekdalen is dat deze moeten worden ingepast in een stroomgebied met allerlei beperkingen door menselijke activiteiten (ontwatering in achterliggend stroomgebied, bemesting in intrekgebieden) en irreversibele veranderingen door vroegere ingrepen.

6.5.4 Zwaar bemeste voormalige landbouwgronden

Op voormalige, zwaar bemeste landbouwgrond die niet wordt afgegraven is onduidelijk welke natuur zich kan ontwikkelen door onzekerheden over de ontwikkeling van bodem, bodemfauna en voedselrijkdom. Zonder aanvullende maatregelen ontwikkelen zich hier in eerste instantie ruigten die vooral worden gedomineerd door Pitrus. Op de juiste diepte afgraven van de bovenlaag kan goede resultaten opleveren mits de abiotiek ook is hersteld en in de directe omgeving doelsoorten aanwezig zijn (Jansen, 2000). Afgraven in combinatie met (her)introductie van plantensoorten levert ten opzichte van andere maatregelen de beste resultaten op wat betreft het realiseren van doelplantensoorten (Klimkowska et al., 2007). Sterke veranderingen in het bodemleven kunnen echter van grote invloed zijn op de nutriëntenhuishouding en het voorkomen van plantensoorten (zie paragraaf 4.7.2). Over de ontwikkeling van natuur op de lange termijn bij verschillende herstelstrategieën (wel/niet afgraven, uitmijnen/ verschrallen, ontwikkeling korte vegetatie/ bos) bestaat nog veel onzekerheid (zie paragraaf 2.5.2). Zo is ook niet bekend of nutriëntenrijke voormalige landbouwgrond op de lange termijn goede perspectieven hebben voor de ontwikkeling van rijke bossen (*Alno-Padion*, *Stellario-Carpnetum*).



Foto 20: Een heuvellandbeek in Zuid-Limburg. De stroomsnelheid is in zulke beken hoger dan in laaglandbeken met een klein verval (foto Camiel Aggenbach).

7 Doelen en uitvoeringspraktijk vanuit verschillende beleidsvelden en knelpunten met natuurherstel in beekdalen

In dit hoofdstuk worden de doelen van een aantal voor beekdalen relevante beleidsvelden besproken. Het betreft de beleidsvelden:

- natuur: ecologische hoofdstructuur, natuurdoelen van het Rijk en de provincies, Natura 2000 doelen, soortenbeleid;
- cultuurhistorie en landschap;
- landbouw;
- waterbeheer: bestrijding van verdroging, veiligheid, Kader Richtlijn Water, kwaliteit oppervlaktewater, beekherstel.

De analyse van de beleidsvelden richt zich zowel op de doelen als op hoe de huidige en verwachte uitvoeringspraktijk uitpakt voor het natuurherstel in beekdalen. Deze analyse is gericht op de hoofdlijnen en zal de meeste beleidsvelden globaal behandelen. Het natuurbeleid wordt wel uitvoeriger behandeld. De beleidsvelden worden besproken in paragraaf 7.1 t/m 7.4. In paragraaf 7.5 wordt benoemd welke aspecten van beleidsvelden met elkaar botsen of elkaar versterken. Ook worden hier de kansen voor natuurherstel en -ontwikkeling aangeduid.

7.1 Natuur

7.1.1 Ecologische hoofdstructuur

Het EHS-beleid richt zich op het realiseren van een netwerk van grote ruimtelijke eenheden natuur met verbindingzones. Onderscheiden worden kerngebieden, natuurontwikkelingsgebieden en verbindingzones. Natuurontwikkelingsgebieden dienen zoveel mogelijk de kerngebieden te versterken. De grote kerngebieden dienen te zorgen voor duurzame abiotische en biotische omstandigheden voor natuur. De verbindingzones dienen de dispersie en (her)kolonisatie van de kerngebieden en natuurontwikkelingsgebieden te waarborgen. In beekdalen zijn veel lage natte delen van de hogere zandgronden en de overgangszone van de zandgronden in de begrenzing van de EHS opgenomen. Het Rijk heeft momenteel de ambitie de EHS in 2018 gereed te hebben (Ministerie van LNV 2008).

Door de realisatie van de EHS neemt het areaal natuurgebied in en rond beekdalen toe. De grondverwerving, de inrichting en het natuurbeheer van landbouwgronden in de EHS lopen echter sterk achter bij de doelen die het Rijk heeft gesteld voor realisering van de EHS. Van gronden die in Nederland zijn aangewezen als 'nieuwe natuur' en voor 2015 zou moeten zijn omgevormd naar natuur (111.741 ha) was in 2005 43% verworven en ingericht en 25% verworven en niet ingericht (Milieu en Natuur Planbureau 2008). De grondverwerving loopt traag omdat dit plaatsvindt op basis van vrijwilligheid en er nog te weinig wordt ingespeeld op kansen die zich voortdoen. De stagnatie van grondverwerving is één van de hoofdoorzaken van het stagneren van de verdrogingsbestrijding (Taskforce Verdroging, 2006). In 2007 bedroeg de gerealiseerde grondverwerving in de provincies waar de meeste beekdalgebieden (Drenthe, Overijssel, Gelderland, Noord-Brabant, Limburg) voorkomen 29% van de taakstelling voor de periode 2007-2013 (10.929 ha) (Ministerie van LNV 2008). De trage uitvoering van de inrichting en het in beheer nemen van verworven EHS-gronden is ook een groot knelpunt

(Ministerie van LNV 2008). De gerealiseerde grondverwerving in de provincies met de meeste beekdalgebieden bedroeg in 2007 7% van de van de taakstelling voor de periode 2007-2013 (16.920 ha). De onderhanden zijnde inzet van de provincies bedroeg toen voor het verminderen van verdroging 363 ha en voor verminderen verzuring en vermessing 30 ha (Ministerie van LNV 2008). Regelmatig voldoet de herinrichting van opgeleverde EHS-gronden niet aan de natuurdoelen die terreinbeherende instanties beogen. Van de aangewezen robuuste verbindingen (16.303 ha) was in 2005 3 % gerealiseerd (Milieu en Natuur Planbureau 2008) en in 2007 10% (Ministerie van LNV 2008). De realisatie van robuuste verbindingzones loopt ver achter en belangrijkste knelpunt daarbij is dat in een aantal provincies de planologische begrenzing van de robuuste verbindingen nog niet is voltooid en pas plaatsvindt als op gebiedsniveau met de betrokkenen afspraken zijn gemaakt (Ministerie van LNV 2008).

Ondanks dat het EHS-beleid de ontwikkeling van grote natuurgebieden beoogd, zal na volledige realisatie van de EHS de natuur in Nederland voor een groot deel uit relatief kleine gebieden bestaan. De ruimtelijke samenhang blijft dan onvoldoende om soorten en ecosystemen een duurzaam voortbestaan te garanderen. Dit geldt ook voor soorten en ecosystemen waarvoor Nederland in EU-verband afspraken over heeft gemaakt (Vogel- en Habitatrichtlijn) (Van der Hoek et al. 2008). Tussen 1990 en 2004 is door de uitbreiding van de EHS een geringe verbetering opgetreden van de ruimtelijke condities van faunadoelsoorten van het beleid (voornamelijk vogels, andere gewervelde en dagvlinders) (Van der Hoek et al. 2008). Voor duurzaam behoud van 90 % van de geanalyseerde doelsoorten is een forse uitbreiding van de EHS noodzakelijk, zodat grote natuureenheden kunnen worden gevormd (Milieu en Natuur Planbureau 2007).

Voor herstel van de waterhuishouding van beekdalen is het belangrijk dat ook laag gelegen gronden zijn opgenomen binnen de EHS begrenzing. Alleen dan kan verdrogingsbestrijding effectief plaatsvinden. In de huidige praktijk blijkt dat zulke cruciale gronden in een beekdal niet altijd binnen de EHS begrenzing zijn opgenomen waardoor de ontwatering van het beekdal op landbouw in deze lage gronden blijft afgestemd (Taskforce Verdroging, 2006). Rond kerngebieden zijn deels zones aangewezen en begrensd die kunnen dienen als hydrologische buffer en bescherming tegen vermessing van grondwater. Er zijn echter nog veel voorbeelden van beekdalen waar onvoldoende buffergebied is begrensd voor een duurzaam behoud en herstel van natuur. Om herstel van de waterhuishouding wel te kunnen realiseren vindt momenteel in diverse beekdalgebieden herbegrenzing plaats zodat belangrijke lage gronden en meer buffergebied worden begrensd. Grote delen van intrekgebieden van beekdalen die landbouw als gebruiksfunctie hebben, vallen vaak niet in de EHS-begrenzing. Beekdalen zijn daardoor nog steeds kwetsbaar voor vermessing via grond- en oppervlaktewater (Aggenbach et al. 2007a+b).

Een groot deel van de EHS wordt gerealiseerd door grondverwerving en overdracht aan natuurbeheerders. Momenteel richt het beleid zich op om een deel van de EHS te realiseren met behulp van particuliere eigenaren en agrariërs. Dit gebeurt door middel van beheerovereenkomsten of een afkoopregeling voor de waardevermindering van de grond bij omvorming van landbouw naar natuur. Particulier natuurbeheer komt ondanks extra beleidsinspanningen nauwelijks van de grond. In 2005 was 8% van de nationale taakstelling voor particulier natuurbeheer (42.771 ha) en 64% van de taakstelling voor agrarisch natuurbeheer (117.685 ha) gerealiseerd (Milieu en Natuur Planbureau 2008). In 2007 bedroeg voor de provincies waar de meeste beekdalgebieden liggen (Drenthe, Overijssel, Gelderland, Noord-Brabant, Limburg) de hoeveelheid grond met particulier natuurbeheer via functiewijziging 4.613 ha en met agrarisch natuurbeheer 21.064 ha (Ministerie van LNV 2008). Beheerovereenkomsten hebben een korte looptijd (zes jaar) ten opzichte van herstel- en ontwikkelingstrajecten voor natuur. Deze bieden daarom weinig garantie op duurzaam natuurherstel. Blijvende functiewijziging met afkoop en herstelmaatregelen op lokale schaal zijn een goede aanvulling op de grondverwerving en inrichting voor de natuurbeherende organisaties zodat meer aaneengesloten beekdalgebieden met een natuurfunctie ontstaan. Belangrijk knelpunt daarbij is het lage niveau van beheervergoedingen waardoor duurzaam beheer na inrichting slechts

moeizaam gerealiseerd worden. Particulier natuurbeheer gaat ook op grotere schaal voor hele beekdaltrajecten worden toegepast.

7.1.2 Natuurdoelen Rijk en Provincies

Landelijke natuurdoeltypen zijn uitgewerkt in Bal et al. (2001). De natuurdoelen zijn ontwikkeld voor verschillende schaalniveaus en beheerstrategieën: grootschalig & natuurlijk; grootschalig & begeleid natuurlijk, kleinschalig & half-natuurlijk, kleinschalig & multifunctioneel. Voor beekdalen zijn vooral half-natuurlijke natuurdoelen beschreven wat samenhangt met het overheersen van patroonbeheer in beekdalen. Provincies hebben de landelijke natuurdoelen nader uitgewerkt met eigen natuurdoeltypologieën (in meer of mindere mate afgeleid van de landelijke natuurdoelen) en eigen kaarten met natuurdoelen. Provinciale natuurdoelkaarten spelen een belangrijke rol bij regionale en lokale planvorming waaronder streekplannen, GGOR, landinrichting en MER's. Staatsbosbeheer heeft een eigen natuurdoelsystematiek ten behoeve van de bedrijfssturing en financiering. Op dit moment loopt een traject van het ministerie van LNV, de natuurbeherende organisaties en provincies om te komen tot één gemeenschappelijke natuurdoeltypologie voor een nieuw sturingssysteem voor natuurkwaliteit. Deze nieuwe typologie zal gaan bestaan uit 18 natuurtypen en de planning is om het in 2010 in te voeren (Ministerie van LNV 2008).

Voor de financiering van het natuurbeheer is eind jaren '90 het instrument Programmabeheer ontwikkeld met beheerpakketten gekoppeld aan natuurdoelen voor zowel natuurbeheerders (met uitzondering van SBB) als particuliere grondeigenaren en agrariërs. Staatsbosbeheer heeft momenteel een eigen financieringsstructuur. Bij het ProgrammaBeheer vormt de subsidieverlening en controle op de uitvoering en doelrealisatie een zware administratieve belasting voor zowel natuurbeherende instanties als anderen. In natte beekdalendelen en brongebieden zijn de huidige beheervergoedingen vaak te laag om het gewenste, veelal kleinschalige beheer uit te voeren waardoor na inrichting vaak niet het beoogde natuurresultaat wordt behaald. Ook zijn de kosten van overgangsbeheer na uitvoering van herstelmaatregelen vaak hoger dan de vergoedingen op basis van normkosten voor regulier beheer van natuurtypen. De huidige normkosten sluiten dus slecht aan op de 'nazorg' die vele herstelprojecten vergen.

Als achtergrond voor de landelijke natuurdoelsystematiek zijn aquatische typen uitgewerkt als referentiebeelden maar die zijn slechts beperkt in natuurdoelen vertaald. Voor beken speelt het probleem dat er maar weinig landelijke natuurdoelen zijn benoemd en de natuurdoelen die er zijn, zijn grofschalig en nauwelijks te duiden in het veld.

7.1.3 Doelen Natura 2000

In Nederland wordt momenteel de Europese Habitatrichtlijn ingevoerd en wordt de Europese Vogelrichtlijn nader uitgewerkt. Doel van de beide richtlijnen is om de achteruitgang van biodiversiteit te stoppen en voor Europa belangrijke natuurtypen en soorten in een goede staat van instandhouding te brengen. Het netwerk van beschermde Habitat- en Vogelrichtlijngebieden wordt Natura 2000 genoemd. Gebieden die zijn aangemeld op grond van een of beide richtlijnen worden Natura 2000 gebieden genoemd. De Natura 2000 gebieden bestaan met uitzondering van die in de grote wateren grotendeels uit EHS-gebied. Op landelijk niveau is de toestand van habitattypen en soorten die onder beide richtlijnen vallen beschreven en zijn doelen opgesteld in termen van behoud en verbetering (Ministerie LNV, 2006). Voor de 162 Natura 2000 gebieden zijn op gebiedsniveau doelen gesteld voor de habitattypen en soorten die vermoedelijk uiterlijk in 2009 juridisch worden vastgelegd in aanwijzingsbesluiten en nader worden uitgewerkt in Natura 2000 beheerplannen. De in- en uitvoering van de twee richtlijnen heeft grote invloed op het nationale natuurbeleid omdat er voor de EU-lidstaten een verplichting uit voortvloeit voor het realiseren van natuurbehoud en -herstel. Planvorming en ingrepen in en buiten de Natura 2000 gebieden moeten beoordeeld worden op hun effecten op Natura 2000 doelen en mogen in principe alleen doorgang vinden als deze geen significant negatief effect hebben. Omdat ook planvorming en ingrepen buiten de Natura 2000 gebieden van belang zijn, is er sprake van een verstrekkende externe werking van Natura 2000 gebieden. Ook bestaand gebruik

in en rond de gebieden dient geëvalueerd te worden op haar invloed op Natura 2000 gebieden.

Natura 2000 doelen in beekdalen

Van 162 Natura 2000 gebieden bevatten er 38 beekdalen (tabel 9). Dit is inclusief de Natura 2000 gebieden in het heuvelland. Het betreft dus een aanzienlijk aandeel van de Natura 2000 gebieden in Nederland. Voor de volgende instandhoudingsdoelen zijn beekdalen belangrijk (tabel 7 en 8):

- in de beken: habitatype 'Beken en rivieren met waterplanten (waterranonkels)' en de soorten Gaffellibel, Beekprik, Grote modderkruiper, Rivierdonderpad, Drijvende waterweegbree;
- In (semi)terrestrische delen voor de habitatypen Heischrale graslanden, Blauwgraslanden, Overgangs- en trilvenen (trilvenen), Kalkmoerassen, Eiken-Haagbeukenbossen, Hoogveenbossen (veelal grondwatergevoede vormen), Vochtige alluviale bossen (beekbegeleidende; bossen behorend tot *Alno-Padion* en *Alnion*) en de soorten Zeggenkorfslak, Donker pimperlblaauwtje, Pimpernelblaauwtje.
- In poelen en hun omgeving ook Kamsalamander, Geelbuikvuurpad;
- Voor broedvogels zijn beekdalen van belang voor vogels van kleinschalige landschappen: Paapje, Kemphaan, Watersnip en Grauwe klauwier.

Voor niet-broedvogels zijn beekdalen van minder belang en deze worden daarom hier niet verder besproken. Opvallend is dat geen beek of beekbegeleidende waterbewonende ongewervelden zijn opgenomen en beken alleen als habitatypen worden aangemerkt wanneer ze een begroeiing van specifieke macrofyten hebben.

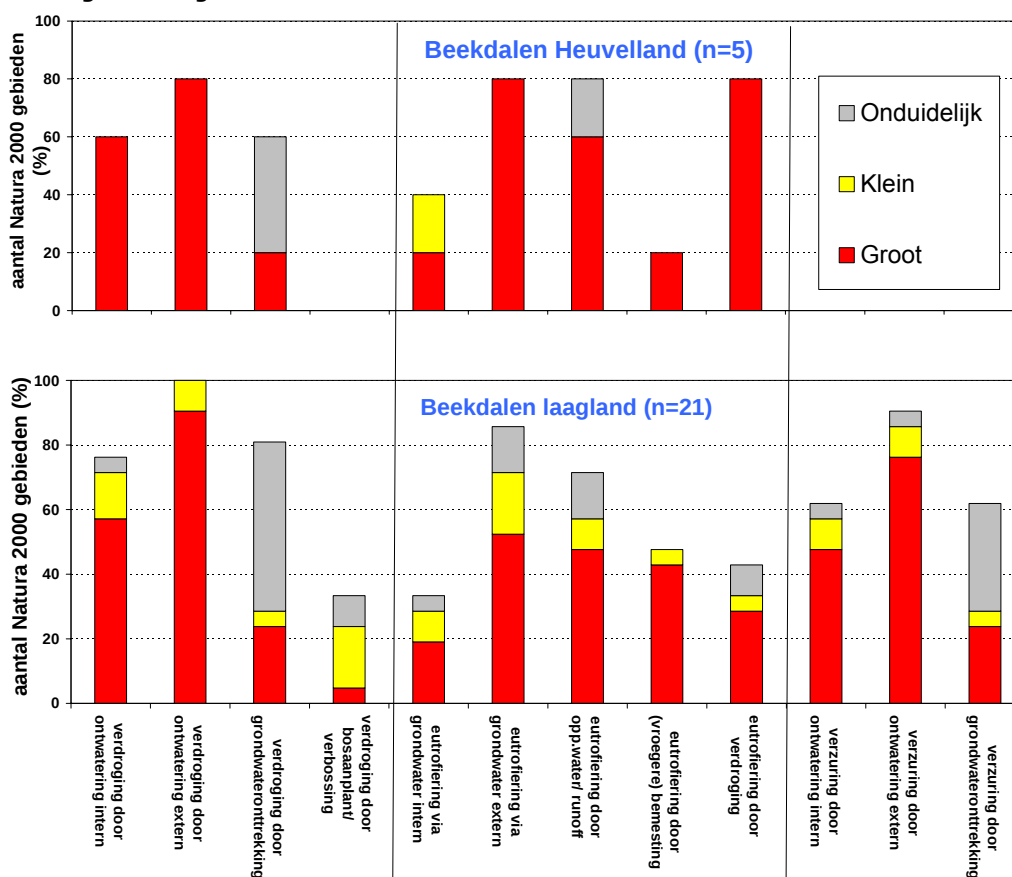
Tabel 7: Habitattypen waarvoor in Natura 2000 gebieden met beekdalen instandhoudingsdoelen zijn geformuleerd (gegevens LNV concept-gebiedsdoelen december 2006).

Habitat code	Habitatnaam	Aantal gebieden
H3140	Kranswierwateren	2
H3260A	Beken en rivieren met waterplanten, waterranonkels	11
H6120	Stroomdalgraslanden	3
H6230	Heischrale graslanden	16
H6410	Blauwgraslanden	17
H6430C	Ruigten en zomen, droge bosranden	2
H6510B	Glanshaver- en vossenstaarthooilanden, grote vossenstaart	3
H7140A	Overgangs- en trilvenen, trilvenen	5
H7140B	Overgangs- en trilvenen, veenmosrietlanden	2
H7210	Galigaanmoerassen	6
H7220	Kalktufbronnen	3
H7230	Kalkmoerassen	11
H9160A	Eiken-haagbeukenbossen, hogere zandgronden	7
H9160B	Eiken-haagbeukenbossen, heuvelland	2
H91D0	Hoogveenbossen	6
H91E0B	Vochtige alluviale bossen, essen-iepenbossen	1
H91E0C	Vochtige alluviale bossen, beekbegeleidende bossen	24

Herstelopgave

Voor het overgrote deel van de bovengenoemde habitattypen en soorten (tabel 7 en 8) gelden verbeterdoelen op landelijk en gebiedsniveau. Deze verbeterdoelen zijn toegekend in verband met de (zeer) slechte staat van instandhouding van habitattypen en soorten. Dat betekent dat er voor Nederland een grote herstelopgave ligt in beekdalen. Uit een quickscan-analyse van al deze gebieden (Aggenbach et al., 2007a+b) blijkt dat in veel beekdalgebieden abiotische knelpunten spelen die realisatie van deze doelen belemmeren (figuur 17). Veelal liggen externe oorzaken ten grondslag aan de verdroging, verzuring en eutrofiëring. Herstel is daarom in veel gevallen alleen mogelijk bij de aanpak van zowel de interne als de externe oorzaken en vergt dus een geïntegreerde aanpak op landschapsschaal. Uit de evaluatie van experimenten met lokale maatregelen in natte schraallanden (DT Natte schraallanden) blijkt dat in gebieden waar het herstel gebrekkig verloopt of de instandhouding niet duurzaam is, hydrologische knelpunten buiten de natuurreservaten het knelpunt zijn (Aggenbach & Jansen, 2004; Jansen et al., 2007; Delft et al., 2003). Alleen interne herstelmaatregelen zijn dus niet voldoende. In beekdalen ligt dus een grote

herstelopgave die een vergaande, complexe integratie van lokale en externe maatregelen vergt.



Figuur 17: Percentage Natura 2000-gebieden met beekdalen met abiotische knelpunten voor grond- en oppervlakteafhankelijke habitattypen.

Tabel 8: Soorten waarvoor in Natura 2000 gebieden met beekdalen instandhoudingsdoelen zijn geformuleerd (gegevens LNV conceptdoelen december 2006). Legenda: =: behoud, □: toename/verbeteren.

Habitat nummer	soort	Landelijk doel			aantal gebieden
		Omvang leefgebied	Kwaliteit leefgebied	populatie	
H1014	Nauwe korfslak	=	=	=	1
H1016	Zeggekorfslak	□	□	=	6
H1037	Gaffellibel	□	□	□	5
H1042	Gevlekte witsnuitlibel	□	□	□	4
H1059	Pimpernelblauwtje	□	□	□	2
H1061	Donker pimpernelblauwtje	□	□	□	2
H1078	* Spaanse vlag	=	=	=	4
H1082	Gestreepte waterroofkever	□	□	□	1
H1095	Zeeprik	□	□	□	1
H1096	Beekprik	□	□	□	7
H1099	Rivierprik	□	□	□	2
H1134	Bittervoorn	=	=	=	3
H1145	Grote modderkruiper	□	□	□	5
H1149	Kleine modderkruiper	=	=	=	11
H1163	Rivierdonderpad	in beken □/ in grote wateren =		in beken □/ in grote wateren = (leeg)	7
H1166	Kamsalamander	□	□	□	16
H1193	Geelbuikvuurpad	□	□	□	1
H1318	Meervleermuis	=	=	=	3
H1337	Bever	□	□	□	3
H1831	Drijvende waterweegbree	=	=	=	12

Herstelpotenties voor waterafhankelijke natuur

Tijdens de uitwerking van de Natura 2000 doelen is voor de toekenning van de gebiedsdoelen rekening gehouden met zowel de landelijke doelen als de herstelpotenties van habitattypen en soorten (strategisch lokaliseren van de doelen). Voor habitattypen is daarvoor rekening gehouden met de hydrologische potenties. Daarbij is gekeken naar de mogelijkheden voor herstel van standplaatscondities door ingrepen in de waterhuishouding. Veertien Natura 2000 gebieden hebben zeer grote hydrologische potenties voor herstel van de habitattypen Beken en rivieren met waterplanten (waterranonkel), Blauwgraslanden, Tril- en overgangsvennen (trilvenen), Kalkmoerassen en Alluviale bossen (beekbegeleidende bossen) (tabel 10). Hier zijn goede mogelijkheden voor een sterke uitbreiding in oppervlak en een verbetering van de kwaliteit. Goede hydrologische potenties zijn aanwezig in dertig Natura 2000 gebieden. Hier is een kleine tot matige uitbreiding van het oppervlak mogelijk en/of bestaan goede mogelijkheden voor kwaliteitsverbetering. Het betreft veelal dezelfde habitattypen als bij de gebieden met grote potenties. Gezamenlijk zijn deze gebieden van belang voor de bijdrage aan de landelijke verbeterdoelen door in elk gebied afzonderlijk een bescheiden verbetering te realiseren. Deze veelheid aan terreinen is ook belangrijk in verband met regionale variatie.

Er is een groot hiaat in inzicht van potenties voor de heischrale graslanden en vermoedelijk ook voor veel soorten. Verder blijkt uit een evaluatie van herstelprojecten in natte schraallanden dat succes alleen optreedt in gebieden waar doelsoorten nog voorkomen (Jansen, 2000). Het ontbreken van zaadbanken van doelplantensoorten en een gebrekkige dispersie leggen grote beperkingen op aan het benutten van abiotische potenties.

Tabel 9: Natura 2000 gebieden met beekdal (gegevens LNV conceptdoelen december 2006). Legenda:  = Sense of Urgency voor maatregelen in verband met de dreiging van onherroepelijk verlies van natuurwaarden, **W** = Sense of Urgency voor maatregelen in de waterhuishouding (kwantiteit en kwaliteit); **B** = Sense of Urgency voor beheermaatregelen.

NR.	Natura 2000 gebied		
15	Van Oordt's Mersken	80	Groot Zandbrink  W
16	Wijnjeterper Schar  W+B	129	Ulvenhoutse Bos  W
21	Lieftinghsbroek	130	Langstraat
25	Drentse Aa gebied  B	132	Vlijmens Ven, Moerputten & Bossche Broek
27	Drents-Friese Wold & Leggelderveld	133	Kampina & Oisterwijkse Vennen
28	Elperstroomgebied  W	135	Kempenland-West
45	Springendal & Dal van de Mosbeek	136	Leenderbos, Groote Heide & De Plateaux
47	Achter de Voort, Agelerbroek & Voltherbroek	137	Strabrechtse Heide & Beuven
48	Lemselermaten  W	142	Sint Jansberg
49	Dinkelland	147	Leudal
52	Boddenbroek	148	Swalmdal
57	Veluwe	149	Meinweg
58	Landgoederen Brummen	150	Roerdal
59	Teeselinkven	153	Bunder- en Elsloërbos  W
60	Stelkampsveld	154	Geleenbeekdal  W
61	Korenburgerveen  W	155	Brunssummerheide
63	Bekendelle	157	Geuldal  W
65	Binnenveld  W	159	Sint Pietersberg & Jekerdal
69	Bruuk	161	Noordbeemden & Hoogbos

Tabel 10: Overzicht van Natura 2000 gebieden met zeer grote potenties voor hydrologisch herstel en waterafhankelijke habitatdoelen (gegevens LNV conceptdoelen december 2006). Een zeer grote potentie voor hydrologisch herstel betekent dat sterke uitbreiding van het oppervlak goed mogelijk is en plaatselijk verbetering van de kwaliteit goed mogelijk is. Legenda: ↑ uitbreiding oppervlak/ verbetering kwaliteit; = behoud.

NR.	Natura 2000 gebied	Habitat code	Gebiedsdoel oppervlakte	Gebiedsdoel kwaliteit
25	Drentse Aa gebied	H3260A	↑	↑
		H6410	↑	↑
		H7140A	↑	↑
		H7140B	↑	↑
		H91D0	↑	=
		H91E0C	↑	↑
28	Elperstroomgebied	H6410	↑	↑
		H7230	↑	↑
45	Springendal & Dal van de Mosbeek	H91E0C	↑	↑
48	Lemselermaten	H7230	↑	=
49	Dinkelland	H6410	↑	↑
57	Veluwe	H6410	↑	↑
		H91E0C	↑	↑
63	Bekendelle	H9160A	↑	↑
65	Binnenveld	H6410	↑	=
		H7140A	↑	=
		H7230	↑	↑
69	Bruuk	H6410	↑	↑
130	Langstraat	H6410	↑	↑
		H7140A	↑	↑
		H7230	↑	↑
135	Kempenland–West	H3260A	↑	↑
136	Leenderbos, Groote Heide & De Plateaux	H91D0	=	↑
154	Geleenbeekdal	H7230	↑	=
157	Geuldal	H3260A	↑	=
		H7230	↑	↑

Sense of Urgency-status van Natura 2000 gebieden

De uitwerking van Natura 2000 onderkent urgenties (sense of urgencies) met betrekking tot zogenaamde kernopgaven. Een kernopgave omschrijft voor een Natura 2000 gebied de verbeteropgave voor een samenhangend geheel van habitattypen en soorten in een landschappelijke context. Een deel van de kernopgaven in beekdalén is ook gericht op het creëren van een robuuster landschap ten behoeve van kwetsbare grondwaterafhankelijke habitattypen. Voor het wegnemen van een sense of urgency zijn binnen een termijn van tien jaar maatregelen nodig. Wanneer geen maatregelen worden getroffen kan onherroepelijk verlies optreden van de nog aanwezige habitattypen en soorten en ook van hun herstellpotenties. Sense of urgencies zijn onderscheiden voor wateropgave (knelpunten in de waterhuishouding inclusief chemische aspecten van water) en beheeropgave (beheer binnen de gebieden). In beekdalgebieden spelen relatief veel sense of urgencies voor water (acht Natura 2000 gebieden) in verband met verdroging, verzuring en eutrofiëring (tabel 9). In deze gebieden moeten dus snel maatregelen worden genomen in de waterhuishouding

(extern en intern). Dit zal vraagstukken opleveren enerzijds voor overlevingsstrategieën voor de korte termijn in gevallen waar maatregelen voor duurzaam herstel een langere termijn vergen en anderzijds voor duurzame herstelstrategieën voor de langere termijn.

7.1.4 Soortenbeleid

Het Nederlandse soortenbeleid op nationaal niveau bestaat uit passieve bescherming van soorten via wetgeving en de daarbij voorgeschreven beschermingsmaatregelen, maar ook uit actieve bescherming door uitvoering van (herstel)maatregelen, onderzoek, planvorming, voorlichting en educatie. In de afgelopen periode zijn in dit kader voor een aantal soorten Soortbeschermingsplannen gemaakt en geëvalueerd (Bankert et al. 2006). Soortbeschermingsplannen geven aandacht aan specifieke soorten, maar het aantal bedreigde soorten is te omvangrijk om voor iedere soort apart een plan te ontwikkelen. Tot op heden zijn er plannen voor 24 soorten (of soortgroepen) verschenen (Milieu en Natuur Planbureau (2008)). Om de eisen van de verschillende soorten beter op elkaar af te stemmen en een inpassing in het landschap mogelijk te maken is een nieuwe vorm van actief soortenbeleid in ontwikkeling: het leefgebiedplan. Per type leefgebied wordt beschreven hoe de karakteristieke bedreigde plant- en diersoorten actief kunnen worden beschermd door middel van beleid, maatregelen, ruimtelijke ontwikkelingen, kennisoverdracht en voorlichting. Voor deze benadering worden de meer dan 300 bedreigde soorten op grond van hun habitateisen ingedeeld in typen leefgebied. Als pilot zijn in 2007 de mogelijkheden verkend om de leefgebiedenbenadering toe te passen op laagveenmoerassen (Groot Bruinderink *et al.* 2007). Hiervoor zijn voor 63 soorten de (voor zover bekende) soortspecifieke knelpunten door experts in kaart gebracht. Vervolgens zijn aan elk knelpunt één of meer beheermaatregelen gekoppeld die moeten leiden tot het wegnemen van het knelpunt. Hierdoor is het mogelijk om voor een gebied beheermaatregelen te kiezen afhankelijk van de soort of van een groep van soorten en de knelpunten in het gebied. Door meerdere soorten in een gebied te analyseren wordt inzichtelijk in hoeverre soorten tegengesteld reageren of juist gezamenlijk kunnen profiteren van beheermaatregelen. In geval tegengestelde reacties van soorten op beheermaatregelen kan gekeken worden of ruimtelijke differentiatie in het beheer binnen één terrein een optie is. De uitwerking van de leefgebiedenbenadering moet bijdrage aan een integrale afstemming van het beheer op de eisen van faunasoorten in beekdalen.

7.2 Cultuurhistorie en landschap

Beekdalen zijn sinds de Middeleeuwen sterk veranderd zijn onder invloed van de mens. Deze lange cultuurhistorische ontwikkeling bepaalt momenteel in sterke mate de huidige verschijningsvorm van beekdalen. Beekdalen zijn daarmee ook belangrijke dragers van cultuurhistorische sporen. Dit preadvies heeft niet tot doel cultuurhistorie in beekdalen uitgebreid te behandelen. Hier wordt alleen aangegeven welke cultuurhistorische aspecten van belang zijn in relatie tot natuurherstel en -ontwikkeling in beekdalen.

Grofweg kunnen drie stromingen in de benadering van de cultuurhistorie worden onderscheiden (mondelijke mededeling T. Spek):

- Cultuurhistorie als 'strooigoed'. De aandacht ligt dan op fysieke cultuurhistorische objecten en patronen in het landschap en vooral op het converseren daarvan. Voorbeelden hiervan zijn de aandacht voor oude (inactieve) bevoeiingsstelsels en oude vervenings- en verkavelingspatronen. Herinrichting ten behoeve van natuurontwikkeling kan leiden tot het verdwijnen van cultuurhistorische objecten en patronen.
- Cultuurhistorie als wensbeeld. Een beeld van een vroegere periode dient als historische referentie voor de natuur en het landschap. Er is een sterke neiging om daarbij vooral terug te grijpen naar de periode 19^e/ begin 20^e eeuw: het kleinschalige cultuurlandschap dat door agrarisch gebruik is ontstaan. Bij herstel

van waterlopen in stroomgebieden wordt ook regelmatig uitgegaan van gegraven afwateringspatronen die stammen uit de 19^e eeuw.

- Cultuurhistorie als beschouwend historisch-ecologisch proces. Centraal staat de ontwikkeling van het landschap door veranderingen in abiotiek, biotiek en het landgebruik. De analyse van deze ontwikkeling kan plaatsvinden vanuit een brede range van disciplines en kan worden aangewend om inzicht te krijgen hoe het huidige landschap tot stand is gekomen en wat de betekenis daarvan is voor de toekomstige ontwikkeling en het na te streven referentiebeeld voor natuur en landschap. Het kan ook een sterke relativisering geven van het huidige landschapspatroon dat uit het verleden is overgeleverd. Momenteel is interdisciplinair onderzoek aan historisch-ecologische processen sterk in ontwikkeling. Een goed voorbeeld hiervan behandelt de ontwikkeling van het esdorpenlandschap in het Drentse Aa-gebied (Spek 2005). Een buitenlands voorbeeld over de ontwikkeling van meanderende beken in de oostelijke VS onder menselijke invloed wordt gegeven door Walter & Merriitts (2008). Brown (1997) geeft een analyse van de Holocene ontwikkeling van Europese beek- en rivierdalen onder invloed van geomorfologische processen, klimaatverandering en menselijke invloed.

Het landschap kan ook beschouwd worden aan zijn uiterlijke verschijningsvorm. Wassink (1999) heeft de ruimtelijke, visuele verschijningsvorm van het landschap in de Nederlandse beekdalen geanalyseerd. Deze analyse geeft een landelijk overzicht van het type patronen van verkaveling, de rangschikking van bospercelen en houtwallen en de regionale verspreiding van die typen. Deze typen betreffen landschapspatronen die zijn overgeleverd uit eind 19^e/ begin 20^e eeuw en transities die daarin zijn opgetreden door verandering in de landbouw en ruilverkavelingen in de 20^e eeuw. Deze transities hebben geleid tot convergentie naar één open type met een grove verkaveling. De door Wassink (1999) onderscheiden typen hebben geen of nauwelijks koppeling met de voor dit preadvies uitgewerkte hydro-ecologische beekdaltypen (bijlage 3) of met de ecosystemen en veel processen die van belang zijn voor de biodiversiteit. Zijn werk kan wel goed toegepast worden om bijvoorbeeld bij inrichtingsprojecten het aanwezige landschapspatroon te typeren en te waarderen.

Wanneer in beekdalen vooral patroonbeheer plaatsvindt, kan dit goed gecombineerd worden met behoud van het (verstilde) cultuurhistorische landschapspatroon. Wanneer (nieuwe) meer natuurlijke referenties worden nagestreefd of wordt teruggesproken naar oudere cultuurhistorische referenties, kan het huidige landschapspatroon sterk veranderen. In geval van concrete herinrichtingsprojecten of sterke verandering in beheer dienen cultuurhistorische aspecten in beeld te worden gebracht en de verwachte effecten op cultuurhistorische patronen en elementen te worden afgewogen tegen de natuurherstelambities en -potenties. Belangrijk daarbij is om niet alleen te kijken naar de aanwezigheid van de huidige patronen en elementen, maar ook hoe deze zich hebben ontwikkeld.

7.3 Landbouw

7.3.1 Geschiedenis

Agrarisch gebruik heeft sinds de middeleeuwen sterke invloed gehad op de ontwikkelingen in de beekdalen van het laagland. De beekdalen waren lange tijd relatief voedselrijke locaties in het zandlandschap waarvan de inrijgebieden zeer voedselarme zandbodems hadden mede door overexploitatie. In het heuvelland had de mens al voor de middeleeuwen sterke invloed op de beekdalen (Renes, 1988, 1993; Schaminee et al. 2008). De beekdalen waren belangrijk voor de levering van hooi als wintervoer voor het vee. In de 20^e eeuw treedt een sterke intensivering van de landbouw op. In de eerste helft van de 20^e eeuw wordt het mogelijk om met de invoering van kunstmest de heides op de hogere zandgronden te ontginnen voor de landbouw. Na de tweede wereldoorlog richtte het landbouwbeleid zich op een sterke

intensivering en schaalvergroting van de landbouw die gestimuleerd werd door EU-subsidies. In deze periode werd de ont- en afwatering van de beekdalen en hun omringende plateau's sterk verbeterd en werden ruilverkavelingen uitgevoerd.

Door toenemend mestgebruik, mede door de ontwikkeling van de bio-industrie, trad eutrofiëring in de beekdalen zelf en in het hele stroomgebied op. De opkomst van de bio-industrie, waarvoor veel veevoer wordt geïmporteerd, leidt tot sterke overbemesting in de zandgebieden waardoor het grond- en oppervlaktewater sterk is vervuild, landbouwgronden fosfaatverzaagd zijn geraakt en de landbouw een groot aandeel heeft in de atmosferische stikstof- en zuurdepositie. In de jaren '90 is beleid ontwikkeld om de overbemesting terug te dringen (paragraaf 7.3.2). Door het milieubeleid is ook vanaf de jaren '90 een afname van de atmosferische depositie opgetreden. De bio-industrie heeft nog steeds een groot aandeel in de totale atmosferische depositie. De kritische waarden voor stikstofdepositie van mesotrafente en oligotrafente natuurtypen wordt nog in veel beekdalen ver overschreden (Stichting Natuur & Milieu, 2004; Bal et al., 2007). Andere emissiebronnen (industrie en verkeer) hebben overigens ook een groot aandeel in de stikstofdepositie.

Economisch heeft de landbouw gedurende de periode vanaf de jaren '90 tot voor kort een minder goede positie gehad door het terugschroeven van subsidies en lage wereldmarktprijzen. Recent is er sprake van een trendbreuk omdat de wereldmarktprijzen aantrekken waardoor de vraag naar landbouwgrond toeneemt. De gronddruk in het landelijke gebied is daardoor hoog en de grondprijzen voor de verwerving van EHS gronden liggen daarom ook op een hoog niveau. De verwerving van EHS grond wordt hierdoor moeilijker. Overigens heeft de verwerving van EHS-grond maar een gering aandeel in de afname van landbouwgrond in Nederland. De schaalvergroting in de landbouw zet door waarbij het aantal agrariërs nog steeds afneemt en meermans bedrijfsboerderijen (geen gezinsbedrijven) opkomen. Nederland heeft een sterke melkveehouderij en bio-industrie voor vlees en eieren.

Zonder zware subsidies is de combinatie van landbouw met hoogwaardige natuur in beekdalen niet mogelijk. Door de uitstralingseffecten van ontwatering en atmosferische depositie zijn er veel problemen in de ruimtelijke combinatie van landbouw en natuur in beekdalen. Er is een trend waarbij boeren overstappen naar diensten (zoals recreatie en zorg) die weinig grond vergen. Deze ontwikkeling is in beekdalen lokaal inpasbaar met natuurherstel en -ontwikkeling.

7.3.2 Ontwikkeling van mestbeleid

De landbouw heeft vanaf haar ontstaan gekampt met het probleem om de bodemvruchtbaarheid op peil te houden. De omgang met het mineralentekort heeft op de arme zandgronden met hun beekdalen lange tijd de economie en het aanzien van het landschap bepaald. Met de uitvinding van de kunstmest begon dat te veranderen en met de import van veevoer van over zee voor de bio-industrie ontstonden vanaf de jaren zestig van de 20^e eeuw overschotten aan meststoffen. De laatste jaren komt in Nederland 90% van de aangevoerde stikstof en 85% van de aangevoerde fosfaat terecht op landbouwgrond in de vorm van mest en kunstmest (Milieu en Natuur Planbureau 2008). Landbouw heeft dus een zeer groot effect op de nutriëntenhuishouding van beekdalen. Vooral door de intensieve veehouderij bestaat in Nederland een onbalans tussen de beschikbare hoeveelheid (nutriënten) mest en het landbouwareaal dat deze nutriënten zou moeten ontvangen. In principe is de Nederlandse bodem al oververzadigd met fosfaat en stikstof. Hierdoor vindt er op grote schaal via het grond- en oppervlaktewater uitspoeling en afvoer van nutriënten uit de landbouwgebieden naar de omgeving plaats. Door uit- en afspoeling komt ca. 5 % van de door de landbouw aangevoerde stikstof en ca. 2-3% van de door de landbouw aangevoerde fosfaat terecht in het oppervlaktewater (Milieu en Natuur Planbureau 2008). Uit grondanalyses, uitgevoerd in de jaren 1992-1998, is afgeleid dat 56% van het areaal landbouwgrond als fosfaatverzaagd beschouwd kan worden. Daarvan komt 6,5 mln hectare voor op de hogere zandgronden (Milieu en Natuur Planbureau 2008). In de jaren '80 traden zeer hoge nitraatgehaltes op in het bovenste grondwater. Sinds 1994 is de gemiddelde concentratie in het bovenste grondwater

onder landbouwgebied op de hogere zandgronden afgenomen en bedroeg deze in 2006 75 mg NO₃⁻/l (Milieu en Natuur Planbureau 2008).

In 2004 is de Meststoffenwet en het daaraan gerelateerde Besluit gebruik meststoffen aangepast. Het belangrijkste element van deze aanpassing is het vervangen van de verliesnormen volgens het mineralen aangiftesysteem (MINAS) door een stelsel van gebruiksnormen voor organische en anorganische meststoffen. In een verkenning van de gevolgen van het sinds 2006 vigerende nieuwe mestbeleid, worden door Willems et al. (2005) ten aanzien van de nitraatdoelstelling de volgende conclusies getrokken. In 2009 zal de nitraatconcentratie in het grondwater in het totale Nederlandse zandgebied, na correctie voor de weersinvloeden op nitraatgehalten, nog rond de 70 mg/l liggen als gevolg van na-ijleffecten in de bodem. In de periode daarna (2010-2015) zal de concentratie de doelstelling van 50 mg/l benaderen. Naar verwachting zal in het zuidelijke zandgebied de nitraatnorm echter ook na 2009 nog aanzienlijk worden overschreden (gemiddeld ca. 80 mg/l).

De evenwichtsbemesting voor fosfaat komt op basis van de indicatieve fosfaatsnormen van 2015 binnen bereik. Uitgaande van de definitie van evenwichtsbemesting 'gift = onttrekking + onvermijdelijk verlies', liggen de berekende fosfaatoverschotten of 'verliezen' (3-6 kg/ha) binnen de range van in de praktijk optredende 'onvermijdelijke' verliezen bij een 'voldoende' tot 'ruim voldoende' fosfaattoestand van de bodem. Toepassen van evenwichtsbemesting doet geen recht aan gronden die rijk zijn aan fosfaat (fosfaattoestand 'hoog'). Hier zou de gift moeten worden afgestemd op de fosfaattoestand van de bodem. In situaties met een hoge P toestand kan volgens de bemestingsadviezen iedere fosfaatbemesting achterwege blijven (Willems et al. 2005). Op landelijke schaal komt de ophoping van fosfaat in landbouwgronden in de toekomst vrijwel tot stilstand, als rekening wordt gehouden met af- en uitspoeling naar oppervlaktewater. Omdat er tot 2015 nog steeds meer fosfaat wordt gegeven dan er via het geoogste gewas wordt afgevoerd, zal pas op lange termijn een vermindering van de fosfaatverzadiging van de bodem verwacht kunnen worden (Milieu en Natuur Planbureau 2008).

Voor de belasting van het oppervlaktewater is de winst van het nieuwe mestbeleid beperkt. Het nieuwe mestbeleid verlaagt de belasting van het oppervlaktewater met stikstof en fosfor ten opzichte van medio jaren '80 met ca. 32% (stikstof) en circa 13% (fosfor) (Willems et al. 2005). Beekdaltrajecten met veel landbouwgrond in het bovenstrooms gelegen gebied zullen daarom nog steeds eutrofiëren via het oppervlaktewater. Dit houdt in dat zonder aanvullende maatregelen of gewijzigd beleid ook in de toekomst de nitraatbelasting van het oppervlaktewater en grondwater aanzienlijk zal blijven. De Europese nitraatrichtlijn (de beleidsdoelstelling) zal wellicht met pijn en moeite worden gehaald maar de nitraatconcentraties in het grondwater zullen niet ver dalen onder deze waarde van 50 mg NO₃⁻/l. Vanuit een ecologisch standpunt bekeken is de norm van 50 mg NO₃⁻/l nog steeds te hoog mede door de effecten van nitraat op verhoogde sulfaatconcentraties (paragraaf 4.4.2) en vereist voor veel beekdalgebieden grotere bufferzones. Nitraatbelasting van het grondwater zal voorlopig direct en indirect een significante negatieve invloed blijven hebben op de chemie van grondwatergevoede ecosystemen waarvan het inrijgebied in landbouwkundig gebruik is. De nitraatbelasting van het inrijgebied en de geochemische eigenschappen van het watervoerende pakket en de bodem in het kwelgebied zijn uiteindelijk bepalend voor het effect in het kwelgebied (paragraaf 4.4.2).

Geconcludeerd kan worden dat de ontwikkeling van het mestbeleid en de mate waarin bufferzones worden gerealiseerd, in sterke mate bepalen in hoeverre voedselarme ecosystemen in beekdalen en beken kunnen worden ontwikkeld.

7.4 Waterbeheer

7.4.1 Verdroging en bestrijding van verdroging

Vanaf de middeleeuwen is al veel ingrepen in de af- en ontwatering ten behoeve van agrarisch gebruik. Waarschijnlijk werd al vroeg de afwatering van natte gebieden en laagtes verbeterd. Ingrepen in waterlopen waren niet alleen gericht op drooglegging maar vaak ook op de waterkwaliteit. Veel beekdalen werden bevoeid met basenrijk en/of slibrijk water ten behoeve van het verhogen van de productie en de kwaliteit van het hooi uit hooilanden. Daarnaast werden kwel- en oppervlaktewater geconcentreerd in waterlopen ten behoeve van watermolens, scheepvaart en bevoeiing. In de 20^e eeuw vond een sterke intensivering van de ontwatering plaats en werden meanderende beken gekanaliseerd en genormaliseerd in één of twee ronden van ruilverkavelingen. Slechts ca. 4% van de beken is niet gekanaliseerd of genormaliseerd (Milieu en Natuur Planbureau 2008). Nieuwe diepe waterschapsleidingen en omleidingen van beken zorgde ook voor sterke verdroging.

In de jaren '70 en '80 groeit het besef dat verdroging een groot milieuprobleem is en terrestrische ecosystemen in beekdalen afhankelijk zijn van grondwatervoeding (onder andere Both & Van Wirdum 1981, Grootjans 1985, Everts & De Vries 1991). In eerste instantie werd de oplossing van de verdrogingsproblematiek gezocht in interne maatregelen in de natuurgebieden. Vaak bleek dat naast interne maatregelen ingrepen in de waterhuishouding buiten de natuurreservaten belangrijk zijn en dat het nemen van uitsluitend interne maatregelen alleen regenwater vasthoudt en daardoor de verzuring versterkt die door verdroging was ingezet. In de jaren '90 komt beleid voor verdrogingsbestrijding van de grond. Het Rijk stelt een generiek doel om de verdroging met 25% terug te dringen. De provincies en waterschappen voeren het beleid via diverse regelingen uit. Dit verdrogingsbeleid richt zich daarbij vrij snel op het herstel van het waterregime en de waterkwaliteit van gelokaliseerde natuurdoelen. In de beginfase van dit beleid werden vooral gebieden aangepakt waar lokale maatregelen mogelijk zijn zonder grote gevolgen voor landbouw en bebouwing. De aanpak van de verdroging in beekdalen waar de oorzaken in het omringende landbouwgebied liggen, stagneert daardoor in belangrijke mate. Volgens een landelijke evaluatie (Van der Hoek et al. 2008) is in de periode 1990-2005 in 3% van het verdroogd gebied volledig herstel opgetreden en in 17 % gedeeltelijk herstel. Het herstel is vooral in de heidegebieden opgetreden en het herstel van grote eenheden loopt relatief achter bij het herstel van kleine gebieden. De achterliggende oorzaken zijn: de noodzakelijke betrokkenheid van meerdere actoren, het ontbreken van een duidelijke regievoerder, vrijblijvendheid bij grondverwerving voor natuurherstel en -ontwikkeling en een te weinig gebiedsgerichte insteek (Taskforce Verdroging 2006). Veelal bemoeilijken conflicterende belangen het vinden van oplossingen.

Het advies van de Taskforce Verdroging (2006) vormt de aanleiding om het generieke landelijk doel voor verdrogingsbestrijding om te buigen naar een gebiedgerichte aanpak van de verdroging. Daartoe zijn in 2007 topgebieden aangewezen waar verdrogingsbestrijding prioriteit heeft. Inmiddels zijn de topgebieden geselecteerd; daarbij zitten veel beekdalgebieden en de meeste van de Natura 2000 gebieden met een verdrogingsproblematiek (zie paragraaf 7.1.3 en figuur 17). De topgebieden omvatten ca. 40% van het verdroogde areaal in Nederland (nulmeting 2006) en 75% van het verdroogde areaal in Natura 2000 gebieden. Volgens de provincies wordt de verdroging in de topgebieden niet volledig maar voor 80% hersteld (PBL 2008). Enkele beekdalgebieden met een sterke verdrogingsproblematiek ontbreken op de toplist (bijvoorbeeld het Korenburgerveen). De komende jaren is extra budget gereserveerd voor het uitvoeren van maatregelen in de topgebieden. De uitvoering en de regie is gedelegeerd aan de provincies en wordt gefinancierd met ILG en aanvullend budget. Voor het herstel van verdroogde beekdalen is al met al nog een lange weg te gaan.



Foto 21: Een ontwaterende sloot vlak langs een natuurreservaat met broekbos. Verdroging is één van de grootste milieuknelpunten in beekdalen. Maatregelen tegen verdroging moeten vaak genomen worden buiten bestaande natuurreservaten en vergen vaak ook grondverwerving, inrichting van de EHS en herbegrenzing van de EHS. Door stagnatie in gebiedsontwikkeling verloopt aanpak van de verdroging in beekdalen traag (foto Camiel Aggenbach).

Met het inzetten van het nieuwe waterbeleid met het programma WB21 (zie paragraaf 7.4.2) wordt ondertussen ook gewerkt het Gewenste Grond- en Oppervlaktewater Regime (GGOR). Hier mee worden het grondwater- en oppervlaktewaterpeil in gebieden afgestemd op de functies natuur, landbouw en bebouwing. De provincies stellen de kaders voor het GGOR op en de waterschappen stellen in de periode 2005–2010 het GGOR op in nauwe samenwerking met gemeenten, de grondwaterbeheerders en belanghebbenden. Het GGOR ook wordt ingezet voor het formuleren van maatregelen voor het bereiken van de instandhoudingsdoelen van de Natura 2000 gebieden met grondwaterafhankelijke natuur en voor het bereiken van de goede toestand voor grondwaterkwantiteit voor grondwaterlichamen van de KWR. Deze maatregelen vallen onder de Kaderrichtlijn Water en moeten dus deel uitmaken van het stroomgebiedbeheersplan (Ministerie van V&W 2005). De waterschappen stellen voor medio 2007 concept-GGOR's op voor de geselecteerde verdroogde natuurgebieden van de lijst van topgebieden die voor 2015 worden aangepakt. Enkele waterschappen hebben aangegeven deze planning niet te kunnen halen (Ministerie van V&W 2006). Het vaststellen van het GGOR gebeurt in 2008–2009 als onderdeel van het opstellen van de waterbeheersplannen (Ministerie van V&W 2005).

7.4.2 Wateroverlast

WB21

Voor de verbetering van de waterhuishouding is eind jaren '90 het programma Waterbeheer 21e eeuw (WB21) ingezet. Dit nieuwe waterbeleid is gericht op een duurzaam en klimaatbestendig waterbeheer op stroomgebiedniveau. Het programma WB21 omvat alle kwantitatieve aspecten van het waterbeheer (regionale en stedelijke wateroverlast, watertekort, grondwaterkwantiteit) met uitzondering van de bescherming tegen hoogwater in grote rivieren en zee. De doelen zijn (Ministerie van V&W 2005):

- het tegengaan van wateroverlast in de regionale watersystemen en het hoofdsysteem;
- het tegengaan van wateroverlast in stedelijke gebieden;
- het waarborgen van voldoende af- en aanvoercapaciteit in de waterlopen;
- het voorkomen van afwenteling van knelpunten van regionale watersystemen naar het hoofdsysteem en omgekeerd;
- het voorkomen van watertekorten;
- een afgewogen beheer van grondwaterstanden en oppervlaktewaterpeilen voor de functies natuur, landbouw en bebouwing.

In deze paragraaf worden alleen de gevolgen van het tegengaan van wateroverlast in de regionale watersystemen besproken omdat deze van grote invloed zijn op beekdalen. Verandering van stedelijk waterbeheer is ook van belang voor beekdalen in stroomgebieden met veel bebouwd areaal maar de stedelijke wateropgave is nog weinig uitgekristalliseerd (MNP 2006). Verandering in het beheer van waterpeilen komt aan de orde in paragraaf 7.4.2 over verdroging.

Rekening houden met klimaatverandering

Een belangrijk uitgangspunt bij de herinrichting van de waterhuishouding is dat deze moet zijn afgestemd op de te verwachten klimaatverandering. In 2006 gingen de meeste waterschappen uit van een klimaatscenario met 10% toename van de neerslagintensiteit (tiendaagse som van de neerslag) behorend bij het middenscenario 2050. Deze keuze lijkt op basis van de recente klimaatscenario's van het KNMI (Van den Hurk et al., 2006) veilig voor de toename van neerslagintensiteit in de winterperiode, maar zit aan de lage kant voor de toename van neerslagintensiteit en watertekorten in de zomerperiode. De neerslagintensiteit is een gevoelige parameter voor de dimensionering van de afwatering (MNP 2006). Nieuwe klimaatscenario's kunnen daarom leiden tot een grotere wateropgave en het ministerie van V&W houdt daarom voorlopig ruimtelijke claims op grootschalige bergingsgebieden aan (Ministerie van V&W 2006).

WB21-maatregelen

Het uitgangspunt van WB21 voor maatregelen tegen wateroverlast is de reeks water vasthouden, dan bergen en dan afvoeren (Ministerie van V&W 2005). Het Ministerie van V&W (2005) noemt de volgende maatregelen die relevant zijn in beekdalen relevant:

- voor vasthouden: beekherstel, antiverdroging, water langer vasthouden;
- voor bergen: aanleg en inrichting van retentiegebieden voor piekberging;
- voor afvoeren: vergroten af- en aanvoercapaciteit van duikers en waterlopen (dwarsprofiel).

Beekherstel draagt bij aan het water vasthouden wanneer de stroomsnelheid wordt vertraagd door een kleiner verval of door een grotere weerstand van het stroombed (meer berging in beek zelf). Antiverdrogingsmaatregelen zorgen alleen voor maatregelen die de afwatering verminderen door lagere afvoerpieken. Delen van het stroomgebied moeten dan niet meer kunnen afwateren bij neerslagpieken. Vermindering van ontwatering waarbij gebieden vernatten, leidt juist tot grotere afvoerpieken (zie paragraaf 4.2.5). In landbouwgebieden kan water worden vastgehouden door tijdelijke inundatie in percelen en tijdelijke berging in het ontwateringsstelsel.

Volgens een landelijke inventarisatie van de Unie van Waterschappen heeft 49% van de projecten een doelstelling heeft gericht op het vasthouden, 32% op het bergen en 19% op het afvoeren van water. Er wordt 11.000 hectare aan extra bergingscapaciteit gecreëerd en de afvoercapaciteit wordt met 14.000 m³ per minuut uitgebreid (Ministerie van V&W 2005). Volgens een audit door het Milieu en Natuur Planbureau wordt de opgave voor wateroverlast voor 80% met bergen opgelost. De rest van de wateropgave is verdeeld over vasthouden en afvoeren. De waterschappen hebben daarbij de intentie zoveel mogelijk kleinschalig te bergen in combinatie met andere doelen (MNP 2006). Recentere inzichten over de uitwerking van de maatregelen tegen

wateroverlast waren voor dit preadvies nog niet in toegankelijke vorm beschikbaar omdat de voortgangsmeting van WB21 in december 2008 is gepland. Eind 2009 vindt per landelijk en stedelijk gebied besluitvorming plaats over de gebiedsnorm voor wateroverlast en de bijbehorende maatregelen. Gemeenten en waterschappen gaan een inspanningsverplichting aan om de maatregelen conform de afspraak te realiseren. De regionale maatregelen leggen waterschappen vast in waterbeheerplannen (Ministerie van V&W 2006). Hoewel de keuzes van maatregelen nog in veel gevallen gemaakt moeten worden, is duidelijk dat beekdalen door de uitvoering van WB21 sterk beïnvloed zullen worden door herprofilering van beken en door waterberging die bij piekafvoeren tot overstromingen met beekwater leidt.

Waterberging in beekdalen

Bij de regionale ruimtelijke uitwerking van maatregelen worden waterbergingsgebieden vaak gepland in bestaande natuurgebieden of nog te ontwikkelen EHS-gronden in beekdalen. Het landelijke beleid gaat er van uit dat waterberging leidt tot verbetering van de ecologische en landschappelijke kwaliteit (Ministerie van V&W 2006). Het creëren van bergingsgebieden in beekdalen kan bijdragen aan het herstel van overstromingsafhankelijke ecosystemen en soorten. Projecten voor waterberging in beekdalen worden echter bemoeilijkt omdat overstroming negatieve effecten kan hebben op natuur. Problematisch daarbij is dat het te bergen oppervlaktewater veel meer nutriënten bevat dan vroeger, waardoor bij overstroming ook veel meer nutriënten dan vroeger kunnen worden aangevoerd. Het voorkomen en de ontwikkelpotenties van voedselarme ecosystemen in beekdalen kunnen hierdoor worden aangetast. Ook kunnen ecosystemen van voedselarme omstandigheden en inundatiegevoelige soorten door verdroging en verzuring de lage delen van het beekdal hebben ingenomen, waar nu ook waterbergingsgebied wordt gepland. Over de effecten van waterberging op ecosystemen en soorten in beekdalen is nog veel onbekend, waardoor de afstemming van opgaven voor waterberging en die voor behoud en herstel van natuur in beekdalen nauwelijks op ecologisch vlak inhoudelijk is te onderbouwen.

Beekherstel

(zie voor uitgebreidere bespreking beekherstel paragraaf 7.4.5)

In de Decemhernota van 2006 wordt beekherstel als een belangrijke maatregel tegen wateroverlast in regionale watersystemen genoemd. De geplande maatregelen van de waterschappen voor beekherstel bevatten ca. 2000 kilometer beek. Beekherstel heeft daarbij ook effect op vismigratie, flora en fauna, natuurbeleving en verbetering van de Ecologische Hoofdstructuur (EHS) en wordt ook als structurele maatregel voor ecologisch herstel van beken ingezet (Ministerie van V&W 2006). Uit een recente enquête onder regionale beheerders blijkt dat door een beperkte monitoring van de effecten voor én na de uitvoering van de maatregelen weinig zicht is op de effectiviteit van de uitgevoerde beekherstelmaatregelen voor ecologisch herstel (Verdonschot et al. 2009; zie paragraaf 7.4.5).

7.4.3 Kwaliteit oppervlaktewater

Voor oppervlaktewater worden MTR-normen (Maximaal Toelaatbaar Risiconiveau) aangehouden die ontwikkeld zijn voor stagnante wateren. De zomergemiddelden mogen de waarden 0,15 mg/l totaal-fosfor en 2,2 mg/l totaal-stikstof niet overschrijden. Voor beekwater zijn geen aparte normen voor het milieubeleid ontwikkeld. De rol van nutriënten in beken is slecht bekend en grenswaarden zijn alleen op beschrijvende basis met data van de laatste decennia bepaald terwijl referentiewaarden van de niet of weinig vervuilde toestand veelal ontbreken. De MTR-normen voor stikstof en fosfaat voor oppervlaktewater zijn te ruim voor het halen van ecologische doelen in de beken en zijn niet gebaseerd op effecten in overstroomde beekdaltrajecten.

De belasting van beken met nutriënten is gedurende de 20e eeuw hoog worden. Door milieubeleid dat vanaf de jaren '60/'70 tot ontwikkeling kwam is de nutriënten belasting afgenomen. Tussen 1990 en 2006 is de fosfaatbelasting afgenomen met 60%

bij stikstof en 29% bij fosfaat. Deze laatste vermindering kan hoofdzakelijk worden toegeschreven aan een sterke vermindering van de belasting vanuit de landbouw en lozingen door riolering en waterzuiveringsinstallaties. De stikstofbelasting van het oppervlaktewater in Nederland vond in 2006 vooral plaats door landbouw (53%), lozingen door riolering en waterzuiveringen (23%) en atmosferische depositie (18%). Atmosferische depositie komt terecht in het oppervlaktewater door afspoeling naar het rioolstelsel (stedelijke gebied) en door uit- en afspoeling van bodems. Aan de fosfaatbelasting leveren landbouw (50%) en lozingen door riolering en waterzuiveringen (43%) het merendeel (Milieu en Natuur Planbureau 2008). Maatregelen voor vermindering van de nutriëntenbelasting op het oppervlaktewater moeten dus gezocht worden in vermindering van bemesting van landbouwgronden, vermindering van de uit- en afspoeling van meststoffen en verbetering van rioolwaterzuiveringen. Tussen stroomgebieden van beekdalen kan het aandeel in de nutriëntenbelasting sterk verschillen door verschillen in het oppervlakte-aandeel landbouwgebied en de ligging van rioolwaterzuiveringen.

Volgens de ex ante evaluatie van de KRW (PBL 2008) leiden het voorgenomen mestbeleid, de verwachte verbetering van rioolwaterzuiveringen en de regionale maatregelpakketten tot een geringe verbetering van de fosfaatconcentraties in de regionale wateren. In 2027 zou in 50% van de beken voor fosfaat een 'goed' niveau worden behaald. Voor stikstofconcentraties wordt in beken wel een duidelijke verbetering verwacht (70% 'goed' in 2027). De reden voor de beperkte verbetering is dat de toevoer van meststoffen uit de landbouw nog hoog blijft (paragraaf 7.3.2) en een vergaande verhoging van het verwijderingsrendement van rioolwaterzuiveringen niet wordt uitgevoerd wegens de hoge kosten. Momenteel liggen de zuiveringsrendementen voor stikstof en fosfaat gemiddeld op ca. 80 % (Milieu en Natuur Planbureau 2008). Een extra verbetering in het kader van de KWR bovenop de reeds geplande verbeteringen van de zuiveringsrendementen wordt vaak gezien niet als een kosteneffectieve maatregel (zie o.a. RBO, 2008). In kleinere deelstroomgebieden met een hoog aandeel van lozing door rioolzuivering op de nutriëntenbelasting kan verbetering echter veel bijdragen.

7.4.4 Kaderrichtlijn Water

Het doel van de Kaderrichtlijn water (KRW) is het geven van een kader voor:

- het behoud en herstel van aquatische ecosystemen en (semi)terrestrische ecosystemen die afhankelijk zijn van oppervlaktewatersystemen;
- het bevorderen van een duurzaam gebruik van water door bescherming van de beschikbare waterbronnen op lange termijn;
- de vermindering van de uitstoot van gevaarlijke stoffen naar watersystemen;
- het verminderen van de gevolgen van overstromingen en droogteperioden zodat voldoende oppervlaktewater en grondwater met goede kwaliteit beschikbaar zijn voor een duurzaam, evenwichtig en billijk gebruik van water.

De KWR beslaat dus het gehele watersysteem: oppervlaktewater en grondwater, van bron tot zee, zoet en zout. De chemische kwaliteit van het oppervlaktewater is vastgelegd in normen voor prioritaire stoffen en zwarte-lijststoffen die in eerdere EU-richtlijnen zijn vastgesteld. Voor de ecologische kwaliteit van oppervlaktewatersystemen zijn de toestand van algen, aquatische macrofyten, macrofauna en vissen bepalend. De nutriëntenniveaus (fosfaat en stikstof) worden afgeleid uit doelen voor de genoemde soortgroepen. De ecologische doelen en de nutriëntenniveaus voor Rijkswateren worden op nationaal niveau vastgesteld. Die van de regionale wateren, waaronder beken en grondwater van de beekdalen, stellen de provincies vast. De kwaliteit van grondwater dient te worden afgemeten aan stoffen die bepalend zijn voor het gebruik van grondwater als bron voor drinkwater en stoffen met een nadelig ecologisch effect. De planning van de KRW is als volgt: 2009 vaststellen stroomgebiedbeheerplannen met doelstellingen en maatregelen, 2015 doelrealisatie ecologische kwaliteit wat vanuit de regelgeving een harde eis is voor de KRW beschermde gebieden (Natura 2000 gebieden en andere natuurgebieden).

Wanneer het realiseren van doelen technisch niet uitvoerbaar of onevenredig kostbaar zijn, is fasering van doelrealisatie mogelijk tot het jaar 2027.

In Nederland worden stroomgebiedbeheerplannen voor de stroomgebieden Eems, Rijn-Oost, Rijn-West, en Rijn-midden, Maas en Schelde uitgewerkt. Hierin worden de doelen en de maatregelen voor de eerste periode (2009-2015) vastgelegd. Binnen de stroomgebieden worden oppervlaktewaterlichamen en grondwaterlichamen onderscheiden. Voor de oppervlaktewaterlichamen zijn watertypen uitgewerkt en worden per waterlichaam doelen voor fysische en ecologische parameters opgesteld. Er wordt één watertype toegekend aan doorgaans grote oppervlaktewaterlichamen. Veelal zijn oppervlaktewaterlichamen toegekend voor de grote wateren en grote waterlopen. Het al dan niet begrenzen van kleinere beken (bovenlopen en bronnen) als oppervlaktewaterlichamen verschilt per regio. In diverse regio's zijn zulke beektrajecten in het watertype midden- en benedenlopen (R5) ondergebracht. De begrenzing en definitie van oppervlaktewaterlichamen en watertype sluiten oppervlaktewaterafhankelijke (semi)terrestrische ecosystemen uit. Grondwaterlichamen zijn vastgesteld voor grote ruimtelijke eenheden. In Rijn-Oost zijn deze bijvoorbeeld onderscheiden op basis van de geohydrologische opbouw (wel of geen slecht-doorlatende deklaag) (RBO Rijn-Oost, 2008).

In de praktijk worden ecologische en chemische doelen bottom-up bepaald. Tot deze aanpak is binnen de EU besloten nadat een top-down methode (eerst doelen kiezen en dan kijken welke maatregelen daarvoor nodig zijn) als moeilijk werkbaar werd ervaren door de lidstaten. Bij de bottom-up methode staan de mogelijk geachte maatregelen voorop. Daarbij wordt op basis van de ecologische effecten van de gekozen maatregelen het Goed Ecologisch Potentieel (GEP) bepaald. Fasering van maatregelen en eventuele doelverlaging (onthefing) leiden tot een daarvan afgeleide doelstelling voor 2015 (PBL 2008).

Voor nutriënten in oppervlaktewateren worden momenteel 'werknormen' voorgeschreven voor de Goede Ecologische Toestand (GET) door het Landelijk Bestuurlijk Overleg Water. Voor de afleiding van nutriëntennormen voor de verschillende oppervlaktewaterlichamen wordt aanbevolen de GET-waarde van dat nutriënt te hanteren dat voor het waterlichaam het meest bepalend is. Voor beken wordt fosfaat doorgaans als het meest bepalende nutriënt beschouwd. De GET-waarden kunnen worden overgenomen of als vertrekpunt voor het GEP van specifieke oppervlaktewaterlichamen worden gebruikt (PBL 2008). In tabel 11 staan de voorgestelde GET-waarden voor beken en kleine rivieren. Ten opzichte van de voor beken veelal gehanteerde MTR-waarden (zie paragraaf 7.4.3) is de GET-waarde een verruiming van de stikstofnorm en een lichte aanscherping voor de fosfaatsnorm. Voor de verwachte effecten van voorgenomen KRW-maatregelen en andere maatregelen op de nutriëntengehalten in beken wordt verwezen naar paragraaf 7.4.3. Omdat de fosfaatconcentraties weinig afnemen, zal de verbetering van fytoplankton in beken gering zijn (PBL 2008). De bijdrage van KRW-maatregelen aan de verbetering van de waterkwaliteit van beken is gering ten opzichte van de effecten van reeds voorgenomen beleid waarin al veel verbeteringen van rioolwaterzuiveringen zijn opgenomen (PBL 2008). Verder wordt aangenomen dat verbetering van de waterkwaliteit in beken meer ecologisch effect heeft wanneer de morfologie en morfodynamiek van de stroombedding wordt verbeterd (PBL 2008).

Tabel 11: Werknormen voor GET-waarden in beken en kleine rivieren (Brink et al. 2007). Ter vergelijking zijn ook de bestaande MTR-normen weergegeven.

	Stikstof (mg N/l)	Fosfor (mg P/l)
GET	≤2,5/ ≤4,0	≤0,12/ 0,14
MTR	2,2	0,15

Voor beken zullen met het voorgenomen beleid en de geplande KRW-maatregelen veel beekherstelmaatregelen (hermeandering, natuurvriendelijke oevers) worden uitgevoerd (zie paragraaf 7.4.2 en 7.4.5). Voor de soortgroepen macrofauna, macrofyten en vissen levert dat een sterke verbetering van de ecologische kwaliteit

op. Hoewel het aandeel van beken met een goede toestand voor deze soortgroepen in geringe mate toeneemt (<5% tot ca. 20%), neemt het aandeel van beken met een ontoereikende toestand sterk af (kwalificatie toestand op basis van KRW-maatlatten). Voor vissen levert ook de aanleg van vispassages een bijdrage tot verbetering (PBL 2008).

De doelen voor de grondwaterkwaliteit worden gesteld en getoetst voor middeldiep grondwater (10 m onder maaiveld) en diep grondwater (25 m onder maaiveld). De normering van de grondwaterkwaliteit is nog in beweging mede door het van kracht worden van de Grondwaterrichtlijn van de EU (2006) die specificaties geeft voor de manier waarop een goede chemische toestand van het grondwater moet worden bepaald (PBL 2008). Betreffende richtlijn koppelt de goede chemische toestand van grondwater aan de doelen voor aquatische en terrestrische ecosystemen en menselijk gebruik van grondwater. Doelen voor de chemische parameters van grondwaterlichamen lijken in de praktijk alleen te worden uitgewerkt ten behoeve van de functie voor de winning van grondwater voor waterbedrijven en voedingsindustrie (zie bijvoorbeeld RBO Rijn-Oost, 2008). Omdat niet getoetst wordt op kwaliteit van het ondiepe grondwater (< 10 m) kan de kwaliteit van aquatische en grondwaterafhankelijke terrestrische ecosystemen onvoldoende worden gewaarborgd. Overschrijdingen van de nitraatnorm treden bijvoorbeeld eerder op in het ondiepe grondwater dan in het diepere grondwater (Meinardi 2008). Normering op sulfaat - een stof met grote invloed op kwelafhankelijke terrestrische ecosystemen in beekdalen (paragraaf 4.4.2) - vindt niet plaats. Drempelwaarden voor stikstof die bij overschrijding als waarschuwing gelden (zijn dus geen norm) zijn in het zandgebied van de Maas gesteld op 2,2 mg N/l voor totaal stikstof en op 0,15 mg P/l voor totaal fosfor (Brink et al., 2007).

De KWR dient afgestemd te worden op de natuurgebieden die zijn opgenomen in het register beschermde gebieden, waaronder de Natura 2000 gebieden en topgebieden voor verdrogingbestrijding vallen. Volgens de bepalingen in de KWR en jurisprudentie dienen de watervereisten van Natura 2000 gebieden voor verdrogingbestrijding worden gerealiseerd in 2015 en is uitstel hiervan nauwelijks mogelijk (Veltman 2007). In 2007 is de realisatietermijn door Nederland beperkt tot de waterkwaliteit in de 30 Natura 2000 gebieden waarvoor een sense of urgency geldt (Ministerie van LVN 2007). In de overige Natura 2000-gebieden en de topgebieden zouden de watervereisten pas op termijn op orde hoeven te komen. Provincies en waterschappen signaleren dat niet de realisatie van maatregelen een probleem is maar het tempo (PBL 2008). Onder de sense of urgency gebieden bevinden zich acht beekdalgebieden met urgente wateropgaven. Bij de uitwerking van de stroomgebiedbeheerplannen lijkt weinig aandacht te zijn voor gebiedsspecifieke relaties tussen de waterhuishouding en de natuurgebieden (Streefkerk, 2008).

7.4.5 Beekherstel

Voor beken worden sinds de jaren '90 herstelprojecten uitgevoerd ten einde de ecologische verarming in beken als gevolg van normalisatie en kanalisatie terug te draaien. In 2008 is in navolging van de beekherstel-enquêtes 1993 (periode voor 1993), 1998 (periode 1993-1998) en 2003 (periode voor 1999-2003), een nieuwe enquête uitgevoerd voor de periode 2004-2008 (Verdonschot et al. 2009). Deze laatste enquête beschouwd niet alleen het beekherstel op zich maar ook de koppeling daarvan met andere herstelmaatregelen in beekdalen. In deze paragraaf zijn de resultaten samengevat. De enquête is opgebouwd uit een aantal rubrieken die betrekking hebben op beekdaltype en -traject, aanleiding, doelen, genomen maatregelen, monitoring en evaluatie. De enquête is uitgevoerd onder 30 instanties in het Pleistocene deel van Nederland. Deze instantie zijn de regionale waterbeheerders, de regio's van Staatsbosbeheer, de regio's van Dienst Landelijk Gebied, Natuurmonumenten en de Provinciale Landschappen. De resultaten van de enquête zijn conform de voorgaande enquêtes geanalyseerd.

In totaal zijn 179 projecten gemeld die in de periode 2004-2008 in ontwikkeling zijn, worden uitgevoerd of zijn afgesloten. Het gemiddeld aantal projecten per jaar is ten

opzichte van de voorgaande perioden (1993-1998 en 1999-2003) vrijwel gelijk gebleven. In voorgaande perioden is het grootste gedeelte van de beekherstelprojecten uitgevoerd in boven- en middenlopen. In de periode 2004-2008 is het aandeel van herstelprojecten in middenlopen is toegenomen tot 50% van het totaal aantal projecten en het aandeel van herstelprojecten in bovenlopen is afgenomen naar 14 %. De gemiddelde herstelde beeklengte van de projecten uit de periode 2004-2008 bedraagt enkele kilometers. Het aandeel van projecten waarbij de beek van boven- tot en met benedenloop is aangepakt is ten opzichte van de periode 1993-1998 sterk gedaald.

Uit de enquête blijkt een toename in aandacht voor het verbeteren van stromingscondities, structuren, fysische-chemische waterkwaliteit, leefomstandigheden voor specifieke soorten en soortgroepen, en het oplossen van knelpunten voor vismigratie. De aandacht voor verbetering van het gehele beekecosysteem is gehalveerd. Nieuwe maatregelen bestaan uit het aankoppelen van beekdelen die vroeger zijn afgekoppeld (30%), het verwijderen van drainage (51%) en het verhogen van het grondwaterpeil (44%). Hermeandering en herprofilering zijn vaak toegepast in 80% van de projecten. Een meanderend lengteprofiel wordt vooral met graafwerk aangelegd; men laat weinig uit zich zelf ontstaan. Het is minder duidelijk hoe de herprofilering wordt uitgevoerd en in hoe verre andere dan meanderende lengteprofielen worden ingericht. Soms worden wel meanders aangebracht maar blijft het dwarsprofiel overgedimensioneerd waardoor beekprocessen niet op gang komen (Bierens 2005). Er zijn meer natuurvriendelijke oevers aangelegd ten opzichte van de periode 1999-2003 (27% tegenover 7%). Ook is het laten ontwikkelen of aanplanten van houtige vegetatie vaker toegepast (ca. 50%). Maatregelen die van belang zijn voor de terrestrische zone, zoals het ontwikkelen van een inundatiezone (40%), zijn minder toegepast in de periode 2004-2008 dan daarvoor. De koppeling van beekherstel met herstel van natte terrestrische natuur in het beekdal ontbreekt in veel projecten.

Het percentage herstelprojecten waar de effecten van beekherstel worden gemonitord vertoont sinds de periode 1999-2003 voor de parametergroepen macrofauna en waterkwaliteit een sterke afname die zich in de periode 2004-2008 heeft voortgezet. De monitoring van vissen is daarentegen verdubbeld. Voor het vaststellen van effecten is van belang om zowel voor als na uitvoering van de beekherstelmaatregelen te monitoren. In ca. 25% van de gemonitorde projecten (=20% van het totale aantal projecten) is dat het geval. Het alleen vooraf aan de uitvoering van maatregelen monitoren komt vaker voor dan het alleen achteraf monitoren. Dit kan veroorzaakt worden omdat het aantonen van de noodzaak van beekherstel een hogere prioriteit heeft dan de evaluatie van de effectiviteit van herstelmaatregelen.

De lering die de geëncquêteerde organisaties uit de projecten trekken is zeer variabel. Hieruit zijn drie onderwerpen te destilleren die belangrijk worden gevonden:

1. Een integrale aanpak van de gehele beek, samen met het beekdal.
2. Een goede communicatie tussen de betrokken partijen, met een heldere gezamenlijke aanpak.
3. Een goede monitoring van het beekherstel en evaluatie van de genomen beekherstelmaatregelen.

Aspecten als de verminderde aandacht voor het herstel van bron tot en met benedenloop, de verminderde aandacht voor ecosysteemherstel, weinig aandacht voor herstel van de terrestrische zone van het beekdal en weinig monitoring van de effectiviteit van beekherstel worden onderkend. Bij de betrokken organisaties is dus duidelijk interesse in een integrale aanpak en effectieve beekherstelmaatregelen.

7.5 Confrontatie beleidsvelden en kansen voor herstel in beekdalen

Tabel 12 geeft een overzicht van de onderdelen van beleidsvelden die elkaar in doelen en uitvoering versterken, tegenwerken en waar stagnatie optreedt. Waar sprake is van grote onzekerheden worden deze ook genoemd.

Tabel 12: Confrontatie van de doelen van het natuurbeleid in beekdalen en doelen en uitvoeringspraktijk van andere beleidsvelden.

beleidsveld natuur	beleidsveld	confrontatie
herstel voedselarme ecosystemen en herstel soorten	waterbeheer: waterberging voor veiligheid (WB21)	versterkend: biedt kansen voor herstel overstromingsafhankelijke natuur
		botsend: door kans op eutrofiering en ongunstige waterstanddynamiek voor soorten
		onduidelijk: gebrek aan kennis over ecologische effecten van overstroming maakt inhoudelijke afweging moeilijk
	mestbeleid, beleid waterkwaliteit (voorgenomen en KWR)	versterkend: vermindering van nutriëntenbelasting op beken, vooral stikstof neemt af draagt bij aan verbetering waterkwaliteit van beken
		botsend: weinig vermindering van fosfaatbelasting op beken, vermindering nutriëntenbelasting is onvoldoende voor beken
		botsend: nutriëntenbelasting van grondwatersystemen die terrestrische ecosystemen voeden blijft te hoog, mestbeleid houdt geen rekening met effecten van sulfaat bij vermessing grondwater
		botsend: fosfaatverzadiging van landbouwbodems blijft hoog en neemt niet af; in verworven EHS-gebied daardoor zeer voedselrijke gronden
		onduidelijk: gebrek aan kennis over effecten van nutriënten in beken op bekecosystemen maakt ecologische normstelling voor nutriënten in beken moeilijk
		onduidelijk: definitieve doelen voor nutriënten die in kader van KWR voor watersystemen gehanteerd gaan worden (in hoeverre verlaging en fasering van doelen t.o.v. GET-werknormen)
herstel natte ecosysteemttypen	waterbeheer: verdrogingsbestrijding (GGOR, aanpak topgebieden)	versterkend: door uitvoering van gebiedsgerichte projecten
		stagerend: uitvoering verliep en loopt traag door externe invloed waterhuishouding op toestand natte natuur, conflicterende belangen, gebrek aan regie; veel grote knelpunten in waterhuishouding voor natuur in beekdalen zijn niet opgelost
herstel beken en beekdalen	waterbeheer: beekherstel, veiligheid (WB21, KWR)	versterkend: door beekherstel van door kanalisatie en normalisatie gedegradeerde beken draagt aanpassing van morfologie en aanleg van vistrappen vaak bij aan herstel van soorten
		versterkend: waar beekherstel en aanpassing waterhuishouding tegen wateroverlast is ingebed in integraal beekdalherstel
		onvoldoende: aanpassing waterhuishouding beekdalen vindt sectoraal plaats (gescheiden sporen beekherstel, verdrogingsbestrijding, inrichting EHS) en nog weinig integraal plaats

		onvoldoende: weinig beekherstelprojecten gericht op het herstel van bron tot benedenloop
		botsend: deels wordt vastgehouden aan diepe dwarsprofielen die een knelpunt zijn voor verdroging van terrestrische ecosystemen en geleidelijke overgangen tussen aquatisch en terrestrisch weinig aandacht voor andere lengteprofielen dan meandering
		onduidelijk: effectiviteit van uitgevoerde en geplande beekherstel op verminderen wateroverlast en herstel bekecosystemen
behoud beekdalen	cultuurhistorie en landschap	versterkend: hulpmiddel bij ontwikkelen van referentie voor natuur en landschap voor natuurherstel- en ontwikkeling
		botsend: verdwijnen/ vervagen van cultuurhistorische patronen door natuurherstel en -ontwikkeling
herstel fauna	natuur: soortenbeleid	versterkend: plaatselijk, voor belangrijk deel nog niet opgetreden omdat leefgebiedenbeleid nog niet/nauwelijks in uitvoeringsfase zit
		onduidelijk: of voldoende financiering komt voor uitvoering beleid
		onduidelijk: gebrekkige kennis eisen fauna
herstel ecosystemen en soorten	natuur: EHS	versterkend: door uitbouw grotere natuurkernen in en rond beekdalen, door realisatie natuurherstel- en ontwikkeling
		stagnerend: door trage grondverwerving, trage inrichting, onvoldoende kwaliteit van de inrichting
		onvoldoende en stagnerend: regelmatig niet begrenzen van belangrijke lage delen in beekdalen waardoor herstel van waterhuishouding wordt belemmerd
		onvoldoende: niet begrenzen van intrekgebieden waardoor vermessing van grondwater blijft voorduren
		onvoldoende: geplande EHS onvoldoende (gebieden nog te klein, te weinig connectiviteit) voor duurzame instandhouding van vele soorten

Op basis van de huidige uitvoeringspraktijk van inrichting en beheer in beekdalen worden de volgende kansen onderkend:

- Integraal beekdalherstel in beekdalen of beekdaltrajecten waar een groot deel van het stroomgebied kan worden verworven en worden ingericht t.b.v. natuur;
- Integratie van beekherstel, herstel van (semi)terrestrische delen en aanpassing van de waterhuishouding (WB21) in het beekdal. Dit kan praktisch gezien door onder andere projecten voor verdrogingsbestrijding, beekherstel en WB21 gezamenlijk op te pakken;
- Beekherstel richten op de ontwikkeling van meer variatie in lengte- en dwarsprofielen. Vrijwel onbenut zijn de kansen voor de ontwikkeling van structuurrijke, vertakte, vlechtende en diffuse afstromingspatronen waarbij ruimte komt voor de ontwikkeling van de semi-aquatische en semi-terrestrische zone.
- Herstel van voldoende natuurlijk organisch materiaal in beken door bos- en moerasontwikkeling in beekdalen.
- Herstel van overstroomde beekdaltrajecten met een voor natuur geschikte afvoerdynamiek en waterkwaliteit.
- Ontwikkeling van veenvormende moerassen in beekdaltrajecten waarvoor de hydrologische potenties aanwezig zijn.

Ontwikkelen van beheervormen waarbij meer patroonvariatie kan ontstaan op micro-, meso- en landschapsschaal, voor duurzaam behoud en herstel van dier- en plantensoorten.

Literatuur

- **Aggenbach, C.J.S. & A.J.M. Jansen, 2004.** Effectgerichte maatregelen tegen verdroging, verzuring en stikstofdepositie in beekdalen (Twenthe) en natte duinvalleien in het Renodunaal District (Goeree-Overflakkee). KWR 02.103, Kiwa Water Research, Nieuwegein.
- **Aggenbach, C.J.S., & M.H. Jalink, 1998a.** Indicatorsoorten 4: Hoogvenen. Indicatorsoorten voor verdroging en eutrofiëring van plantengemeenschappen in hoogvenen. Veldversie. Staatsbosbeheer i.s.m. VEWIN, IKC-Natuurbeheer en Kiwa. Driebergen.
- **Aggenbach, C.J.S., A.J.M. Jansen, W. Pik & W.J.M.K. Senden, 1995.** Onderzoek naar de gewenste grond- en oppervlaktewatersituatie in de hydrologisch gevoelige natuurgebieden in de provincie Limburg. Resultaten. Kiwa-rapport KOA 95.052, Kiwa N.V., Nieuwegein.
- **Aggenbach, C.J.S., M.H. Jalink & A.J.M. Jansen, 1998b.** Indicatorsoorten 5: Vennen. Indicatorsoorten voor verdroging, verzuring en eutrofiëring van plantengemeenschappen in vennen. Staatsbosbeheer i.s.m. VEWIN, IKC-Natuurbeheer en Kiwa. Driebergen.
- **Aggenbach, C.J.S., M.H. Jalink, D. Bankert & H. Hunneman, 2007a.** Knelpunten- en kansanalyse Natura 2000 gebieden. Achtergronddocumentatie Natura 2000-gebieden. Kiwa Water Research/ EGG-consult/ Unie van Bosgroepen, Nieuwegein, <http://www.minlnv.nl/natura2000>.
- **Aggenbach, C.J.S., N.P.J. de Vries, M.L.H. Pelk, M.H. Jalink & P.C. Schipper, 2007b.** Kansen en risico's voor habitattypen in Nederlandse Natura 2000-gebieden. De Levende Natuur 108: 228-232.
- **Andersen, J., 1968.** The effect of inundation and choice of hibernation sites of Coleoptera living on river banks. Norsk Entomologisk Tidsskrift 15: 115-133.
- **Anderson, N.H. & J.R. Sedell, 1979.** Detritus processing by macroinvertebrates in stream ecosystems. Annual Review of Entomology 24: 351-377.
- **Anderson, N.H., J.R. Sedell, L.M. Roberts & F.J. Triska, 1978.** The role of aquatic invertebrates in processing of wood debris in coniferous forest streams. American Midland Naturalist 100(1): 64-82.
- **Bakker, H. de & J. Schelling, 1976.** Cursus Bodemkunde. Deel 1: Algemene Bodemkunde. Consulentenschap voor bodemaangelegenheden in de landbouw, Wageningen.
- **Bakker, T.W.M., J. Klijn & E. van Zadelhof, 1981.** Duinen en duinvalleien. TNO, Delft.
- **Bal, D., 2007.** Selectie van Typische soorten voor Habitattypen. Notitie.
- **Bal, D., H.M. Beijer, M. Fellingier, R. Haverman, A.J.F.M. van Opstal & F.J. van Zadelhoff, 2001.** Handboek natuurdoeltypen. Tweede, geheel herziene editie. Expertise Centrum Ministerie van LNV, Wageningen.
- **Bates, A.J., J.P. Sadler & A.P. Fowles, 2006.** Condition-dependent dispersal of a patchily distributed riparian ground beetle in response to disturbance. Oecologia 150: 50-60.
- **Bates, A.J., J.P. Sadler & J.N. Perry, 2007.** The microspatial distribution of beetles (Coleoptera) on exposed riverine sediments (ERS). European Journal of Entomology 104: 479-487.
- **Baxter, C.V., K.D. Fausch & W.C. Saunders, 2005.** Tangled webs: reciprocal flows of invertebrate prey link streams and riparian zones. Freshwater Biology 50: 201-220.
- **Beek, C.G.E.M. van 1997.** Hardheid van onttrokken grondwater: processen, prognoses en preventie. H2O 30:7 p.228- 231.
- **Beusink, P., M. Nijssen, G.J. van Duinen & H. Esselink 2003.** Broed- en voedseleecologie van Grauwe Klauwieren in intacte kustduinen bij Skagen, Denemarken. "Referentieonderzoek voor optimalisatie van beheers- en herstelmaatregelen voor fauna in Nederlandse duinen." Rapport Sichting Bargerveen, Nijmegen.

- **Bink, F.A., 1992.** Ecologische Atlas Van De Dagvlinders Van Noordwest-Europa. Schuyt & Co, Haarlem.
- **Bink, F.A., A.J. Beintema, H. Esselink, J. Graveland, H. Siepel & A.H.P. Stumpel, 1998.** Fauna-aspecten van effectgerichte maatregelen. Preadvies fauna. IBN-rapport 431, IBN-DLO, Wageningen.
- **Boedeltje, G., A.J.P. Smolders & J.G.M. Roelofs, 2005.** Combined effects of water column nitrate enrichment, sediment type and irradiance on growth and foliar nutrient concentrations of *Potamogeton alpinus*. *Freshwater Biology* 50: 1537-1547.
- **Boeren, J.H.B., 2006.** Opmars van de Gouden sprinkhaan in Limburg. *Natuurhistorisch Maandblad* 95: 209-213.
- **Bos, F., M. Bosveld, D. Groenendijk, C. van Swaay, I. Wynhoff & De Vlinderstichting, 2006.** De dagvlinders van Nederland. Verspreiding en bescherming. Nederlandse Fauna 7. Naturalis, Leiden; KNNV Uitgeverij, Utrecht en EIS-Nederland, Leiden.
- **Bot, A.P., 1996.** Maatregelen tegen verdroging. Een globale voorselectie van alternatieven. NOV-rapport.
- **Boulton, A. J., 2003.** Parallels and contrast in the effects of drought on stream macroinvertebrate assemblages. *Freshwater Biology* 48: 1173-1185.
- **Brehm, J. & M.P.D. Meijering, 1982.** Fließgewässerkunde. Einführung in die Limnologie der Quellen, Bäche und Flüsse. Quelle & Meyer, Heidelberg.
- **Broers, H.P., J. Griffioen, W.J. Willems & B. Fraters, 2004.** Naar een andere toetsdiepte voor nitraat in grondwater? Achtergronddocument voor de Evaluatie Meststoffenwet. NITG 04-066-A. TNO Utrecht, The Netherlands.
- **Brown, A.G., 1997.** Geoarchaeology: floodplain archeology and environmental change. Cambridge University Press, Cambridge.
- **Calow, P. & G.E. Petts, 1992.** The rivers handbook. Hydrological and ecological principles. Volume one. Blackwell Scientific Publications, London.
- **Calow, P. & G.E. Petts, 1994.** The rivers handbook. Hydrological and ecological principles. Volume two. Blackwell Scientific Publications, London.
- **Chorley, R.J., 1969.** The drainage basin as the fundamental morphic unit. In: Chorley, R.J. (ed.), *Water, Earth and Man*. Methuen, London, 77-99.
- **Collins, D. & R. Montgomery, 2002.** Forest development, wood jams, and restoration of floodplain rivers in the Puget Lowland, Washington. *Restoration Ecology* 10(2): 237-247.
- **Crombaghs, B.H.J.M. & R.C.M. Creemers, 2001.** Beschermingsplan Knoflookpad 2001-2005. Ministerie van Landbouw, Natuurbeheer en Visserij, 's Gravenhage.
- **Cummins, K.W., 1973.** Trophic relations of aquatic insects. *Annual Review of Entomology* 18: 183-206.
- **Cummins, K.W., 1975.** Macroinvertebrates. In: Whitton, B.A. (ed.), *River Ecology*. University of California Press, Los Angeles.
- **Cummins, K.W., J.R. Sedell, F.J. Swanson, G.W. Minshall, S.G. Fischer, C.E. Cushing & R.C. Petersen, 1981.** Organic matter budgets for stream ecosystems: problems in their evaluation. In: Barnes, J.R. & G.W. Minshall (ed). *Stream ecology. Application and testing of general ecological theory*. Plenum Press, New York / London.
- **Dam, H. van, 1987.** Acidification of moorland pools: a process in time. Thesis, Agricultural University of Wageningen.
- **D'Angelo, D.J., J.R. Webster & E.F. Benfield, 1991.** Mechanisms of Stream Phosphorus Retention: An Experimental Study. *Journal of the North American Benthological Society* 10: 225-237.
- **Delft, S.P.J. van, P. Jansen & R.H. Kemmers, 2003.** Effecten van hydrologische maatregelen tegen verzuring en vermeting op water, bodem en vegetatie in Groot Zandbrink. Evaluatie na 12 jaar. Alterra-rapport 706, Wageningen.
- **Detzel, P., 1998.** Die Heuschrecken Baden-Württembergs. Eugen Ulmer, Stuttgart.
- **Drever, J.I., 1997.** The geochemistry of natural waters. Surface and groundwater environments. Prentice Hall, New York.
- **Dufour, F.C., 1998.** Grondwater in Nederland, Onzichtbaar water waarop wij lopen. Geologie van Nederland deel 3. Nederlands Instituut voor Toegepaste Geowetenschappen TNO, Delft.
- **Everts, F.H. & N.P.J. de Vries, 1991.** De vegetatieontwikkeling van beekdalsystemen. Een landschapsoecologische analyse van enkele Drentse beekdalen. Proefschrift Rijksuniversiteit Groningen. Historische Uitgeverij Groningen.
- **Faber, T.H., 1972.** Regimes and regime-related basin properties of some Dutch small rivers. Thesis, Vrije Universiteit van Amsterdam.

- **Friedrich, G. & J. Lacombe, 1992.** Ökologische bewertung von Fließgewässern. Limnologie aktuell Band 3. G. Fischer, New York.
- **Gordon, N.D., T.A. McMahon, B.L. Finlayson, C.J. Gippel & R.J. Nathan, 2004.** Stream hydrology: an introduction for ecologists, John Wiley & Sons Ltd.
- **Graaf, M.C.C. de, R. Bobbink, J.G.M. Roelofs & P.J.M. Verbeek, 1998.** Differential effects of ammonium and nitrate on three heathland species. *Plant Ecology* 135: 185-196.
- **Graaf, M.C.C. de, R. Bobbink, P.J.M. Verbeek & J.G.M. Roelofs, 1997.** Aluminium toxicity and tolerance in three heathland species. *Water Air and Soil Pollution* 98: 228-239.
- **Gregory, K.J., A.M. Gurnell & C.T. Hill, 1985.** The permanence of debris dams related to river channel processes. *Hydrological Sciences Journal* 30: 371-381.
- **Grijpstra, J. & M.H. Jalink, 2002.** Ecohydrologische systeemanalyse pompstation Haaren. Lokale analyse van de Brand, Nemelaer Broek, Helvoirts Broek en andere natte natuurgebieden. KOA 01.101, Kiwa N.V. Nieuwegein.
- **Groenendijk, D. & V. Mensing, 2007.** Status en bescherming van de grote weerschijnvlinder in Gelderland. Rapportnummer VS2007.019, De Vlinderstichting, Wageningen.
- **Grootjans, A.P., 1980.** Distribution of plant communities along rivulets in relation to hydrology and management. In: O. Wilemanns & R. Tuxen (eds), *Epharmonie* (Rinteln, 9.4-11.4 1979). *Berichte der Internationalen Symposien der Internationalen Vereinigung für Vegetationskunde*, Cramer, Vaduz: 143-169.
- **Grootjans, A.P., 1985.** De invloed van ingrepen in de waterhuishouding op de verspreiding van moeras- en hooiplanten. Lab. voor Plantenecologie Rijksuniversiteit Groningen.
- **Hall, R.J. & G.E. Liekens, 1980.** Ecological effects of experimental acidification on a stream ecosystem. In: *Proc. Int. conf. ecol. impact acid precip.*, Norway. pp. 375-376.
- **Harper, D., J. Mekotova, S. Hulme, J. White & J. Hall, 1997.** Habitat heterogeneity and aquatic macroinvertebrate diversity in floodplain forests. *Global Ecology and Biogeography Letters* 6: 275-285.
- **Haslam, S.M., 1987.** River plants of Western Europe: the macrophyte vegetation of watercourses of the European Economic Community. Cambridge University Press, Cambridge.
- **Hickin, E.J. & G.C. Nansen, 1984.** Lateral migration rates of river bends. *Journal of Hydraulic Engineering ASCE*, vol. 110.
- **Higler, L.W.G., 1988.** A classification of waters on a worldwide base. UNESCO/UNEP, Paris.
- **Hochkirk, A., 1996.** Die Bedeutung der Eiablage in Totholz für Habitatbindung und Ausbreitung bei *Chrysochraon dispar*. *Articulata* 11: 91-97.
- **Houte de Lange, S.M. ten, 1987.** Ruimtelijke heterogeniteit en fauna - een literatuurstudie. *Landschap* 3: 196-215.
- **Irons, J.G. III., M.W. Oswood, R.J. Stout, C.M. Pringle, 1994.** Latitudinal patterns in leaf litter breakdown: is temperature really important? *Freshwater Biology*, 32: 401-411.
- **Jalink, M.H. & A.J.M. Jansen, 1995.** Indicatorsoorten deel 2: Beekdalen. Indicatorsoorten voor verdroging, verzuring en eutrofiëring van grondwaterafhankelijke beekdalgemeenschappen. Staatsbosbeheer i.s.m. VEWIN, IKC-Natuurbeheer en Kiwa. Driebergen.
- **Jalink, M.H. & B.A.M. Meeuwissen, 1998.** Verdroging: de oplossingen liggen klaar. *H2O* 31(13): 30-33.
- **Jalink, M.H. & C.G.E.M. van Beek, 2000.** Lithoclien grondwater in Noord-Brabantse natuurgebieden. Herkomst, processen en kenmerken. Rapport BTO 2000.101(c), Kiwa N.V. Nieuwegein.
- **Jalink, M.H., 1994.** Globale inschatting van de haalbaarheid van locale anti-verdrogingsmaatregelen voor de GMN-hoofdgebieden. Kiwa-rapport SWO 94.207. Kiwa, Nieuwegein.
- **Jalink, M.H., 1996.** Indicatorsoorten 3: Laagveenmoerassen. Indicatorsoorten voor verdroging, verzuring en eutrofiëring in laagveenmoerassen. Staatsbosbeheer i.s.m. VEWIN, IKC-Natuurbeheer en Kiwa. Driebergen.
- **Jalink, M.H., C.J.S. Aggenbach, C.G.E.M. van Beek, A.J.M. Jansen, E.J. Schrama & W.J.M.K. Senden, 2001.** Hydro-ecologische systeemtypen in Noord-Brabant. Kiwa-rapport BTO 2000.102(c), Nieuwegein.

- **Jalink, M.H., J. Grijpstra & A.C. Zuidhoff, 2003.** Hydro-ecologische systeemtypen met natte schraallanden in pleistoceen Nederland. KWR 03.050, Kiwa Water research, Nieuwegein.
- **Jansen, A.J.M. & P.C. Schipper, 1997.** Van calciumarme en -rijke en van lokale en regionale systemen. *De Levende Natuur* 98:7.
- **Jansen, A.J.M., 1991.** Het speurwerkproject ecologische aspecten van grondwaterwinning; een tussenstand. In: Maas, C. e.a., 1991. Waterwinning en verdroging. KIWA-mededeling nr. 115. p.68-101.
- **Jansen, A.J.M., 2000.** Hydrology and restoration of wet heathland and fen meadow communities. Proefschrift, Universiteit Groningen
- **Jansen, A.J.M., A.P. Grootjans & M.H. Jalink, 2000.** Hydrology of Dutch Cirsio-Molinietum meadows: prospects for restoration. *Applied Vegetation Science* 3:51-64.
- **Jansen, A.J.M., A.P. Grootjans, R.H. Kemmers & G. Van Wirdum, 2001.** Veenvormende plantengemeenschappen in de Drentse Aa mogelijk. Advies van het deskundigenteam natte schraallanden. Kiwa-rapport KOA 00.132, Kiwa, Nieuwegein.
- **Jansen, A.J.M., C.J.S. Aggenbach, A.T.W. Eysink & D. van de Hoek, 2007.** Herstel van natte schraallanden op minerale gronden. *De Levende Natuur* 108(3): 96-102.
- **Johansson, F. & L. Samuelsson (1994).** Fish-induced variation in abdominal spine length of *Leucorrhinia dubia* (Odonata) larvae? *Oecologia* 100: 74-79.
- **Junk, W.J., 1999.** The flood pulse concept of large rivers: Learning from the tropics. *Archiv für Hydrobiologie* 115: 261-280.
- **Kalkman, V.J., R. Ketelaar & D. Groenendijk (2002).** Veranderingen in de libellenfauna. In: *De Nederlandse Libellen (Odonata)*. Nederlandse Fauna deel 4. Nationaal Natuurhistorisch Museum Naturalis, KNNV Uitgeverij & EIS-Nederland, Leiden.
- **Kiwa, 2000.** Ecologische potenties Oost-Veluwe. Methode voor het aanwijzen van kansrijke gebieden bij verdrogingsbestrijding. Kiwa-rapport SWI 99.238, Nieuwegein.
- **Kleef, H. van, G. van der Velde, R.S.E.W. Leuven & H. Esselink, 2008.** Pumpkinseed sunfish (*Lepomis gibbosus*) invasions facilitated by introductions and nature management strongly reduce macroinvertebrate abundance in isolated water bodies. *Biological Invasions* 10.1007/s10530-008-9220-7.
- **Klijn, F. & J.P.M. Witte, 1999.** Eco-hydrology: Groundwater flow and site factors in plant ecology. *Hydrogeology Journal* 7: 65-77
- **Klimkowska, A., R. van Diggelen, J.P. Bakker & A.P. Grootjans 2007.** Wet meadow restoration in Western Europe: A quantitative assessment of the effectiveness of several techniques. *Biological Conservation* 140(3-4): 318-328.
- **Koerselman, W. & A.F.M. Meuleman, 1996.** Ecohydrologische effectvoorspelling Duinen. Samenvatting van het werkdocument 'Trofie'. Kiwa-rapport SWI 96.161, Kiwa N.V., Nieuwegein.
- **Kristensen, P. & H.O. Hansen, 1994.** European rivers and lakes. Assessment of their environmental state. European Environment Agency, EEA Environmental Monographs 1, Copenhagen.
- **Kuper, J., G.J. van Duinen, M. Nijssen, M. Geertsma & H. Esselink, 2001.** Is the decline of the Red-backed Shrike (*Lanius collurio*) in the Dutch coastal dune area caused by decrease in insect diversity? *The Ring* 22 (1): 11-25.
- **Lancaster, J. & A.G. Hildrew, 1993.** Flow refugia and the microdistribution of lotic, macroinvertebrates. *Journal of the North American Benthological Society* 12: 385 - 393.
- **Lewis, W.M. Jr. & M.C. Grant, 1979.** Relationships Between Stream Discharge and Yield of Dissolved Substances from a Colorado Mountain Watershed. *Soil Science* 128: 353-363.
- **Ligtvoet, W. & G.P. Beugelink, 2008.** Kwaliteit voor later. Ex ante evaluatie Kaderrichtlijn Water. 90 % versie maart 2008. Milieu en Natuur Planbureau, Bilthoven.
- **Lucassen, E.C.H.E.T., A.J.P. Smolders & J.G.M. Roelofs, 2002.** Potential sensitivity of mires to drought, acidification and mobilisation of heavy metals: the sediment S/(Ca+Mg) ratio as diagnostic tool. *Environmental Pollution* 120: 635-646.
- **Lucassen, E.C.H.E.T., A.J.P. Smolders, A.L. van der Salm & J.G.M. Roelofs, 2004.** High groundwater nitrate concentrations inhibit eutrophication of sulphate-rich freshwater wetlands. *Biogeochemistry* 67: 249-267.
- **Lucassen, E.C.H.E.T., A.J.P. Smolders, J. van de Crommenacker & J.G.M. Roelofs, 2004.** Effects of stagnating sulphate-rich groundwater on the mobility of phosphate in freshwater wetlands: a field experiment. *Archiv für Hydrobiologie* 160: 117-131.

- **Lucassen, E.C.H.E.T., A.J.P. Smolders, L.P.M. Lamers & J.G.M. Roelofs, 2005.** Water table fluctuations and groundwater supply are important in preventing phosphate-eutrophication in sulphate-rich fens: consequences for wetland restoration. *Plant and Soil* 269: 109-115.
- **Lucassen, E.C.H.E.T., R. Bobbink, A.J.P. Smolders, P.J.M. van der Ven P.J.M., L.P.M. Lamers & J.G.M. Roelofs, 2003.** Interactive effects of low pH and high ammonium levels responsible for the decline of *Cirsium dissectum* (L.) Hill. *Plant Ecology* 165: 45-52.
- **MacArthur, R.H. & E.O. Wilson, 1967.** The Theory of Island Biogeography. Monographs in Population Biology. Princeton University Press, Princeton NJ.
- **MacArthur, R.H. & J. MacArthur J, 1961.** On bird species diversity. *Ecology* 42: 594-598.
- **Marschner, H., 1995.** Mineral nutrition of higher plants. Academic Press, Londen.
- **Meyer, J.L., M.J. Sale, P.J. Mulholland & N.L. Poff, 1999.** Impacts of climate change on aquatic ecosystem functioning and health. *Journal of the American Water Resources Association* 35(6): 1373-1386.
- **Ministerie van LNV, 2006a.** Natura 2000 doelendocument. Duidelijkheid bieden, richting geven en ruimte laten. Versie 1.1 juni 2006. Ministerie van Landbouw, Natuur en Voedselkwaliteit, Den Haag.
- **Moller Pillot, H.K.M., 2005.** Invloed van inundaties van graslanden op terrestrische dansmuggen (Diptera: Chironomidae). *Nederlandse Faunistische Mededelingen* 23: 113-123.
- **Mullekom, M. van, A.J.P. Smolders, E. Brouwer & J.G.M. Roelofs, 2006.** Onderzoek naar de kansen voor natuurontwikkeling in het Wisselse Veen. Rapport 2006-9b. Onderzoekcentrum B-WARE, Nijmegen.
- **Newbold, J.D., 1996.** Cycles and spirals of nutrients. In: Petts, G. & Calow, P. (eds.). *River flows and channel forms*. Blackwell Science: 130-159.
- **Nijboer, R.C., 1996.** IJzeradditie in een geëutrofeerde sloot. Effecten op plantengroei, sulfide- en nutriëntengehalte. Verslag nr. 411. Katholieke Universiteit Nijmegen, Vakgroep Oecologie, Afdeling Aquatische Oecologie & Milieubiologie.
- **Paetzold, A., J.F. Bernet & K. Tockner, 2006.** Consumer-specific responses to riverine subsidy pulses in a riparian arthropod assemblage. *Freshwater Biology* 51: 1103-1115.
- **Paulissen, M.P.C.P. & P.F.M. Verdonchot, 2007.** Levensstrategieën van exoten in Nederlandse binnenwateren. Een verkennende studie. *Alterra rapport 1496*. Alterra, Wageningen.
- **Peters, J. 2002.** Een onderzoek naar bepalende factoren voor het terreingebruik van een paar Grauwe Klauwieren in Cottessen, Zuid Limburg. "Het belang van habitatheterogeniteit voor het nestsucces van de Grauwe Klauwier (*Lanius collurio*).” Afdeling Dierecologie KUN, Stichting Bargerveen, Nijmegen.
- **Platform Geelbuikvuurpad en Vroedmeesterpad, 2006.** Beschermingsplan vroedmeesterpad & geelbuikvuurpad in Limburg 2006-2010. *Natuurbalans - Limes* Divergens BV & Stichting RAVON, Nijmegen.
- **Redeke, H.C., 1948.** *Hydrobiologie van Nederland. De zoete wateren*. Backhuys en Meesters, Amsterdam.
- **Reemer, M. & R. Krekels, 2007.** De natste sprinkhanen van Nederland: de Moeras- en de Zompsprinkhaan. *De Levende Natuur* 108: 124-139.
- **Reich, M., 1991.** Grasshoppers (Orthoptera, Saltatoria) on alpine and dealpine riverbanks and their use as indicators for natural floodplain dynamics. *Regulated Rivers: Research and Management*, vol 6: 333-339.
- **Renes, J., 1988.** De gescheidenis van het Zuid-Limburgse cultuurlandschap. *Maaslandse Monografieën* 6. Van Gorcum, Assen.
- **Renes, J., 1993.** Het cultuurlandschap van Mergelland-Oost. *Natuurhist. Maandblad* 82:3-27.
- **Schepers, F. & R. Schols, 1990.** Vogels. In: *Beken en Beekdalen in Zuid Limburg. De betekenis van de zuidlimburgse beken en beekdalen voor natuur, landschap en cultuurhistorie, nu en in de toekomst*. Natuurhistorisch Genootschap in Limburg, Maastricht.
- **Schipper, P.C. & J.G. Streefkerk, 1993.** Van stroomdal naar droomdal. Integratie van hydrologisch en oecologisch onderzoek ten behoeve van het beheer van de Drentse Aa. Staatsbosbeheer, afdeling Terreinbeheer, Driebergen.
- **Schumm, S.A., 1977.** The fluvial system. John Wiley & Sons, New York.
- **Siepel, H., 1994.** Structure and function of soil microarthropod communities. *Proefschrift Landbouwuniversiteit, Wageningen*.

- **Sladeczek, V., 1973.** System of water quality from the biological point of view. Arch. Hydrobiol. Suppl. 7: 1-218.
- **Smolders, A.J.P., E.C.H.E.T. Lucassen & J.G.M. Roelofs, 2003a.** Waterpeilregulatie in broekbossen: bron van aanhoudende zorg. H₂O 36 (24): 17-19.
- **Smolders, A.J.P., E.C.H.E.T. Lucassen, H.B.M. Tomassen, L.P.M. Lamers & J.G.M. Roelofs, 2006.** De problematiek van fosfaat voor natuurbeheer. Vakblad voor Natuur, Bos en Landschap 3(4): 5-11.
- **Smolders, A.J.P., H.B.M. Tomassen, M. van Mullekom, L.P.M. Lamers & J.G.M. Roelofs 2003.** Mechanisms involved in the re-establishment of Sphagnum dominated vegetation in rewetted bog remnants. Wetlands: Ecology and Management 11: 403-418.
- **Smolders, A.J.P., L.P.M. Lamers, C. den Hartog & J.G.M. Roelof, 2003b.** Mechanisms involved in the decline of Stratiotes aloides L. in the Netherlands: sulphate as a key variable. Hydrobiologia 506/509: 603-610.
- **Smolders, A.J.P., L.P.M. Lamers, E.C.H.E.T. Lucassen, G. van der Velde G. & J.G.M. Roelofs, 2006.** Internal eutrophication: 'How it works and what to do about it', a review. Chemistry and Ecology 22: 93-111.
- **Smolders, A.J.P., M. Moonen, K. Zwaga, E.C.H.E.T. Lucassen, L.P.M. Lamers & J.G.M. Roelofs, 2006.** Changes in pore water chemistry of desiccating freshwater sediments with different sulphur contents. Geoderma 132: 372-383.
- **Smolders, A.J.P., R.J.J. Hendriks, H.M. Campschreur & J.G.M. Roelofs, 1997.** Nitrate induced iron deficiency chlorosis in Juncus acutiflorus. Plant and Soil 196: 37-45.
- **Southwood, T.R.E., 1977.** Habitat, the templet for ecological strategies? Journal of Animal Ecology 46: 337-365.
- **SOVON Vogelonderzoek Nederland, 2002.** Atlas van de Nederlandse Broedvogels 1998-2000. Nederlandse Fauna 5. Nationaal Natuurhistorisch Museum Naturalis, KNNV Uitgeverij & European Invertebrate Survey- Nederland, Leiden
- **Spek, T., 2005.** Het Drentse esdorpenlandschap. Een historisch-geografische studie, Uitgeverij Matrijs.
- **Statzner, B., A.G. Hildrew & V.H. Resh, 2001.** Species traits and environmental constraints: Entomological research and the history of ecological theory. Annual Review of Entomology 46: 291-316.
- **Stelter, C., M. Reich, V. Grimm & C. Wissel, 1997.** Modelling persistence in dynamic landscapes: lessons from a metapopulation of the grasshopper Bryodemus tuberculata. Journal of Animal Ecology 66: 508-518.
- **Stuyfzand, P.J., 1993.** Hydrochemistry and hydrology of the coastal dune area of the western Netherlands. Proefschrift V.U. Amsterdam. KIWA N.V., Nieuwegein.
- **Taskforce Verdroging, 2006.** Verdrogingsbestrijding: een nieuwe impuls. Advies van de Taskforce Verdroging, Utrecht.
- **Tolkamp, H.H., 1981.** Organism-substrate relationships in lowland streams. Proefschrift, Wageningen.
- **Toth, J., 1963.** A theoretical analysis of ground water flow in small drainage basins. J. Geophys. Res. 68: 1171-1177
- **Townsend, C.R. & A.G. Hildrew, 1994.** Species traits in relation to a habitat templet for river systems. Freshwater Biology 31: 265-275.
- **Turin, H., 2000.** De Nederlandse loopkevers, verspreiding en ecologie (Coleoptera: Carabidae). Nederlandse Fauna 3. Naturalis, Leiden.
- **Uehlinger, U. & M.W. Naegeli, 1998.** Ecosystem Metabolism, Disturbance, and Stability in a Prealpine Gravel Bed River. Journal of the North American Benthological 17: 165-178.
- **Vannote, R.L., G.W. Minshall, K.W. Cummins, J.R. Sedell, & C.E. Cushing, 1980.** The River Continuum Concept. Can. J. Fish. Aquat. Sci. 37: 130-137.
- **Veen, G.J. van der & A.C. Garritsen, 1994.** Kennisoverzicht Ecohydrologie: een inventarisatie van kennis en expertise op het gebied van ecohydrologie en verdroging. NOV rapp. 7. RIZA Lelystad.
- **Verberk, W.C.E.P., 2008.** Matching species to a changing landscape - Aquatic macroinvertebrates in a heterogeneous landscape. PhD thesis, Radboud University Nijmegen.
- **Verdonchot, P., et al. (red.) 1995.** Beken stromen. Leidraad voor ecologisch beekherstel. Werkgroep Ecologisch Waterbeheer, subgroep Beekherstel, WEW-06. STOWA 95-03, Stichting Toegepast Onderzoek Waterbeheer, Utrecht.

- **Verdonschot, P.F.M., 1996.** Migratie van beekmacrofauna en beekvissen; migreerbaarheid van een gesloten of open afleiding van de Schuitenbeek. IBN-rapport nr. 237: 1-85.
- **Verdonschot, P.F.M., 2000.** Beken. Natuurlijke levensgemeenschappen van de Nederlandse binnenwateren. Expertisecentrum LNV, Wageningen.
- **Verdonschot, R.C.M., H.J. de Lange, P.F.M. Verdonschot & A. Besse, 2007.** Klimaatverandering en aquatische biodiversiteit. 1. Literatuurstudie naar temperatuur, Alterra rapport 1451.
- **Vries, J.J.de, 1980.** Inleiding tot de hydrologie van Nederland. Rodopi, Amsterdam.
- **Wallace, J.B., J.R. Webster & W.R. Woodall, 1977.** The role of filter feeders in flowing waters. Arch. Hydrobiol. 79: 506-532.
- **Walter, R.C. & D.J. Merritts, 2008.** Natural streams and the legacy of water-powered mills. Science 319: 299-304.
- **Wassink, W., 1999.** Beekdallandschappen. Een morfologisch onderzoek in de zandgebieden van Nederland. Proefschrift WUR.
- **Weeda, E.J. R., Ch. Westra & T. Westra, 1987.** Nederlandse ecologische flora. Wilde planten en hun relaties. Deel 2. IVN/VARA/VEWIN.
- **Wildermuth, H., 1991.** Libellen und Naturschutz Standortanalyse und programmatische Gedanken zu Theorie und Praxis im Libellenschutz. Libellula 10: 1-34.
- **Willems, W.J., A.H.W. Beusen, L.V. Renaud, H.H. Luesink, J.G. Conijn, H.P. Oosterom, G.J. v.d. Born, J.G. Kroes, P. Groenendijk & O.F. Schoumans, 2005.** Nutriëntenbelasting van bodem en water. Verkenning van de gevolgen van het nieuwe mestbeleid. Rapport 500031003/2005. Milieu en Natuur Planbureau.
- **Wynhoff, I., 2001.** At home at foreign meadows. The reintroduction of two *Maculinea* butterfly species. Doctoral Thesis, Department of Environmental Sciences, Tropical Nature Conservation and Vertebrate Ecology Group, Wageningen University, Netherlands.
- **Yu, B. & M.G. Wolman, 1987.** Some dynamic aspects of river geometry. Water Resources Research, vol. 23 (3): 501-509.
- **Zuijlen, J.W.A. van, R.M.J. Peeters, P.S. van Wielink, A.P.W. van Eck, E.H.M. Bouvy, 1996.** 'Brand-stof. Een inventarisatie van de entomofauna van het natuureservaat 'De Brand' in 1990'. Insektenwerkgroep K.N.N.V.-afdeling Tilburg, Tilburg.

Bijlage 1: Kennisvragen

Kennisvragen zijn ingedeeld in de thema's die in hoofdstuk 2 worden besproken in samenhang met knelpunten en kennislacunes. In deze bijlage wordt een overzicht gegeven van gespecificeerde kennisvragen (in normaal lettertype) die zijn gegroepeerd onder overkoepelende kennisvragen (in **vet** lettertype). De gespecificeerde kennisvragen geven een nadere invulling van de veelal breed geformuleerde overkoepelende kennisvragen.

Legenda:

Prioriteit H=hoog, M=matig, L=laag.

Onderzoekprogramma: J=uitvoering in OBN-programma, E=uitvoering in andere programma's, N=fundamenteel onderzoeksprogramma.

Nr.	Kennisvragen grondwaterkwantiteit	prioriteit	OBN-onderzoek
1	Hoe kan veenvorming in beekdalen worden hersteld?	H	J
1.1	Waar en met welke herstelmaatregelen en beheerstrategieën is duurzaam herstel mogelijk van mesotrofe, veenvormende omstandigheden en bijbehorende fauna? Toelichting: Veevormende kleine en grote zeggenbegroeiingen zijn een belangrijk element in natuurlijke beekdalen. Door ontwatering en intensief gebruik komt veenvorming vrijwel niet meer voor in beekdalen.	H	J
2	Op welke wijze kunnen beken worden verondiept?	H	J
2.1	Hoe kunnen ingesneden en verdiepte beken worden verondiept met behoud van aanwezige waardevolle aquatische fauna en hoe wordt voorkomen dat ondiepe beken met hoge afvoerdynamiek zich insnijden? Toelichting: Veel beken zijn verdiept door normalisatie of door insnijding als gevolg van een toegenomen piekafvoeren. Wanneer de beekbedding wordt opgehoogd kan dit de bestaande aquatische fauna schaden. Er is nog weinig bekend over effecten op fauna van rigoureuze ingrepen voor beekbeddingverhoging waarbij ook de structuur van het stroombed wordt verbeterd. In beken die zich insnijden en waar de piekafvoeren niet voldoende kunnen worden verlaagd zijn maatregelen in het stroombed nodig die insnijding voorkomen. Ook dit kan effecten hebben op de aquatische fauna.	H	J
3	Hoe kan de basenrijkdom van grondwater en bodem worden voorspeld in (potentiële) kwelsituaties?	M	E
18.1	Op welke wijze kunnen instrumenten die basenaanvoer en uitwisseling in wortelzone beschrijven eenvoudig worden geoperationaliseerd zodat eisen voor kwelflux en waterregime (vooral ondergrens lage standen) in concrete situaties kunnen worden bepaald?	H	E

Nr.	Kennisvragen oppervlaktewaterstroming en inundatieregime	prioriteit	OBN-onderzoek
4	Wat zijn de eisen van aquatisch ecologische beektypen aan regimes van afvoer en stroomsnelheid?	H	J
4.1	Wat is een natuurlijk regime van afvoer en stroomsnelheid en wat zijn de eisen van ecosysteemtypen en functioneel belangrijke soortgroepen van beken aan regimes van afvoer en stroomsnelheid in relatie tot structuur van het stroombed? Welke eisen stellen meer natuurlijke beken aan	H	J

Nr.	Kennisvragen oppervlaktewaterstroming en inundatieregime	prioriteit	OBN-onderzoek
	afvoerregime?		
4.2	Welke factoren in dynamiek van afvoer en stroomsnelheid (hoogte/frequentie/tijdstip piek, hoogte minimum) en waterstandsdynamiek beperken of bevorderen het voorkomen van soorten/ functionele soortgroepen?	H	J
4.3	Hoe kan de afvoerdynamiek van een stroomgebied t.b.v. sleutelprocessen in beken en beekdalen kwantitatief worden beschreven? Toelichting: Afvoerpatronen zijn complex en kunnen met uiteenlopende parameters worden beschreven. Zaak is om eigenschappen van afvoerdynamiek te beschrijven die relevant zijn voor beekdalherstel. De gemeten en gemodelleerde afvoerreeksen van beken kunnen dan beoordeeld worden op de ecologische effecten.	H	J
5	Waar en hoe kan een gedempt regime van afvoer en stroomsnelheid van beken worden hersteld?	H	J/E
5.1	Wat is de relatie tussen enerzijds landgebruik, afwatering, ontwatering en anderzijds afvoerdynamiek en sedimenttransport? Toelichting: Afvoerdynamiek en sedimenttransport zijn alleen te beïnvloeden via landgebruik en ontwatering op stroomgebiedschaal.	H	J/E
5.2	Draagt omvorming van ontwaterde landbouwgronden naar natte natuurgebieden zonder artificiële afwatering in bovenstroomse delen van stroomgebieden bij aan het afvlakken van neerslagpieken in de afvoer van beekdalen? Toelichting: in natuurterreinen met afvoer van neerslagwater over maaiveld kan de hoge ruwheid van het oppervlak zorgen voor een trage afvoer van oppervlaktewater.	H	J/E
5.2	Waar en hoe (landgebruik, afwatering, ontwatering, beekprofiel) kan voor gewenste ecosystemen en soorten van beken het gedempte regime van afvoer en stroomsnelheid worden gerealiseerd? Toelichting: Afvoerregime kan alleen worden beïnvloed door maatregelen op stroomgebiedschaal.	H	J/E
5.3	Waar en hoe is bij een hoge afvoerdynamiek herstel van beken mogelijk? Toelichting: Deze vraag is relevant voor stroomgebieden waar de hoge afvoerdynamiek niet of nauwelijks kan worden veranderd.	H	J/E
6	Wat zijn de eisen van terrestrisch ecosystemen en soorten aan regimes van overstroming en inundatie?	H	J
6.1	Wat zijn de eisen van terrestrische ecosystemtypen en soorten voor inundatie- en overstromingsregimes?	H	J
6.2	Wat zijn de eisen van diersoorten voor inundatie- en overstromingsregimes in relatie tot reliëf en terreinheterogeniteit?	H	J
6.3	Wanneer zijn effecten van overstroming en inundatie op bedreigde soortgroepen positief of negatief?	H	J/E
6.4	Welke faunagroepen zijn gevoelig voor overstroming en inundatie en in welke periode van het jaar.	H	J
6.5	Welke fauna is gebonden aan overstroming of inundatie?	H	J
7	Waar liggen mogelijkheden om, rekening houdend met afvoercharacteristieken en oppervlaktewaterkwaliteit, een overstromingsregime te herstellen dat gunstig uitpakt voor overstromingsafhankelijke terrestrisch en semi-aquatische ecosystemen en soorten?	H	J/E
7.1	Waar en hoe kan het noodzakelijke overstromings- en inundatieregime voor overstromings- en inundatieafhankelijke en -tolerante terrestrische en semi-aquatische ecosystemen en soorten (duur, frequentie, periode in het jaar en diepte van overstroming/inundatie) worden gerealiseerd en zijn ook overige condities als waterkwaliteit en grondwateraanvoer gunstig voor herstel van overstromingsvlakten?	H	J/E
7.2	Waar en hoe kunnen in overstroomde beekdalen chemische gradiënten ontstaan van invloed van beekwater naar invloed van grond- en regenwater?	H	J/E

Nr.	Kennisvragen morfologie en structuur van beekdalen en beken	prioriteit	OBN-onderzoek
8	Wat is de natuurlijke ruimtelijke structuur van verschillende beekdaltypen?	H	J/E/N
8.1	Welke terreinheterogeniteit in beekdalen is noodzakelijk voor fauna met terrestrisch levensfase?	H	J/E/N
8.2	Welke structuurvariatie en dynamiek van de structuur is aanwezig in actuele (eventueel buitenlandse) referenties van laaglandbeken met natuurlijke afvoerstelsels aanwezig?	H	J
8.3	Welke structuurvariatie en dynamiek van de structuur is aanwezig in historische referenties van laaglandbeken met natuurlijke afvoerstelsels aanwezig? Toelichting: Mogelijk bieden beschrijvingen van historische referenties ook inzicht.	M	E
9	Wat is de natuurlijke morfologische structuur van verschillende aquatisch-ecologische beektypen?	H	J/E
9.1	Welke structuurvariatie en dynamiek van de structuur is aanwezig in het stroombed van natuurlijke beken in actuele (eventueel buitenlandse) referenties?	H	J
9.2	Welke structuurvariatie en dynamiek van de structuur is aanwezig in het stroombed van natuurlijke beken in historische referenties?	M	E
10	Wat zijn de sleutelfactoren om tot herstel van natuurlijke ruimtelijke structuur van verschillende beekdaltypen te komen?	H	J
10.1	Welke ruimtelijke structuren in beekdalen en in welke dichtheid/ omvang zijn belangrijk voor tolerantie van (semi-)terrestrische diersoorten tegen overstroming/inundatie? Toelichting: Eisen van veel terrestrische fauna aan overstroming/inundatie lijken vaak gekoppeld te zijn aan structuurvariatie die bijdraagt aan de overleving tijdens overstroming/inundatie. Kleinschalige hoogteverschillen lijken daarbij van groot belang te zijn.	H	J/E/N
10.2	Welke kenmerken en processen voor lengteprofiel, dwarsprofiel, micromorfologie (in en buiten de beek) en vegetatiestructuur kunnen worden afgeleid van actuele referenties van natuurlijke laaglandbeeksystemen? Toelichting: Er dient een overzicht te komen welke kenmerken en processen belangrijk zijn voor de morfologie van natuurlijke laaglandbeekstelsels. Speciale aandacht is nodig voor vertakte stelsels en diffuse afvoerpatronen.	H	J
11	Wat zijn de sleutelfactoren om tot herstel van de natuurlijke morfologische structuur van verschillende aquatisch-ecologische beektypen te komen?	H	J(E)
11.1	Welke kwantitatieve relatie bestaat er tussen enerzijds dynamiek van afvoer en stroomsnelheid en anderzijds structuurvariatie in en langs de beek Toelichting: Afvoerdynamiek heeft samen met biotische processen grote invloed op de morfologie van het stroombed.	H	J
11.2	Wat is de relatie tussen enerzijds sediment- en organisch materiaaltransport en anderzijds de structuurvariatie en de betekenis daarvan voor ecosystemen, dier- en plantensoorten? Toelichting: Afvoerdynamiek en sediment- en organisch materiaaltransport zijn van invloed op structuren in het stroombed. Een hoge sedimentlast van zand en slib, kan het voorkomen van bepaalde levensgemeenschappen en soorten beperken. NB de invloed van eutrofiëring op terrestrische delen via sedimentatie van slib komt aan de orde bij het thema 'oppervlaktewaterkwaliteit'.	H	J/E
11.3	Welke beekpatronen en welke componenten van natuurlijke beeksystemen zijn wel en welke zijn niet mogelijk bij huidige en toekomstige hoge afvoerdynamiek? Toelichting: In stroomgebieden waar de hoge afvoerdynamiek niet te verkleinen is, is deze vraag relevant.	H	J/E
11.40	Hoeveel ruimte is nodig om de gradiënt van stroombed met aquatische en semi-aquatische delen naar de terrestrisch zone wat betreft structuur volwaardig te ontwikkelen? Toelichting: Deze vraag is relevant waar voor beekherstel beperkte ruimte beschikbaar is in het beekdal.	H	E

Nr.	Kennisvragen morfologie en structuur van beekdalen en beken	prioriteit	OBN-onderzoek
12	Waar en hoe kunnen beekdalen met natuurlijke afvoerstelsels worden ontwikkeld waarbij een grote mate van verwevenheid ontstaat tussen de aquatische en terrestrische componenten?	H	J(E)
12.1	Waar en hoe kunnen in beekdalen natuurlijke afvoerstelsels ontwikkeld worden met vertakte/diffuse afvoerstelsels, een structureel stroombed, een grote rol van biologische structuren op de morfologische ontwikkeling en met een gedempt afvoerregime? Toelichting: door concreet aan te geven waar natuurlijke laaglandbeken met vertakte en diffuse lengteprofielen kunnen worden ontwikkeld, kunnen de mogelijkheden hiervoor ook bij beheerders en inrichters beter worden onderkend. Bij het selecteren van kansrijke locaties dient rekening te worden gehouden met claims vanuit het waterbeheer, effecten van klimaatverandering. Proefgebieden zijn relatief gemakkelijk te realiseren en te monitoren voor midden-, bovenloop en oorsprongen. Proefgebieden in benedenloopsituaties met functionerende overstromingsvlaktes en een weinig verstoord stroomgebied (veelal groot) zijn momenteel lastiger te vinden.	H	J
12.2	Zorgt een ontwikkeling naar brede meer vertakte of diffuse stromingstelsels in beekdalen met een grote afvoerdynamiek voor herstel van (semi-)aquatische ecosystemen en bijbehorende soorten? Toelichting: Deze vraag is relevant voor stroomgebieden waar de hoge afvoerdynamiek niet of weinig kan worden veranderd maar wel een brede dalvlakte met natuurfunctie beschikbaar is.	H	J
13	Waar en hoe kunnen structureelrijke beken worden ontwikkeld?	H	E(J)
13.1	Waar en hoe kunnen structuurvorming door biologische processen (stroombed, takken, bomen, waterplant- en moerasvegetatie) in het stroombed en bijbehorende biodiversiteit worden bevorderd. Toelichting: Organisch materiaal is een belangrijke structuur- en substraatvormer in meer natuurlijke beken. Dood organisch materiaal of de waterplant-, moeras- en oevervegetatie kan direct doorwerken in de geschiktheid van eiafzetplaatsen of uitsluitlocaties voor macrofauna zoals libellen en voor refugia bij hoge afvoeren en waterstanden.	H	J
13.2	Hoe zijn ruimtelijke structuren in en rond de beek en in welke dichtheid/omvang te bevorderen die van belang zijn voor de tolerantie van (semi-)terrestrische diersoorten tegen overstroming/inundatie? Toelichting: Eisen van veel terrestrische fauna aan overstroming/inundatie lijken vaak gekoppeld te zijn aan structuurvariatie die bijdraagt aan de overleving tijdens overstroming/inundatie. Kleinschalige hoogteverschillen lijken daarbij van groot belang te zijn.	H	J/E/N
13.3	Hoe kan in beken met een kunstmatig dwarsprofiel een structureel stroombed ontwikkeld worden? Toelichting: Veel beken hebben in verband met het waarborgen van voldoende afvoercapaciteit een kunstmatig dwarsprofiel.	H	E
14	Hoe kan in beekdalen terreinheterogeniteit worden bevorderd en in stand gehouden?	H	J/E
14.1	Hoe zijn ruimtelijke structuren in de terrestrische delen van beekdalen en in welke dichtheid/omvang te bevorderen die van belang zijn voor het voorkomen van (semi-)terrestrische diersoorten? Toelichting: Eisen van veel terrestrische fauna aan overstroming/inundatie lijken vaak gekoppeld te zijn aan structuurvariatie die bijdraagt aan de overleving tijdens overstroming/inundatie. Kleinschalige hoogteverschillen lijken daarbij van groot belang te zijn.	H	J/E/N
14.2	Welke beheer is geschikt voor behoud en herstel van moslaag, microstructuur (bultjes, bult/slenk-patronen, poelen) en karakteristieke fauna in veenvormende zeggenbegroeiingen? Toelichting: Biotisch beheer kan een alternatief vormen voor open houden van beekdalen (voorkomen verbossing) en kan bijdragen aan structuurvariatie op uitlopende schaalniveaus.	H	J/E

Nr.	Kennisvragen kwaliteit van grondwater en bodem	prioriteit	OBN-onderzoek
15	Hoe kunnen kunstmatig verrijkte grondwatergevoede terrestrisch en semi-aquatische ecosystemen hersteld worden?	H	J(E)
15.1	Welke herstelstrategie (combinatie en volgorde in de tijd van vermindering van bemesting in het intrekgebied en interne maatregelen) zijn nodig voor herstel van voedselarme kwelafhankelijke ecosystemen die door bemesting in het intrekgebied eutrofiëren met nitraat en sulfaat. Op welke wijze dient daarbij rekening te worden gehouden met de geo- en hydrochemische processen in het grondwatersysteem (pyriet, sideriet, glauconiet, organisch materiaal) en redoxtoestand van het grondwatersysteem?	H	J
15.2	Zijn lange termijn effecten van toestroming van vermest grondwater op voedselarme ecosystemen te verzachten of voorkomen met interne maatregelen?	H	J
15.3	Kunnen (zeer) natte mesotrofe systemen met toevoer van sulfaat/ en of nitraatrijk grondwater duurzaam ontstaan bij verwijdering van de oude geëutrofiëerde bodem? Treedt in organisch materiaal dat zich opnieuw vormt onder sulfaat- en nitraatrijke omstandigheden op den duur wel of geen interne eutrofiëring op?	H	J
16	Hoe kunnen voedselarme terrestrische ecosystemen hersteld worden op bodems met (potentiële) interne eutrofiëring?	H	J
16.1	Is fosfaatmobiliteit in de bodem afhankelijk van Fe-concentraties in het aangevoerde grond- of oppervlaktewater of van de gehalten aan Fe-oxiden in de bodem. Moet de sulfaatconcentratie in het water niet worden afgemeten aan de Fe-concentratie in het water of aan de gehalten aan Fe-oxiden in de bodem? Is deze afhankelijkheid afhankelijk van het redoxregime en daarmee waterstandregime in de bodem? Toelichting: Indien vooral de concentraties in het water relevant blijken, dan moeten herstelmaatregelen worden gezocht in verbetering van de grondwaterkwaliteit of aanpassen van het waterstandregime. Als bodemgebonden ijzer doorslaggevend is dan is afplaggen of afgraven de ontijzerde toplaag of beijzering veel relevanter.	H	J
16.2	Hoe verhoudt het geaccumuleerde effect van atmosferische zwaveldepositie in kwelzones zich tot het effect van via kwelwater aangevoerd sulfaat in relatie tot de problematiek van P-eutrofiering door desorbtie van fosfaat van ijzerhydroxiden? Toelichting: Natte min of meer stagnante systemen zijn een zinkputje voor zwavel uit het verleden. Dat zwavel is geaccumuleerd in gereduceerde vorm als FeS-verbindingen en hebben daardoor de fosfaatbuffercapaciteit aangetast. Bij een sterke atmosferische invloed op dit proces lijkt sturen op P via waterbeheer (verminderde vermist grondwater, peilbeheer) minder effectief dan bij dominantie van sulfaat via kwelstromen.	H	J
16.3	Is in verdroogde beekdalbodems met een hoog anorganisch fosfaatgehalte herstel van grondwatergevoede, mesotrofe zeer natte systemen mogelijk door vernatting (o.a. veenvormende zeggenbegroeiingen) en ontwikkelt zich dan een bodem met een lage fosfaatbeschikbaarheid? Wordt fosfaat dat door vernatting desorbeert in zulke vernatte systemen via kwelwater afgevoerd en op welke termijn? Welke aanvullend beheer is noodzakelijk voor het bereiken van mesotrofe omstandigheden? Toelichting: In permanent natte (en basische) systemen is het voorkomen van ijzeroxiden onwaarschijnlijk (trilvenen) vanwege anaërobe. Er zijn aanwijzingen dat dan juist P-immobilisatie plaatsvindt door microbiële vastlegging. In ongestoorde permanent natte basische systemen komt nauwelijks anorganisch P voor maar wel veel organisch gebonden P in complexe humusvormen. Sturing op K en N is dan relevant.	H	J
16.4	Is via peilbeheer (nat/droog-cycli) te sturen op P-immobilisatie?	H	J
17	Hoe kunnen voedselarme terrestrische ecosystemen worden hersteld op voormalige landbouwgronden en in verdroogde natuurgebieden?	H	J

Nr.	Kennisvragen kwaliteit van grondwater en bodem	prioriteit	OBN-onderzoek
17.1	Zijn plagen en afgraven op de langere termijn effectiever voor ontwikkeling van voedselarme terrestrische ecosystemen dan minder rigoureuze maatregelen als verschralen en uitmijnen? Toelichting: De eerste optie impliceert immers vaak natuurherstel van scratch af aan met een initiële ecosysteemontwikkeling op weinig verweerd moeder materiaal. Daarnaast is overal afgraven uit oogpunt van herstel van de waterhuishouding niet altijd een optie.	H	J
17.2	Bieden voormalige landbouwgronden bij niet afgraven mogelijkheden voor ontwikkeling van soortenrijke bossen op mull(moder)humusprofielen?	H	J
18	Hoe kan basenrijkdom van grondwater en bodem van terrestrische ecosystemen duurzaam worden hersteld?	H	J
18.2	Kan ontwikkeling van bos met boomsoorten die basenrijk strooisel produceren bijdragen tot duurzaam herstel van de basenrijkdom en dan vooral op plekken met een matige of geen toevoer van basenrijk grond- en oppervlaktewater? Kan dit plagen vervangen? Wat zijn afhankelijk van de uitlogingsdiepte ontwikkelingstermijnen en kan in combinatie met bekalking de ontwikkeltermijn sterk worden verkort?	H	J
18.3	Wat is het effect van afgraven op de zuurbuftercapaciteit van het kationenadsorptiecomplex in verhouding tot de zuurbuftering via aanvoer van basenrijk water? Toelichting: Afgraven verlaagt sterk de kationenadsorptiecapaciteit (CEC) vooral op zand, klei, leem- en moerige bodems. De kleine omvang van de CEC na afgraven en daardoor kleine zuurbuftercapaciteit van de bodem maakt dat de zuurgraadbuffering instabiel is en kwetsbaar voor verzuring door weersinvloeden. Een sterke verzuring heeft ook grote invloed op het bodemleven en daarmee op een ectorganische profielontwikkeling met een relatief geringe CEC per eenheid organische stof. Anderzijds leidt een endorganische profielontwikkeling tot een organisch stoftype met een relatief hoge CEC per eenheid organische stof waardoor de zuurgraadbuffercapaciteit toeneemt en fluctuaties in basenaanvoer door weersinvloeden dempt.	H	J

Nr.	Kennisvragen oppervlaktewaterkwaliteit	prioriteit	OBN-onderzoek
19	Welke processen in het stroomgebied bepalen de nutriënten-, sulfaat- en sliblast van beken?	H	J/E
19.1	Hoe bepaalt landschapsecologische setting van beekdalen/ beekdaltrajecten, die bepalend is voor de belasting van beken met slib, organische stof, ijzer, sulfaat, kalium en fosfaat en hoe verandert deze setting van bovenloop naar benedenloop?	H	J/E
19.2	Hoe kan relatie tussen enerzijds landgebruik, afwatering, ontwatering en anderzijds de belasting van oppervlaktewaterstelsel met nutriënten, basen en sediment worden gekwantificeerd?	H	J/E
19.3	Welke relaties bestaan tussen enerzijds afvoerregime/ hoogte van piekafvoeren en anderzijds belasting en transport van nutriënten, mineraal sediment en organisch stof?	H	J/E
19.4	Kunnen overstromde (en vernatte) beekdalbodems (tijdelijk) een zware fosfaatbelasting geven op het oppervlaktewater?	H	J/E
19.5	Hoe kunnen beekdaltrajecten of -zones worden aangewend zuivering van beekwater door slibbezinking en verwijdering van minerale stikstof en fosfaat?	H	E
20	Hoe werken nutriënten- en sliblast in beekwater door op bekecosystemen?	H	J/E/N
20.1	Welke concentraties en fluxen van nutriënten zijn nodig voor mesotrafente en zwak eutrafente ecosystemen in beken en wat is de interactie van drempelwaarde voor nutriëntenconcentratie met stroomsnelheid?	H	N
20.2	Worden de herstel mogelijkheden van bekecosystemen door herstel van morfologie en hydrodynamiek beperkt door te hoge concentraties en fluxen van nutriënten?	H	E/N

Nr.	Kennisvragen oppervlaktewaterkwaliteit	prioriteit	OBN-onderzoek
20A	Hoe werken nutriënten-, sulfaat- en sliblast in beekwater door op overstromde terrestrische ecosystemen?	H	J/E/N
20A.1	Wat is de relatie tussen slibkwaliteit en -kwantiteit van overstromings/bevloeingswater voor voedselrijkdom en productiviteit van terrestrische ecosystemen die overstromd of bevoeid worden met beekwater?	H	J
20A.2	Wat is de relatie tussen hoeveelheid opgeloste nutriënten van overstromings/bevloeingswater voor voedselrijkdom van terrestrische ecosystemen die overstromd of bevoeid worden met beekwater?	H	J/E
20A.3	Wat is de relatie tussen hoeveelheid sulfaat van overstromings/bevloeingswater voor voedselrijkdom van (semi)terrestrische locaties die overstromd of bevoeid worden met beekwater?	H	J/E
20A.4	Waar en onder welke voorwaarden met betrekking tot overstromingsregime en bodem kunnen van nature eutrafente terrestrische ecosystemen in beekdalen worden ontwikkeld bij overstroming met nutriëntenrijk beekwater? Toelichting: Voor beekdalen waar nutriëntenbelasting op de beek voorlopig hoog blijft en waar wel overstroming optreedt of gaat optreden is meer inzicht in de ontwikkelingsmogelijkheden van overstromingsafhankelijke ecosystemen gewenst tbv inrichtings- en waterbeheerpraktijk.	H	J
20A.5	Zijn effecten op eutrofiëring van zomer- of winterbevloeïng vergelijkbaar?	L	J/E
20A.6	In hoeverre verschillen eutrofiëringseffecten door overstroming met beekwater tussen locaties met infiltratie en met kwel. Indien er verschillen zijn welke factoren (chemie, grondwaterregime) liggen hieraan ten grondslag? Toelichting: Een nooit onderzochte hypothese is dat eutrofiëringseffecten van overstroming met nutriëntenrijk beekwater minder sterk zouden zijn in kwelgebieden dan op locaties zonder kwel. Voor de keuze wel of niet waterbergen in kwelgebieden is uitsluitel hierover van belang en ook of in geval van keuze voor berging kwel dient te worden hersteld. Indien eutrofiëringseffecten verschillen is van belang welke factoren in chemie van het overstromingswater, grondwater en bodem van belang zijn en in hoeverre het grondwaterregime hierin een rol speelt.	H	J/E
20A.7	Leidt incidentele instroom van beekwater in beekdalvennen en andere wateren in beekdalen wel of niet tot te sterke eutrofiëring en welke factoren spelen hierbij een rol.	H	J
21	Welke processen bepalen de basenrijkdom van overstromde vochtig tot natte terrestrische ecosystemen?	M	J
21.1	Onder welke condities kan overstroming of bevloeïng met basenrijk oppervlaktewater bijdragen aan een herstel van de basenrijkdom van verzuurde standplaatsen? Wat is hierbij het relatieve belang van basen in slib en opgeloste basen voor de zuurgraadbuffering?	M	J
21A	Welke stoffen vormen bij overstroming een risico voor toxische effecten op soorten die afhankelijk zijn van beekdalen?	M	E/N

Nr.	Kennisvragen ecologische betekenis van soorten	prioriteit	OBN-onderzoek
22	Hoe kunnen voedselarme terrestrische ecosystemen, hun humusprofielontwikkeling en bodemleven duurzaam worden hersteld?	H	J/E(N)
22.1	In hoeverre wordt diversiteit aan planten beïnvloed door functionele bodemdiversiteit? Toelichting: Verzuring heeft het bodemvoedselweb sterk beïnvloed. Essentiële schakels (o.a. regenwormen, vervanging bacterieel door schimmel gedomineerde afbraak) zijn weggefallen wat waarschijnlijk grote consequenties heeft voor de stikstofhuishouding. Regenwormen zijn belangrijke carriers voor het inoculeren van grond met bacteriën. Als regenwormen eenmaal zijn verdwenen is dispersie van bacteriën een wezenlijk probleem. Hersteltechnieken voor bodembiodiversiteit zijn vooralsnog slechts op labschaal mogelijk. Hoe dit naar praktijkschaal zou	H	J/E/N

Nr.	Kennisvragen ecologische betekenis van soorten	prioriteit	OBN-onderzoek
	moeten worden gebracht is nog volstrekt onduidelijk. Eerste stap is de hypothese over het belang van het bodemleven te toetsen in het lab. Moet de hypothese worden verworpen dan weten we dat, maar wordt de hypothese bevestigd dan weten we in ieder geval dat we met klassieke herstelmaatregelen zonder ingrijpen op bodemleven er niet komen. Dat is dan een constatering die noopt tot het zoeken naar mogelijkheden voor beïnvloeding van bodemleven en bijvoorbeeld consequenties kan hebben voor het ambitieniveau van de beoogde natuurdoelen.		
22.2	Wat zijn de bottlenecks voor het functionele bodemleven?	H	J/E
22.3	Hoe kan het functionele bodemleven duurzaam worden hersteld na plaggen, afgraven, uitmijnen, verschralen of bekalken? Toelichting: Zowel door directe mutualistische of antagonistische relaties als door indirecte relaties via decompositie, mineralisatie en immobilisatie (humificatie) is de diversiteit aan bodemorganismen bepalend voor productie en diversiteit van hogere planten. Is het eindpunt van 30 jaar verschralen van een voormalige landbouwgrond identiek als wanneer zou zijn afgegraven? Hoe een humusprofielontwikkeling precies verloopt, is op zich niet relevant, maar is wel indicatief voor de bodem- en ecosysteemontwikkeling als functie van koolstof en nutriëntenkringloop.	H	J/E
22.4	Hoe hoge bedekking van Pitrus op voormalige landbouwgronden tegen te gaan, welke maatregel is het meest effectief om pitrushaarden terug te dringen?	H	J/E
23	Welke sleutelsoorten kunnen ingezet worden bij de ontwikkeling van beekdalen en beken?	H	J/E(N)
23.1	Draagt aanplant van plantensoorten met basenrijk strooisel bij tot snelle mull-profielontwikkeling op voormalige landbouwgronden. Treedt dan door immobilisatie afname van de voedselrijkdom op?	H	J
23.2	Wat is de bijdrage van herten, rund, paard, geit, schaap, bever, zwijn aan terreinheterogeniteit? Toelichting: Perceelsgewijs patroonbeheer werkt verarmend op de heterogeniteit. Invloed van dieren op vegetatiestructuur en terreinheterogeniteit kan een alternatief vormen voor open houden van beekdalen (voorkomen verbossing) en kan bijdragen aan structuurvariatie op uitlopende schaalniveaus.	H	J/E
23.3	Welke soorten/ functionele soortgroepen hebben een grote invloed op het functioneren van beekecosystemen en met welke maatregelen zijn deze soorten/ soortgroepen te beïnvloeden?	H	J/E/N
23.4	Kan (her)introductie van diersoorten die grote invloed hebben op het functioneren van beekecosystemen sterk bijdragen aan beekherstel en wat is daarvoor nodig?	H	J/E
24	In hoeverre zijn invasieve soorten een knelpunt voor inheemse biodiversiteit en het functioneren van beekecosystemen?	H	J/E/N
24.1	Welke exoten en invasieve dier- en plantensoorten komen in de huidige beken /beekdalen voor en welke levensstrategieën en functionele kenmerken blijken hierbij succesvol te zijn geweest?	H	J
24.2	Welke exoten en invasieve dier- en plantensoorten komen op afzienbare tijd in beken/beekdalen voor en welke levensstrategieën en functionele kenmerken bezitten ze?	H	J/E
24.3	Kunnen exoten en invasieve dier- en plantensoorten op termijn leiden tot sterke veranderingen in het functioneren van beekecosystemen en daarmee de biodiversiteit van beken en beekdalen aantasten?	H	J/E/N
24.4	Welke factoren zijn bepalend voor de toename van exoten en invasieve soorten in beekecosystemen die kunnen leiden tot sterke veranderingen in het functioneren van beekecosystemen en daarmee de biodiversiteit aantasten?	H	J/E/N
25	Hoe kan bij beekdalherstel omgegaan worden met exoten en invasieve soorten?	H/M	J/E
25.1	Met welke maatregelen kan de toename van exoten en invasieve soorten die kunnen leiden tot sterke veranderingen in het functioneren van beekecosystemen, worden beperkt.	H	J/E

Nr.	Kennisvragen ecologische betekenis van soorten	prioriteit	OBN-onderzoek
25.2	Bieden meer natuurlijke beekdalsystemen meer weerstand tegen exoten en invasieve soorten?	M	J/E

Nr.	Kennisvragen ecologische eisen van soorten	prioriteit	OBN-onderzoek
26	Voor welke diersoorten zijn beekdalen belangrijk en welke eisen stellen die soorten	H(L)	J/E/N
26.1	Welke diersoorten zijn in beekdalen bedreigd? Toelichting: deze vraag is van belang om het aantal soorten waar onderzoek naar gedaan moet worden in te perken.	H	J/E
26.2	Welke ecologische soortgroepen (fauna) kunnen worden onderscheiden worden?	H	J/E/N
26.3	Welke ecologische eisen stellen diersoorten en functionele kenmerken hebben ze waaronder macrofauna en vissen van beekdalen, aan dynamiek van afvoer, stroomsnelheid, waterstand, overstroming/inundatie?	H	J/E
26.4	Welke eisen stellen diersoorten en plantensoorten aan terreinheterogeniteit voor het voltooiën van hun levenscyclus?	H	J/E
26.5	Welke eisen voor landschapsstructuur stellen beekvissoorten?	H	J/E
26.6	Wat zijn drempelwaarden voor temperatuur van koudwatersoorten in beekecosystemen?	L	N
26.7	Wat is de invloed van microstructuur en microreliëf op het voorkomen van voor beekdalen karakteristieke macrofauna en vissen?	H	J/E
26.8	Wat is de betekenis van microreliëf (bultjes, bult/slenk-patronen, poelen) op het voorkomen van diersoorten? Toelichting: Maaibeheer nivelleert microreliëf. Biotisch beheer kan een alternatief vormen voor open houden van beekdalen (voorkomen verbossing) en handhaven/ bevorderen microreliëf.	H	J/E
26.9	Wat is het minimale ruimtebeslag van deel- en metapopulaties van karakteristieke diersoorten in beekdalen?	H	E/N
26.10	Welke drempelwaarde voor nitraat zijn van belang voor macrofyten in beekecosystemen?	H	J/E
27	Hoe kunnen populaties van bedreigde diersoorten en plantensoorten en soortgroepen duurzaam hersteld worden?	H	J/E
27.1	Wat is de invloed van bestaande en in ontwikkeling zijn de effectgerichte maatregelen op de beekvissen in het beekdallandschap?	H	J/E
27.2	Hoe kunnen beheermaatregelen zorgen voor terreinheterogeniteit die voor diersoorten en plantensoorten van belang is voor het vervullen van hun levenscyclus?	H	J/E

Nr.	Kennisvragen dispersie van soorten	prioriteit	OBN-onderzoek
28	Wat zijn effecten van herstel van laterale en longitudinale connectiviteit in beekdalen via oppervlaktewater?	H(M)	EJ/J/N
28.1	Hoe kan herstel van de laterale connectiviteit via oppervlaktewater voor dispersie van soorten in het beekdal zorgen (opnemen van diasporen vanuit lateraal en afzetten daarvan elders benedenstrooms)? Is dispersie via het water een limiterende factor voor het voorkomen van veel karakteristieke diersoorten en plantensoorten?	M	N
28.2	Voor welke diersoorten en plantensoorten neemt inundatie dispersieproblemen weg en voor welke vormt inundatie juist een extra barrière voor dispersie?	M	J
28.3	Is herstel van de verbinding in longitudinale richting wenselijk, wanneer exoten zich via de beek verspreiden? Toelichting: Opheffen van barrières in longitudinale richting (stuwen, duikers) kunnen leiden tot verspreiding van exoten vanuit benedenstrooms gebied. Matige en slechte milieukwaliteit	H	E/N

	in beken kan deze verspreiding ook in de hand werken.		
28.4	Welke dispersiecapaciteit bezitten beekmacrofauna en -vissoorten die grote invloed hebben op het functioneren van bekecosystemen?	H	J/E/N
28.5	Kan herstel/ontwikkeling van dispersieroutes voor beekfauna bijdragen aan herstelsucces en waar en in welke mate moeten corridors of stapstenen daarvoor aangepast worden?	H	J/E
29	Welke soorten kunnen zich in beekdalen alleen of vrijwel alleen hervestigen door middel van herintroductie?	H	J/E
29.1	Voor welke soorten is voor behoud in Nederland herintroductie in beekdalen noodzakelijk?	H	J/E
29.2	Welke soorten komen in aanmerking voor herintroductie in beekdalen in verband met een te lage verzadigingsgraad van ecosystemen?	H	J/E
29.3	Welke soorten komen in aanmerking voor herintroductie in beekdalen in verband een gunstige invloed op het functioneren van ecosystemen?	H	J/E
30	In combinatie met welke herstelmaatregelen is herintroductie van soorten succesvol?	H	J/E
30.1	Hoe moet herintroductie van soorten plaatsvinden in beekdalecosystemen?	H	J/E
31	Welke landschappelijk configuratie van biotopen leidt tot duurzame populaties van bedreigde dier- en plantensoorten en van te (her)introduceren soorten?	H	E/N

Nr.	Kennisvragen klimaatverandering	prioriteit	OBN-onderzoek
32	Welke temperatuurseffecten heeft klimaatverandering op bekecosystemen?	L	N
32.1	Nemen koudwatersoorten in bekecosystemen af door temperatuurstijging en wat zijn de gevolgen daarvan op bekecosystemen? Kunnen de effecten worden verminderd met mitigerende maatregelen (bos, beplanting langs beken en intrekgebied)?	L	N
32	Welke hydrologische effecten heeft klimaatverandering op grondwaterafhankelijke terrestrische ecosystemen en wanneer veranderen deze ecosystemen?	L/H	E/J/N
32.1	Hoe werken de opgetreden en toekomstige voorspelde veranderingen in neerslag en verdamping door op het (grond)waterregime en kwel/infiltratiepatroon?	H	J/E
32.2	Welke implicaties heeft de verwachte klimaatverandering op grondwaterafhankelijke terrestrische ecosystemen in beekdalen en wat zijn daarbij kritische factoren en drempelwaarden en wat en hoe groot zijn de onzekere factoren?	L	E
32.3	Welke feedbacks met effect op verdamping en grondwateraanvulling treden op door reactie van de vegetatie op klimaatverandering?	L	N
34	Welke hydrologische effecten heeft klimaatverandering op bekecosystemen en andere oppervlaktewateren in het beekdal en wanneer veranderen deze ecosystemen?	L	E
34.1	Hoe werken de opgetreden en toekomstige voorspelde veranderingen in neerslag en verdamping door op het afvoerregime van beken?	L	E
34.2	Welke implicaties hebben de waargenomen veranderingen in afvoerregime op bekecosystemen en wat zijn daarbij kritische factoren en drempelwaarden?	L	E
34.3	Welke aanpassingen in inrichting en beheer van waterhuishouding en grondgebruik zijn nodig voor aanpassing aan de effecten van klimaatveranderingen voor ontwikkeling van meer natuurlijke beken en beekdalen?	L	E

Bijlage 2: Overzicht belangrijke factoren in beekdalen

Legenda

Schaalniveau van optreden effecten
Indicatie van schaalniveau waarin effect optreedt; nb schaalniveau van het effect kan lager zijn dan het schaalniveau van het proces
<i>Klassificatie:</i>
S = standplaats (ecosysteemtype)
M = meso (omvat meerdere ecosysteemtype in ruimtelijk verband)
L = stroomgebied/ beekdallandschap inclusief infiltratiegebieden
Lt = op de transversale gradient van het beekdal inclusief infiltratiegebieden
Ll = op de longitudinale gradient van het beekdal inclusief infiltratiegebieden
R = regionaal (overstijgt schaal van het beekdal)

Belang voor ecosysteemtypen en soorten met herstelopgave
Aanduiding voor welke ecosysteemtypen en soorten met herstelopgave factor van belang is in positieve of negatieve zin
<i>Klassificatie:</i>
G = van groot belang
K = van klein belang
J = van belang maar onduidelijk in welke mate
? = onduidelijk of proces van belang is
<i>Toevoegingen achter codes:</i>
..- = negatief effect
..+ = positief
../+ = zowel negatief als positief effect

Mate van voorkomen in beekdalen
Indicatie in welke mate factor werkzaam is in beekdalen (inclusief heuvellandbeekdalen)
<i>Klassificatie:</i>
G = treedt vaak/ veel op
K = treedt weinig op
N = treedt nooit op
J = treedt op maar onduidelijk hoe vaak of veel
? = optreden onzeker
<i>Toevoegingen achter codes:</i>
..- = negatief effect op natuurdoelen
..+ = positief natuurdoelen
../+ = zowel negatief als positief effect op natuurdoelen
..t = gaat in toekomst optreden

Factor	Toelichting	Biotisch effect op natuurdoelen	Reversibiliteit (in geval van negatieve factor)	Schaalniveau van optreden effecten	Belang voor ecosystemen en soorten met herstelopgave	Mate van voorkomen in beekdalen
--------	-------------	---------------------------------	---	------------------------------------	--	---------------------------------

Hydrologische beekprocessen en klimaat

grondwatervoeiding	Infiltratie en kwelstromen, verblijftijden en verhouding tov afstromend oppervlaktewater bepalen ecologie beek., grondwaterstroming bepaalt samen met eventueel rioleffluent basisafvoer		Mits geologie ongewijzigd is proces reversibel wanneer herstel op stroomgebiedsschaal plaats vindt	M, L	G+	G+
neerslag	Afstroming over oppervlakte bepaalt frequentie en hoogte piekafvoeren en daarmee afvoerdynamiek, hoofdfactor aanwezige ecologie		Mits geomorfologie ongewijzigd is proces reversibel wanneer herstel op stroomgebiedsschaal plaats vindt	M, L	G+	G+
effect landgebruik op afvoerregime beken/waterlopen	Afstroming over oppervlakte bepaalt frequentie en hoogte piekafvoeren en daarmee afvoerdynamiek, hoofdfactor aanwezige ecologie. Door veel detailontwatering, landbouwkundiggebruik en verhardoppervlak grote afvoerdynamiek. Hoge pieken geeft erosie, verandering beddingvorm en insnijding bedding.	- toename beekgemeenschappen van geeutrofiëerde situaties - afname reofiele soorten agv verslibbing - verarming structuren/habitat agv verspoeling - direct wegspoelen van aquatische organismen	Reversibel indien op stroomgebiedsschaal waterhuisghouding wordt aangepast. Op grotere schaal moeilijk te realiseren. Op kleinere schaal in kleinere (deel)stroomgebieden makkelijker.	LI, R	G-	G-
hydraulische processen in de beek	Piet nog invullen	stroming, stroomsnelheid en stromingsprofiel bepalen habitat beekorganismen	Reversibel, hang samen met herstel beekdallandschap	S, M	G+	G+
rioleffluent en overstorten	rioleffluent kan in de basisafvoer van beken een groot aandeel hebben en daarmee sterk de waterkwaliteit bepalen, riooloverstorten zorgen bij piekafvoeren voor sterke input van nutriënten, vervuiling en slib.	- bevordering van eutrafente soorten - sterke toevoer van slib leidt tot lage zuurstofverzadiging en verdwijnen oxyfiele en veel rheofiele soorten	Reversibel, bij stoppen lozing effluent kan beek wel periodiek droogvallen	S, M	G-	J-
Effect klimaatverandering op afvoerregime beken/waterlopen	Door nattere winters, drogere zomers en toename hoosbuien neemt afvoerdynamiek van beken toe	- toename beekgemeenschappen van geeutrofiëerde situaties - afname reofiele soorten agv verslibbing - verarming structuren/habitat agv verspoeling	Weinig reversibel. Mitigatie mogelijk door ingrepen in stroomgebied en lengte- en dwarsprofiel	S, M, L, R	G+/-	G+/-
Temperatuurstijging door klimaatsverandering	Door klimaatsverandering neemt de temperatuur van beeken toe	- mogelijke afname van koudwatersoorten	Niet reversibel; mogelijk te mitigeren door meer beschaduwing	S, M, L, R	G+/-	G+/-

Geomorfologische en beekmorphologische processen

Lengteprofielontwikkeling	Wordt abiotisch gestuurd door afvoerpatroon, verhang en beddingvorm, erosie en sedimentatie verhouding ligt hieraan ten grondslag. Onder meer natuurlijke omstandigheden heeft de vegetatie grote invloed op de profielontwikkeling. Menselijke ingrepen in de beekbedding zijn zeer bepalend geweest voor lengteprofielontwikkeling.		Wegverlenging en herstel vertakte en diffuse structuren herstelbaar. Natuurlijk ontwikkeling kost wel tijd.	M, LI	G+	G+
---------------------------	---	--	---	-------	----	----

Factor	Toelichting	Biotisch effect op natuurdoelen	Reversibiliteit (in geval van negetatieve factor)	Schaalniveau van optreden effecten	Belang voor ecosystemen en soorten met herstelopgave	Mate van voorkomen in beekdalen
Dwarsprofielontwikkeling	Abiotisch is stromingsvariatie sterk bepalend voor lokale verhouding tussen erosie en sedimentatie en daarmee profielvorming in breedte en diepte richting. Menselijke ingrepen in het stroombed hebben dwarsprofiel in meeste beken sterk beïnvloed. Normalisatie heeft geleid tot sterke structuurverarming van de beekbedding.	- normalisatie leidt tot sterke verarming van gemeenschappen in beek en semi-aquatische zone	Dwarsprofiel is herstelbaar, natuurlijk wegvastlegging (bomen) kost veel tijd en herstel dient over lange trajecten en met in acht nemen breedte in beekdal plaats te vinden	M, Lt	G+	G+
Sedimentatie/ erosie	Stromingsvariatie sterk bepalend voor lokale verhouding tussen erosie en sedimentatie.		Dwarsprofiel is herstelbaar, natuurlijk wegvastlegging (bomen) kost veel tijd en herstel dient over lange trajecten en met in acht nemen breedte in beekdal plaats te vinden	M, Lt	G+	G+
Sedimentatie van slib	Sedimentatie van slib in beekdal treedt op beekdalen met overstroming en een intrekgebied vanwaaruit slib wordt aangevoerd. Daarom vooral in midden- en benedenlopen en lage dalen in het heuvelland.	Aanvoer van nutriënten, basen, verhoging CEC	Reversibel door aanpassing dwarsprofiel	Lt/LI	+/- terrestrische natuur	G-K
Aanwezigheid van en dynamiek in substraat-mozaïeken	Voor beken is een lokale balans erosie/sedimentatie en sterke invloed organisch materiaal (bladval, takken en boomstammen) belangrijk.		Op kortere termijn herstelbaar indien alle bovengenoemde morfologische processen op orde zijn	S, M	G+	G+
Insnijding door erosie beekbedding	Verdieping van de waterloop kan plaatsvinden door verdieping van de waterloop benedenstrooms en door toename piekafvoeren door veranderingen in intrekgebied (meer akkerbouw, verharding, riooloverstorten) en lozingen van RZWI's. Piekafvoeren leiden met name bij een relatief groot verhang tot insnijding. Insnijding van de beekbedding leidt tot verlaging van de drainagebasis en daarmee tot verdroging in het beekdal.	- verdroging van terrestrische vegetatie; - de verdroging leidt ook vaak tot verzuring en interne eutrofiering	Reversibel mits peikafvoeren worden verlaagd	LI/Lt	- terrestrische natte natuur	G
Convergentie naar enkelvoudige, diep ingesneden meanderende en sinioide beeklopen	De enkelvoudige diepe waterlopen hebben abrupte overgangen tussen aquatisch en terrestrisch. Een semi-aquatische zone ontbreekt daarbij.	- verlies van leefruimte voor semi-aquatische soorten - verlies van habitat voor volwassen terrestrische adulten van aquatische soorten - verdroging terrestrische natuurtypen	Herstel van ondiepe menaderende beken en andere type lengteprofielen is mogelijk	L	G -aquatisch	G
Vertakte beekstelsels en diffuse afvoerstelsels	Complexe vertakte beekstelsels (meer dan 1 beekloop) en diffuse afvoerpatronen komen nauwelijks meer voor. Zulke afvoerpatronen komen onder natuurlijke omstandigheden in laaglandbeekdalen voor en zijn vanwege de grote interactie tussen 'waterloop'-land en grote variatie in het stroombed belangrijk. Vertakte beekstelsels worden bevorderd door omgevallen bomen die natuurlijke damvorming ininitieren.	In vertakte en diffuse systemen die ook beekmoerassen doorkruisen worden de huidige relatief monotone aquatische levensgemeenschappen vervangen door veel meer heterogene. De sterke zonatie van oorsprong, bovenloop, middenloop en benedenloop wordt vervangen door een veel meer geïntegreerd patroon waarbij soorten van de huidige bovenlopen ook meer benedenstrooms kunnen	vermoedelijk reversibel	L	G + aquatisch, + natte bossen, + moerassen	actueel K

Factor	Toelichting	Biotisch effect op natuurdoelen	Reversibiliteit (in geval van negetatieve factor)	Schaalniveau van optreden effecten	Belang voor ecosystemen en soorten met herstelopgave	Mate van voorkomen in beekdalen
		voorkomen wegens grote variatie binnen een beektraject.				
Verplaatsing stroombed	Meeste laaglandbeken vertonen doorgaans weinig morfodynamiek. Beken waar 'hermeandering' is uitgevoerd kunnen (tijdelijke) fase van veel erosie en sedimentatie vertonen. Meandering is niet de bepalende factor voor ecologische kwaliteit meer wel het verhang tov structuurvariatie en demping van de afvoerdynamiek. Heuvellandbeken in fluviale dalen vertonen tegenwoordig veel erosie waarbij stroombed verbreedt. Actieve meandering vindt vooral plaats wanneer het beekverloop wijzigt (bv meanderingsnijdingen, veranderingen in stroomgebied) waardoor het lengteprofiel uit evenwicht is geraakt. In fluviale beekdalen is actieve meandering op een langere tijdschaal van belang voor terrestrische natuur door vorming nieuwe bodems (oeverwallen, stroomruggen). Dit is vooral van belang in fluviale beek/riviersystemen die buiten de scope van dit advies vallen.	Actieve meandering is voor de beeklevensgemeenschap alleen van belang wanneer dit proces traag verloopt. Actieve meandering verhoogt de heterogeniteit in de beekbedding die voor een aantal beeksoorten van levensbelang is. Wanneer de dynamiek te groot wordt, leidt actieve meandering tot verarming van de beeklevensgemeenschap.	Actieve meandering is in bepaalde situaties mogelijk. zie verder bij lengteprofiel ontwikkeling.	meestal M, S	?	K, actieve meandering treedt weinig op

Stofstromen in beek

primaire productie en nutriënten-huishouding	Gezien het stromend karakter van beken zijn lage concentraties al voldoende om tot eutrofiering te leiden omdat P en N continu worden aangevoerd. Aangevoerde nutriënten hebben vooral effect op primaire producenten	Basis autochtone voedselketen en sturend voor beekgemeenschap.	Reversibel en hangt samen met hydromorfologische toestand	LI, S	G+/-	G+
Externe eutrofiering beken	Gezien het stromend karakter van beken zijn lage concentraties al voldoende om tot eutrofiering te leiden omdat P en N continu worden aangevoerd. Aangevoerde nutriënten hebben vooral effect op primaire producenten	Verschuiving van mesotrafente naar eutrefente vaatplanten, mossen en algen. Toename van algen. Kan doorwerken op de fauna (consumenten)	Reversibel en hangt samen met hydromorfologische toestand	S, M.	J	G-
decompositie en organisch materiaal	Organisch materiaal is structuur vormend en bepaald daarmee in sterke mate alle andere fysische processen zoals meandering. Daarnaast leidt een teveel aan afbreekbaar organisch materiaal tot verstoring van de zuurstofhuishouding of verslibbing van de bodem.	Basis allochtone voedselketen en sturend voor beekgemeenschap	Is reversibel maar kost veel tijd indien bomen/ houtigen op oever moeten ontwikkelen	LI	G+/-	G+

Factor	Toelichting	Biotisch effect op natuurdoelen	Reversibiliteit (in geval van negetatieve factor)	Schaalniveau van optreden effecten	Belang voor ecosystemen en soorten met herstelopgave	Mate van voorkomen in beekdalen
Externe saprobiering beken	Externe saprobiering beken betreft aanvoer van sterk afbreekbare organische stoffen uit organische bemesting van aanliggende landbouwgronden en van overstorten en effluënten. Het organisch materiaal afkomstig van bomen en andere houtgewassen heeft een geheel andere samenstelling en is veel moeilijker afbreekbaar. externe belasting met organisch materiaal zorgt leidt tot groter aandeel van organismen die organisch materiaal afbreken. Door grotere zuurstofconsumptie kan zuurstofverzadiging sterk dalen.	in interactie met zuurstof zeer kritisch voor beekorganismen	Reversibel indien op stroomgebiedsschaal waterhuishouding wordt aangepast. Op grotere schaal moeilijk te realiseren. Op kleinere schaal in kleinere (deel)stroomgebieden makkelijker.	S, M, L	G-	G-
zuurgraadbuffering	De buffering en de zuurgraad zijn vooral in de uitersten van lage pH en lage buffering sturend voor de fysiologie van beekplanten en -dieren. Alleen lokaal is dit proces een knelpunt (voedselarme, slecht gebufferde systemen).	Direct sturend via fysiologie op soortensamenstelling	moeilijk reversibel indien intrekgebied is uitgelooft	M	G+	K+
Zuurstofhuishouding	Veel stromingsminnende soorten zijn tevens zuurstofminnend. Verhoogde toevoer van zuurstofbindende stoffen (overstorten, uitspoeling van organische mest van landbouwgrond) hebben vaak grote gevolgen voor kritische stromingsminnende soorten.	Zuurstofverzadiging is zeer kritisch voor de typische beekfauna, geringe daling leidt al tot soortverlies vooral van stromingsgevoelige soorten	Reversibel en afhankelijk toevoer organisch materiaal en stroming	S	G+/-	G+/-
mineralenhuishouding	Piet nog invullen, aangeven om welke mineralen het gaat	Lage gehalten sturend voor kreeftachtigen (de dominante groep in kleinere beken). Hogere gehalten van belang voor waterplanten	Reversibel indien grondwatstromen op orde zijn/komen en kwaliteit oppervlaktewater verbeterd	M, L	K+/-	G+/-

Hydrologische dynamiek en kwel/infiltratie patronen

Vochtvoorziening door waterregime	Waterregime bepaalt in combinatie met textuur van de bodem vochtleverantie naar wortelzone. Hoe hoger de waterstand en fijner de textuur desto beter is nalevering vocht. Naarmate duur van lage standen groter is en de textuur grover neemt de periode met geen of weinig capillaire opstijging van vocht toe en daarmee ook de duur van droogtestress	Belangrijk sturende factor voor terrestrische vegetatie	reversibel	S	G+/-	G
Maaiveldverlaging en stagnatie regenwater door verdroging (ook holle percelen)	In beekdalen met veenbodems treedt door verdroging veraarding en inklink van veen op. Bij sterkere maaiveld verlaging in de perceelcentra ontstaan van holle percelen. Er stagneert in de winter dan meer regenwater.	Combinatie van diepe zomerstanden en stagnatie van water op maaiveld: is nadelig voor moerassen, meeste schraallandtypen	irreversibel	Lt-M	G- blauwgraslanden , kalkmoerassen, trilvenen	G
Effect ontwatering op waterregime	Effect van ontwatering is dat zomerstanden dieper uitzakken en langduriger. Waterstand zakt in het voorjaar dan ook sneller uit. Op de wintersituatie is effect vaak minder groot. Door een neerslagoverschot in combinatie met een minder goed doorlatende bodem treedt dan een hoge freatische stand op. Bij sterke verlagingen in de zomer kan ook droogtestress gaan optreden.	Verdroging van grondwaterafhankelijke vegetatie	reversibel door maatregelen in de waterhuishouding	L-M	G-voor vele grondwaterafhan- kelijke natuurtypen	G

Factor	Toelichting	Biotisch effect op natuurdoelen	Reversibiliteit (in geval van negetatieve factor)	Schaalniveau van optreden effecten	Belang voor ecosystemen en soorten met herstelopgave	Mate van voorkomen in beekdalen
Effect grondwater-onttrekking op waterregime	Grondwateronttrekking leidt tot verlaging freatische stand. Schaal waarop is afhankelijk van geohydrologie, omvang winning en diepte. Kan zowel door werken op zomer- als winterstanden.	Verdroging van grondwaterafhankelijke vegetatie	reversibel door maatregelen in waterwinning	meestal L	G - voor vele grondwaterafhankelijke natuurtypen	M
Effect vegetatie op waterregime	Verdamping en interceptie door de vegetatie bepaald grondwateraanvulling. Verandering van vegetatie in intrekgebieden van beekdalen is van invloed op zowel freatische standen in intrekgebied als op de beekdalflanken en de dalen. Omzetting van heide/stuifzand naar (naald)bos of productieve landbouwgrond heeft geleid verminderde grondwateraanvulling in intrekgebied. Dit werkt het sterkst door in verlaging van de zomerstanden.	Verdroging van grondwaterafhankelijke vegetatie	reversibel door ontbossing, omzetting naar loofbos, verandering landgebruik	L	G - voor vele grondwaterafhankelijke natuurtypen	G
Effect ontwatering op kwel/infiltratie	Lokale ontwatering zorgt er voor dat grondwater naar de sloten toestroomt en niet naar maaiveld. Een verdiepte beek heeft hetzelfde effect. Regionale ontwatering kan ook leiden tot verlaagde stijghoogte in het watervoerende pakket vanwaaruit kwel plaatsvindt. Ontwatering in het intrekgebied kan ook lokale opbolling van het freatisch vlak tegen gaan waardoor geen lokale kwel meer kan optreden. Belangrijkste effecten het wegvallen van kwel is het stoppen van de aanvoer van basen en ijzer.	Verzuring en ontijzing van bodem; verdwijnen van basenminnende, mesotrofe vegetatietypen	herstel kwel is reversibel door maatregelen in waterhuishouding	L-M	G - voor vele grondwaterafhankelijke natuurtypen	
Effect grondwater-onttrekking op kwel/infiltratie	Grondwateronttrekking leidt tot afname kwel/ toename infiltratie. Schaal waarop is afhankelijk van geohydrologie, omvang winning en diepte.	Verzuring en ontijzing van bodem; verdwijnen van basenminnende, mesotrofe vegetatietypen	herstel kwel is reversibel door maatregelen in winning	meestal L	G - voor vele grondwaterafhankelijke natuurtypen	M
Effect verharding landoppervlak op grondwateraanvulling en runoff	Verharding van het landoppervlak door bebouwing, wegen is sterk toegenomen. In stroomgebieden leidt dit zowel tot een verminderende grondwateraanvulling als meer runoff en daarmee tot piekafvoeren in het oppervlaktewatersysteem. In beekdalen waar het intrekgebied sterk is verstedelijkt kan is het effect groot.	Verlaging grondwaterstand, vermindering kwel; nadelig voor grondwaterafhankelijke ecosystemen	bij verstedelijking vaak irreversibel (hoge kosten voor afkoppeling)	L	G - voor vele grondwaterafhankelijke natuurtypen	M-G
Meer runoff door bodemverdichting en daardoor grotere piek-afvoeren op beken en verminderde grondwateraanvulling	Door gebruik van zwaardere landbouwmachines met hoge-drukbanden treed compactie van de bodem op. Er zijn indicaties dat deze compactie niet aan de oppervlakte maar op enige diepte (meerdere dm's) plaatsvindt. Bodemverdichting leidt tot verminderde wegzijging en tot meer runoff.	- afname ecosysteemttypen en soorten met stabiele grondwaterstanden - bevordering grondwaterafhankelijke ecosysteemttypen en soorten van wisselvochtige omstandigheden - structuurarme beken en wegspoelen aquatische fauna	- irreversibel omdat vermoedelijk decompactie bodem niet of zeer langzaam optreedt - wanneer het op grote schaal is opgetreden zijn herstelmaatregelen voor herstel grondwateraanvulling zeer moeilijk te realiseren	L	G-	J

Factor	Toelichting	Biotisch effect op natuurdoelen	Reversibiliteit (in geval van negatieve factor)	Schaalniveau van optreden effecten	Belang voor ecosystemen en soorten met herstelopgave	Mate van voorkomen in beekdalen
Toename fluctuatie grondwaterstand en toename duur diepe grondwaterstanden op wateregime door klimaatsverandering (vooral in infiltratiegebieden en hydrologisch neutrale gebieden)	Klimaatverandering leidt winters met meer neerslag en zomers met een groter neerslag tekort. Hierdoor neemt de seizoensfluctuatie toe (hogere hoge en lagere lage grondwaterstanden). Door toename van neerslagpieken neemt de korte termijn dynamiek van de freatische stand ook toe.	- in het vochtige tot natte bereik: afname grondwaterafhankelijke ecosysteemttypen en soorten met relatief stabiele grondwaterstand - in nattere bereik met kwel: vernatting - bevordering van soorten van wisselvochtige omstandigheden	- deels niet te voorkomen, vooral in infiltratiegebieden waar waterstand snel reageert op neerslag en verdamping - deels te mitigeren door maatregelen in de waterhuishouding	M, L	G+/-	Gt
Effect klimaatverandering op kwel/infiltratie	Door toename van het neerslagoverschot meer wegzijging en daardoor grondwateraanvulling (vooral in winter en voorjaar). In infiltratiegebieden leidt dat tot meer uitloging bij gelijkblijvende neerslagkwaliteit. In natte kwelgebieden neemt kwelflux toe. In (locale kwelgebieden) die 's zomers aanvoer van grondwater hebben via capillaire opstijging kan deze aanvoer afnemen agv van diepere zomergrondwaterstanden.	- toename van zure ecosysteemttypen en soorten in infiltratiegebieden - in natte kwel gebieden door stabielere buffering van basenrijke omstandigheden bevordering basenminnendeecosysteemttypen en soorten - in kwelgebieden met capillaire nalevering grondwater mogelijk afname basenminnendeecosysteemttypen en soorten	- deels niet te voorkomen, vooral in infiltratiegebieden waar waterstand snel reageert op neerslag en verdamping - deels te mitigeren door maatregelen in de waterhuishouding	M, L	G+/-	Gt

Redox-, zwavel- en ijzerchemie

Anaërobie door permanent hoge grondwaterstand	Permanent anaërobie condities kunnen leiden tot ernstige eutrofiering en ophoping sulfide. Onvoldoende droogval in de zomer kan leiden tot verhoogde mobilisatie van fosfaat. In permanent vernatte situaties treedt eutrofiering met name op wanneer er geen sprake is van door- of afstroming van water over maaiveld (kunstmatig opgezette waterpeilen). Doorstroming is van belang om vrijkomende nutriënten af te voeren. Anaërobie kan gunstig zijn omdat het buffervermogen creëert (reductieprocessen).	Langdurige anaërobie van de bodem kan leiden tot een ernstige degradatie (verruiging en verarming) van (semi)terrestrische ecosystemen.	Reversibel door hydrologische maatregelen wanneer lokale afwatering mogelijk is	S	J	Potentieel in alle natte systemen.
Sulfidetoxiciteit door reductie	Onder reductieve bodemcondities kan reductie van sulfaat leiden tot de ophoping van vrij sulfide. Dit sulfide is giftig voor vele wortelende planten. De Juncus-soorten lijken veel minder gevoelig te zijn voor sulfide toxiciteit dan de carex soorten.	De gevoelige, vaak zeldzamere, soorten verdwijnen en wat meer algemenere soorten nemen in bedekking toe.	Deels te voorkomen door hydrologische maatregelen op standsplaatsniveau (voldoende lange droogval) en door maatregelen in het inrijgebied (nitraatuitspoeling aanpakken). Deels kan sulfide worden gebonden door te beïjzeren (geen duurzame maatregel)	S	J	In grondwater gevoede systemen met een ijzerarme bodem of met aanvoer van sulfaatrijk en ijzerarm grondwater. In gebieden met inlaat van sulfaatrijk

Factor	Toelichting	Biotisch effect op natuurdoelen	Reversibiliteit (in geval van negatieve factor)	Schaalniveau van optreden effecten	Belang voor ecosystemen en soorten met herstelopgave	Mate van voorkomen in beekdalen
						oppervlakte water
Aanvoer ijzer door grondwater	Aanvoer van ijzer is van belang omdat het in belangrijke mate de fosfaatbinding in de bodem bepaald. Daarnaast wordt sulfide dat vrijkomt bij de sulfaatreductie gebonden aan ijzer waardoor het niet kan ophopen in de bodem.	Aanvoer van ijzer verlaagd de trofiegraad van de bodem en voorkomt sulfidotoxiciteit. Daarnaast kan gereduceerd ijzer toxisch zijn voor soorten. Waarschijnlijk speelt dit een rol bij het instant houden van schraalgraslanden (m.n. Dotterbloemgraslanden) onder wat voedselrijkere condities.	Reversibel door herstel van kwel. moeilijker herstelbaar bij lage Fe/SO ₄ -verhouding van het toestromende grondwater	S	G	Potentieel in alle grondwater-gevoede systemen.
Aanvoer ijzer door overstroming met oppervlaktewater	IJzer lost slecht op in zuurstofhoudend water. Alleen aanvoer van ijzerrijk slib (ijzer neerslag, gebonden ijzer aan organisch materiaal) kan leiden tot de aanvoer van ijzer via overstroming. Behalve ijzer kan via het slib echter ook fosfaat worden aangevoerd.	Aanvoer van ijzer beïnvloed de trofiegraad van de bodem en voorkomt sulfidotoxiciteit. Aanvoer van geoxideerd ijzer zorgt ook voor zuurgraadbuffering door reductie van dit ijzer. Voedselrijk slib kan echter netto eutrofiering veroorzaken	Reversibel door aanpassingen in waterhuishouding (overstroming, bevoeiing)	S	?	?
Verzwaveling grond- en oppervlaktewater door bemesting	Door de uitspoeling van nitraat in het intrekgebied vindt mobilisatie van sulfaat plaats in de ondergrond. Nitraat oxideert anaerobe pyrietrijke afzettingen. Dit kan ook in pyrietrijke lagen die dicht bij maaiveld liggen plaatsvinden.	Eutrofiering. Sulfaat is in belangrijke mate sturend voor de trofiegraad onder anaerobe bodemcondities in (semi)terrestrische en aquatische situaties.	Reversibel wanneer vermessing in intrekgebied stopt maar herstel grondwaterkwaliteit kan tijd duren. (Tijdelijk) mitigeerbaar met plaggen en wisselende waterstanden.	S	potentieel voor alle grondwaterafhankelijke systemen	G
Ontijzering door infiltratie	Door verdroging kan omslag van kwel naar infiltratie optreden. Daardoor kan de bodem ontijzeren en wordt anorganisch fosfaat dat gebonden was aan ijzer gemobiliseerd.	Verschuiving van natte basenrijke, mesotrofe P?-beperkte standplaatsen naar natte zure en oligotrofe standplaatsen met N-beperking: treft zowel zuurbuffermechanisme als P-regulatie	Waarschijnlijk hysteresis, waarbij proces irreversibel is: er is in wezen een nieuwe bodemvorming gaande; Mogelijke maatregelen door herstel Fe-rijke kwel of door ontgronding tot op ijzerrijke ondergrond.	M	raakt natuurdoeltypen 3.25, 3.27, 3.29, 3.30, 3.31, 3.38, 3.62, 3.66, 3.67	In gebieden met matige tot sterke kwel binnen EHS is 46% van bosareaal en 19% van het graslandareaal sterk gevoelig
Hoge biobischikbaarheid zware metalen in bodem en oppervlaktewater door vermessing en verdroging	Oxidatie van pyrietrijke afzettingen in de ondergrond (onder invloed van zuurstof of nitraat) kan leiden tot de mobilisatie van zware metalen in het grondwater. Dit kan uiteindelijk in het beekwater terecht komen.	Kan potentieel leiden tot zware metalen toxiciteit. Deze metalen kunnen ophopen in het aquatische en terrestrische voedselweb.	Met de aanpak van nitraatuitspoeling en verdroging kan probleem in principe worden deels opgelost	LI	belang is nog onduidelijk	Waarschijnlijk vooral in Noord Brabant

Factor	Toelichting	Biotisch effect op natuurdoelen	Reversibiliteit (in geval van negatieve factor)	Schaalniveau van optreden effecten	Belang voor ecosystemen en soorten met herstelopgave	Mate van voorkomen in beekdalen
--------	-------------	---------------------------------	---	------------------------------------	--	---------------------------------

Regulatie basenrijkdom

Zuurgraadbuffering door oplossing kalk in toplaag bodem	Zuurvorming de bodem kan gebufferd worden door de reactie van zuur met carbonaat in de bodem.	Voorkomen basenminnende ecosysteemtypen en soorten	Zonder aanvoer van basenrijk grond- of oppervlaktewater irreversibele verzuring wanneer kalkvoorraad op is.	S	J	K
Zuurgraadbuffering door kationuitwisseling in toplaag bodem. Belangrijk proces dat verzuring van bodems voorkomt zolang de basenverzadiging boven de 50 % zit.	Zuurvorming de bodem kan gebufferd worden door de uitwisseling van zuur met kationen aan het bodemadsorptiecomplex.	Voorkomen basenminnende ecosysteemtypen en soorten	Zonder aanvoer van basenrijk grond- of oppervlaktewater kan de kationbezetting van het bodemadsorptie complex (basenverzadiging) sterk afnemen waardoor de bodem gevoelig wordt voor verzuring.	S	G	Grondwateraf hankelijke systemen
Zuurgraadbuffering door reductie	Reductieprocessen in de bodem leiden tot opbouw van buffercapaciteit (alkaliniteit). IJzerreductie en sulfaatreductie zijn kwantitatief het belangrijkste. Reductie van ijzer en sulfaat kan echter tot ijzer- en sulfidetoxiciteit leiden.	Voorkomen basenminnende ecosysteemtypen en soorten	Proces is reversibel. Oxidatie leidt namelijk tot het omgekeerde, zuurvorming.	S	J	Grondwateraf hankelijke systemen. Systemen met langdurige inundatie met oppwater
Zuurgraadbuffering door verwerking kleimineralen. Proces kan van belang zijn voor (zwakke) zuurgraad buffering in lutumrijke bodems	Kleimineralen verwerken onder invloed van zure omstandigheden (hydrolyse reacties). Deze verwerking verloopt echter relatief langzaam tov van de andere zuurgraadbufferprocessen.	Voorkomen (zwak) basenminnende ecosysteemtypen en soorten	n.v.t	S	?	?
Verzuring door pyrietoxidatie	Bij de oxidatie van pyriet kan een sterke en snelle verzuring van de bodem optreden. Dit wordt met name bepaald door de verhouding tussen gereduceerd zwavel en bufferende basen. De S/Ca+Mg ratio van een anaerobe bodem voorspelt de mate van verzuring na droogvallen. Bodems waar langdurig reductie in heeft plaatsgevonden hebben door de opbouw van sulfides een groot verzuringspotentieel en een risico op het mobiliseren van zware metalen die zijn gebonden in sulfides.	Achteruitgang van basenminnende ecosysteemtypen	Vernatting doet het proces stoppen. De buffercapaciteit van de bodem kan dan al sterk zijn uitgeput.	S	G-	J
Zuurbelasting en -vorming door atmosferische depositie	Ammoniumdepositie kan leiden tot verzuring van bodems omdat ammonium in de aerobe toplaag wordt genitrificeerd tot nitraat.	Leidt tot verzuring en eutrofiëring. Met name zwakgebufferde systemen zijn hiervoor gevoelig.	Ammonium depositie is door effectieve maatregelen sterk afgenomen. Nitraatdepositie is nu de belangrijkste component van de totale stikstofdepositie. Nitraat werkt niet verzurend.	S	G-	J

Factor	Toelichting	Biotisch effect op natuurdoelen	Reversibiliteit (in geval van negetatieve factor)	Schaalniveau van optreden effecten	Belang voor ecosystemen en soorten met herstelopgave	Mate van voorkomen in beekdalen
Toename kationuitwisselings capaciteit door humusontwikkeling.	Organisch materiaal kan een belangrijk deel uitmaken van het kationenadsorptiecomplex. Dit geldt met name voor zandbodems. Wanneer toevoer van basen minder groot is dan toename van kationenadsorbtiecomplex treedt verzuring op.	Voorkomen basenminnende ecosysteemttypen en soorten	n.v.t	S	G systemen met zandige bodems.	J
Vorming secundaire kalk/ travetijn door aanvoer grondwater	Wanneer calcium- en bicarbonaatrijk grondwater bij het uittreden en afstromen over maaiveld oververzadigd is voor calciëet treedt kalkafzetting op. Kalkafzetting treedt op door het ontwijken van CO2 en wordt beïnvloed door druk ontlasting en temperatuur.	Voorkomen basenminnende ecosysteemttypen/ kalkmoerassoorten	nvt	S		K
Al-toxiteit door zure omstandigheden	Wanneer de bodem pH daalt onder pH 4,5 lossen aluminiumhydroxiden. Dit draagt bij aan de zuurbuffering van zure bodems. Aluminiumbufferrange	Veroorzaakt wortelsterfte. Vooral de wat meer bijzondere soorten zijn gevoelig. Aluminium toxiciteit draagt bij aan een verarming van de vegetatie.	Aluminiumtoxiciteit kan succesvol worden bestreden door bekalking. Ook het vergroten/herstellen van de grondwaterinvloed voorkomt aluminiumtoxiciteit. Herintroductie van soorten kan nodig zijn.	S	Met name van belang voor soortenrijke heide / heischrale graslanden.	J
Neerslaglenzen/ basenarme waterlenzen op basenrijk grondwater	Neerslaglenzen ontstaan door (tijdelijke) infiltratie van neerslagwater in de bodem. Dit proces hangt sterk af van de seizoensmatige dynamiek want grondwaterstand en kwel/infiltratie. Regenwaterlenzen kunnen ontstaan door verdroging en vermindering van de kwelintensiteit of omslag van kwel naar infiltratie. Alhoewel regenwater niet of zwak gebufferd is zorgt niet het regenwater zelf voor sterke verzuring in de toplaag maar het ontbreken van aanvoer van basenrijk grondwater dat de zuurvormende processen in de toplaag niet meer kan bufferen.	Dunne neerslaglenzen in kalkarme bodem zorgen voor verticale stratificatie van basenrijkdom en daarmee voor een gevarieerd wortelmilieu en soortensamenstelling van de vegetatie. Toename van neerslaglenzen zorgt voor afname van basenminnende en toename van zuurminnende vegetatie. De bijzondere veenmosvegetaties ontstaan op baserijke bodems met regenwaterlenzen. Dus zeker niet per definitie negatief.	Proces is reversibel door maatregelen in waterhuishouding	S	Kan overal spelen. Voor opgang brengen van veenvorming belangrijk proces. .	J
Aanvoer basen door toestroming grondwater	Zonder aanvoer van basenrijk grond- of oppervlaktewater kan de kationbezetting van het bodemadsorptie complex (basenverzading) sterk afnemen waardoor de bodem gevoelig wordt voor verzuring. Basenrijkdom van het toestromende grondwater, kwelintensiteit en redoxtoestand zijn bepalend voor het op peil houden en opladen van het adsorbtiecomplex.	Voorkomt verzuring van het systeem. Aanvoer van basen via grondwater leidt meestal ook tot de aanvoer van ijzer. Voor ijzerarme systeem essentieel.	n.v.t.	S	G+	G
Aanvoer basen door overstroming met oppervlaktewater	Zonder aanvoer van basenrijk oppervlaktewater of grondwater kan de kationbezetting van het bodemadsorptie complex (basenverzading) sterk afnemen waardoor de bodem gevoelig wordt voor verzuring. Basenrijkdom van het oppervlaktewater, infiltratieintensiteit en redoxtoestand zijn bepalend voor het op peil houden en opladen van het adsorbtiecomplex. Aanvoer van basenrijkoopervlaktewater kan optreden door overstroming met beekwater en door bevoeiing.	Voorkomt verzuring van het systeem. Aanvoer van basen via oppervlaktewater leidt echter niet tot de aanvoer van ijzer. Voor ijzerrijke systemen is aanvoer van basen via oppervlaktewater een optie.	n.v.t	S	G alle overstroomde systemen	

Factor	Toelichting	Biotisch effect op natuurdoelen	Reversibiliteit (in geval van negetatieve factor)	Schaalniveau van optreden effecten	Belang voor ecosystemen en soorten met herstelopgave	Mate van voorkomen in beekdalen
Aanvoer basen door capillaire opstijging grondwater	Dit proces kan de toplaag van de bodem van basen voorzien ook als het grondwater niet uitreedt in maaiveld.	Voorkomt verzuring van de bodem	n.v.t	S	Potentieel van belang voor alle grondwaterafhankelijke systemen. Vermoedelijk minder relevant voor goeddoorlatende zandgronden.	
Verharding grond- en oppervlakte-water door bemesting	Nitraat dat uitspoelt naar het grondwater kan pyriet en sideriet (ijzercarbonaat) oxideren in de ondergrond. Sideriet oxidatie leidt direct tot het vrijkomen carbonaat. Het zuur dat vrijkomt bij de oxidatie van nitraat kan kalk oplossen. Als gevolg van beide processen neemt de alkaliniteit van het grondwater toe. leidt in grondwater tot hoge ratio Ca/HCO_3^- -> relevantie daarvan voor terrestrische systemen -> minder oververzadiging kalk?	Verharding van grond- en oppervlakte water kan leiden tot eutrofiering door stimulatie van de afbraak van organisch materiaal. Verharding kan de samenstelling van waterplanten gemeenschap beïnvloeden via koolstofmetabolisme van de soorten. Zachtwater soorten nemen dan af. Daarnaast kan verharding in terrestrische systemen zuurbufferend werken en dus een positief effect hebben.	Wisselende waterstanden kunnen mitigerend werken.	S	Van belang voor alle natte systemen.	G

Regulatie voedselrijkdom

Kalium-limitatium		Biomassa productie; celmembraanprocessen	reversibel	S	o.a blauwgraslanden, kleine zeggen, dotterbloemhooiland, J	J
P-verzadiging/ anorganisch P door bemesting		Biomassa productie;	Reversibel; zij het langdurig	M	G	G-
P-verzadiging/ anorganisch P door verdroging		Biomassa productie	Reversibel	M	J+	G+
Anorganische P-beschikbaarheid door ijzer		Biomassa productie	reversibel	S	G+	G+
Anorganische P-beschikbaarheid door calcium		Biomassa productie	reversibel	S	K	K
Interne eutrofiëring door verdroging	De afbraak van organisch materiaal verloopt het best onder aerobe omstandigheden onder invloed van zuurstof. Verdroging van natte organische bodems kan tot een versnelde afbraak leiden.	Eutrofiering. Vegetatie wordt monotoner	Niet reversibel. Verwijdering van de aangetaste (veraarde) veenlaag kan leiden tot systeemherstel.	S	G	G

Factor	Toelichting	Biotisch effect op natuurdoelen	Reversibiliteit (in geval van negatieve factor)	Schaalniveau van optreden effecten	Belang voor ecosystemen en soorten met herstelopgave	Mate van voorkomen in beekdalen
Interne eutrofiëring door vernatting	Interne eutrofiëring wordt veroorzaakt door de reductie van sulfaat in anaerobe bodems en door alkalinisatie. Sulfaat versnelt de afbraak van organisch materiaal en verstoort de immobilisatie van fosfor door ijzer.	verdwijnen voedselarme ecosysteemttypen en soorten	Wisselende waterstanden werken mitigerend op interne eutrofiëeringsprocessen.	S	G	G
N/P/K-beperking terrestrische vegetatie		Biomassa productie	reversibel	S	G	G
Eutrofiëring door toestroming vervuild vermist grondwater	Het grondwater is rijker geworden aan nutriënten door uitspoeling van nutriënten uit de landbouw. Dit speelt met name op de zandgronden. Daarnaast kan brak grondwater van nature rijk zijn aan fosfaat.	Eutrofiëring. Vegetatie wordt monotoner	Maatregelen in het inrijgebied zijn van belang. Effect van maatregelen hangt af van de verblijftijd van het grondwater	S	J	G
Interne eutrofiëring door overstroming met nutriëntenrijk oppervlaktewater	Het oppervlaktewater is rijker geworden aan nutriënten door uitspoeling van nutriënten uit de landbouw. Met name nitraatconcentraties kunnen zeer hoog zijn in het beekwater.	Eutrofiëring. Vegetatie wordt monotoner	Vervuiling van oppervlakte water met nutriënten kan worden aangepakt door aanleg van bufferzones.	S	J	G
Aanvoer slib door overstroming met oppervlaktewater		Eutrofiëring en zuurbuffering	Dynamisch proces; niet reversibel	M	J	G
Aanvoer nutriënten door overstroming met oppervlakte-water	Het oppervlaktewater is rijker geworden aan nutriënten door uitspoeling van nutriënten uit de landbouw. Met name nitraatconcentraties kunnen zeer hoog zijn in het beekwater.	Eutrofiëring. Vegetatie wordt monotoner	Vervuiling van oppervlakte water met nutriënten kan worden aangepakt door aanleg van bufferzones.	S	J	G
Eutrofiëring door atmosferische depositie	Stikstofdepositie is sterk afgenomen maar overschrijdt nog steeds de kritische belasting voor de meeste terrestrische ecosystemen.	Eutrofiëring. Vegetatie wordt monotoner	Maatregelen als plaggen kunnen mitigerend werken. Sturen op N-limitatie is erg lastig met de huidige stikstofdepositieniveaus. Sturen op P en K limitatie dus.	S	G	G

Patronen op landschapsschaal tbv leefgebied fauna

Weinig variatie in ruimtelijke structuur op standplaats, meso en landschapsschaal	verlies functioneel compleet landschap (voor soorten die afhankelijk zijn van combinaties van onderdelen)	eisen van soorten aan ruimtelijke structuur zijn soortspecifiek en weinig bekend. Door veelheid aan soorten moeilijk structureisen soorten overzichtelijk en hanteerbaar in beeld te brengen. In hoeverre herstel mogelijk van bij hoge afvoerdynamiek	van veel soorten moet kennis over habitat gebruik, en soortkenmerken nog bij elkaar worden gezet		G	
Weinig variatie in ruimtelijke structuur op standplaats, mesoschaal	Verlies mogelijkheid om te mee te schuiven met veranderende condities (b.v. droge periodes in zomer), uit te wijken naar andere plekken	eisen van soorten aan ruimtelijke structuur zijn soortspecifiek en weinig bekend. Door veelheid aan soorten moeilijk structureisen soorten overzichtelijk en hanteerbaar in beeld te brengen	van veel soorten moet kennis over habitat gebruik, en soortkenmerken nog bij elkaar worden gezet		G	

Factor	Toelichting	Biotisch effect op natuurdoelen	Reversibiliteit (in geval van negetatieve factor)	Schaalniveau van optreden effecten	Belang voor ecosystemen en soorten met herstelopgave	Mate van voorkomen in beekdalen
Verlies overstromingsdynamiek	minder laterale en transversale dispersie	eisen van soorten aan overstromingsdynamiek zijn soortspecifiek en weinig bekend. Door veelheid aan soorten moeilijk deze eisen soorten overzichtelijk en hanteerbaar in beeld te brengen. Eisen aan overstroming zijn gekoppeld aan structuurvariatie. In hoeverre herstel mogelijk van bij hoge afvoerdynamiek	van veel soorten moet kennis over habitat gebruik, en soortkenmerken nog bij elkaar worden gezet		G	
Verdwijnen van ruimtelijke gevarieerde overgangen tussen aquatisch en terrestrisch	scheiding terrestrische en aquatische milieu, wat leidt tot een verlies van de overgangszone hiertussen, terwijl daar juist veel soorten aan gebonden zijn	eisen van soorten aan ruimtelijke structuur zijn soortspecifiek en weinig bekend. Door veelheid aan soorten moeilijk structureisen soorten overzichtelijk en hanteerbaar in beeld te brengen. Gebrek aan actuele en hisotrische referenties	van veel soorten moet kennis over habitat gebruik, en soortkenmerken nog bij elkaar worden gezet		G	
Dispersiebarrières voor invasieve soorten	Stuwen, duikers kunnen verspreiding van uitheemse en systeemvreemde soorten naar bovenstroomse beektrajecten tegengaan.	bescherming van inheemse populaties	wegvallen barriere geeft negatief onomkeerbaar proces	S, M, L, R	G-	G
Dispersiebarrières voor doel- en indicatorsoorten	Dit knelpunt wordt vaak onderschat. Het betreft niet alleen de groep faunasoorten die zich uitsluitend via water kan verplaatsen maar ook veel andere aquatische fauna en flora. Veel andere fauna heeft wel een terrestrisch (vliegend) stadium maar kan zich dan nog maar over meters tot honderden meters verplaatsen. Stuwen en duikers belemmeren verspreiding van soorten.	bepierking van dispersie en rekolonisatie mn na herstel	stuwen weghalen is reversibel	S, M, L, R	G+	G

Bodemvorming en bodemfauna

Veenvorming door zeer natte omstandigheden	Onder zeer natte omstandigheden met een stabiele of weinig fluctuerende waterstand treedt veenvorming op onder anaerobe omstandigheden. In beekdalen treedt veenvorming vooral bij kwel. Een hoge kwelintensiteit zorgt voor een permanent hoge grondwaterstand en doorstroming waardoor nutriënten worden afgevoerd.	veenvormende moerasvegetatie, belangrijk voor zeldzame mesotrafente kleine zeggenbegroeiingen	veenvorming is herstelbaar	S, M	G+	K, zeer weinig nu
Vorming diverse humusprofieltypen		Vegetatie en bodemontwikkeling zijn volgend. Soms is bodemvorming vegetatie gecontroleerd (mor), soms is vegetatieontwikkeling bodem gestuurd (mull). Onder natuurlijke omstandigheden is een gradient van mor naar mull aanwezig. Door milieustress zijn veel humusprofieltypen op drift geraakt en ontwikkelen bodems zich van homogenized naar	Kennislacune, sommige situaties irreversibel (zie podzolvorming en ontijzering)	S	G-	G-

Factor	Toelichting	Biotisch effect op natuurdoelen	Reversibiliteit (in geval van negetatieve factor)	Schaalniveau van optreden effecten	Belang voor ecosystemen en soorten met herstelopgave	Mate van voorkomen in beekdalen
		stratified karakter.				
Vorming zure wortelmatten en zure strooisellagen		Accumulatie van ruw strooisel in graslandsystemen door verzuring en/of vernatting en wegvallen van regenwormen. Er treedt dan verschuiving van bacterie naar schimmel gedomineerde decompositie. Doorgaands versterkte N-mineralisatie en verminderde N-immobilisatie.	Reversibel	S	G-	G-
Invloed bodemfauna op voedselrijkdom	Bodemcondities (vocht, basen, temperatuur, nutriënten) zijn mede sturend voor activiteit bodemfauna in verschillende trofische niveaus (functionele groepen). Zij sturen de mineralisatie en immobilisatie van N en P en zijn de motor achter nutriëntkringlopen. Het vermoeden bestaat dat door verzuring/ verdroging/ vernatting een of meer functionele groepen in vitaliteit kunnen zijn aangetast waardoor verschuivingen in de nutriëntenbalans tussen mineralisatie en immobilisatie optreedt. In de bodemvorming uit dit zich in een verschuiving naar 'stratified soils' met een grote gelaagdheid ontwikkeling (moder- en morsystemen). Competitie om nutriënten verschuift van bodemfauna naar het voordeel voor flora, waardoor eutrofiering optreedt.		Kennislacune: onderzoek naar enten van bodems met bodemorganismen is gaande	S	?-	J
Effect landbouw op samenstelling bodemfauna en - flora		Landbouw beïnvloed de samenstelling van bodemflora en fauna. De blauwdruk daarvan blijft nog vele decennia aanwezig bij natuurontwikkeling	kennislaccune	R	Antagonistische en mutualistische relaties tussen schimmels, wortelgrazers en doelsoorten	G-

Factor	Toelichting	Biotisch effect op natuurdoelen	Reversibiliteit (in geval van negetatieve factor)	Schaalniveau van optreden effecten	Belang voor ecosystemen en soorten met herstelopgave	Mate van voorkomen in beekdalen
Effect verdroging en verzuring op samenstelling bodemfauna en -flora		Vooralsnog hypothetisch dat milieustress leidt tot veranderde samenstelling van het bodemvoedselweb. Verzuring leidt tot afname van regenwormen. Sommige koolstofafbrekende schimmels zijn zeer gevoelig voor verzuring (witrot). Door deze veranderingen wordt de N- en P kringloop via toe/afname van mineralisatie en immobilisatie beïnvloedt, wat tot eutrofiering van de vegetatie kan leiden.	kennislaccune mede omdat proces hypothetisch is	S	J-	G-
Immobilisatie N en P door bodemleven		Tijdens org. stofafbraak wordt weer veel minerale N en P door microben opgenomen voor opbouw lichaamseiwitten. Dit proces van gelijktijdige afbraak en opbouw van complexe organische verbindingen wordt humificatie genoemd en leidt tot stabiele vormen van organische stof met een lage (netto) min. snelheid)	????	S	G+	G+
N- en P mineralisatie		Biomassa productie	Reversibel	S	G-/+	G
Veraarding en mineralisatie veen door verdroging		Verschuiving in nutriëntenaanbod en biomassa productie	Irreversibel	S	G-	G-
Invloed boomsoort op humusprofiel, nutriënten en basenrijkdom		Verminderd/versterkt nutriënten aanbod en verbeterde/verslechterde basentoestand. (Linde, Es, Haagbeuk vs. Beuk, Eik, Conifeer)	reversibel door beïnvloeding boomsoort. Gunstige effecten bij aanplant van soorten met mild strooisel (linde effect)	S	J	K

Bijlage 3: Hydro-ecologische beekdaltypen

Aanpak onderzoek

Voor het opstellen van een overzicht van systeemtypen is het nodig de informatie over processen en kenmerken uit individuele natuurterreinen te aggregeren naar een hoger abstractieniveau. Het gaat erom de overeenkomsten tussen terreinen naar voren te halen en te vertalen naar een algemeen kenmerk. Verschillen die voortkomen uit bijvoorbeeld beheer of toevalligheden in de geschiedenis van een terrein moeten juist naar de achtergrond verdwijnen.

Het aggregeren van individuele terreinen tot systeemtypen is een proces dat bij Kiwa en anderen geleidelijk aan heeft plaatsgevonden, tijdens het zelf uitvoeren van systeemanalyses en bij het lezen van terreinbeschrijvingen van anderen. In de periode 1994-2000 zijn voor enkele regionale hydrologische scenariostudies in Utrecht, Gelderland en Flevoland indelingen in vooral hydrologisch gedefinieerde systeemtypen opgesteld (Jalink en Meeuwissen, 1998; Grijpstra et al., 2002; Kiwa, 2000). Voor de bepaling van het gewenste grond- en oppervlaktewaterregime in natuurgebieden in de provincie Limburg stelden we een overzicht van kenmerkende gradiënttypen en hun verspreiding op (Aggenbach et al., 1995). In 1999 en 2000 ontstond een overzicht van de meeste hydro-ecologische systeemtypen (met uitzondering van slikken en uiterwaarden) in de provincie Noord-Brabant (Jalink et al., 2001). In dat overzicht staat het verklaren van de gradiënt in plantengemeenschappen en standplaatstypen vanuit een stelsel sturende hydrologische, hydrochemische en bodemkundige factoren centraal. De systeemtypen zijn er gevisualiseerd als gradiënt in sturende processen en als afgeleide daarvan plantengemeenschappen, bodem- en standplaatstypen.

Min of meer tegelijkertijd werd een strikt op blauwgrasland gericht overzicht van systeemtypen opgesteld (Jansen et al., 2000). Aangezien dat overzicht gericht was op één type -natte, basenrijke en voedselarme- standplaats, waren alleen de verschillen in hydrologie terplekke van het blauwgrasland relevant. Dit maakte het mogelijk de informatie in de systeemdoorsneden te beperken tot hydrologische kenmerken. In 2003 is voor heel Nederland een overzicht van hydro-ecologische systeemtypen voor natte schraallanden uitgewerkt in opdracht van het OBN Deskundigenteam Natte schraallanden (Jalink et al. 2003). Dit overzicht bestrijkt de pleistocene en holocene delen met uitzondering van het duin- en kustgebied. Op dit overzicht is in sterke mate voorgebouwd bij de uitwerking van hydro-ecologische beekdaltypen voor het beekdallandschap van Nederland. Dit omvat de OBN-landschapstypen Beekdallandschap en Heuvellandschap waarbij een verbreding heeft plaatsgevonden naar vegetatietypen van wateren, struwelen en bossen.

Het voorliggend overzicht van hydroecologische systeemtypen is gericht op de belangrijke grond- en oppervlaktewaterafhankelijke plantengemeenschappen (zie tabel 2.1) van vochtige en natte schraallanden en bestrijkt daarmee een brede range aan standplaatstypen, variërend van zuur tot basisch, van voedselarm tot (matig) voedselrijk en van (periodiek) vochtig tot (permanent) nat en aquatisch. Omdat binnen een terrein verschillende graslandtypen een eigen positie innemen, is de gradiënt daarin gevisualiseerd als resultante van sturende processen. De verschillen tussen deze varianten blijken deels gradueel (b.v. sterke versus zwakke kwel, basenarm tot basenrijk). Bij het indelen wordt gezocht naar een hiërarchie. Daarbij zijn de dominantieverhoudingen van abiotische factoren en processen als voornaamste criterium gebruikt. In grote lijnen is de volgorde daarin geologie/geomorfologie – hydrologie – hydrochemie – bodem (Bakker et al., 1981). Vanuit deze insteek was het

mogelijk vooral hydrochemisch of bodemkundig onderscheiden varianten samen te voegen onder geomorfologisch/hydrologisch bepaalde systeemtypen.

Tabel 3.1: Overzicht van de vegetatietypen op verbondsniveau die in de hydro-ecologische doorsneden worden weergegeven (nomenclatuur volgen De vegetatie van Nederland).

Code	Wetenschappelijke naam	Nederlandse Naam
05BA	Nymphaeion	Waterlelie-verbond
05BC	Parvopotamion	Verbond der kleine fonteinkruiden
05CA	Ranunculion peltati	Verbond van Grote watterranonkel
07AA	Cardamino-Montion	Verbond van Bittere veldkers en Bronkruid
08AA	Sparganio-Glycerion	Vlotgras-verbond
08BB	Phragmition australis	Riet-verbond
08BC	Caricion gracilis	Verbond van Scherpe zegge
08BD	Caricion elatae	Verbond van Stijve zegge
09AA	Caricion nigrae	Verbond van Zwarte zegge
09BA	Caricion davallianae	Knobbies-verbond
10AB	Caricion lasiocarpae	Draadzegge-verbond
11AA	Ericion tetralicis	Dophei-verbond
16AA	Junco-Molinion	Verbond van Biezeknoppen en Pijpestrootje
16AB	Calthion palustris	Dotterbloem-verbond
16BA	Alopecurion pratensis	Verbond van Grote vossestaart
16BB	Arrhenatherion elatioris	Glanshaver-verbond
16BC	Cynosurion cristati	Kamgras-verbond
19AA	Nardo-Galion saxatilis	Verbond der heischrale graslanden
36AA	Salicion cinereae	Verbond der wilgenbroekstruwelen
39AA	Alnion glutinosae	Verbond der elzenbroekbossen
40AA	Betulion pubescentis	Verbond der berkenbroekbossen
42AA	Quercion roboris	Zomereikverbond
43AA	Alno-Padion	Verbond van Els en Vogelkers
43AB	Carpinion betuli	Haagbeuken-verbond

Gebruikte bronnen

De indeling in hydrologische systeemtypen en varianten volgt de systeembenadering van Toth (1963). Bij het uitvoeren van de systeemanalyses is naast hydrologische methoden veel gebruik gemaakt van hydrochemische analysetechnieken zoals facies-analyse (Stuyfzand, 1993) en tracers om de herkomst van watertypen te onderzoeken (Jalink en van Beek, 2000). Verder werd veel gebruik gemaakt van kennis van de indicatiewaarden van plantensoorten en vegetatietypen (o.a. Jalink en Jansen, 1995; Jalink 1996; Aggenbach et al, 1998a+b) en van kennis over de genese van bodemtypen (Bakker en De Schelling, 1976).

Bij de indeling is gebruik gemaakt van inzichten uit bestaande overzichten met indelingen in beekdaltypen, gradiënttypen of andere systeemindelingen (Grootjans, 1985; Everts et al., 1991; Jalink, 1994; Bot, 1996; Jansen en Schipper, 1997; Jansen et al., 2000; Kiwa, 2000; Aggenbach et al., 1997; 1998; Jalink en Meeuwissen, 1998; Jalink et al., 2001+2003). De basis voor het overzicht van varianten en systeemtypen wordt gevormd door een groot aantal zelf uitgevoerde of in de literatuur beschreven lokale systeemanalyses. In de literatuurlijst is zeker wat betreft terreinbeschrijvingen een beperkte selectie opgenomen. Een volledig overzicht van deze bronnen zou te omvangrijk worden voor dit rapport. Tabel 2.2 geeft een overzicht van de indeling en de relatie met aquatisch-ecologische beektypen.

Presentatie in tekst en profielen

Opzet doorsneden en tekst

Per systeemtype is een profiel gepresenteerd, waarin reliëf en de positie van sturende waterstromen zijn aangegeven. Door middel van een lijn voor de gemiddeld hoogste

grondwaterstand (ghg) en een lijn voor de gemiddeld laagste grondwaterstand (glg) wordt een beeld gegeven van waar natte en droge delen liggen, of het water aan of boven maaiveld komt en of er binnen een gradiënt grote verschillen in waterstandsfluctuatie zijn. Deze ghg- en glg-lijnen kunnen niet in absolute grondwaterstanden worden vertaald, daarvoor zijn de verschillen binnen een systeemtype (b.v. door verschillen in bodemopbouw, kwelflux en ontwateringstoestand) immers te groot. De gewenste grondwatersituatie kan op variant-niveau worden afgeleid uit de standplaatsen van de erin aan te treffen plantengemeenschappen. Met pijlen is de stroming van grond- of oppervlaktewater aangegeven. Verder zijn watertypen aangegeven middels een code (zie legenda) en voor specifieke verwijzing vanuit de tekst zijn posities in het grondwatersysteem soms aangeduid met de letters a t/m f, die dan in de doorsneden zijn aangegeven. In de tekst wordt een korte beschrijving gegeven van het landschap, de sturende processen, kenmerken, bedreigingen en herstel mogelijkheden. Bij de sturende processen en kenmerken wordt ook de variatie daarin binnen het systeemtype genoemd.

Die variatie is gevisualiseerd in profielen van de varianten. Deze geven een beeld van de gradiënt in vegetatietypen in relatie tot de dominantie en kwaliteit van de verschillende waterstromen en de bodem. In de tekst wordt de vegetatie beschreven in relatie tot verschillen in standplaatsfactoren. Verder wordt ingegaan op de specifieke processen en bodemtypen en worden verspreiding (regionaal) en enkele voorbeeldterreinen genoemd. Tenslotte worden de voor deze variant specifieke bedreigingen en herstel mogelijkheden aangegeven. Meer algemeen voor het gehele systeemtype geldende kenmerken zijn daar al beschreven, dit om terugkerende informatie te beperken.

Grootteorde kwelflux en waterstandsregime

Onder sterke kwel verstaan we een situatie, waarbij het gehele jaar door kwel naar het freatisch vlak kan optreden en waar in de winter kwel naar maaiveld kan optreden. In de literatuur worden hieraan voor de flux naar het freatisch pakket waarden in de grootteorde van 1 tot 2 mm/dag of meer gekoppeld. In de figuren wordt het onderscheid globaal gemaakt door gestippelde pijlen (alleen periodiek kwel mogelijk), doorgetrokken pijlen (permanent kwel mogelijk) en worden verschillen in flux door de dikte van de pijlen aangegeven.

Bij de beschrijvingen van standplaatscondities is voor het grondwaterstandsregime gebruik gemaakt de indeling, die door Staatsbosbeheer en Kiwa wordt gehanteerd in het Indicatorenproject.

klasse	waterstandsregime
diep water	permanent water, water dieper dan 50 cm
ondiep water	permanent water, 10-50 cm diep
zeer nat	gemiddelde waterstand in 0 tot 10 cm boven maaiveld, water stand voor een deel van de periode onder maaiveld
nat	gemiddelde waterstand 0 tot 20 cm onder maaiveld
matig nat	gemiddelde waterstand 20 tot 40 cm onder maaiveld
vochtig	gemiddelde waterstand 40 tot 60 cm onder maaiveld
iets vochtig	gemiddelde waterstand 60 tot 80 cm onder maaiveld
droog	gemiddelde waterstand 80 tot 120 cm onder maaiveld
zeer droog	gemiddelde waterstand dieper dan 120 cm onder maaiveld

Basenrijkdom

De basenrijkdom van grond- en oppervlaktewater kan worden weergegeven in termen van hardheid, alkaliteit en pH.

Hardheid van het grond- of oppervlaktewater: concentratie $\text{Ca}^{2+} + \text{Mg}^{2+}$ in mmol/l

Alkaliteit van het grond- of oppervlaktewater: concentratie $\text{HCO}_3^- + \text{CO}_3^{2-}$ in meq/l (meestal gelijk aan meq HCO_3^- /l)

In navolging van Stuyfzand (1993) kunnen voor de hardheid en alkaliteit de volgende klassen gehanteerd worden:

hardheid:	(Ca+Mg in mmol/l)
-1 zeer zacht	0 - 0,5 zeer basenarm
0 zacht	0,5 - 1 basenarm
1 matig hard	1 - 2 matig basenrijk
2 hard	2 - 4 basenrijk
3 zeer hard	4 - 8 zeer basenrijk
4 extreem hard	8 - 16 zeer basenrijk, kalkhoudend

alkaliteit	(voornamelijk HCO ₃ en CO ₃ in meq/l)
-1 zeer laag	0 - 0,5
0 laag	0,5 - 1
1 matig laag	1 - 2
2 middelmatig	2 - 4
3 matig hoog	4 - 8
4 hoog	8 - 16

Zuurgraad van het grondwater en oppervlaktewater: pH

Bij de indeling van standplaatstypen wat betreft zuurgraad en basenrijkdom is gebruik gemaakt van onderstaande indeling, die o.a. wordt gehanteerd door Staatsbosbeheer en Kiwa in het indicatorenproject. De klassen betreffen de pH van het grondwater of oppervlaktewater, dan wel de pH(H₂O) van de bodem.

	pH
zuur	< 4.5
matig zuur	4.5 - 5.5
zwak zuur	5.5 - 6.5
neutraal	6.5 - 7.5
basisch	>7.5

Tabel 3.2: Overzicht van hydro-ecologische en aquatisch-ecologische typen voor beekdalen.

Positie in stroomgebied/ geomorfologie/ verval	Toevoer water	Basenrijkdom/ bodem	Naam hydro- ecologische beekdaltype	Kenmerken bronnen en beken: permanentie, stroomsnelheid, morfologie, basenrijkdom
Natte infiltratiegebieden met lokale kwel hoge delen in zandgebieden, (zwak hellend) heuvelland periodiek langdurige inundatie met stagnerend of zwak stromend water	regenwatervoeding hooguit zeer lokale kwel in natte periode uit direct aanliggende ruggen	basenarm	1A Natte infiltratiegebieden met lokale kwel: basenarm	1a1 Geen laaglandbeken, wel plaatselijk tijdelijk, zuur, stilstaand tot zwak stromend, ondiep water op maaveld
		matig basenrijk	1B Natte infiltratiegebieden met lokale kwel: matig basenrijk	1b1 Geen laaglandbeken, wel plaatselijk tijdelijk, zwak zuur tot neutraal, stilstaand tot zwak stromend, ondiep water op maaiveld
		basenrijk kalkhoudende bodems	1C Natte infiltratiegebieden met lokale kwel: kalkrijk/ basenrijk	1c1 Geen laaglandbeken, wel plaatselijk tijdelijk, neutraal tot basisch, stilstaand tot zwak stromend, ondiep water op maaiveld
Afvoerloze laagte laagten in oorspronggebied of op beekdalflanken van zandgebieden met periodiek langdurige inundatie met stagnerend of zwak instromend water	lokale kwel	met kalk in topstelsysteem, kwel basenrijk	2A Afvoerloze laagte: lokale basenrijke kwel	2a1 Afvoerloze laagte (periodiek watervoerend) in oorspronggebied of op beekdalflanken
	met in- of doorstroming van beekwater	matig basenrijk tot basenrijk	2B Afvoerloze laagte: in- of doorstroming beekwater, matig basenrijk tot basenrijk	2b1 Beekbegeleidend zwak zuur tot neutraal kwelgebied, zonder of met lage afvoer
				2b2 Beekbegeleidend neutraal tot basisch kwelgebied, zonder of met lage afvoer

Positie in stroomgebied/ geomorfologie/ verval	Toevoer water	Basenrijkdom/ bodem	Naam hydro- ecologische beekdaltype	Kenmerken bronnen en beken: permanentie, stroomsnelheid, morfologie, basenrijkdom
Weinig hellende beekdalen met kwel beekdalen in zandgebieden inclusief keileemplateaus laaglandbeken met langzame stroming	lokale (sterke) kwel	basenarm	3A Weinig hellende beekdalen met kwel: lokale kwel, basenarm	3a1 Droogvallende, zure, langzaam stromende bronnen of bovenloopjes
				3a2 Droogvallende, zure, langzaam stromende boven- of middenlopen
				3a3 Permanente, zure, langzaam stromende bronnen of bovenloopjes
				3a4 Permanente, zure, langzaam stromende boven- of middenlopen
	lokale kwel	matig basenrijk lemige zand- en leemgronden	3B Weinig hellende beekdalen met kwel: lokale kwel, matig basenrijk	3b1 Droogvallende, zwak zure tot neutrale bronnen of bovenloopjes
				3b2 Droogvallende, zwak zure tot neutrale, langzaam stromende boven- of middenlopen
				3b3 Permanente, zwak zure tot neutrale, langzaam stromende bronnen of bovenloopjes
				3b4 Beekmoeras
	lokale kwel	basenrijk met kalk in topsysteem	3C_1 Weinig hellende beekdalen met kwel: lokale kwel, kalk in topsysteem, basenrijk	3c1 Droogvallende, neutrale tot basische, langzaam stromende bronnen of bovenloopjes
				3c2 Droogvallende, neutrale tot basische, langzaam stromende boven- of middenlopen
				3c3 Permanente, neutrale tot basische, langzaam stromende bronnen of bovenloopjes
	zwakke regionale kwel	basenrijk	3C_2 Weinig hellende beekdalen met kwel: zwakke regionale kwel, basenrijk	3c4 Permanente, neutrale tot basische, langzaam stromende boven- of middenlopen
	sterke regionale kwel	basenrijk	3C_3 Weinig hellende beekdalen met kwel: sterke regionale kwel, basenrijk	3c5 Beekbegeleidend beekmoeras
Weinig hellende, vlakke beekdalen met sterke (voormalige) slibafzetting beekdalen op overgangen zandgebied naar Holocene en overgangen Pleistoceen- Holocene zonder duidelijke beekdal laaglandbeken met langzame stroming	lokale kwel lemige zand- en leemgronden overstroming met slibrijk beekwater	matig basenrijk	3D Weinig hellende beekdalen met kwel: lokale kwel, overstroming, matig basenrijk	3d1 Permanente, zwak zure tot neutrale, langzaam stromende boven- of middenlopen 3d2 Beekmoeras
	overstroming van slibrijk water (sterke) bovenlokale/ regionale kwel	basenrijk	4A Weinig hellende beekdalen met kwel: bovenlokale/regionale kwel, overstroming, basenrijk	4a1 Inunderende neutrale tot basische, langzaam stromende benedenlopen of riviertjes 4a2 Beekbegeleidende matig voedselrijke tot voedselrijke wateren
	overstroming van slibrijk water stagnatie en wat lokale kwel	matig basenrijk tot basenrijk	4B Weinig hellende beekdalen met slibafzetting: overstroming, stagnatie, weinig lokale kwel	
	lokale kwel periodieke regionale kwel	matig basenrijk tot basenrijk grondwater (kalk)rijke kleigronden	4C Weinig hellende beekdalen met (voormalige) slibafzetting: (kalk)rijke klei, lokale kwel, periodieke regionale kwel	

positie in stroomgebied/ geomorfologie/ verval	toevoer water	basenrijkdom/ bodem	Naam hydro- ecologische beekdaltype	Kenmerken bronnen en beken: permanentie, stroomsnelheid, morfologie, basenrijkdom
Sterk hellend, hoge beekdalen met lokale kwel 'hoge' beekdalen op stuwwallen, heuvelland, diep ingesneden beekdalen in plateauranden intermediaire en heuvellandbeken met matige tot snelle stroming	sterke kwel in reliëfrijk gebied	basenarm-matig basenrijke variant	5A Sterk hellend, hoge beekdalen met lokale kwel: sterke kwel, basenarm-matig basenrijk	5 Droogvallende, zure, stromende bronnen of bovenloopjes
				5a1 Droogvallende, zwak zure tot neutrale, stromende tot snel stromende bronnen en bovenloopjes
	sterke kwel in reliëfrijk gebied	basenrijke variant eventueel met kalk in topsysteem	5C Sterk hellend, hoge beekdalen met lokale kwel: basenrijk, evt. kalk in topsysteem	5b1 Permanente, zwak zure tot neutrale, stromende tot snel stromende bronnen en bovenloopjes
				5c1 Permanente, zwak zure tot neutrale, stromende tot snel stromende boven- en middenlopen
				5c2 Permanente, neutrale tot basische, stromende tot snel stromende boven- en middenlopen
Sterk hellend, lage beekdalen met kwel diepe dalen in heuvelland heuvellandbeken met matige tot snelle stroming	sterke regionale kwel, eventueel ook lokale kwel overstroming met slibrijk beekwater	basenrijk grondwater basenrijke leem- en kleibodem	6A Sterk hellend, lage beekdalen: regionale kwel, overstroming, basenrijk	5c3 Beekmoeras (=1a1)
				5d1 Permanente, neutrale tot basische, stromende tot snel stromende bronnen en bovenloopjes
				6a1 Permanente, neutrale tot basische, snelstromende benedenlopen of riviertjes

Voedselrijkdom

De terminologie rond trofie is gekoppeld aan jaarlijkse biomassa-productie. Bij de indeling in trofieklassen is aangesloten bij de indeling volgens Koerselman en Meuleman (1996), die ook in het voorspellingsmodel NICHE (Meuleman et al., 1996) is gebruikt. In deze indeling is de biomassa-productie uitgedrukt in termen van bovengrondse "peak standing crop", ofwel de jaarlijks maximaal bovengronds aanwezige biomassa. De toekenning van trofieklassen is gebaseerd op deskundigenoordeel en getoetst aan de beperkte set beschikbare metingen.

Trofie-klassen [naar Koerselman en Meuleman, 1996]

	productie biomassa in korte vegetaties	
	g/m ²	ton/ha
oligotroof	< 100	< 1
oligomesotroof	100-250	1.0-2.5
mesotroof	250-450	2.5-4.5
zwak eutroof	450-750	4.5-7.5
matig eutroof	750-1100	7.5-11.0
eutroof	1100-1500	11.0-15.0
zeer eutroof	> 1500	> 15.0

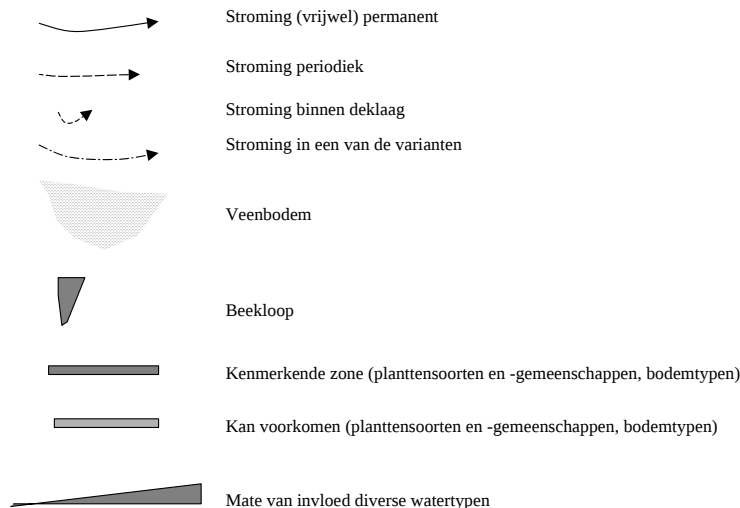
Legenda bij de doorsneden

Codering voor ondergrond, herkomst en water

- N: neerslagwater
- L: lokaal grondwater
 - Lz: zuur, nauwelijks aangerijkt
 - Lm: licht aangerijkt
 - Lb: basenrijk
 - Lo: door oppervlaktewater gevoed
- R: regionaal grondwater
- Rk: in kalkrijke deklaag sterk aangerijkt regionaalgrondwater of perceelwater

(kwaliteit kan sterk overeenkomen)
O: oppervlaktewater
Om: mengwater met regen- of grondwater
L/R: overgang tussen watertypen, b.v. bij een pendelende grens
(L): watertype kan voorkomen

Legenda doorsneden systeemtypen en -varianten



Codering voor vegetatietypen

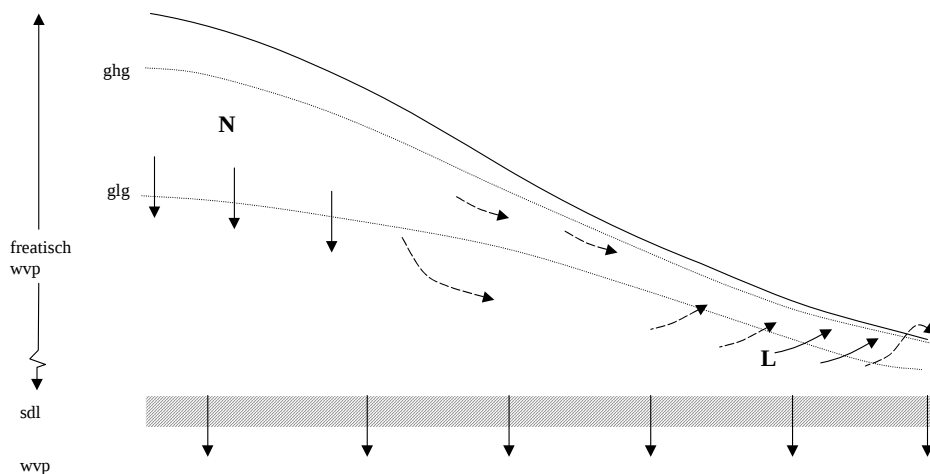
Afkorting (alf. volg.)	Volledige naam vegetatiegemeenschap
Ass. van BB en W	Associatie van Boterbloemen en Waterkruiskruid
Ass. van D en V	Associatie van Draadzegge en Veenpluis
Ass. van GE en M	Associatie van Gewone Engelwortel en Moeraszegge
Ass. van GM	Associatie van Groot Moerasscherm
Ass. van GrW	Associatie van Grauwe Wilg
Ass. van GW	Associatie van Geoorde Wilg
Ass. van K en B	Associatie van Klokjesgentiaan en Borstelgras
Ass. van KWR	Associatie van Klimopwaterranonkel
Ass. van LW en S	Associatie van Liggend Walstro en Schapegras
Ass. van M en Z	Associatie van Moerasstruisgras en Zompzegge
Ass. van PG	Associatie van Paarbladig Goudveil
Ass. van S en R	Associatie van Schorpioenmos en Ronde zegge
Ass. van StZ	Associatie van Stijve Zegge
Ass. van SV	Associatie van Stomp Vlotgras
Ass. van SW	Associatie van Stijve Waterranonkel
Ass. van SZ	Associatie van Scherpe Zegge
Ass. van TV	Associatie van Teer Vederkruid
Ass. van V en V	Associatie van Vetblad en Vlozegge
Ass. van VW	Associatie van Veelstengelige Waterbies
Ass. van VWR	Associatie van Vlottende Waterranonkel
Ass. van W en S	Associatie van Waterviolier en Sterrekroos
B-ass.	Bosbies-associatie
B-E	Berken-Eikenbos
BG	Blauwgrasland
BK-ass.	Bronkruid-associatie
B-Z	Beuken-Zomereikenbos
BZ-ass.	Blaaszegge-associatie

Afkorting (alf. volg.)	Volledige naam vegetatiegemeenschap
D-ass.	Dopheide-associatie
DH	Dotterbloemhooiland
E-E	Elzenzegge-Elzenbroek
E-H	Eiken-Haagbeukenbos
E-I	Essen-Iepenbos
G-ass.	Galigaan-associatie
G-E	Goudveil-Essenbos
GH	Glanshaverhooiland
GH-ass.	Glanshaver-associatie
HG	Heischraal Grasland
KB-ass.	Kievitsbloem-associatie
KM-ass.	Kegelmos-associatie
KW	Kamgrasweide
MS-ass.	Moerasspirea-associatie
NW-ass.	Naaldwaterbies-associatie
PV-ass.	Pilvaren-associatie
RG van LG	Rompgemeenschap van Liesgras
RG van M	Rompgemeenschap van Moeraszegge
RG van R	Rompgemeenschap van Riet
RG van TZ	Rompgemeenschap van Tweerijige Zegge
RG van WG	Rompgemeenschap van Wilde Gagel
RG van VW	Rompgemeenschap van Veelstengelige Waterbies
R-ver.	Riet-verbond
S-ass.	Struikheide-associatie
V-ass.	Veldrus-associatie
V-E	Vogelkers-Essenbos
Ver. van SZ	Verbond van Scherpe Zegge
Z-B	Zompzegge-Berkenbroek

Natte infiltratiegebieden met lokale kwel

[Jalink et al. (2003): 5 Infiltratiegebieden met lokale kwel]

Infiltratiegebieden met lokale kwel



Landschap

- Lagere delen van dekzand- en stuifzandruggen die liggen aan de oorsprong van beekdalen (slenken en stroeten) of die tussen beekdalen in liggen;
- Lagere delen van oude rivierduincomplexen;
- Zwakke hellingen met leembodems
- Ingebed binnen dit systeemtype kunnen *afvoerloze laagten* [2] voorkomen

Processen

- Het hele gebied wordt gevoed door regenwater, wegzijging van regenwater naar de (diepere) ondergrond overheerst;
- De grondwaterspiegel komt plaatselijk een deel van het jaar binnen het bereik van de wortelzone (zandgronden) en/of de bodem heeft een goed vochtleverend vermogen (leemgronden)
- Per saldo overheerst uitspoeling van nutriënten en basen. Hierdoor ontstaan op zure zandbodems (zeer) zwak gebufferde, zure, oligotrofe tot oligomesotrofe bodems. Op lemige of kalkhoudende bodems wordt de zuurgraad op enige diepte gebufferd door verwerking van de leem of kalk.
- Bij geringe doorlatendheid van de bovengrond (leem, fijn zand) of bij aanwezigheid van minder doorlatende lagen nabij maaiveld zal in natte perioden een deel van het regenwater stagneren op maaiveld of daarover afstromen.
- Door opbolling van het grondwatervlak ontstaat laterale grondwaterstroming. Laterale stroming wordt bevorderd door ondiep gelegen slecht-doorlatende lagen, zoals leemlagen, oerlagen en overstoven veenlagen; alleen in de laagste delen van dit systeemtype en in lokale laagten treedt in natte perioden lokale kwel naar maaiveld op.
- Het lateraal afstromend lokaal grondwater is in sommige gebieden door contact met lemige of kalkhoudende lagen min of meer verrijkt met basen en zorgt dan in de vochtige delen voor een hogere basenrijkdom.

Kenmerken

Hydrologie

- De freatische standen zijn hoger dan de stijghoogten in het onderliggende watervoerend pakket.
- Van nature komt de grondwaterspiegel in het lage deel van de gradiënt tenminste een deel van het jaar tot in de wortelzone, in de natste delen ook tot vlak onder of op maaiveld.
- Permanente stromende wateren ontbreken. Wel kan plaatselijk langdurige stagnatie of langzame, *diffuse* afstroming over maaiveld optreden. Het voorkomen van permanente waterlopen berust volledig op menselijke ingrepen waarbij door- en afvoersloten door geïsoleerde laagten zijn aangelegd. Deze zorgen dan voor sterke ontwatering en verdroging van de laagte.
- Grondwaterstanden zakken in droge perioden relatief snel weg.

Hydrochemie

- Het grondwater is meestal *suboxisch* (hoge redox, eventueel ook NO₃- of SO₄-houdend)
- Het grondwater is nauwelijks verrijkt met basen (op uitgeloopte zandbodems), licht verrijkt met basen (op lemige bodems) tot kalkhoudend (op kalkhoudende bodems) (*zie varianten*)
- Vaak relatief hoge gehalten aan Cl (>15mg/l), maar in uitgestrekte heide/schraallandgebieden ook wel <10 mg/l)

Bodentypen

- Veldpodzolgronden, vlakvaaggronden
- Gooreerdgronden (in slenken met lokale kwel en grondwaterstanden aan of op maaiveld)
- Leemgronden

Plantensoorten/plantengemeenschappen

- korte vegetatie: Natte heide, Heischraalgrasland, vochtig Glanshaverhooiland, vochtige Kamgrasweide, Veldrusassociatie

- *bos/ struweel*: Berken-Eikenbos, Beuken-Zomereikenbos, Eiken-Haagbeukenbos, Vogelkers-Essenbos, Berkenbroekbos, Elzenbroekbos, struweel van wilg en Wilde Gagel

Bedreigingen

Verdroging

- Verdroging door lokale ontwatering, regionale ontwatering en grondwateronttrekking
- Gebieden vaak drooggelegd met enkele diepe sloten (dus zeer lokaal) (zie ook bij hydrologie)
- Ontwatering in lage delen beïnvloedt ook de hogere delen
- Toename van de verdamping door aanplant van naaldbos, waardoor de grondwaterstand in het voorjaar sneller daalt en in de zomer dieper wegzakt
- Grondwaterwinning of het verlagen van de regionale drainagebasis kan leiden tot het dieper wegzakken van met name zomergrondwaterstanden

Verzuring

- Als gevolg van atmosferische depositie verdwijnen op zwak gebufferde zandgronden soorten van matig zure omstandigheden (Klokjesgentiaan, Gevlekte orchis).
- Ontwatering leidt tot minder aanvoer van basenhoudend grondwater en verlaging van de grondwaterstand kan leiden tot verzuring door pyrietoxidatie.

Eutrofiëring

- Door stikstofdepositie treedt verrijking met stikstof op en daardoor vergrassing op.

Herstelmogelijkheden

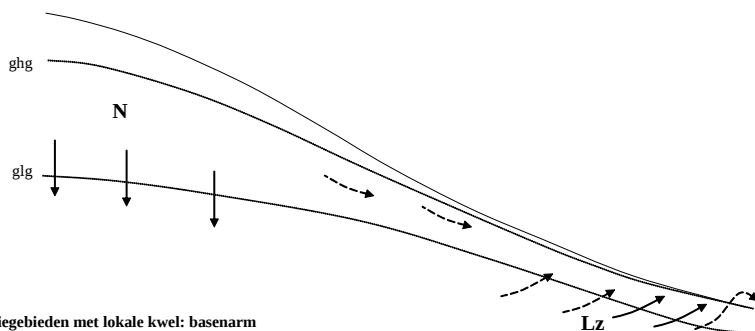
Herstel van de opbolling van het freatisch vlak en als gevolg daarvan periodiek hoge grondwaterstanden en laterale grondwaterstroming door:

- In hoge delen (ruggen) dempen van diepe sloten
- Kappen van naaldbos en omvorming tot heide of open loofbos
- In lage delen dempen van rabatten en sloten
- Deze maatregelen zijn zeer effectief in gebieden met ondiepe slecht doorlatende lagen
- Of de maatregel leidt tot herstel van de basenrijkdom (variant 1C) is afhankelijk van de mate van uitloging die is opgetreden.

1A Infiltratiegebieden met lokale kwel: basenarm

[Jalink et al. (2003): 5.1 Infiltratiegebieden met lokale kwel: variant op vochtige, zure bodems]

S-ass. (met Pijpestrootje) /	
B-E droge SA's / B-Z droge SA's	
D-ass. typische SA / B-E SA pijpestrootje / B-Z SA pijpestrootje	
D-ass. SA veenmos / RG van WG / Ass. van GW / Z-B	
Beenbreek, Gevlekte orchis	
Veldrus, Draadzegge, Snavelzegge	
Regenwater	
Lokale kwel	
Vochtig-natte podzolgronden	
Gooreerdgrond	



Vegetatiegradiënt

Een groot deel van de gradiënt wordt ingenomen door de typische subassociatie van de Dophei-associatie en vochtige vormen van het Zomereiken-Berkenbos en Beuken-Zomereikenbos, op de drogere delen gaat die over in de associatie van Struikheide en Stekelbrem en droge vormen van genoemde bosgemeenschappen. Lager in de gradiënt, waar de waterstand minder diep wegzakt, kan ook de veenmosrijke subassociatie van de Dopheide-associatie, het Zompzegge-Berkenbroek en de associatie van Geoorde wilg voorkomen. Deze gemeenschappen komen voor waar, als gevolg van een lemige zandbodem, een betere vochtvoorziening plaatsvindt. Soorten als Beenbreek, Veldrus, Gevlekte orchis en Wilde gagel kenmerken de zones met lokale kwel. In sommige situaties kunnen deze soorten over een grote oppervlakte voorkomen (b.v. Meinweg, Kampina). Dit is het geval bij afstroming van lokaal grondwater over ondiep gelegen lemige lagen of bij sterke opbolling van het (relatief grote) lokale systeem vanwege plasvorming onder aan de gradiënt. In dat geval kunnen onder aan de gradiënt ook Kleine zeggenmoerassen en Ass. van Veenpluis en Draadzegge voorkomen. Nog lager gaat het systeemtype over in andere systeemtypen (afvoerloze laagten of andere beekdaltypen).

Processen: alleen voeding door regenwater en op de natste plaatsen zeer lokaal grondwater; door uitspoeling van nutriënten en basen ontstaan (zeer) zwak gebufferde, zure tot matig zure, voedselarme bodems

Standplaats: zuur tot matig zuur, oligo-mesotroof

Bodem: veldpodzolgronden, vlakvaaggronden, soms gooreerdgronden (in slenken met zeer lokale kwel en grondwaterstanden aan of op de minerale ondergrond)

Grondwaterkwaliteit: zuur tot matig zuur (pH 4-5), ionenarm (EGV vaak 50-100 $\mu\text{S}/\text{cm}$)

Voorkomen: lage delen van dekzand- en stuifzandruggen, lage delen van oude rivierduinen

Voorbeelden: de meeste vochtige heidegebieden; delen van Brecklenkampse Veld, Stroothuizen, Strabrechtse heide en Kampina

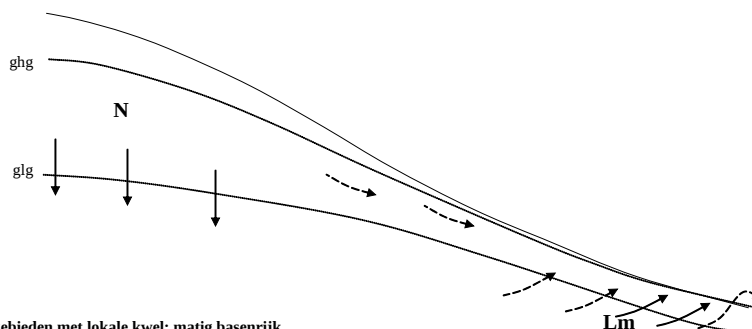
Specifieke bedreigingen: de van nature zeer zwakke buffering en het lage trofieniveau maken deze variant zeer gevoelig voor verzuring en eutrofiëring als gevolg van atmosferische depositie.

Specifieke herstelmaatregelen: in combinatie met hydrologisch herstel is plaggen in de hoog-laag gradiënt succesvol gebleken voldoende op orde is (Stroothuizen).

1B Infiltratiegebieden met lokale kwel: matig basenrijk

[Jalink et al. (2003): 5.2 Infiltratiegebieden met lokale kwel: variant op matig zure (lemige) bodems]

Ass. van LW en S / S-ass /	
B-E droge SA's / B-Z droge SA's	
Ass. van K en B / B-E SA pijpestrootje / B-Z SA pijpestrootje	
V-ass. / Ass. van GW / Z-B / E-E SA zompzegge	
Gevlekte orchis	
Regenwater	
Lokale kwel	
Vochtig-natte podzolgronden	
Gooreerdgronden	



1B Natte infiltratiegebieden met lokale kwel: matig basenrijk

Vegetatiegradiënt

In geval van schraallanden wordt hoog in de gradiënt het beeld bepaald door de associatie van Liggend walstro en Schapegras en op hogere koppen liggen vaak Struikheidegemeenschappen. Lager in de gradiënt, waar de grondwaterstanden dicht onder maaiveld komen, gaat deze vegetatie over in de Associatie van Klokjesgentiaan en Borstelgras. Opvallende soorten zijn Liggende Vleugeltjesbloem, Heidekartelblad, Blauwe zegge en Gevlekte orchis. Dit kan naar beneden toe overgaan in de Veldrusassociatie of (heischraal) Blauwgrasland wanneer lateraal afstromend lokaal grondwater in contact met lemige lagen of basenrijkere dekzanden is *verrijkt* (het kan dan aansluiten op **weinig hellende beekdalen met lokale kwel [3B en 3C_1]**). In geval van bos en struweel wordt de gradiënt in basenrijkdom gemaskeerd als gevolg van organisch stofrijke strooiselprofielen en lijkt de vegetatiegradiënt in het hoge en middelste deel veel op dat van de vorige variant (**Infiltratiegebieden met lokale kwel: basenarm [1A]**). Lager in de gradiënt kan bij voldoende lokale kwel het Elzenzegge-Elzenbroek subassociatie met Zompzegge voorkomen.

Processen: door verwerking van mineralen vindt enige *verrijking* van het bodemvocht (en lokale grondwater) plaats met basen; onder in de gradiënt zorgt doorstroming met het lokale grondwater voor een betere basen- en nutriëntenvoorziening en pH-buffering.

Standplaats: matig zuur, (oligo)mesotroof (bovenaan) tot matig-zwak zuur, mesotroof (onderaan)

Bodem: veldpodzolgronden, vlakvaaggronden, leemgronden (Ln en pLn) soms gooreerdgronden (in slenken met zeer lokale kwel en grondwaterstanden tot aan of op de minerale ondergrond)

Grondwaterkwaliteit: licht *verrijkt*, matig zuur (pH ca. 5-5,5)

Voorkomen: gebieden met een sterk lemige bovengrond of dunne zandlaag (enkele decimeters) op leem (keileem, loss)

Voorbeelden: vliegveld Havelterberg, heischrale graslanden op ondiepe keileem bij de Barten (Frl)

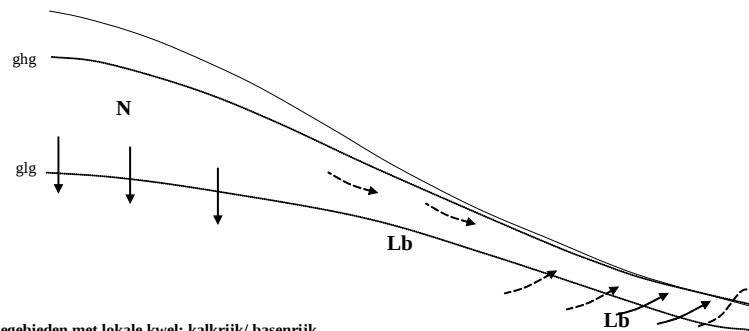
Specifieke bedreigingen: de van nature zwakke buffering en het lage trofieniveau maken dit systeem zeer gevoelig voor verzuring (irreversibele uitloging) en eutrofiëring als gevolg van atmosferische depositie.

Specifieke herstelmaatregelen: plaggen van de verzuurde bovenste bodemlaag is op lemige bodems een kansrijke maatregel; lichte bekalking in het inzijsgebied kan leiden tot herstel van de toevoer van *verrijkt* water naar de lagere delen.

1C Infiltratiegebieden met lokale kwel: kalkrijk/ basenrijk

[Jalink et al. (2003): 5.3 Infiltratiegebieden met lokale kwel: variant op vochtige, kalkhoudende/ basenrijke bodems]

HG / GH SA gewone veldbies /	
KW typische SA / E-H SA witte klaverzuring	
GH typische SA / KW moerasrolklaver / E-H typische SA / V-E	
V-ass. / E-E / Ass. van GrW	
Grote vossenstaart	
Knolsteenbreek	
Regenwater	
Lokale kwel	
Leem- en vochtig-natte podzolgronden	
Gooreerd- of beekerdgronden	



1C Natte infiltratiegebieden met lokale kwel: kalkrijk/ basenrijk

Vegetatiegradiënt

In het lage deel van de gradiënt komen basenminnende, vochtige Glanshaverhooilanden, Natte Kamgrasweiden, Veldrusschraallanden en eventueel Blauwgrasland, Eiken-Haagbeukenbos, Vogelkers-Essenbos en Elzenzegge-Elzenbroek voor, met soorten als Knolsteenbreek en Grote keverorchis. De basenrijke gradiënt loopt door tot in aangrenzende beekdalen, zodat de overgang vrij geleidelijk kan zijn. Is de bodem boven op de ruggen ook basenhoudend, dan komen daar (matig) droge Glanshaverhooilanden, Kamgrasweiden en Eiken-Haagbeukenbos voor. Plantensoorten als Trilgras, Beemdkroon en Kleine pimpinel geven in graslanden uitdrukking aan de basenrijke standplaatscondities. Wanneer de leem schuilgaat onder een dunne laag dekzand of als de bovenste bodemlaag uitgeloozd is, komen heischrale graslanden (Associatie van Klokjesgentiaan en Borstelgras) of heidegemeenschappen, Zomereiken-Berkenbos en Beuken-Zomereikenbos bovenop de rug voor.

Processen: buffering van de zuurgraad door verwerking van kalk of lemig materiaal, waardoor ter plekke gevallen regenwater verandert in min of meer basenrijk of zelfs kalkverzadigd (lokaal) grondwater.

Standplaats: matig zuur tot basisch, zwak eutroof tot eutroof

Bodem: leemgronden (*Ln* en *pLn*), vaak ook gekarteerd als veldpodzolgronden (*Hn*) en gooreerdgronden (*pZg*) en op zeer vochtige, kalkhoudende lemige ondergrond ook beekerdgronden (*pZg*);

Grondwaterkwaliteit: zwak zuur (lemige bodems) tot neutraal (kalkrijke bodems) (pH 5,5-7,5), matig hard tot zeer hard;

Voorkomen: in zwak geaccidenteerd heuvelland met lössdek, gebieden met hooguit een dunne dekzandlaag op basenrijk of kalkhoudend, lemig materiaal.

Voorbeelden: Willinks Weust (Gelderland), als bos op hoge delen van Ruweeuwsels, Mortelen, Wijboschbroek, De Brandt (Brabant), Ulvenhoutse Voorbos, Liesbos (Brabant).

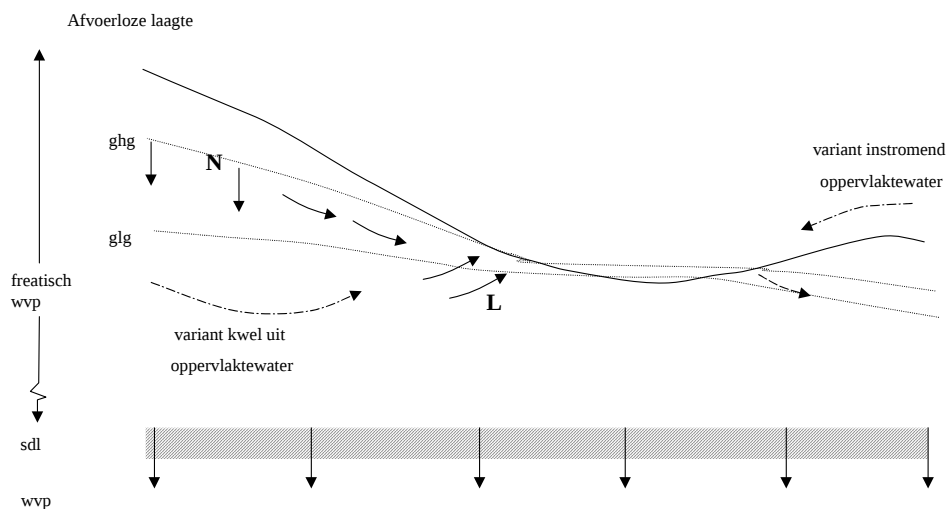
Specifieke bedreigingen: uitloging van de bovengrond treedt van nature geleidelijk op, maar kan versneld zijn door verzurende atmosferische depositie of door langdurige verdroging (lagere delen); de snelheid waarmee uitloging optreedt is sterk afhankelijk van de wegzijging; op meters dikke leemlagen in de omgeving van Lieshout (NBr) zijn diverse locaties aanwezig, waar ook op hogere gronden de in de laatste ijstijd afgezette kalkrijke lagen in de wortelzone niet diep ontkalkt zijn.

Specifieke herstelmaatregelen: hydrologisch herstel via dempen van diepe ontwatering is vrij goed mogelijk vanwege de slecht doorlatende ondergrond, maar

of dit ook leidt tot herstel van de basenrijkdom is afhankelijk van de mate (diepte) van uitloging.

Afvoerloze laagte

[Jalink et al. (2003): 6 Afvoerloze laagten in de hogere gronden]



Op tal van plaatsen komen relatief hoog in het landschap afvoerloze laagten voor, soms tot zelfs nabij de waterscheiding, en daardoor buiten het bereik van wat grotere lokale of (sub)regionale kwelsystemen. Ze onderscheiden zich van vennen, die deels in dezelfde zone liggen, maar vaak ook hoger in het landschap, door hogere basenrijkdom en een vegetatie van kleine zeggenmoeras, blauwgrasland en broekbos. De laagste delen kunnen permanent water blijven voeren, maar in veel gevallen valt de laagte ook langdurig droog en kunnen de grondwaterstanden diep wegzakken. Zulke laagtes komen zeer veel voor in het dekzandgebied maar zijn door aanleg van ont- en afwatering veelal met elkaar verbonden en aangesloten op andere beekdalsystemen.

Landschap

- Laagten in het lage deel van de hogere zandgronden, vaak achter een “drempel” (lage dekzandrug of oude opgehoogde zandweg) en zonder beek.
- Vaak zijn in deze laagten later wel beken of andere afvoeren gegraven, waardoor het geïsoleerde, afvoerloze karakter verloren is gegaan; ze zijn dan in hydrografische zin onderdeel van een bovenloop geworden.

Processen

- Hydrologisch gezien zijn het op regionale schaal inzijsgebieden, dus overheerst inzijsing naar de ondergrond.
- Doordat ze onder aan hogere gronden liggen, treedt tijdens inundaties aan de randen van het watervlak lokale kwel vanuit omliggende ruggen op.
- Deze laagten danken hun basenrijkdom aan zeer lokale processen (zie varianten): instroom van beekwater of basenrijke lokale kwel door een specifieke geologie. In sommige gevallen treedt kwel op vanuit kanalen met een hoog peil (kanaalkwel)

Kenmerken

Hydrologie

- De grondwaterstanden zijn (het grootste deel van het jaar) lager dan de stijghoogten in het onderliggende watervoerend pakket;
- De grondwaterstanden kunnen (voor basenminnende gemeenschappen) relatief diep wegzakken (tot ca. 1,2 m-mv);
- In natte perioden loopt de laagte onder; hooguit bij zeer hoge standen stroomt het water oppervlakkig af over drempels naar andere laagten of beekdalsystemen, maar het meeste verdampt of zijgt uiteindelijk in;
- Het voedende lokale systeem heeft periodiek hogere stijghoogten dan de laagte:
- hoogste beekstanden overstijgen het niveau van de drempel,
- opbolling van het freatisch vlak in aanliggende dekzandgronden perst wat dieper in de bodem stromend water omhoog of levert door verrijking in basenrijke lagen basenrijk lokaal grondwater;
- of er is een kanaal met (vrijwel permanent) hoog peil aanwezig.
- Mogelijk zorgt een sterk wissellende freatische stand ook voor sterke dispersie van grondwater. Door deze menging van grondwater kan basenhoudend grondwater de wortelzone bereiken.
- De laagte zelf hebben geen duidelijk onderscheidbare beek. Wanneer stroming van oppervlaktewater optreedt, vindt dat diffuus plaats.

Hydrochemie

- Het ondiepe grondwater in de laagte of een deel daarvan is beduidend rijker aan basen, dan dat in de aangrenzende wat hoger gelegen vochtige gronden
- Vanuit de laagte inzijgend water zorgt ervoor dat benedenstrooms van de laagte ook basenrijk water of mengwater in het freatisch pakket voorkomt;
- Varianten met basenrijke lokale kwel zijn herkenbaar aan hogere Ca- en HCO_3 -gehalten, vooral aan de randen van de laagte, maar vaak ook onder de hogere gronden

Bodemtypen

- relatief hoog in het landschap gelegen moerige gronden, beekoordgronden of veengronden die naar het beekdal toe weer overgaan in podzol- of gooreerdgronden;
- veldpodzolgronden
- gooreerdgronden

Plantensoorten en plantengemeenschappen

Afhankelijk van de basen- en voedselrijkdom van het voedende water:

- *korte vegetatie*: Knopbiesverbond en Blauwgrasland, Stijve zegge-ass., Rietland, Galigaan, Naaldwaterbies, Overkruid, Ass., van Veelstengelige waterbies en eutrafente waterplanten (instroom voedselrijk beekwater)
- *bos/ struweel*: Zomereiken-Berkenbos, Beuken-zomereikenbos, Berkenbroek, Elzenbroek, struweel van wilg en Wilde gagel

Bedreigingen

- verdroging door lokale ontwatering, regionale ontwatering en grondwateronttrekking
- afname van de lokale kwel tijdens inundaties
- door ontwatering van de laagte of
- door verminderde opbolling in de aanliggende hogere gronden als gevolg van lokale ontwatering, bebossing, beekpeilverlaging, grondwaterwinning of te diep afgraven van hogere gronden.
- stoppen van de inlaat of instroming van oppervlaktewater; er treedt dan geleidelijk verzuring op.
- verzuring en verdroging door het wegvangen van de kanaalkwel (b.v. door diepe ontwatering rond de laagte)
- uitlogging van het zandpakket waarin de laagten liggen.

Herstelmaatregelen

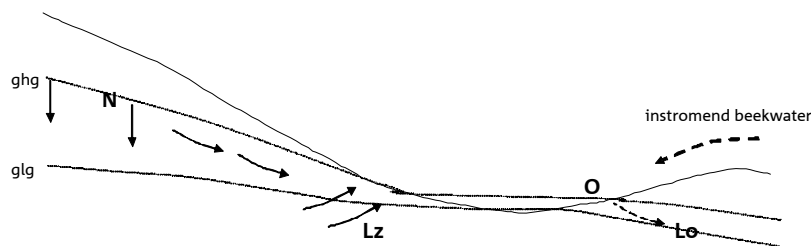
- herstel instroom schoon beekwater
- herstel oppersing basenrijk lokaal water door herstel opbolling grondwatervlak in dekzandruggen en herstel inundatie in de laagte (mits nog basenrijk water in de ondiepe ondergrond voorkomt).
- herstel kanaalkwel door tegengaan drainage in/rond het terrein

Hydrologisch herstel is eenvoudiger bij ondiep gelegen slecht doorlatende lagen en verloopt dan snel. Naarmate zandpakketten dikker zijn zullen maatregelen in een bredere omgeving nodig zijn.

2A Afvoerloze laagte: in- of doorstroming beekwater, matig basenrijk tot basenrijk

[Jalink et al. (2003): 6.1 Afvoerloze laagten in de hogere gronden met in- of doorstroming beekwater

D-ass. veenmosrij / Z-B / RG WG					
BG					
Ass. StZ / RG R / G-ass.					
PV-ass.					
NW-ass. / Oeverkruis / Ass. VW					
Ass. van GrW / E-E					
Zones	terrestrisc	amfibisc	aquatisc	amfibisc	terrestrisc
lokal kwel					
regenwat					
beekwater					
Vochtig - natte podzolgrond					
Gooreer, moerig podzol, beekgedrongen					



2A Afvoerloze laagte: in- of doorstroming beekwater, matig basenrijk tot basenrijk

Vegetatiegradiënt: In het lage deel van de amfibische zone en in permanent water (indien aanwezig) komen rompgemeenschappen uit de Oeverkruidklasse voor. Kenmerkende soorten daarin zijn in deze variant o.a. Oeverkruid, Gesteeld glaskroos en Naaldwaterbies. Dichtbij het instroompunt is door slibafzetting de bodem het meest voedselrijk. Hier komt ook nog de Pilvaren-associatie voor. Daarnaast komen hier gemeenschappen uit de Rietklasse voor (associatie van Stijve zegge, Rompgemeenschap met Riet) soms b.v. met Grote boterbloem maar ook met Schorpioenmos. In geval van bos/struweel wordt de laagte ingenomen door de Associatie van Grauwe wilg en het Elzenzegge-Elzenbroek. Wat hoger in de het meest door beekwater beïnvloede randzone kan ook Blauwgrasland voorkomen. Naarmate de inundatieduur toeneemt is dit Blauwgrasland gekenmerkt door een inslag van soorten van oeverkruidgemeenschappen, zoals Oeverkruid, Moerassmele en Veelstengelige waterbies. Hogerop gaat het om de heischrale subassociatie van het Blauwgrasland (nardetosum). Valt de laagte als geheel langdurig droog, dan nemen deze graslanden het grootste deel van de oppervlakte in.

In delen, waar nauwelijks beekwater binnendringt en kwel van basenarm lokaal grondwater overheerst, treden de meest oligotrafente plantengemeenschappen naar voren, de Associatie van Veelstengelige waterbies en de Waterlobelia-associatie. Aan de bovenzijde gaan deze over in natte en droge heide.

Processen: in natte perioden aanvoer van basen en nutriënten door (sterk verdund) instromend beekwater; in droge perioden blijven regenwater en (meestal ook) lokaal grondwater als voeding over.

Standplaats: gaande vanaf het instroompunt van beekwater naar het intreepunt van lokaal grondwater is er een gradiënt van zwak tot matig zuur, matig eutroof tot mesotroof naar zuur, mesotroof tot oligotroof.

Bodem: moerige podzolgrond, veldpodzol, gooreerdgronden

Grondwaterkwaliteit: in de door beekwater beïnvloede zone is het bovenste grondwater relatief rijk aan Ca, Na, K en Cl in vergelijking met het toestromende lokale grondwater; ook de alkaliteit (HCO_3) kan hier hoger zijn, maar dit hoeft niet het geval te zijn;

Voorkomen: laagten onder aan de beekdalfank, die periodiek door beekwater bereikt worden

Voorbeelden: Winkelsven en Belversven (Br.; vroeger), Ijsbaan Sellingen (Gr)

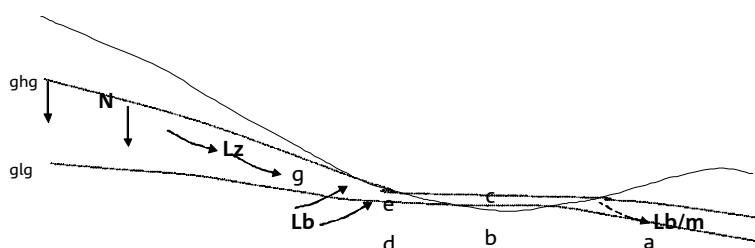
Specifieke bedreigingen: eutrofiëring van het beekwater; verzuring door wegvallen voeding met beekwater; wegvallen van of eutrofiëring lokale kwel.

Specifieke herstelmaatregelen: afplaggen voedselrijke sliblaag gevolgd door herstel inlaat schoon beekwater; maatregelen voor herstel lokale kwelstroom.

2B Afvoerloze laagte: lokale basenrijke kwel

[Jalink et al. (2003): 6.2.1 Afvoerloze laagten in de hogere gronden met lokale basenrijke lokale kwel door lokale geologie bepaald]

D-ass. typisch SA / B-E SA pijpestrootj/ B-Z SA pijpestrootj	
D-ass. veenmosrij / RG WG / Ass. van GW / -B	
BG basenrijk variant / -E	
BG typische varian	
RG VW / Veenmo / Ass. van M en Z / Ass. GrW/ Z-B	
zones	terrestrisc amfibisc aquatisc amfibisc terrestrisc
basenrij lokaa wate	
zuurlokaa wate	
Vochti -natt podzolgrond	
Gooreer, beekerdgron	



2B Afvoerloze laagte: lokale basenrijke kwel

Vegetatiegradiënt

In de randen van de laagte (de amfibische- en randzone) treedt het lokale kwelwater uit en komt Blauwgrasland voor. In ondiepe laagten met een brede amfibische zone, kan dit vegetatietype een groot deel van de laagte in beslag nemen. Bij langere inundatieduur wordt deze zone ingenomen door de Draadgentiaan-associatie. In het centrum treden langere inundaties op met mengwater, waardoor ook zuurdere omstandigheden kunnen optreden. Dan komen de Associatie van Veelstengelige waterbies, de Pilvaren-associatie of Kleine zeggengemeenschappen voor. Overheerst de invloed van het basenrijke water ook in de laagste delen, dan komen meer basenminnende moerasgemeenschappen voor, zoals Ass. van Stijve zegge of Galigaan-ass. In geval van struweel/bos komt aan de rand met lokale kwel van zwak tot zeer zwak gebufferd grondwater het Zompzegge-Berkenbroek en de RG Wilde Gagel voor en in de laagte de Associatie van Grauwe wilg en Elzenzegge-Elzenbroek. Naar boven toe gaat dit over in in vochtige en droge heide of Zomereiken-Berkenbos en Beuken-Zomereikenbos.

Processen: basenrijk lokaal grondwater kwelt op aan de randen van plassen die in natte perioden in de laagte ontstaan, de kwelzone schuift mee bij veranderend peil; in de laagste delen kan stagnatie en inzijging van regenwater overheersen.

Standplaats: van vochtig/nat en zuur (hoger dan de hoogwaterlijn) naar nat en neutraal tot zwak zuur (amfibische zone); het laagste natte deel is vaak minder gebufferd door aanwezigheid van mengwater (basenrijk grondwater en regenwater).

Bodem: moerige podzolgronden, gooreerdgronden, beekerdgronden

in systemen waar het inziigende regenwater in kalkhoudende lagen wordt verrijkt, wordt de gehele laagte gevoed door basenrijk lokaal grondwater; ook in het laagste deel (b,c) komt dan basenrijk grondwater tot in de wortelzone; vanuit de plas inzigend water (a) heeft een min of meer basenrijk karakter

Voorbeelden: Punthuizen (Tw), Mortelven (Br.), westelijke deel Vetpot (Ov)

Specifieke bedreigingen: Wegvallen plasvorming door ontwatering laagte; afname van de opbolling van het grondwatervlak door lokale ontwatering, bebossing, daling van de regionale opbolling van het grondwatervlak als gevolg van beekpeilverlaging, grondwaterwinning etc.; uitloging van kalkhoudende lagen

Specifieke herstelmaatregelen: herstel van inundatie van laagten en herstel van de opbolling van het freatisch vlak door omzetten van bos in heide en het dempen van diepe sloten in hogere delen van de omgeving.

[Jalink et al. (2003): 7 Beekdalen met lokale kwel

- bovenlopen en middenlopen van beekdalen met een klein verval, gelegen temidden van hogere zandgronden in dekzandlandschappen en in hogere rivierterrassen;
- meestal duidelijk herkenbare, vrij smalle (tot enkele honderden meters brede) dalen
- soms ook verbredingen, bijvoorbeeld bovenstrooms van dwars door het dal gelegen zandruggen; op dergelijke plaatsen trad door verstopping van het dal vaak overstroming op;

- het hele dal wordt gevoed door (lateraal) toestromend water uit het freatisch pakket; toestroming van lokaal grondwater treedt op zolang er tussen waterscheiding en beekdal een lateraal verhang in het freatisch vlak aanwezig is (van f naar a/b)

- het lokale grondwater kan in kwaliteit variëren van zuur (in uitgeloopte dekzanden), zwak zuur (in lemige en venige gronden) tot neutraal/basisch (bij aanwezigheid van kalk in het topsysteem) en van suboxisch (in minerale gronden) tot anaëroob (in moerige/venige gronden); *zie varianten*
- in sommige beekdalen treedt 's winters overstroming met beekwater op; er ontstaat dan een gradiënt in de invloed van (slibrijk, voedselrijk) beekwater en (voedselarm, meestal (matig) zuur) lokaal grondwater en regenwater: *zie varianten*; (vroeger werden de hooilanden van de dalbodem in veel beekdalen bevoeid om de voedselrijkdom te verhogen); onderscheidend met **Weinig hellende, vlakke beekdalen met sterke (voormalige) slibafzetting [4B en 4C]** is dat slibafzetting geen dominante factor is.
- de grondwaterstand staat in winter en vroege voorjaar aan of boven maaiveld;
- in het voorjaar zakt de grondwaterstand vrij snel en vrij diep weg;
- naarmate het voedingsgebied (de tussen beekdalen gelegen zandruggen) groter is en meer berging heeft, duurt het langer voordat het lokale systeem uitgestroomd is en de grondwaterstand wegzakt; (het onderscheid in grondwaterstandsverloop t.o.v. beekdalen met regionale kwel wordt dan minder duidelijk)
- er treedt geen overdruk op vanuit het onderliggende pakket, of –indien wel overdruk optreedt– de invloed van het lokale systeem is zo dominant, dat het diepere water in het gehele dal (ook onder en nabij de beek (punten a en b) vele meters onder maaiveld blijft en wordt afgedekt door lokaal grondwater .

Kenmerken

hydrologie

- freatische standen zijn (het overgrote deel van het jaar) hoger of gelijk aan de stijghoogten in het watervoerend pakket;
- of de stijghoogten zijn wel hoger, maar het freatisch pakket is tot op vele meters diepte permanent gevuld met lokaal water, doordat het diepere water binnen het freatisch pakket door het dominante lokale systeem wordt afgedekt (in dat geval is er een scheidende laag met hoge weerstand aanwezig);
- afvoeroppervlaktewater bovenloopjes, bovenlopen en middenlopen; er hoeft geen duidelijke beekloop aanwezig te zijn en deze kan ook geheel ontbreken; afvoer vindt dan (periodiek) diffuus over maaiveld plaats.

hydrochemie

- *suboxisch* water (hoge redox, NO₃- of SO₄-houdend) bij alle locaties in het freatisch pakket; eventueel kan in venige bodems (c) gereduceerd water ontstaan of bij aanwezigheid van veel organische stof langs de stroombaan kan reductie optreden en het lokale grondwater anaëroob en ijzerrijk zijn. Onder de beek (a) komt eventueel basenrijker geïnfiltreerd beekwater voor met (hogere concentraties Cl, Ca, Na en K dan elders in het beekdal (c, d, e en f)
- Cl-gehalte meestal >15 mg/l, behalve bij beekdalen in heidegebied, waar Cl-arm water inziigt.

bodentypen

- gooreerdgronden (matig zure tot zure lokale kwel)
- lage enkeerdgronden (duidend op geen al te grote wateroverlast in het verleden)
- beekerdgronden (bij basenrijke lokale kwel of bij combinatie met overstroming)
- in lokale, afvoerloze laagten binnen het beekdal kunnen door langdurige stagnatie ook venige gronden zijn ontstaan

plantensoorten/plantengemeenschappen

- korte vegetatie: *Vochtige heide*, Veldrusschraalland, Ass. van Zompzegge en Moerasstruisgras, Blauwgrasland, *Kalkmoeras* Dotterbloemhooilanden, *Kalkmoerassen*, *trilvenen* en Grote zeggenmoeras
- *bos/struweel*: *Berkenbroek*, *elzenbroek*, *Struweel van wilg en Wilde gagel*
- Veldrus, Duizendknoopfonteinkruid tot in centrum beekdal

Bedreigingen

- gemakkelijk te ontwateren/verdrogen
 - uitdiepen van de beek en ontwatering in het beekdal 'trekt' lokale systeem onder natuurgebied weg;
 - diepe sloot op overgang beekdal/flank vangt lokaal systeem bovenstrooms af;
 - wegvallen voeding lokaal systeem door verharding van het intrekgebied

- eutrofiëring van het lokale systeem onder invloed van bemesting op de hogere gronden
- eutrofiëring via beekwater (in overstroomde beekdalen)

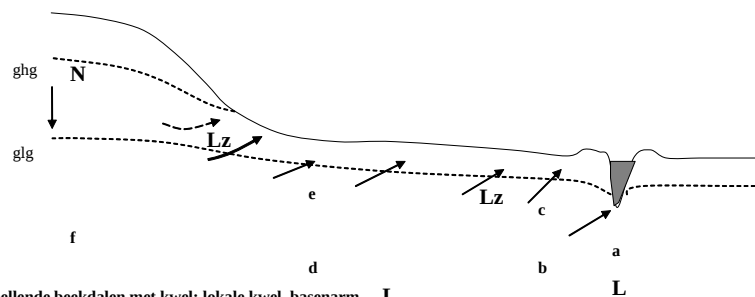
Herstelmaatregelen

- verondiepen of dempen van beek en sloten in beekdal, onderaan of op de beekdalflank:
 - zeer effectief boven ondiep gelegen slecht doorlatende laag
 - zeer effectief indien enige overdruk vanuit watervoerend pakket
 - weinig effectief in dikke, grof zandige pakketten vanwege uitstraling van verder weg gelegen drainage
- herstel inundatie (bij variant met overstroming)
 - indien beekwater van voldoende kwaliteit
 - indien freatische standen voor inundatie al dicht onder maaiveld (voorkomen eutrofiëring)

3A Weinig hellende beekdalen met kwel: lokale kwel, basenarm

[Jalink et al. (2003): 7.1 Beekdalen met lokale kwel: variant met zure lokale kwel

Veenmosrijke D-ass. / Z-B / RG WG	
Ass. M en Z / Z-B / Ass. van GW	
Ass. van D en V	
Beenbreek, Klokjesgentiaan	
Veldrus / Klein Glidkruid	
Snavelzegge, Draadzegge, Wateraardbei	
Duizendknoopfonteinkruid	
Regenwater	
Zuur lokaal kwelwater	
Vochtig-natte podzolgronden	
Gooreerd/lage enkeerdgronden	



3A Weinig hellende beekdalen met kwel: lokale kwel, basenarm L

Vegetatiegradiënt

Van de flank tot aan de beek komen alleen zuurminnende plantengemeenschappen voor. Onder aan de flank, waar de grondwaterstanden relatief sterk fluctueren en de invloed van regenwater overheerst, komen veenmosrijke Dopheidegemeenschappen voor, de invloed van lokale kwel uit zich daarin door o.a. Beenbreek, Klokjesgentiaan en Veldrus. Het grootste deel van de beekdalgronden wordt bedekt door de Associatie van Zompzegge en Moerasstruisgras met meestal een aspect van Veldrus. In laagtes, bijvoorbeeld dicht achter de beekoever treedt wat stagnatie op met langdurig hoge standen. Hier komen in de vegetatie soorten als Draadzegge, Snavelzegge en Wateraardbei voor. Wordt door oppervlakkig afstromend lokaal kwelwater wat slibbig materiaal afgezet dan treden soorten als Naaldwaterbies, Draadrus en Blaaszegge naar de voorgrond. Wanneer het beekdal bebost is wordt een groot deel van de gradiënt ingenomen door het Zompzegge-Berkenbroek. In de beek en kleine stroompjes kan Duizendknoopfonteinkruid groeien.

Processen: alleen voeding door nauwelijks verrijkt lokaal grondwater en regenwater; in lage delen treedt stagnatie van terrein-eigen water op

Standplaats: zuur tot matig zuur, voedselarm

Bodem: gooreerdgronden, lage enkeerdgronden, soms veldpodzolgronden, veengronden

Grondwaterkwaliteit: zuur (pH 4-5), ionenarm (EGV < 100µS/cm), zeer zacht in het hele beekdal (a-e). Onder de beek (a) eventueel geïnfiltrteerd beekwater als het beekpeil wordt gestuwd en de grondwaterstanden terplekke dieper wegzakken dan het beekpeil (zie hoofdtype)

Voorkomen: bovenlopen in uitgeloogde dekzandgebieden

Voorbeelden: Broekloopdal (Ulvenhout), bovenloop Zwarte Beek (België), delen Springendal, bovenloop Roode Beek Brunssumse Heide (L), Boschbeek Meinweg (L), bovenloop Swalm in NL (L)

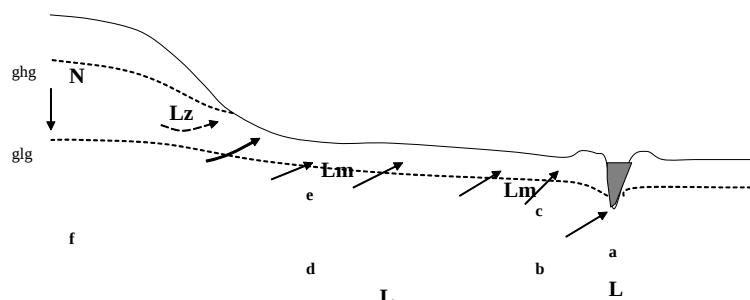
Specifieke bedreigingen: alkaliserings van het grondwater door bekalking of bemesting: hierdoor neemt de pH toe, evenals de trofie

Specifieke herstelmaatregelen: stoppen bemesting en bekalking, ook in het intrekgebied.

3B Weinig hellende beekdalen met kwel: lokale kwel, matig basenrijk

[Jalink et al. (2003): 7.2 Beekdalen met lokale kwel: variant met licht aangerijkte lokale kwel]

Veenmosrijke D-ass. / RG WG	
Orchideerrijke D-ass	
Ass. M en Z / Z-B / Ass. van GW	
V-ass., Ass. van D en V / E-E / Ass. van GrW	
Ass. van KWR / Ass. van W en S / Ass. van TV	
Beenbreek, Klokjesgentiaan	
Draadzegge, Snavelzegge, Waterdrieblad	
Regenwater	
Lokale kwel	
Vochtig-natte podzolgronden	
Gooreerd/lage enkeerdgronden	



3B Weinig hellende beekdalen met kwel: lokale kwel, matig basenrijk

Vegetatiegradiënt

Er is een gradiënt van zuurminnende plantengemeenschappen naar plantengemeenschappen van matig tot zwak zure milieus. Onder aan de flank, waar de grondwaterstanden relatief sterk fluctueren en de invloed van regenwater overheerst, komen zuurminnende vegetatietypen als Dopheidegemeenschappen voor. Bij toenemende invloed van licht verrijkte lokale kwel betreft het de Orchideerrijke subassociatie met soorten als Gevlekte Orchis en Welriekende nachtorchis. Ook komen Beenbreek, Klokjesgentiaan en Veldrus voor. Verder het beekdal in overheerst de invloed van lokale kwel. Het grootste deel van de beekdalgronden wordt hier bedekt door de Veldrus-associatie en de zwak zure variant van de associatie van Zompzegge en Moerasstruisgras met soorten als Waterdrieblad, Draadzegge en Wateraardbei. Deze laatste associatie komt dicht naar de beek toe niet voor, als het grondwater daar iets meer verrijkt is. In laagtes dicht achter de beekoevers treedt wat meer stagnatie op met langduriger hoge standen. Hier kunnen soorten als Draadzegge, Waterdrieblad of Stijve zegge domineren, of bij oppervlakkige afstroming waarbij wat slib op de laagste plekken wordt afgezet ook Draadrus en Blaaszegge. Ingeval van bos wordt een gradiënt van Zompzegge-Berkenbroek naar Elzenzegge-Elzenbroek van flank naar centrum aangetroffen. In de zwak zure tot neutrale beek of ondiepe afvoeren kunnen de Associatie van Klimopwaterranonkel en de Associatie van Waterviolier worden aangetroffen.

Processen: alleen voeding door licht verrijkt of door reductie HCO_3^- -rijk lokaal grondwater en regenwater; door de lemigheid zal de bodem snel waterverzadigd raken en stroomt lokaal grondwater over maaiveld af; in lage delen treedt stagnatie op.

Standplaats: matig - tot zwak zuur, oligo-mesotroof (beekdalrand) tot zwak eutroof (beekdal)

Bodem: lemige zandgronden en leemgronden: gooreerdgrond, lage enkeerdgrond, soms veldpodzolgrond, soms beekerdgrond

Grondwaterkwaliteit: zuur tot zwak zuur (pH 4-6), matig ionenarm ($\text{EGV} < 200 \mu\text{S/cm}$), (zeer) zacht in het hele dal (a-e), maar eventueel wel vrij HCO_3^- -rijk. Onder de beek (a) kan eventueel geïnfiltreerd beekwater voorkomen, dat een hogere hardheid en ionenrijkdom heeft dan het lokale grondwater.

Voorkomen: bovenlopen in gebieden met leemhoudende dekzanden of op ondiep liggende klei/leemlagen, of een aan organisch-stofrijk freatisch pakket.

Voorbeelden: Banisveld (Kampina), Risten (Budel), Stramproyer broek, Drentse Aa: Burgvullen, Eexterveld, Gasterse Holt en Smalbroeker loopje (Dr), Ingeborg (Den Treek, U.)

Specifieke bedreigingen: alkalinisering van het grondwater door bekalking of bemesting: hierdoor neemt de pH toe, evenals de trofie

Specifieke herstelmaatregelen: stoppen van bemesting en bekalking, ook in het intrekgebied

3C_1 Weinig hellende beekdalen met kwel: lokale kwel, kalk in topsysteem, basenrijk

[Jalink et al. (2003): 7.3 Beekdalen met lokale kwel: variant met basenrijke lokale kwel door kalk in de stroombaan]

Vegetatiegradiënt

In het hele dal komen basenminnende plantengemeenschappen voor, tegen de beekdalflank gaan die over in gemeenschappen van minder basenrijke of zure standplaatsen, tenzij ook de hogere gronden basenrijk zijn, dan komen langs de gehele gradiënt basenminnende vegetatietypen voor. Bij een zandige/moerige toplaag komen op mesotrofe standplaatsen Associatie van Vetblad en Vlozegge, Veldrusrijk Blauwgrasland of Veldrusschraalland voor. Op rijkere lemige/kleiïge gronden worden vooral de RG van Tweerijige zegge [Dotterbloemverbond] of de Associatie van Gewone Engelwortel en Moeraszegge aangetroffen. Is in de gradiënt een venige opvulling aanwezig, dan ziet de gradiënt er nog wat gevarieerder uit. Aan de randen van het veen is de toestroming van basenrijk grondwater het sterkste en komen soorten uit de Associatie van Schorpioenmos en Ronde zegge voor. Op het veen kunnen door mineralisatie wat voedselrijkere standplaatsen voorkomen met bijvoorbeeld de Associatie van Stijve zegge, of door stagnatie van regenwater kunnen zuurdere standplaatsen optreden met de Associatie van Zompzegge en Moerasstruisgras en Associatie van Draadzegge en Veenpluis. In geval van bos bestaat een groot deel van de gradiënt uit Elzenzegge-Elzenbroek en aan de randen vaak Zompzegge-Elzenbroek. Als struweelvormer treedt op basenrijke plaatsen Laurierwilg op. In de beek komt bij langzame stroming de Associatie van Doorgroeid fonteinkruid voor.

Processen: voeding door kalkhoudend lokaal grondwater. Zijn de aanliggende hogere gronden (systemen van vochtige inziggebieden) basenarm, dan zal onder aan de flank basenarm lokaal grondwater over het basenrijke uitwigen. Als een dikkere **veenbodem aanwezig is**, zal de invloed van basenrijk grondwater zich vooral aan de rand van deze opvulling manifesteren, terwijl op het veen stagnatie van neerslagwater kan optreden. *Standplaats:* mesotrofe tot matig eutrofe, zwak zure tot neutrale standplaatsen in grote delen van het beekdal; mogelijk zuurdere standplaatsen aan de flank. Op eventueel aanwezige **venige beekdalopvullingen** kunnen ook relatief zure standplaatsen voorkomen.

Bodem: beekerdgronden en leek-/woudeerdgronden eventueel met een **venige beekdalopvulling**: venige beekdalgronden (Abv) of Vlierveen (Vz)

Grondwaterkwaliteit: in het beekdal is het freatische grondwater meestal *suboxisch*, matig hard tot zeer hard en (m.n. op enige diepte: d en b) kalk-verzadigd, bij **venige beekdalopvullingen** komt ook anaëroob (O_2 -, NO_3^- - of SO_4 -arm/-loos) water voor.

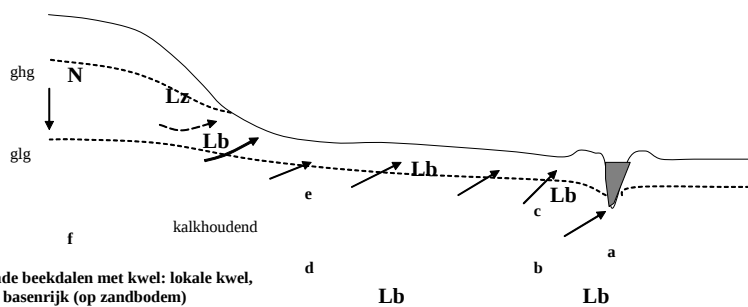
Voorkomen: boven- en middenlopen in gebieden met ondiep kalkhoudende afzettingen, o.a. in Noord-Brabant, Gelderse Achterhoek, Twente, Friesland en Zuid Limburg

Voorbeelden: Moorselaar, Spekt, Helsbroek, Nuenens Broek, Breugels Broek, Rullen (N.Br), Mosbeek (Tw), Stelkampsveld (Gld), Stuttebos (aanrijking aan glimmerrijke zanden en keileem) (Frl), Lemselermaten (Ov),

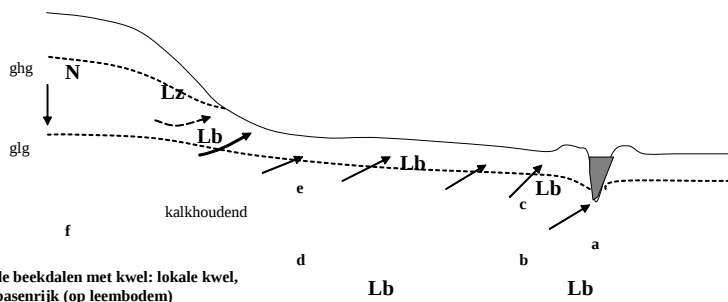
Specifieke bedreigingen:

- lichte ontwatering leidt al snel tot eutrofiëring (vanwege de hoge pH)
- uitlogging door een toenemende wegzijging naar de ondergrond of naar ontwateringsmiddelen leidt tot versnelde uitspoeling van kalk uit het lokale systeem; in het uiterste geval verandert dit systeemtype dan in een basenarmer lokale kweltype;
- bij vermesting van het grondwater treedt in de kwelgebieden met organisch stofrijke bodems interne eutrofiëring op

Z-B / Ass. van GrW	
Veenmosrijke D-ass./RG WG	
Orchideënrijke D-ass.	
E-E / Ass. van GrW	
V-ass.	
BG met Veldrus / Ass. van V en V	
MS-ass.	
Ass. van D en V	
Ass. van VWR / Ass. van SW / Ass. van DF	
Draadzegge, Waterdrieblad, Moeraskartelblad	
Regenwater	
Basenrijk lokaal kwelwater	
Zuur lokaal kwelwater	
Vochtig-natte podzolgronden	
Beekeerdgrond	



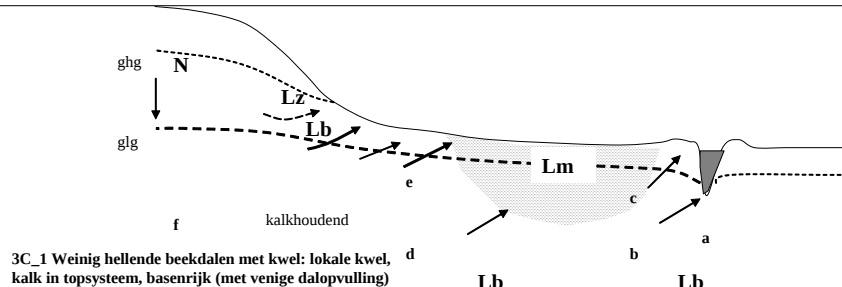
Z-B / Ass. van GW	
Veenmosrijke D-ass. / RG WG	
Orchideënrijke D-ass.	
V-ass. / V-E	
Ass. van E en M / Ass. van V en V / E-E / Ass. van GrW	
MS-ass.	
Ass. van SZ / RG M	
Ass. van VWR / Ass. van SW / Ass. van DF	
Regenwater	
Basenrijk lokaal kwelwater	
Zuur lokaal kwelwater	
Vochtig-natte podzolgronden	
Leek/woud- of beekbed met klei/leemdek,	



Specifieke herstelmaatregelen:

- herstel van hoge grondwaterstanden in hele gradiënt leidt snel tot herstel van de basenrijkdom en vastlegging van fosfaten aan calcium; doordat vaak ondiep slecht-doorlatende lagen voorkomen, zijn lokale maatregelen veelal afdoende;
- wegzijging tegengaan door het dempen of verondiepen van sloten of (bij sterke wegzijging naar de diepere ondergrond) door het reduceren van grondwaterwinningen; het verminderen van de ontwatering kan leiden tot inundaties

Z-B	
Veenmosrijke D-ass. / RG WG	
E-E / Ass. van GrW	
Orchideënrijke D-ass.	
V-ass.	
BG met Veldrus / Ass. van V en V	
Ass. van S en R	
Ass. van M en Z / Ass. van D en V / Z-B	
Ass. van StZ	
MS-ass.	
Ass. van VWR / Ass. van SW / Ass. van DF	
Regenwater	
Basenrijk lokaal kwelwater	
Zuur lokaal kwelwater	
Beekkeerdgrond	
Veengrond	



3D Weinig hellende beekdalen met kwel: lokale kwel, overstroming, matig basenrijk

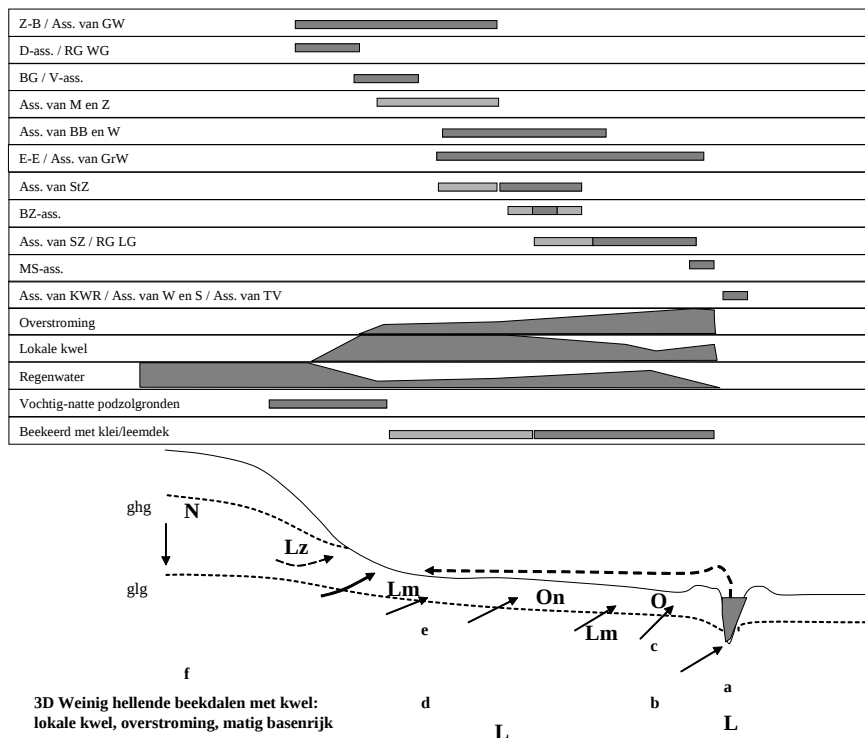
[Jalink et al. (2003): 7.5 Beekdalen met lokale kwel: variant met overstroming van slibrijk beekwater]

N.B. Dit beekdaltype vormt een overgang tussen Weinig hellende beekdalen met lokale kwel [3] en Weinig hellende, vlakke beekdalen met sterke (voormalige) slibafzetting [4B, 4C].

Vegetatiegradiënt

De vegetatie weerspiegelt een gradiënt van eutrofe en basenrijke standplaatsen dichtbij de beek naar mesotrofe tot matig eutrofe, matig basenrijke standplaatsen bij de beekdalflank. Dichtbij de beek komen (zeer) eutrafente overstromingsgemeenschappen voor, zoals de RG Liesgras, de Associatie van Scherpe zegge en het Elzenzegge-Elzenbroek. Wat verder van de beek, waar meer verdunning van het beekwater door regenwater en lokaal grondwater optreedt, komen de Blaaszegge-associatie of de Associatie van Stijve zegge voor. Naar de beekdalflank toe wordt de invloed van lokaal grondwater steeds sterker. In combinatie met de zwakke overstromingsinvloed kan dit leiden tot een smalle zone met zwak tot matig zure mesotrofe standplaatsen waar een Blauwgrasland-achtige vegetatie voorkomt. Op nattere plaatsen kunnen matig zure, mesotrofe standplaatsen met de Associatie van Zompzegge en Moerasstruisgras, mesotrofe vormen van de Associatie van Stijve zegge of Blaaszegge aangetroffen worden en het Zompzegge-Berkenbroek. In de zone met Blauwgrasland en Associatie van Zompzegge en Moerasstruisgras kan veel Veldrus voorkomen. Waar de overstromingsinvloed afwezig is, gaat de vegetatie snel over in zuurminnende Dopheidegemeenschappen, de RG Gagel en het Zompzegge-Berkenbroek. Bij lichte ontwatering veranderen de Grote zeggengemeenschappen in Dotterbloemhooilanden of Kamgrasweiden, veelal met aspect van Grote zeggensoorten.

Naast natuurlijke overstroming was het in het verleden op veel plaatsen gebruikelijk dat hooilanden in de dalbodem werden bevoloed vanuit een langs de beekdalflank opgeleide beek. In dat geval komen al relatief hoog in de gradiënt basenminnende plantengemeenschappen voor.



Processen: tijdens overstromingen ontstaat een gradiënt in de mengverhouding van slibrijk beekwater naar lokaal grondwater, daardoor is de beekinvloed (aanvoer van slib en basen) het grootste nabij de beek en nevengeulen; bij een meer diffuse doorstroming van oppervlaktewater kan het patroon van slibafzetting complexer zijn; na inundaties treedt in het hele dal nog voeding op door (basenarm) lokaal grondwater.

Standplaats: gradiënt van (zeer) voedselrijk en neutraal/basisch bij de beek naar mesotroof en matig-zwak zuur onder aan de beekdalflank

Bodem: beeekeerdgronden en leek-/woudeerdgronden met lemige of kleiïge deklaag;

Grondwaterkwaliteit: Nabij de beek boven in het profiel (c) matig hard tot hard grondwater met relatief hoge gehalten aan Cl, K, Na e.d.; daaronder is vaak het basenarme lokale grondwater herkenbaar; naar de beekdalflank toe ziet men een, al dan niet geleidelijke, gradiënt in waterkwaliteit;

Voorkomen: middenlopen, beekdaldelen stroomopwaarts van dalversmallingen en watermolens, (voormalige) vloeivelden

Voorbeelden: Smalbroeken, Logtse Veld, Nemelaerbroek, groot deel

Dommelbeemden (Br), delen Springendal (Tw)

Specifieke bedreigingen:

het stoppen van de overstroming met beekwater leidt tot verzuring;
vervuiling van het beekwater leidt tot sterke eutrofiëring van een groot deel van de gradiënt.

Vervuiling van het lokale systeem of vermindering van de toestroming uit dit systeem (b.v. door afvangen onderaan de flank) leiden ertoe, dat de gehele gradiënt eutroof wordt.

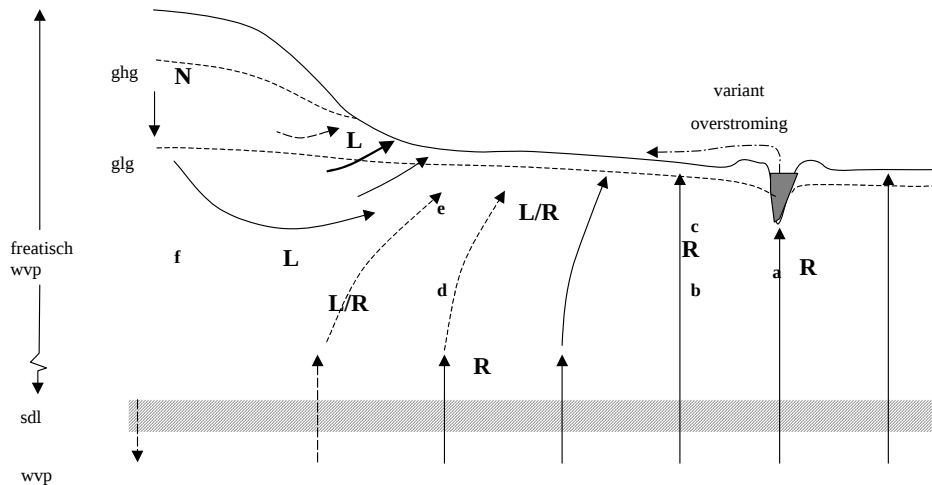
Specifieke herstelmaatregelen:

herstel overstroming met schoon, basenrijk beekwater; eventueel door voorbezinking/langere aanvoerweg of het afkoppelen vervuilde beektakken;
herstel van het lokale kwelsysteem, dat noodzakelijk is voor het mesotrofe tot zwak eutrofe deel van de gradiënt.

Weinig hellende beekdalen met regionale kwel

[Jalink et al. (2003): 8 Beekdalsystemen met regionale kwel]

Beekdal met regionale kwel



Landschap

- middenlopen en het lage deel van bovenlopen van beekdalen, gelegen temidden van hogere zandgronden in het dekzandlandschap
- beekdalen in het noordelijke deel van heuvelland en beekdalen aan de voet van stuwwallen

Processen

- een deel of het gehele dal wordt gevoed door opkwellend grondwater uit diepere pakketten; de beek ontvangt permanent regionaal kwelwater en is daardoor het gehele jaar watervoerend; afhankelijk van de sterkte van de regionale en lokale kwelfluxen kan in de dalbodem het hele jaar door kwel vanuit het regionale systeem overheersen of kan in natte perioden lokaal grondwater overheersen en over het diepere heen afstromen;
- in sommige beekdalen treedt 's-winters overstroming met beekwater op; er ontstaat dan een gradiënt in de invloed van (slibrijk, voedselrijk) beekwater en (voedselarm, minder basenrijk) regionaal grondwater en meestal (matig) zuur lokaal grondwater en regenwater: *zie varianten*; (vroeger werden de hooilanden van de dalbodem in veel beekdalen bevoeid om de voedselrijkdom te verhogen); onderscheidend met **Weinig hellende, vlakke beekdalen met sterke (voormalige) slibafzetting [4B en 4C]** is dat slibafzetting geen dominante factor is.
- het ondiepe grondwater kan door verschillen in de invloed van deze (grond)waterstromen in kwaliteit variëren (*zie varianten*)
- de grondwaterstand staat in winter en vroege voorjaar aan of boven maaiveld
- in ontwaterde beekdalen blijft in het voorjaar blijft de grondwaterstand hoog om pas in de zomer dieper weg te zakken; dit systeem is dan ook vaak goed te herkennen aan de (zeer) intensieve ontwatering; vooral gebieden met sterke kwel kennen vaak een zeer intensief ontwateringsstelsel (veel sloten en greppels op klein oppervlak)
- wanneer een intensief ontwateringsstelsel ontbreekt en de beek niet diep draineert is de waterstand permanent hoog en is veenvorming mogelijk; van oorsprong betreft het dalen met doorstroomvenen

Kenmerken

hydrologie

- voor minimaal het deel van de het beekdal nabij de beek geldt: freatische standen zijn (het overgrote deel van het jaar) lager dan de stijghoogten in het watervoerend pakket; het diepere water binnen het freatisch pakket wordt niet door dominante lokale systemen afgedekt
- afvoer van kwel en neerslag via beek of diffuus via slenken en poelen

hydrochemie

- de kwaliteit van het regionaal kwelwater (anaëroob, basenrijk, vaak Cl-, Na en K-arm) is herkenbaar in de kwelzone: naarmate de kwelflux sterker is (zie varianten) in een steeds groter deel van het dal en meer constant (naarmate de flux groter wordt in resp. a, b, d, c, e, f).
- lokaal kwelwater (van oorsprong *suboxisch*, meestal basenarm) is herkenbaar in de dalrand en (afhankelijk van variant) meer of minder ver het dal in;
- bij overstromingsinvloed is de beekwaterkwaliteit alleen boven in profiel herkenbaar (ionenrijk, hard water) (c en eventueel e);

bodentypen

- vlierveengronden soms met bolle veenpakketten (bij sterke regionale kwel)
- beekeerdgronden (bij zwakke tot sterke basenrijke regionale kwel of bij combinatie met overstroming)
- leek- en woudeerdgronden (bij een combinatie van kwel en overstroming)

plantensoorten/plantengemeenschappen

- korte vegetatie: Dotterbloemhooiland, Blauwgrasland, Ass. van Schorpioenmos en Ronde zegge
- *bos/struweel*: Berkenbroek, Elzenbroek, Vogelkers-Essenbos, struweel van wilgen

Bedreigingen

- Het dalen van de (middel)diepe stijghoogte en het wegvangen van de kwel naar maaiveld door diepe ontwatering in het beekdal of (bij gebieden met zwakke kwel) door een diepe drainagebasis in de bredere omgeving (dit kan om enkele km gaan) of grondwateronttrekking;
- stagnerend regenwater drukt (middel)diep basenrijk grondwater uit het bodemprofiel weg

Herstelmaatregelen

- verondiepen/dempen van beek en sloten in het beekdal of (zodanig) bredere omgeving;
- ondiep begreppelen om regenwaterlens af te voeren;
- verwijderen greppels en sloten tbv *permanent* hoge grondwaterstand en veenvorming
- maatregelen voor herstel van de regionale stijghoogten (regionale ontwatering, reallocatie winningen, diepinfiltratie).

3C_2 Weinig hellende beekdalen met kwel: zwakke regionale kwel, basenrijk

[Jalink et al. (2003): 8.2 Beekdalsystemen met regionale kwel: variant met zwakke basenrijke kwel]

Vegetatiegradiënt

Er is een geleidelijke gradiënt van basenrijke standplaatsen nabij de beek naar zuurdere standplaatsen aan de flank. Nabij de beek wordt Blauwgrasland of Elzenzegge-Elzenbroek aangetroffen. Verder naar de beekdalrand toe gaat dit vegetatietype over in Veldrusschraalland en Veldrus-rijke vormen van de Associatie van Moerasstruisgras en Zompzegge of Zompzegge-Elzenbroek. In de beek komen bij langzame stroming de Associatie van Stijve waterranonkel en de Associatie van Doorgroeid fonteinkruid voor. Bij hogere stroomsnelheden kan ook de Associatie van Vlottende waterranonkel optreden.

Processen: delen van het beekdal in de nabijheid van de beek en de beek zelf worden gevoed met basenrijk grondwater via zwakke kwel of in de zomer door capillaire nalevering; de rest van het beekdal wordt gevoed door lokale kwel. De grens tussen het lokale en regionale systeem pendelt op en neer: na natte perioden stroomt het lokale systeem uit over het regionale kwelwater, in lange droge perioden verdwijnt deze laag jong water en wordt een groter deel het dal gevoed door regionaal kwelwater

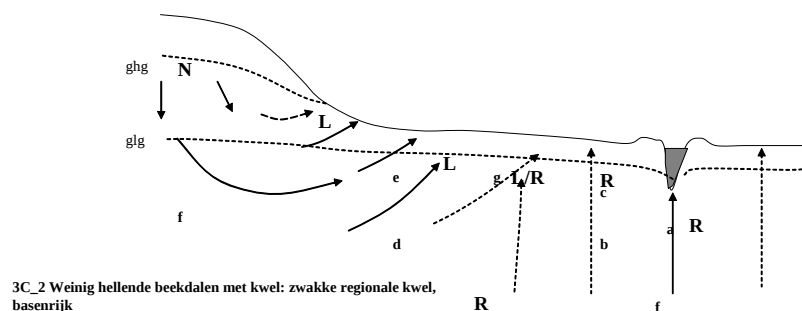
Standplaats: zwak zuur tot neutraal en mesotroof tot zwak eutroof nabij de beek. Naar de flank toe worden de standplaatsen zuurder en fluctueren de grondwaterstanden sterker.

Bodem: beekkeerdgronden, lage enkeerdgronden, venige beekdalgronden

Grondwaterkwaliteit: Onder (a) en nabij de beek (b) is de kwaliteit van het freatische grondwater ongeveer gelijk aan kwaliteit van het regionale grondwater (locatie f). Vanuit de randen van het beekdal overheerst de kwaliteit van het lokale grondwater, veelal suboxisch, basenarm water; in de zone die afwisselend door lokale kwel en/of stagnatie van regenwater of door regionale kwel gevoed wordt, is het ondiepe grondwater in natte perioden basenrijker dan het lokale door uitwisseling met het adsorptiecomplex, maar veelal nog wel suboxisch.

Voorkomen: Lage deel bovenlopen; middenlopen in gebieden met geringe kwelflux (door geringe stijghoogteverschillen of door een grote weerstand van de scheidende laag);

Ass. van M en Z / Z-B / Ass. van GrW	
E-E	
V-ass.	
BG	
Regenwater	
Lokale kwel	
Regionale kwel	
Gooreerdgrond	
Beekeerdgrond	
Veengrond	



Voorbeelden: Groot Zandbrink, Meeuwenkampje, Bennekomse Meent, schraallanden, Korenburgerveen, delen Drentse Aa; Ossebroeken-Scheebroek bij Andersch diep, Hazenmaten bij Peizerdiep, schraalland Agelerbroek, Helvoirts Broek.

Specifieke bedreigingen: wegvallen van kwel naar maaiveld of van capillaire nalevering door te diepe ontwatering in de directe omgeving; wegvallen van de kwel naar de directe omgeving door diep drainerende (beek)systemen in de wijdere omgeving; dalen van de stijghoogten, stagnatie van regenwater.

Specifieke herstelmaatregelen: begreppeling om regenwaterlenzen af te voeren; verondiepen/dempen van sloten in en rond het terrein; verhogen van de drainagebasis in beeksystemen in de wijdere omgeving; herstel stijghoogten.

3C_3 Weinig hellende beekdalen met kwel: sterke regionale kwel, basenrijk

[Jalink et al. (2003): 8.1 Beekdalsystemen met regionale kwel: variant met sterke basenrijke kwel]

Vegetatiegradiënt

In het hele dal komen basenminnende platengemeenschappen voor, zoals de associatie van Boterbloemen en Waterkruiskruid of het Elzenzegge-Elzenbroek. Bij een stabiele freatische stand aan maaiveld kan de Associatie van Schorpioenmos en Ronde zegge voorkomen, vooral op de plekken met de sterkste kwel.

Aan de beekdalflank bevindt zich een korte gradiënt naar vegetatietypen van zuurdere standplaatsen onder invloed van lokale kwel en/of stagnerend regenwater. Op de zuurdere

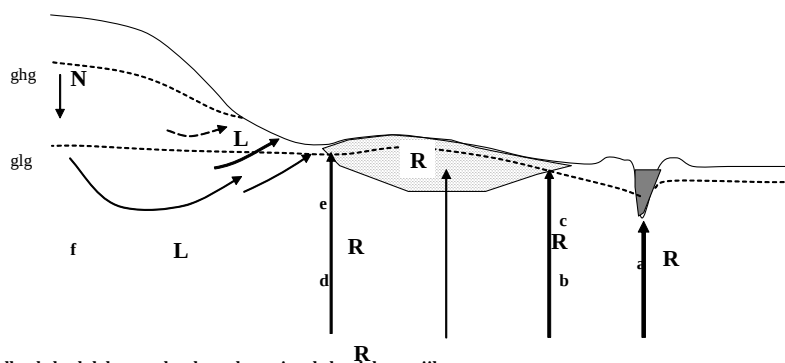
standplaatsen bevindt zich de Associatie van Moerasstruisgras en Zompzegge. Alleen onder aan de dalflank komt ook veel Veldrus voor, in het beekdal zelf komt deze soort weinig of niet voor. In de beek komen bij langzame stroming de Associatie van Stijve waterranonkel en de Associatie van Doorgroeid fonteinkruid voor. Bij hogere stroomsnelheden kan ook de Associatie van Vlottende waterranonkel optreden.

Processen: voeding door sterke (middel)diepe kwel in het “vlakke” deel van het beekdal; door de zeer constante aanvoer van grondwater blijven de grondwaterstanden stabiel op een hoog niveau en treedt veenvorming op. Door de overdruk in het watervoerende pakket kunnen bolle veenpakketten aanwezig zijn; alleen in een smalle zone nabij de beekdalrand treedt lokale kwel op en kan regenwater stagneren.

Standplaats: neutraal tot zwak zuur en zwak tot matig eutroof met een goed gebufferde grondwaterstand. Aan de flank komen zuurdere en voedselarmere standplaatsen voor.

Bodem: veengronden, beekkeerdgronden

Ass. van M en Z / Z-B / Ass. van GW	
Ass. van S en R	
Ass. van BB en W / E-E / Ass. van GrW	
Veldrus	
Waterdrieblad, Draadzegge, Moeraskartelblad, Ronde zegge	
Regenwater	
Lokale kwel	
Regionale kwel	
Beekkeerdgrond	
Veengrond	



3C_3 Weinig hellende beekdalen met kwel: sterke regionale kwel, basenrijk

Grondwaterkwaliteit: in het hele beekdal (a, b, c, d, eventueel ook e) is de kwaliteit van het freatische grondwater ongeveer gelijk aan de kwaliteit van het (middel)diepe grondwater (f).

Voorkomen: In relatief diep ingesneden middenlopen van beekdalen en/of als in het dal de scheidende laag boven het onderliggende watervoerende pakket (deels) is weggeërodeerd.

Voorbeelden: Delen middenloop Drentse Aa (Taarloose Diep, Gastersche Diep), Hel, Blauwe hel/ Bennekomse Meent, middenloop Lieverense Diep, Heetveld (Leusden)

Specifieke bedreigingen: terplekke vaak zeer intensief en diep ontwaterd, waardoor kwel wordt afgevangen en veengronden (irreversibel) veraarden; grote dalingen van de stijghoogten, waardoor kwelflux sterk afneemt (het systeem verandert dan in een beekdal met zwakke kwel of zelfs alleen lokale kwel).

Specifieke herstelmaatregelen:

bij voldoende kweldruk: peilverhoging in beekdal waaronder ook de beek en sloten in directe omgeving verondiepen of dempen om kwel weer naar maaiveld te brengen; voor veenvorming ook detailontwatering weghalen (dus geen begreppeling), bevorderen diffuse afvoerpatronen.

Weinig hellende, vlakke beekdalen met sterke (voormalige) slibafzetting

[Jalink et al. (2003): 9 Benedenlopen en andere overgangen naar het holocene deel van Nederland]

- vlakke, brede beekdalen op de overgang van het zandgebied naar holocene gronden
- overgangszone pleistoceen/holoceen waar zandgronden onder klei, veen of klei-op-veen duiken

The diagram illustrates a coastal aquifer system with the following components and labels:

- Top Boundary:** A solid line representing the ground surface, with a dashed line above it labeled "varianten" (variations).
- Ground Surface Features:** A small peak on the right is labeled "overstroming" (overflow).
- Subsidence:** A dashed line below the ground surface is labeled "deklaag" (subsidence).
- Flow Paths:**
 - A solid arrow labeled "L f" points from the left towards the center.
 - A dashed arrow labeled "L/R" points from the left towards the center.
 - A solid arrow labeled "e" points from the center towards the right.
 - A dashed arrow labeled "c" points from the center towards the right.
 - A dashed arrow labeled "a" points from the center towards the right.
- Vertical Flow:**
 - A solid arrow labeled "R" points upwards from the bottom boundary.
 - A dashed arrow labeled "d" points upwards from the bottom boundary.
 - A solid arrow labeled "R" points upwards from the bottom boundary.
 - A dashed arrow labeled "b" points upwards from the bottom boundary.
 - A solid arrow labeled "R" points upwards from the bottom boundary.
- Boundaries and Levels:**
 - A solid line on the left is labeled "freatisch wvp" (freatic water table).
 - A dashed line on the left is labeled "sdl" (sea level).
 - A solid line on the right is labeled "wvp" (water table).

- er is een gering hoogteverschil van beekdalrand naar beek en daardoor weinig laterale grondwaterstroming;
- door de gebrekkige afwatering kan ook gemakkelijk regenwater stagneren in percelen;
- vaak treden langdurige inundaties met slibrijk water op, waarbij van beek tot dalrand een menggradiënt van overwegend beekwater naar overwegend regenwater of grondwater ontstaat;
- (middel)diepe kwel (indien aanwezig) concentreert zich op de overgang zand-veen, op randen van zandopduikingen (oeverwallen, donken) en op sloten; zeker bij wat dikkere veenpakketten is de kweldruk al snel te gering om regenwaterlenzen uit percelen te “drukken”; in grote delen heersen hydrologisch neutrale omstandigheden (netto geen kwel of infiltratie);
- door de aanwezigheid van enige regionale kweldruk zakken de grondwaterstanden van nature niet diep weg, vooral op de locaties waar de kwel zich concentreert; in dikkere slecht-doorlatende klei en kleiige veenbodems kan in de zomer de freatische stand enigszins uitzakken;
- lokale kwel treedt alleen op aan de randen van de omliggende dekzandgronden

- binnen het dal nauwelijks verval in grondwatervlak;
- ook het verval van de beek zelf is zeer gering, waardoor de beek langzaam stroomt;
- grondwaterstanden bevinden zich van nature langdurig nabij maaiveld en zakken slechts korte tijd dieper weg.
- afvoer via beken, riviertjes of diffuus

- bij invloed van overstroming is er boven in het profiel een duidelijke gradiënt in waterkwaliteit herkenbaar (verhoogde gehalten aan nutriënten, Cl, Na e.d. nabij de beek (c), verder naar de dalrand toe steeds meer menging met oppervlakkig afstromend regenwater of grondwater samenstelling (e)
- zonder overstroming is er binnen het dal geen duidelijke gradiënt in grondwaterkwaliteit (behalve aan de randen waar lokale kwel optreedt en de locaties waar veel diep grondwater toestroomt); binnen percelen zijn er vaak wel duidelijke

kwaliteitsgradiënten als gevolg van lenzen stagnerend regenwater, die genest zijn in het basenrijke grondwater.

bodemtypen

- kleiarme veenbodem
- kleiïge veenbodem
- klei-op-veenbodem
- moerige klei-op-zandbodem
- (kalk)rijke kleibodem

plantensoorten/ plantengemeenschappen

- overstromingsvlakten: Dotterbloemhooilanden, , Verbond van Grote vossenstaart (Kievitsbloemhooilanden, Ass. van Grote pimpernel en Weidekervel), Grote zeggenmoerassen en Rietlanden, Elzenbroek, Essen-lepenbos
- veengebieden zonder overstroming: associatie van Schorpioenmos en Ronde zegge , Veenmosrietland, Draadzegge-verbond, Moerasheide
- zone met alleen lokale kwel van basenarm grondwater: associatie van Moerasstruisgras en Zompzegge, Berkenbroek

Bedreigingen

- het wegvallen van inundaties in winter en voorjaar door bekading en verdieping beek en verandering afvoerdynamiek beek, waardoor de aanvoer van slib en basen stopt en de bodem door de er aanwezige neerslaglenzen geleidelijk verzuurt;
- het optreden van zomerinundaties door verandering in afvoerdynamiek;
- polderpeilverlagingen, waardoor freatische stand daalt en de kweldruk binnen percelen afneemt met als gevolg dat de invloed van regenwaterlenzen kan toenemen;
- veraarding en inklinking van veenpakketten en zetting van kleipakketten als gevolg van ontwatering;
- eutrofiëring door vervuild oppervlaktewater;
- daling van stijghoogten door regionale ontwatering en grondwateronttrekking, waardoor voeding door kwelwater afneemt.

Herstelmogelijkheden

- in kwel gevoede varianten:
- het aanhouden van een voldoende hoog peil in voldoende grote aaneengesloten gebieden, zodat de kwel niet wordt afgevangen
- het begreppelen van percelen om regenwater af te voeren is effectief bij voldoende kwelintensiteit;
- het afplaggen van veraarde veenlagen leidt tot goede resultaten, mits het gebied hydrologisch en hydrochemisch kansrijk is en niet te ver in ingeklonken;
- het herstel van inundaties met lithoclien oppervlaktewater is in principe kansrijk, hoewel over de randvoorwaarden voor de waterkwaliteit en afvoerdynamiek nog onvoldoende bekend is.

4A Weinig hellende beekdalen met kwel: bovenlokale/regionale kwel, overstroming, basenrijk

[Jalink et al. (2003): 8.3 Beekdalsystemen met regionale kwel: variant met overstroming en sterke (middel)diepe kwel] + 9.1.1 Benedenlopen en andere overgangen naar het holocene deel van Nederland: variant met periodieke overstroming van slibrijk water (benedenlopen) met (sterke) regionale kwel]

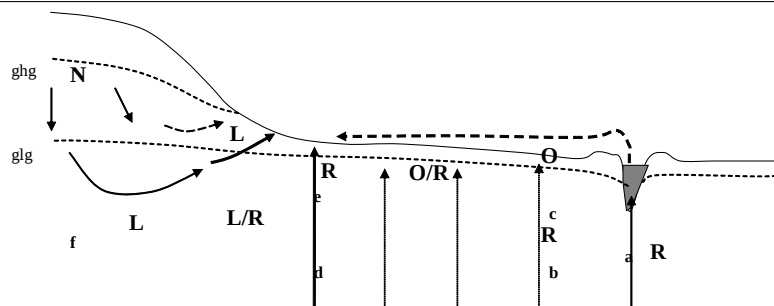
N.B. Dit beekdaltype vormt een overgang tussen *Weinig hellende beekdalen met regionale kwel* [3C_2, 3C_3] en *Weinig hellende, vlakke beekdalen met sterke (voormalige) slibafzetting* [4B, 4C]

Vegetatiegradiënt

In het dal overheersen vegetatietypen van natte, basenrijke, vrij voedselrijke standplaatsen. Nabij de beek, waar de overstromingsinvloed het sterkste is, overheersen Grote

zeggen gemeenschappen, zoals de Associatie van Pluimzegge, van Stijve zegge, van Scherpe zegge of van Blaaszegge en in geval van bos het Elzenzegge-Elzenbroek (subass. van Zwarte bes). Verder van de beek, waar de invloed van beekwater door verdunning met regenwater of kwelwater minder wordt, bevinden zich Dotterbloemhooilanden met aan overstroming gebonden soorten als Blaaszegge, Scherpe zegge en Tweerijige zegge. Regionale kwel zal zich vooral concentreren aan de voet van de zandgronden. Bij beperkte invloed van oppervlaktewater ontstaan hier mesotrofe, neutrale standplaatsen en komt bij sterke kwel de associatie van Schorpioenmos en Ronde zegge voor of –bij lichte ontwatering– Blauwgrasland. Ook rond donken, in petgaten en verlandende meanders kunnen door kwel dergelijke standplaatsen optreden. Aan de flank bevindt zich een gradiënt naar minder basenminnende, voedselarmere vegetatietypen van Blauwgrasland naar Veldruisschraalland en de Associatie van Moerasstruisgras en Zompzegge en in geval van bos het Zompzegge-Elzenbroek. In de beek komen waterplantbegroeiingen voor waaronder de Ass. van Doorgroeid fonteinkruid en de Ass. van Glanzig fonteinkruid.

Ass. van M en Z / Z-B / Ass. van GrW	
V-ass.	
BG / V-E	
Ass. van S en R	
Ass. van BB en W / RG M / BZ-ass. / E-E SA zwarte bes	
Ass. van SZ	
Ass. van DF / Ass. van GF	
Invloed beekwater	
Regionale kwel	
Lokale kwel	
Beekeerdgrond met kleidek	
Veengrond (deels met kleidek)	



4A Weinig hellende beekdalen met kwel: bovenlokale/regionale kwel, overstroming, basenrijk

Processen: in natte perioden inundeert het beekdal met beekwater; al voor de inundaties is de bodem waterverzadigd. Inundatie zorgt voor aanvoer van basen en nutriënten via overstroming en vooral slibafzetting. Er ontstaat een verdunningsgradiënt van beekwater met kwel- en regenwater en het beekwater dringt niet direct in het profiel. Regionale kwel treedt in deze periode op in een smalle zone in de knik onder aan de beekdalflank, net buiten het overstromingsgebied. Iets hoger in de gradiënt treedt lokale kwel op. Buiten de overstromingsperioden treedt in het gehele “vlakke” deel van het beekdal (middel)diepe kwel op, daardoor zakken de grondwaterstanden niet diep weg. Kwel naar de beek zorgt voor een permanente afvoer.

Standplaats: In de overstroomde delen treedt een gradiënt op van eutrofe, basisch/neutrale tot mesotrofe, zwak tot matig zure standplaatsen. Delen op enige afstand van de beek en de dalrand hebben in de zomer een dieper uitzakkende grondwaterstand. Aan de voet van de zandgronden vinden we mesotrofe, bij sterke kwel neutrale, bij zwakke kwel matig zure standplaatsen. Aan de beekdalflank is een korte gradiënt via mesotrofe, neutrale standplaatsen naar zure, mesotrofe standplaatsen met sterker fluctuerende grondwaterstanden.

Bodem: van beek naar dalrand is er een gradiënt van kleiig veen of klei-op-veen naar klei-arm veen.

Grondwaterkwaliteit:

Boven in het profiel is een gradiënt in beekwaterinvloed (afnemende Na, Cl en afnemende slibafzetting van beek naar dalrand (c-e) herkenbaar, dieper in het profiel (b, d) overheerst de kwaliteit van het toestromende kwelwater; bij sterke kwel zal het kwelwater nabij de dalrand ook bovenin het profiel (e) en in sloten te herkennen zijn.

Voorkomen: In regionaal relatief diep ingesneden middenlopen en in midden en benedenlopen waar de scheidende laag door het beeksysteem is weggeërodeerd. Ook in benedenlopen en als zone op de overgang van hogere zandgronden naar de lager gelegen klei-op-veen gebieden.

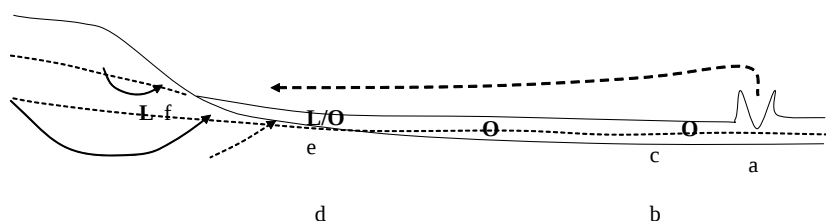
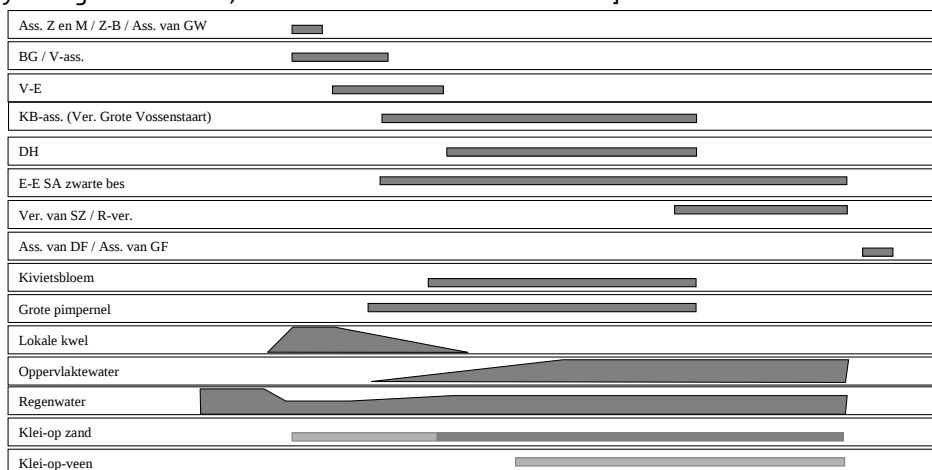
Voorbeelden: Delen van het Dommeldal (o.a. deel Dommelbeemden), Tjongerdellen, Wageningse Hooilanden. Voorbeelden met sterke overstromingsinvloed zijn de randen Langstraat, Bossche Broek (Br), Benedenloop Drentse Aa (o.a. Kappersbult) en Peizerdiep (Dr.)

Specifieke bedreigingen: vermessing van het beekwater; wegvallen kwel door grondwaterwinning, wegvangen kwel door terplekke vaak zeer intensieve ontwatering (ook polders)

Specifieke herstelmaatregelen: verbeteren van de oppervlaktewaterkwaliteit (b.v. minder bemesting in stroomgebied, via voorbezinking, langere aanvoerweg of afkoppelen vervuilde beektrajecten); verondiepen/ dempen sloten, herstel diepere stijghoogten.

4B Weinig hellende beekdalen met slibafzetting: overstroming, stagnatie, weinig lokale kwel

[Jalink et al. (2003): 9.1.2 Benedenlopen en andere overgangen naar het holocene deel van Nederland: variant met periodieke overstroming van slibrijk water (benedenlopen): hydrologisch neutraal, alleen lokale kwel aan de dalrand]



4B Weinig hellende beekdalen met slibafzetting: overstroming, stagnatie, weinig lokale kwel

Vegetatiegradiënt: Plantengemeenschappen van de vlakke overstromingsvlakte zijn Grote zeggenmoerassen, Dotterbloemhooilanden en Elzenbroekbos (bij langdurig hoge standen), vochtige Glanshaver- en Grote vossenstaarthooilanden (associatie van Grote pimpernel en Weidekervel, Kievitsbloem-associatie) en Vogelkers-Essenbos (bij dieper wegzakkende grondwaterstanden). Kenmerkende soorten hierin zijn onder andere Grote pimpernel, Weidekervel, Kievitsbloem en Grote vossenstaart. Waar de invloed van beekwater afneemt en die van regenwater of lokaal grondwater toeneemt, gaan deze gemeenschappen over in Blauwgrasland-fragmenten, Veldrusassociatie of Ass. van Zompzegge en Moerasstruisgras en Zompzegge-Berkenbroek. In de beek komen waterplantbegroeiingen voor waaronder de

Ass. van Doorgroeid fonteinkruid en de Ass. van Glanzig fonteinkruid. In meer stagnante delen kunnen ook andere begroeiingen van het Waterlelie-verbond voorkomen.

Processen: aanvoer van basen door overstromingen, waarbij een gradiënt optreedt in de mengverhouding van beekwater en regen- of lokaal grondwater; als er enige regionale kweldruk optreedt, is die gering of wordt de flux beperkt door de hoge weerstand van de scheidende laag; per saldo is zo'n kweldruk dan vooral van invloed op het niet te diep wegzakken van standen in de zomer. In delen met een dikkere veen/kleilaag zakt de freatische stand in de zomer enigszins uit.

Standplaats: gradiënt van neutraal/basisch, eutroof nabij de beek naar zwak zuur, matig eutroof aan de voet van hogere zandgronden;

Bodem: klei-op-veenbodems, moerige klei-op-zandbodems

Grondwaterkwaliteit: beekwaterkwaliteit herkenbaar boven in het profiel (c, verdund in e), bij inzijgend oppervlaktewater ook dieper (b)

Voorkomen: benedenlopen en vlakke laagten in de overgangszone holocene/pleistoceen

Voorbeelden: Lage Vughtpolder, delen Moerputten (Br), Veerslootslanden (Ov), omgeving Zuidlaardermeer (Gr)

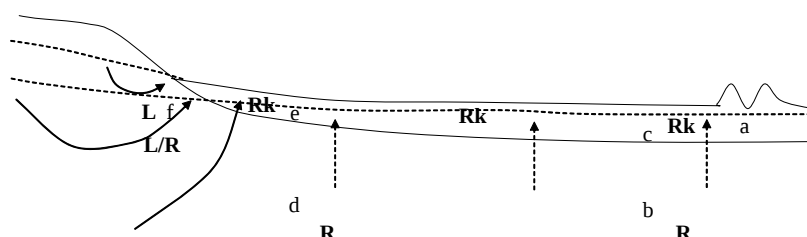
Specifieke bedreigingen: verzuring door uitblijven inundaties, eutrofiëring door vervuiling oppervlaktewater

Specifieke herstelmaatregelen: herstel inundaties met schoon, basenrijk water.

4C Weinig hellende beekdalen met (voormalige) slibafzetting: (kalk)rijke klei, lokale kwel, periodieke regionale kwel

[Jalink et al. (2003): 9.2 Benedenlopen en andere overgangen naar het holocene deel van Nederland: variant met (kalk)rijke kleigronden]

GH-ass. / E-I / V-E	
Ass. van S en R	
DH	
Ass. van SZ / RG TZ / E-E SA zwarte bes / Ass. van GrW	
Ass. van DF / Ass. van GF	
Lokale kwel	
Lokale aanrijking	
Regionale kwel (watergangen)	
Klei op zand	
Klei-op-veen	



4C Weinig hellende beekdalen met (voormalige) slibafzetting: (kalk)rijke klei, lokale kwel, periodieke regionale kwel

Vegetatiegradiënt: Op permanent zeer natte, mesotrofe tot zwak eutrofe, standplaatsen zijn de associatie van Schorpioenmos en Ronde zegge, de rompgemeenschap met Holpijp (Riet-klasse) en mesotrofe vormen van de RG Tweerijige zegge te vinden. Wat sterker fluctuerende standen leiden tot matig eutrofe standplaatsen met Dotterbloemhooiland, de associatie van Scherpe zegge en het Elzenzegge-elzenbroek SA Zwarte bes. Waar de (kalkrijke) kleidekken oplopen tegen de zandgronden, komen vochtige Glanshaverhooilanden, Kamgrasweiden, Vogelkers-Essenbos en Essen-lepenbos voor, en onder invloed van lokale kwel op deze vrij rijke bodems ook wel Veldrus-ass. en Blauwgrasland. In de beek komen waterplantbegroeiingen voor waaronder de Ass. van

Doorgroeid fonteinkruid en de Ass. van Glanzig fonteinkruid. In meer stagnante delen kunnen ook andere begroeiingen van het Waterlelie-verbond voorkomen.

Processen: Bij kalkrijke bodem is het grondwater kalkverzadigd en neutraal tot basisch. Bij kalkarme (of uitgeloogde) kleien kan het grondwater zwak tot matig zuur zijn. Bij constant hoge waterstanden blijft het profiel gereduceerd en wordt de mineralisatie geremd; fluctueren de waterstanden, dan zal door mineralisatie (vanwege de hoge pH) de beschikbaarheid aan nutriënten groot zijn.

Standplaats: in het lage deel basisch tot neutraal, mesotroof tot eutroof; tegen de flanken aan neutraal tot matig zuur (afhankelijk van de aanwezigheid van kalk in deze wat hoger gelegen gronden)

Bodem: kalkrijke kleibodem (meestal zeekleibodems uitwiggend tegen zandgronden), hogerop eventueel klei op podzolgronden.

Grondwaterkwaliteit: Boven in het kleiprofiel (c, e) zijn de alkaliteit en hardheid zeer hoog, in permanent natte bodems is het water anaëroob (c); het toestromende grondwater (f,d, e.v.t. ook b) heeft een veel lagere hardheid

Voorkomen: : overgangen van Pleistoceen naar vlakke klei- en klei-op-veengebieden met (voormalige) overstromingsinvloed en kalkrijke klei (voormalige getijdengebieden): vooral overgangen in West-Brabant, plaatselijk mogelijk ook te verwachten langs de voormalige Zuiderzeekust en op de overgang van het Drents Plateau naar zeekleigebieden.

Voorbeelden: delen van de Langstraat, benedenloop Mark (omgeving Haagse Beemden, Weimeren).

Specifieke bedreigingen: ontwatering leidt tot waterstandsfluctuaties met door de hoge pH sterke mineralisatie en eutrofiëring.

Specifieke herstelmaatregelen: instellen van een constant hoog oppervlaktewaterpeil.

Sterk hellend, hoge beekdalen met lokale kwel

[Jalink et al. (2003): 7.6 Beekdalen met lokale kwel: variant met sterke kwel in reliëfrijk gebied (bronnen, bronweiden)]

Landschap

- oorsprongen en sterk hellende bovenlopen op stuwwallen en hoge dalen en hellingen van plateau's in heuvelland, randen van zandplateau's (Kempisch Plateau, voet hoog- en middenteras in Maasdal) en diep ingesneden beken zandige terrasranden (Maasdal)
- smalle, diep dalen ingeval van insneden erosie- en beekdalen of één of meerdere niveaus op helling met bronnen en kwelpekken
- voeding uit zandpakket dat wordt aangesneden aan terrasvoet of ingesneden beekdal of voeding over één of meerdere slecht-doorlatende lagen die in helling of hoog dal dagzomen
- afhankelijk van de geohydrologie betreft kleine plekken tot grotere complexen van bronnen, kwelplekken en beekjes

Processen

- plaatselijk een constante tot langdurige (sterke) kwel van grondwater doordat het sterk hellende grondwatervlak wordt aangesneden; in bronweiden over grotere oppervlakte sterke laterale doorstroming; grondwater stroomt toe over één of meerdere slecht-doorlatende lagen waarover grondwater van lokaal systeem afstroomt of een lokaal systeem in zandig pakket dat wordt aangesneden (voet van terrassen, diep ingesneden beken in zandterrassen- of plateau's); door aanwezigheid van meerdere slecht-doorlatende lagen en (dunne) watervoerende lagen en eventuele scheefstelling van deze lagen is geohydrologie vaak complex (verschillen in stijghoogten tussen watervoerende lagen, artesische lagen; onverzadigde zones)
- afhankelijk van geochemie varieert grondwaterkwaliteit van basenarm tot basenrijk en ijzerarm tot ijzerrijk; bij dagzomen van kalkrijke afzettingen kan de bodem zelfs basenrijk zijn
- bij een constante voeding (grotere lokale systemen, relatief lage positie in freatisch/multilayer pakket) hebben bronnen en kwelplekken een hoge stabiele grondwaterstand;

door kleinschalig reliëf treedt ruimtelijke variatie in freatische stand op; bij een minder constante voeding (klein lokaal grondwatersysteem, hoge positie in freatisch/ multilayer pakket) hebben kwelplekken een (zwak) fluctuerende waterstand en kunnen bronnen periodiek droogvallen

- het voedende grondwatersysteem kan in grootte sterk variëren (enkele ha tot meerdere km²) afhankelijk van omvang het voedende plateau;
- aanwezigheid van één of meerdere slecht-doorlatende lagen zijn de freatische standen en stijghoogte in het diepere deel van het freatisch pakket veel hoger dan het onderliggende (regionale) watervoerende pakket. De standen in het freatische pakket zijn afhankelijk van de stijghoogte in het regionale (1e) watervoerende pakket wanneer geen onverzadigde zone aanwezig is tussen freatisch pakket en de stijghoogte van het regionale watervoerende pakket. Wanneer wel zo'n onverzadigde zone aanwezig vormt het freatisch pakket een schijnspiegelsysteem.
- in bronnen en beekjes zorgen erosie en sedimentatie voor ruimtelijke en temporele afwisseling voor variatie in substraat

Kenmerken

hydrologie

- freatische standen hoog en stabiel tot zwak fluctuerend (zie boven voor fluctuaties);
- aanwezigheid van bronnen en kwelplekken met grote kwelflux onderscheiden tov **Weinig hellende beekdalen met lokale kwel [3A, 3B, 3C_1]**
- debiet van bronnen en kwelflux constant of fluctuerend (seizoensmatig of afhankelijk van droge en natte jaren)
- in bronweiden en -bossen over grotere oppervlakte sterke laterale doorstroming
- afvoer oppervlaktewater vindt plaats via bronnen (zowel puntbronnen als diffuse bronnen); water verzameld zich in sterk hellende bronbeekjes, bovenloopjes, bovenlopen en middenlopen; plaatselijk kan bronwater weer infiltreren afhankelijk van geohydrologie en het ontbreken van gegraven bronbeken

hydrochemie

- redox en basenrijkdom van grondwater sterk variabel; door sterke stroomsnelheid van grondwater vaak suboxisch water (hoge redox, NO₃- of SO₄-houdend); het toestromende grondwater is wel zuurstofarm en bij exfiltratie in bronnen raakt het door contact met de lucht (sheetflow, turbulente waterstroming) snel zuurstof-verzadigd; eventueel kan bij toestromende grondwater in venige bodems gereduceerd water ontstaan of bij aanwezigheid van veel organische stof langs de stroombaan kan reductie optreden en het lokale grondwater anaeroob en ijzerrijk zijn.
- Cl-gehalte [meestal >15 mg/l, behalve bij beekdalen in heidegebied, waar Cl-arm water inzijgt].

bodemtypen

- in bronnen en kwelplekken vaak organisch-stofrijke bodems; bij constante voeding en niet te hoge kwelflux kan veenvorming optreden (hellingveentjes)
- in bronnen met hoge (piek)fluxen ook minerale bodem van fijn tot grof zand en grind
- in brongebieden vaak grote kleinschalige heterogeniteit van substraat; stenen en takken is belangrijk voor voorkomen bronmossoorten;

plantensoorten/plantengemeenschappen

- korte vegetatie: Vochtige heide, Veldrusschraalland, Dotterbloemhooilanden, Kleine zeggenmoeras, Kalkmoerassen, Verbond van Bittere veldkers en Bronkruid,
- bos/struweel: Berkenbroek, Elzenbroek, Vogelkers-Essenbos, Goudveil-Essenbos, struweel van Wilde Gagel en wilg

Bedreigingen

- waterhuishouding
 - verdroging en vermindering kwel door graven van diepe afvoersloot;
 - verdroging en vermindering kwel door verdieping beek en toename piekafvoeren leidt tot insnijding van beek of sloot; insnijding kan zich door zetten tot in de bronkoppen
 - verdroging door buisdrains
 - verdroging en vermindering kwel door verminderde grondwateraanvulling in intrekgebied (bosaanplant, bebouwing/ wegen en vergroten runoff door bodemverdichting)
 - verdroging en vermindering kwel begreppeling van bronnen en kwelgebiedjes;

- permanente diepe inundatie door afdammen van bronnen (bronvijvers)
- habitatvernietiging door dichtstorten van bronnen en kwelplekken
- eutrofiëring via grondwater door bemesting van het intrekgebied
- eutrofiëring door afspoeling van meststoffen en slib over maaiveld (bij steile hellingen)
- tegengaan van natuurlijke sedimentatieprocessen door kunstmatige waterlopen en zandvangen

Herstelmaatregelen

- ontwatering: verondiepen beek en sloten in beekdal en verwijderen/ verondiepen greppels in bronnen en kwelgebieden:
 - verondiepen beek/sloot is effectief wanneer oorzaken van verhoogde piekafvoeren zijn verholpen (bovenstroomse ontwatering verminderen, aanpak riooloverstorten, afkoppelen verharding)
 - verondiepen/ verwijderen begreppeling is effectief;
 - verwijderen/ dichten van buisdrains is effectief
- inundatie/ overstroming/ bevoeiing (bij variant met overstroming) indien beekwater van voldoende kwaliteit is
- toelaten van infiltratie en sedimentatie van bronbeken
- uitgraven gedempte bronnen en kwelplekken

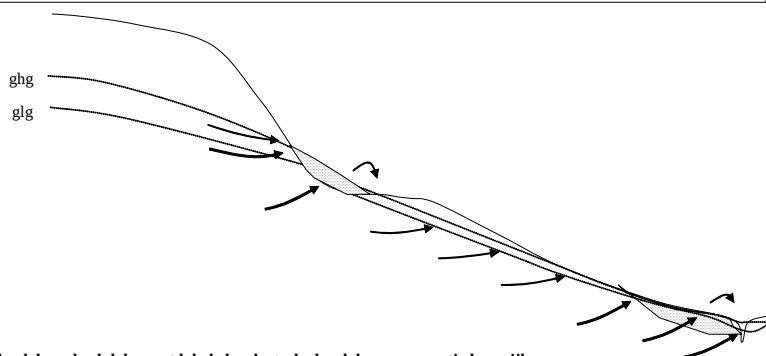
5A Sterk hellend, hoge beekdalen met lokale kwel: sterke kwel, basenarm-matig basenrijk

[Jalink et al. (2003): 7.6.1 Beekdalen met lokale kwel: variant met sterke kwel in reliëfrijk gebied (bronnen, bronweiden): basenarme-matig basenrijke subvariant]

Vegetatiegradiënt

De vegetatie wijkt vooral in de delen met bronnen en sterke kwel duidelijk af van die van **Weinig hellende beekdalen met lokale kwel: basenarm en matig basenrijk [3A, 3B]**. Op bronkoppen of in kwelplekken kunnen de Ass. van Paarbladig goudveil (vaak licht beschaduwd), Bronkruid-associatie (niet beschaduwd) of de Bosbies-ass. voorkomen. In de meestal sterk hellende bronweiden of hellingveentjes) komen zeer natte vormen van de Veldrusassociatie of en zeer natte en evt. veenvormende vormen van de Associatie van Kruipend struisgras en Zompzegge voor. Verder groeien op zulke plekken soorten als Snavelzegge, Draadzegge, Holpijp, Waterdriblad vaak dominant voor. In geval van bos bestaan bron en kwelplekken uit Elzenzegge-Elzenbroek subassociatie met Bitterveldkers en subassociatie met Zompzegge. In weidebronnen en in en langs beekjes komen soorten als Kleine watereppe, Bronkruid en Veenstaartje voor. Onder basen- en nutriëntenarme omstandigheden kan een groot deel van de gradiënt bedekt zijn door Veenmosrijke Dopheidegemeenschappen of Gagelstruweel, met o.a. veel Beenbreek, Veldrus en Gevlekte orchis of met het Zompzegge-Berkenbroek met Klein glidkruid en Gladde zegge.

Z-B / Ass. van GrW / RG WG	
Veenmosrijke D-ass. / RG WG / Ass. van M en Z	
V-ass. / V-E	
B-ass. / Ass. PG / BK-ass. / G-E / E-E SA bittere veldkers en SA zompzegge / Ass. van M en Z (veenvormend)	
KM-ass.	
Bronkruid, Kleine waterrepe, Veenstaartje	
Basenarm lokaal kwelwater	
Droge-vochtige podzolgronden	
Venige beekdalgronden	



5A Sterk hellend, hoge beekdalen met lokale kwel: sterke kwel, basenarm-matig basenrijk

Processen: plaatselijk een constante (sterke) kwel van basenarm water tot matig basenrijk lokaal grondwater doordat het sterk hellende grondwatervlak of artesische laag van het freatisch pakket wordt aangesneden; in niveaus over grotere oppervlakte sterke laterale doorstroming.

Standplaats: (oligo-)mesotroof tot matig eutroof en matig tot zwak zuur.

Bodem: venige bronkoppes, hellingen met een dunne veenlaag en kalkame minerale bodem, in bronnen en bronbeekjes ook minerale bodem

Grondwaterkwaliteit: pH 4-6. EGV < 200µS/cm, meestal suboxisch grondwatersysteem

Voorkomen: oorsprongen en sterk hellende bovenlopen op stuwwallen en hoge dalen en hellingen van plateau's in heuvelland, randen van zandplateau's (Kempisch Plateau, voet hoog- en middenteras in Maasdal) en diep ingesneden beken zandige terrasranden (Maasdal).

Voorbeelden: Asbroek, Zutendaalbeek, Roelerbeek (Belgisch Limburg), bovenloop en oorsprongen Zwarte Beek (Belgisch Limburg), Filosofendal e.o., bronnen en bronbeekjes bij de St. Jansberg, omgeving Oosterbeek (Nijmeegse en Arnhemse stuwwallen), Springendal (Ov), Leubeekdal (Lb), Rode Beek Meinweg (L)

Specifieke bedreigingen: bemesting op de hoger gelegen inziggebieden; drainage doordat de beek zich door terugschrijdende erosie te diep heeft ingesneden, beschadiging van het veen en natte bodems (door vertrapping of te zwaar materieel)

Specifieke herstelmaatregelen:

- tegengaan bemesting infiltratiegebied;
- ophogen beekbodems van diep ingesneden beken en dempen eventuele greppels en sloten
- uitgraven dichtgestorte bronnen

5C Sterk hellend, hoge beekdalen met lokale kwel: basenrijk, evt. kalk in topsysteem

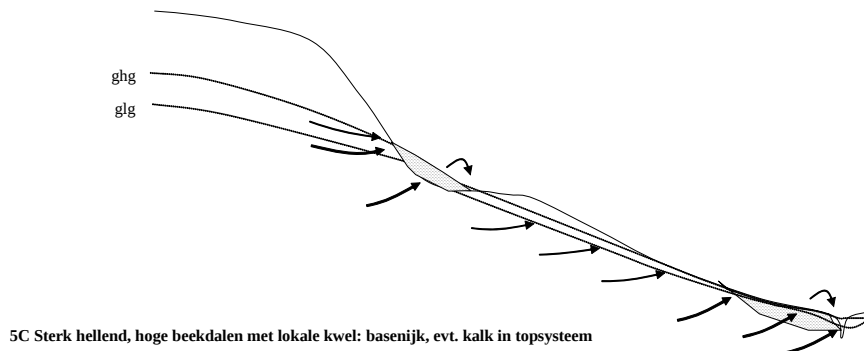
[Jalink et al. (2003): 7.6.2 Beekdalen met lokale kwel: variant met sterke kwel in reliëfrijk gebied (bronnen, bronweiden): basenrijke subvariant

Vegetatiegradiënt

De vegetatie wijkt vooral in de delen met bronnen en sterke kwel duidelijk af van die van **Weinig hellende beekdalen met lokale kwel: basenrijk [3C_1]**. Op bronkoppes of op kwelplekken kunnen bij hooilandbeheer de Bosbies-ass., Ass. van Gewone engelwortel en Moeraszegge en in geval van bos de Ass. van Verspreidbladig goudveil (subass. van Diknerfmos) en Goudveil-Essenbos voorkomen. Onder zeer natte omstandigheden met

eventuele veenvorming komt ook de Ass. van Vetblad en Vlozege voor met Davalszegge (*Carex davalliana*), Gele zegge, Schubzegge, Armbloemige waterbies en Vetblad. In de meestal sterk hellende bronweiden komt vooral Ass. van Gewone engelwortel en Moeraszegge voor en basenrijke varianten van de Veldrus-ass. In weidebronnen en in/langs beekjes komen de Associatie van Stomp vlotgras en de Ass. van Groot moerasscherm voor met soorten als Beekpunge en Bittere Veldkers voor.

V-ass. / V-E	
B-ass.	
Ass. van GE en M / G-E	
Ass. PG SA van Diknerfmos / Ass. van V en V	
E-E SA bittere veldkers	
Ass. van SV / Ass. van GM	
Davalszegge, Gele zegge, Schubzegge	
Beekpunge, Bittere veldkers	
Basenrijk lokaal kwelwater	
Droge-vochtige gronden	
Venige beekdalgronden	



Processen: plaatselijk een constante (sterke) kwel van basenarm water tot matig basenrijk lokaal grondwater doordat het sterk hellende grondwatervlak of artesische laag van het freatisch pakket wordt aangesneden; in niveaus over grotere oppervlakte sterke laterale doorstroming.

Standplaats: mesotroof tot eutroof en neutraal tot basisch.

Bodem: Vlierveen op leem, kalkrijke en kalkarme minerale hellinggronden en onderin de dalen ooivaaggronden; in bronnen en bronbeekjes ook minerale bodem

Grondwaterkwaliteit: pH 6-8, EGV 200-1000 µS/cm; grondwater oververzadigd en plaatselijk afzetting van kalk (travetijn)

Voorkomen: beekdalen en bronniveaus in het heuvelland en op stuwwallen

Voorbeelden: graslanden Elsenerbos (Bunderboscomplex), Cotesserbeek, (Geuldal), dal van de Noor (L), omgeving 's-Gravenvoeren (Belgie), Hazelbekke, Landgoederen Oldezaal, Mosbeek

Specifieke bedreigingen: bemesting in het intrekgebied, drainage door diep ingesneden beken, beschadiging van het veen en natte bodems (door vertrapping of te zwaar materieel)

Specifieke herstelmaatregelen:

- tegengaan bemesting infiltratiegebied
- ophogen beekbedding, verwijderen sloten, buisdrains en greppels

Sterk hellend, lage beekdalen met kwel

Landschap

- diepe dalen in heuvelland;
- dalen breed en in longitudinale richting sterk hellend met patroon van oeverwallen, kommen en 'puin'waaiers en dalranden met colluvium
- beek of riviervlakte is diep ingesneden;

Processen

- voeding met basenrijk grondwater uit diep watervoerend pakket (kalksteen, Tertiair) met groot grondwatersysteem, dit grondwater kwelt op in laagtes veelal aan dalranden en de diep liggende beek; in dal rand kan ook nog matig basenrijk tot basenrijk grondwater uittreden over dagzomende slecht-doorlatende lagen van groot lokaal/ freatisch systeem
- basenrijke omstandigheden domineren in zowel droge als natte delen; in droge delen door aanwezigheid van kalkrijk of goed gebufferde kalkarme bodem (hoge leem en lutumfractie); in natte delen door aanvoer van basenrijk grondwater
- in bronnen en kwelplekken vaak hoge stabiele waterstand; in kommen kan afvoer van kwelwater stagneren; dicht bij beek lagere grondwaterstanden door lage drainagebasis; door opleidingen van watermolens waren aanzienlijke daldelen veel natter dan tegenwoordig
- bij zeer grote piekafvoeren treedt overstroming op met slibrijk beekwater; overstromingsfrequentie is afgenomen.
- in geval van grote afvoerdynamiek vertoont huidige meanderende beek sterke morfodynamiek door laterale erosie van oevers (verbreding stroombed) wanneer beekoevers niet meer zijn vastgelegd; er treedt dan ontwikkeling op naar een vlechtend lengteprofiel op een lager niveau dan de dalbodem; onduidelijk is of insnijding actueel optreedt; beekbedding ligt momenteel in grindrijke Pleistocene basis.

Kenmerken

hydrologie

- in laagten en kommen en dalranden met bronnen hoge, stabiele grondwaterstand, plaatselijk permanente waterstand rond maaiveld;
- grote delen ook vochtig tot matig nat
- aan dalrand komen puntbronnen voor; bij bronnen die gevoed worden uit kalksteen kunnen deze bronnen een groot debiet hebben met complexe dynamiek (lange- en korte termijn fluctuaties)
- dalvlakte diep gedraineerd door ingesneden beek; lokaal worden laagten gedraineerd door kleine beekjes en sloten;

hydrochemie

- basenrijk, oververzadigd grondwater; redox vermoedelijk variabel: uit kalksteen suboxisch (NO_3^- of SO_4 -houdend) en uit diepe zand aquifers anaeroob; bij aanwezigheid van veel organische stof in bodem van kwelgebieden en door de aanwezigheid van veen onder minerale laag kan langs de stroombaan reductie optreden en het toestromende grondwater anaëroob en ijzerrijk zijn
- voeding met diep grondwater uit kalksteenpakket heeft gedurende Holocene in kwelvenen voor travetijnvorming gezorgd; is veelal geassocieerd met kleine zeggeveen zonder of met weinig houtresten (kalkmoeras); actueel treedt op kwelplekken van diep grondwater geen vorming van travetijn op

bodemtypen

- op oeverwallen kalkrijke zandige lössbodems;
- in kommen en laagten kalkarme tot -rijke (kleiige) veenbodem loss, lichte tot zware kleibodems met hoge leemfractie; hoge leemfractie hangt samen met erosie van lössbodems op plateau's en dalwanden na ontbossing in Romeinse tijd en late Middeleeuwen
- onder fluviatiele en colluviale afzettingen komen regelmatig veenlagen voor op grindrijke Pleistocene basis

Bedreigingen

- waterhuishouding
 - onduidelijk is of verdieping beek door insnijding optreedt
 - verdroging door lokale ontwatering (veel buisdrains) en door verwijderen molenstuwen
 - plaatselijk verdroging door grondwateronttrekking
- eutrofiëring via grondwater kan optreden bij voeding uit kalksteenpakket; bij neerslagpieken kan toestroming kunnen hoge nutriëntconcentraties optreden
- eutrofiëring via overstroming met oppervlaktewater; op overstroomde plekken kan sterke eutrofiëring optreden door slibafzetting
- dempen en draineren van natte laagten; veel driange met buisdrainage

Herstelmaatregelen

- vermindering lokale ontwatering, verondiepen beken/ stuwen oude molenopleidingen:
- verminderen/verwijderen lokale ontwatering is door de omvang hiervan op grotere schaal zeer effectief
- opstuwen oude molenopleidingen en verondiepen beken is op groter schaal een effectieve maatregel
- verminderen/aanpassen grondwaterwinning is plaatselijk effectief
- vermindering vermesting grondwater (vooral intrekgebieden in kalksteenplateaus)

Vegetatiegradiënt

De dalbodem bestaat uit een afwisseling van zeer natte, vochtige en droge delen. In zeer natte delen met kwel komen de Associatie van Gewone engelwortel en Moeraszegge, het Goudveil-Essenbos en het Elzenzegge-Elzenbroek (subass. van Bittere veldkers) voor. In licht beschaduwde bronnen is de Ass van Paarbladig goudveil (subass. van Diknerfmos) aanwezig. Op mesotrofe kwelplekken en kan ook de Ass. van Vetblad en Vlozegge voorkomen. In de vochtige delen van de dalvlakte en in de omgeving van bron en kwelplekken aan de hellingvoet komen graslanden voor van het Verbond van Grote vossenstaart en Vogelkers-Essenbos. In de droge delen komt Glanshaverhooiland, Kamgrasweide en mogelijk ook Essen-Iepenbos. Op hellingvoeten met kalkrijke colluvium is de Glanshaver-ass., de Ass. van Ruige weegbree en Aarddistel en Eiken-Haagbeukenbos (typische subass.) aanwezig. Langs bronbeekjes komt de Associatie van Stomp vlotgras en de Ass. van Groot moerasscherm voor. In de snelstromende beek komt de Associatie van Vlottende waterranonkel voor.

Standplaats: mesotroof tot eutroof en neutraal tot basisch.

Voorbeelden: benedenloop Gulp, Geuldal, bovenstroomse sterk hellende traject van Geleenbeekdal, Worm.

Bijlage 4: Beschrijving aquatisch-ecologische beektypen

Natte infiltratiegebieden met lokale kwel

Het hoofdtype komt voor in hoge delen in zandgebieden en is regenwater gevoed met hooguit, zeer lokale kwel in natter periode uit direct aanliggende ruggen. De beken betreffen periodiek tot langdurige geïnundeerde gebieden met stagnerend of zwak stromend oppervlaktewater.

1a1 Geen laaglandbeken, wel plaatselijk tijdelijk, zuur, stilstaand tot zwak stromend, ondiep water op maaiveld

Landschap

Het infiltratiegebied met tijdelijk zuur, stilstaand tot zwak stromend ondiep water op maaiveld komt voor in hoge delen in zandgebieden en is regenwater gevoed met hooguit, zeer lokale kwel in natter periode uit direct aanliggende ruggen. Het verval is nagenoeg nihil

Hydrologie

Het betreft regenwater gevoede gebieden met periodiek langdurige inundatie met stilstaand of zwak stromend water. De gebieden staan 's winters blank en drogen 's zomers uit, met een (grond)waterpeilwisseling tot 60 cm. De gebieden voeren voornamelijk in de winter water af. Het oppervlak is sterk variërend en de open wateren zijn ondiep tot zeer ondiep. De gemiddelde stroomsnelheid is < 5 cm/s.

Structuren

Het maaiveld is reliëfarm, maar wel met hogere drogere delen en diepere permanent natte delen. De bodem is bedekt met organisch materiaal en er kan veenvorming optreden.

Chemie

De voeding met het zure, voedselarme regenwater zorgt voor een zuur milieu (pH < 5). Het kalkgehalte is laag (< 1%). De hoge input van organisch materiaal zorgt voor veel afbraak en hoge ammoniumgehalten. Het water is oligotroof en mesosaproob. De ondergrond bestaat uit vochtige, zure (venige) zandbodem.

Biologie

De ondiepe open wateren worden gekarakteriseerd door extreme milieucondities. De hoge mate van decompositie, een stagnerende voedingsstoffenkringloop, de lage zuurstofgehalten, lage pH en de wisselende temperaturen zorgen voor een milieu dat alleen geschikt is voor sterk (fysiologisch) aangepaste fauna. Waar stroming optreedt kunnen algemene stromingsminnende soorten voorkomen.

Dergelijke laagten betreffen van nature door berk (*Vaccinio-Betuletea pubescens*) gedomineerde bossen.

1b1 Geen laaglandbeken, wel plaatselijk tijdelijk, zwak zuur tot neutraal, stilstaand tot zwak stromend, ondiep water op maaiveld

Landschap

Het infiltratiegebied met plaatselijk tijdelijk zwak zuur tot neutraal, stilstaand tot zwak stromend ondiep water op maaiveld komt voor in hoge delen in zandgebieden en is regenwater gevoed met hooguit, zeer lokale kwel in natter periode uit direct aanliggende ruggen. Het verval is nagenoeg nihil. De laagten zijn met loofbos begroeid.

Hydrologie

Het betreft regenwater gevoede gebieden met periodiek langdurige inundatie met stilstaand of zwak stromend water. De gebieden staan 's winters blank en drogen 's zomers uit, met een (grond)waterpeilwisseling tot 60 cm. De gebieden voeren voornamelijk in de

winter water af. Het oppervlak is sterk variërend en de open wateren zijn ondiep tot zeer ondiep. De gemiddelde stroomsnelheid is < 5 cm/s.

Structuren

Het maaiveld is reliëfarm, maar wel met hogere drogere delen en diepere permanent natte delen. De bodem is bedekt met organisch materiaal en er kan veenvorming optreden.

Chemie

De voeding met zwak gebufferd grondwater zorgt voor een zwak zuur tot neutraal milieu.

De hoge input van organisch materiaal zorgt voor veel afbraak en hoge ammoniumgehalten. Het water is oligo- tot mesotroof en mesosaproob.

Biologie

De ondiepe open wateren worden gekarakteriseerd door extreme milieucondities. De hoge mate van decompositie, een stagnerende voedingsstoffenkringloop, de lage zuurstofgehalten en de wisselende temperaturen zorgen voor een milieu dat alleen geschikt is voor sterk (fysiologisch) aangepaste fauna. Waar stroming optreedt kunnen algemene stromingsminnende soorten voorkomen.

Dergelijke laagten betreffen van nature door berk en zwarte els gedomineerde bossen. In zacht tot matig hard, helder water worden de kwelindicator Waterviolier naast Rossig fonteinkruid en Gewoon sterrenkroos gevonden.

1c1 Geen laaglandbeken, wel plaatselijk tijdelijk, neutraal tot basisch, stilstaand tot zwak stromend, ondiep water op maaiveld

Landschap

Het infiltratiegebied met plaatselijk tijdelijk neutraal tot basisch, stilstaand tot zwak stromend ondiep water op maaiveld komt voor in hoge delen in zandgebieden en is regenwater gevoed met hooguit, zeer lokale kwel in natter periode uit direct aanliggende ruggen. Het verval is nagenoeg nihil.

Hydrologie

Het betreft regenwater gevoede gebieden met periodiek langdurige inundatie met stilstaand of zwak stromend water. De gebieden staan 's winters blank en drogen 's zomers uit, met een (grond)waterpeilwisseling tot 60 cm. De gebieden voeren voornamelijk in de winter water af. Het oppervlak is sterk variërend en de open wateren zijn ondiep tot zeer ondiep. De gemiddelde stroomsnelheid is < 5 cm/s.

Structuren

Het maaiveld reliëfarm, maar wel met hogere drogere delen en diepere permanent natte delen. De bodem is bedekt met organisch materiaal en er kan veenvorming optreden.

Chemie

De voeding met het zure, voedselarme regenwater in combinatie met de neutrale tot basische (lemige) zandbodem zorgt voor een neutraal tot basisch milieu. De hoge input van organisch materiaal zorgt voor veel afbraak en hoge ammoniumgehalten. Het water is meso- tot eutroof en mesosaproob.

Biologie

De ondiepe open wateren worden gekarakteriseerd door extreme milieucondities. De hoge mate van decompositie, een stagnerende voedingsstoffenkringloop, de lage zuurstofgehalten en de wisselende temperaturen zorgen voor een milieu dat alleen geschikt is voor sterk (fysiologisch) aangepaste fauna. Waar stroming optreedt kunnen algemene stromingsminnende soorten voorkomen.

Dergelijke laagten betreffen van nature door Zwarte els gedomineerde bossen. Door de aanrijking met kalk ontstaat een (zwakke) buffering en bestaat de vegetatie uit onder andere Teer vederkruid.

Afvoerloze laagte

Het hoofdtype komt voor in laagten in oorspronggebied of op beekdalflanken van zandgebieden. Het betreft gebieden met periodiek langdurige inundatie met stilstaand of zwak stromend water.

2a1 Afvoerloze laagte (periodiek watervoerend) in oorspronggebied of op beekdalflanken

Landschap

De afvoerloze laagte (periodiek watervoerend) komt voor in laagten in oorspronggebieden of op beekdalflanken van zandgebieden. Het verval is nagenoeg nihil.

Hydrologie

Het betreft gebieden met periodiek langdurige inundatie met stilstaand of zwak stromend water. De gebieden staan 's winters blank en drogen 's zomers hooguit oppervlakkig uit. De gebieden voeren voornamelijk in de winter water af. Het oppervlak is sterk variërend en de open wateren zijn ondiep tot zeer ondiep. De gemiddelde stroomsnelheid is < 5 cm/s.

Structuren

Het maaiveld vertoont veel microreliëf, met hogere continue drogere delen en diepere permanent natte delen. De delen hiertussen wisselen tussen droog en nat. De bodem is bedekt met een dikke laag organisch materiaal en er treedt veenvorming (dunne moerige lagen) op.

Chemie

De kalkrijke toplaag en de basenrijke lokale kwel zorgen voor een neutraal tot basisch milieu. De hoge input van organisch materiaal zorgt voor veel afbraak en hoge ammoniumgehalten. Het water is zwak eutroof. De ondergrond bestaat uit zand.

Biologie

De ondiepe open wateren worden gekarakteriseerd door extreme milieucondities. De hoge mate van decompositie, een stagnerende voedingsstoffenkringloop, de lage zuurstofgehalten en de wisselende temperaturen zorgen voor een milieu dat alleen geschikt is voor sterk aangepaste fauna.

Dergelijke laagten betreffen van nature door Zwarte els gedomineerde bossen met voornamelijk zeggen in de ondergroei.

2b1 Beekbegeleidend zwak zuur tot neutraal kwelgebied, zonder of met lage afvoer

Landschap

Het beekbegeleidend, zwak zuur tot neutraal kwelgebied, zonder of met lage afvoer komt voor in laagten in oorspronggebieden of op beekdalflanken van zandgebieden. Het verval is gering tot nagenoeg nihil (0-0.1 m/km).

Hydrologie

Het betreft gebieden met periodiek langdurige inundatie met stilstaand of zwak stromend water. De gebieden staan 's winters blank en blijven 's zomers hooguit nat. De gebieden voeren voornamelijk in de winter water af, in de zomer kan de afvoer tijdelijk enigszins stagneren. De gemiddelde stroomsnelheid is < 5 cm/s. Het oppervlak is sterk variërend en de open wateren zijn ondiep tot zeer ondiep.

Structuren

Het maaiveld vertoont veel microreliëf, met hogere continue drogere delen en diepere permanent natte delen. De delen hiertussen wisselen tussen droog en nat. De bodem is bedekt met een dikke laag organisch materiaal en er treedt veenvorming (dunne moerige lagen) op. Vaak bevinden zich tijdelijk langzaam stromende en doorstroomde 'beek' patronen in de stromingsrichting door het gebied.

Chemie

Het matig basenrijk tot basenrijke beekwater zorgt voor een zwak zuur tot neutraal milieu. De hoge input van organisch materiaal zorgt voor veel afbraak en hoge ammoniumgehalten. Het water is meso- tot eutroof. De ondergrond bestaat uit zand, lokaal veen.

Biologie

De ondiepe open wateren worden gekarakteriseerd door extreme milieucondities. De hoge mate van decompositie, een relatief stagnerende voedingsstoffenkringloop, de wisselende zuurstofgehalten, het zwak zure karakter en de wisselende temperaturen zorgen voor een milieu dat alleen geschikt is voor sterk aangepaste fauna. Primaire productie door algen en waterplanten (veelal helofyten) is beperkt.

Van stromingsfauna is alleen sprake in de langzaam stromende gebiedsdelen/geulen.

2b2 Beekbegeleidend neutraal tot basisch kwelgebied, zonder of met lage afvoer

Landschap

Het beekbegeleidend, neutraal tot basisch kwelgebied, zonder of met lage afvoer komt voor in laagten in oorspronggebieden of op beekdalflanken van zandgebieden. Het verval is gering tot nagenoeg nihil (0-0,1 m/km).

Hydrologie

Het betreft gebieden met periodiek langdurige inundatie met stilstaand of zwak stromend water. De gebieden staan 's winters blank en blijven 's zomers hooguit nat. De gebieden voeren voornamelijk in de winter water af, in de zomer kan de afvoer tijdelijk enigszins stagneren. De gemiddelde stroomsnelheid is < 5 cm/s. Het oppervlak is sterk variërend en de open wateren zijn ondiep tot zeer ondiep.

Structuren

Het maaiveld vertoont veel microreliëf, met hogere continue drogere delen en diepere permanent natte delen. De delen hiertussen wisselen tussen droog en nat. De bodem is bedekt met een dikke laag organisch materiaal en er treedt veenvorming (dunne moerige lagen) op. Vaak bevinden zich tijdelijk langzaam stromende en doorstroomde 'beek' patronen in de stromingsrichting door het gebied.

Chemie

Het matig basenrijk tot basenrijke beekwater zorgt voor een neutraal tot basisch milieu. De hoge input van organisch materiaal zorgt voor veel afbraak en hoge ammoniumgehalten. Het water is zwak eutroof. De ondergrond bestaat uit zand, lokaal veen.

Biologie

De ondiepe open wateren worden gekarakteriseerd door extreme milieucondities. De hoge mate van decompositie, een enigszins stagnerende voedingsstoffenkringloop, de wisselende zuurstofgehalten en de wisselende temperaturen zorgen voor een milieu dat alleen geschikt is voor sterk aangepaste fauna. Er is enige primaire productie door algen en helofyten. Van stromingsfauna is alleen sprake in de langzaam stromende gebiedsdelen/geulen.

Weinig hellende beekdalen met lokale kwel

Het hoofdtype komt voor in weinig hellende zandlandschappen, inclusief keileemplateaus. De beken betreffen langzame stromende boven- en middenlopen van laaglandbeken.

3a1 Droogvallende, zure, langzaam stromende bronnen of bovenloopjes

Landschap

Droogvallende, zure, langzaam stromende bronnen en bovenloopjes komen voor in weinig hellende zandlandschappen, inclusief keileemplateaus. Het verval is gering (0,1-1,25 m/km). Ze zijn van nature gelegen in loofbossen.

Hydrologie

De watertoevoer is sterk regenwaterafhankelijk met lokale toevoer van kwel in nattere perioden. De waterafvoer is in de winter redelijk en in de zomer gering tot afwezig. Jaarlijks treedt aan het eind van de zomer (gedurende maximaal 10 weken) droogval op. Het milieu heeft in de zomer daarom veel kenmerken van een semi-aquatisch milieu. De gemiddelde stroomsnelheid varieert van (0)10-30 cm/s.

Structuren

Het lengteprofiel is zwak kronkelend tot kronkelend. Het dwarsprofiel is onregelmatig en asymmetrisch. De breedte – diepte verhouding is 1:0,16.

De bron bevindt zich in een of meerdere (zwakke) slenken of grote laagten en langs de oevers van de bovenloopjes. De bodem bestaat uit zand (soms met veen). De dimensies van de bronnen verschillen sterk. De bovenloopjes zijn smal en ondiep.

Door de verschillen in afvoer in de tijd ontstaat een wisseling in verschijningsvorm van droogvallende bronnen en bovenloopjes. In de zomer vormt zich in de bron een organisch pakket dat bijna het gehele brongebied bedekt. Het water in dergelijke pakketten heeft een wisselende doorstroming. Het organisch pakket is een spons van organisch materiaal vol water, die bij droogval geleidelijk opdroogt. Droogval leidt tot een sterke mineralisatie van het organisch materiaal. Ook de bovenloopjes zijn vooral bedekt met organisch materiaal.

In winter en voorjaar treedt afvoer op, die leidt tot het plaatselijk verdwijnen van het organisch pakket en tot het ontstaan van schoon gespoelde bronplekken en afvoerende bovenloopjes.

Chemie

De watersamenstelling komt sterk overeen met regenwater. Het water is zuur en mede afhankelijk van het aandeel van lokaal, ondiep afstromend regenwater ten opzichte van het lokaal toestromende kwelwater uit de zure bodem. Het water is oligo- tot mesotroof en oligo- tot β -mesosaproob.

Biologie

Het uittredende water heeft een sterk wisselende temperatuur. Het water in de bovenloopjes neemt al snel de temperatuur van de lucht aan, afhankelijk van de hoeveelheid toegevoerd grondwater en de mate van beschaduwing. De milieumstandigheden zijn dynamisch als gevolg van de periodieke droogval hetgeen resulteert in een meer droogte tolerante flora en fauna. De soortensamenstelling is weinig divers en heeft lage aantallen individuen.

Opvallend is het sporadisch voorkomen of ontbreken van veel soorten eendagsvliegen, platwormen, slakken en kreeftachtigen. Ook duikerwantsen en sommige vedermuggen zijn te verwachten. De meeste soorten leven op of in het sediment (gravers en kruipers). De voedselpiramide is kort en het aandeel predatoren is hoog, naast detritivore vergaarders en knippers. Belangrijke groepen zijn kevers, vedermuggen, vliegen en kevers.

De plantaardige productie (vooral diatomeeën) is gering mede als gevolg van de lage pH. Op kwelplekken komt Duizendknoopfonteinkruid voor.

3a2 Droogvallende, zure, langzaam stromende boven- of middenlopen

Landschap

Droogvallende, zure, langzaam stromende boven- en middenlopen komen voor in weinig hellende zandlandschappen, inclusief keileemplateaus. Het verval is gering (0,1-1,25 m/km). Ze zijn van nature gelegen in loofbossen.

Hydrologie

De watertoevoer is sterk regenwaterafhankelijk met lokale toevoer van kwel in nattere perioden. De waterafvoer is in de winter redelijk en in de zomer gering tot afwezig. Jaarlijks treedt aan het eind van de zomer (gedurende maximaal 10 weken) droogval op. Het milieu heeft in de zomer daarom veel kenmerken van een semi-aquatisch milieu. De gemiddelde stroomsnelheid varieert van (0)10-30 cm/s.

Structuren

Het lengteprofiel is zwak kronkelend tot kronkelend. Het dwarsprofiel is onregelmatig en asymmetrisch. De breedte – diepte verhouding is 1:0,22.

De wisselingen in afvoer leiden tot een dynamiek in erosie en sedimentatie. In de bovenlopen en in mindere mate de middenlopen is een variatie aan organische en, vooral in de natte perioden, minerale substraten aanwezig.

Chemie

De watersamenstelling komt sterk overeen met regenwater. en is zuur, oligo- tot mesotroof en oligo- tot β -mesosaproob. Het water heeft een relatief hoog ammoniumgehalte, vooral in het najaar als droge, gemineraliseerde beekbedding weer vernat.

Biologie

Droogval heeft een overheersende invloed op de levensgemeenschap.

De kenmerkende macrofaunagemeenschap is matig divers, heeft lage aantallen individuen en bestaat veelal uit soorten met een aan droogvalling aangepaste levensstrategieën. De voedselpiramide is relatief kort en het aandeel predatoren is hoog. De meeste soorten zijn sedimentbewoners (gravers), het betreft detritivore vergaarders. Belangrijke groepen zijn vedermuggen, vliegen, steenvliegen en kevers.

Door de beschaduwing komen niet of nauwelijks hogere waterplanten, behalve soms Haaksterrekroos. Op plaatsen met uittredend kwelwater en zwak gebufferde omstandigheden kan Duizendknoopfonteinkruid worden aangetroffen, mits de duur van de droogvalling beperkt is, zodat de bodem vochtig blijft. De plantaardige productie (vooral diatomeeën) is gering mede als gevolg van de lage pH.

3a3 Permanente, zure, langzaam stromende bronnen of bovenloopjes

Landschap

Permanente, zure, langzaam stromende bronnen en bovenloopjes komen voor in weinig hellende zandlandschappen, inclusief keileemplateaus. Het verval is gering (0,1-1,25 m/km). Ze zijn van nature gelegen in loofbossen.

Hydrologie

De watertoevoer zowel regen- als kwelwaterafhankelijk. De waterafvoer is in de winter redelijk en in de zomer matig. De gemiddelde stroomsnelheid varieert van 10-30 cm/s. Er is geen droogval.

Structuren

Het lengteprofiel is zwak tot matig kronkelend. Het dwarsprofiel is onregelmatig en asymmetrisch. De breedte – diepte verhouding is 1:0,16.

De bron bevindt zich in een of meerdere (zwakke) slenken of grote laagten en langs de oevers van de bovenloopjes. De bodem bestaat uit zand (soms met veen). De dimensies van de bronnen verschillen sterk. De bovenloopjes zijn smal en ondiep.

Door de zwakke afvoer is gedurende het gehele jaar een mozaïek aanwezig van vooral organische en relatief minder minerale substraten.

Chemie

De watersamenstelling is afhankelijk van de verhouding regen-kwelwater. Het water is zuur, oligo- tot mesotroof en oligo- tot β -mesosaproob.

Biologie

Het uittredende water heeft een weinig wisselende temperatuur. Het water in de bovenloopjes neemt echter in haar loop de temperatuur van de lucht aan, afhankelijk van de mate van beschaduwing. De milieumstandigheden zijn minder dynamisch hetgeen resulteert in een sterk stromingsminnende flora en fauna.

De fauna is minder divers. De meeste soorten leven op vaste substraten en in mindere mate op of in het sediment. Veel soorten zijn zwak rheofiel en koud-stenotherm. Het betreft vooral detritivoren, detriti-herbivoren en herbivoren. Belangrijke groepen zijn kokerjuffers, steen- en eendagsvliegen. De voedselpiramide is relatief complex waarbij alle trofische niveaus aanwezig zijn.

Op plaatsen waar lokaal voldoende zonlicht doordringt, komt vegetatie tot ontwikkeling, zoals kan Duizendknoopfonteinkruid en Knolrus. De plantaardige productie (vooral diatomeeën) is gering mede als gevolg van beschaduwing en een lage zuurgraad.

3a4 Permanente, zure, langzaam stromende boven- of middenlopen

Landschap

De permanente, zure, langzaam stromende boven- en middenlopen komen voor in weinig hellende zandlandschappen, inclusief keileemplateaus. Het verval is gering (0,1-1,25 m/km). Ze zijn van nature gelegen in loofbossen. De beken zijn beschaduwd.

Hydrologie

De watertoevoer zowel regen- als kwelwaterafhankelijk. De waterafvoer is in de winter redelijk, in de zomer matig (waardoor het water langzaam stroomt) en er is een gedempte dynamiek. De gemiddelde stroomsnelheid varieert van 10-30 cm/s. Er is geen droogval.

Structuren

Het lengteprofiel is kronkelend. Het dwarsprofiel is onregelmatig en asymmetrisch. De breedte – diepte verhouding is 1:0,22. De beekbodem is structuurrijk met zandbanken, overhangende oevers, aangeslibde, rustig stromende tot stilstaande plekken en plaatselijk stroomversnellingen met banken van fijn en grof grind. Er is veel organisch materiaal aanwezig in de vorm van slibzones, detritusafzettingen, bladpakketten, takken en boomstammen. Dit leidt tot een rijk mozaïek aan relatief grootschalige habitats. Het substraat bestaat vooral uit zand, plaatselijk waterplanten en organische structuren (omgevallen bomen).

De beekbegeleidende bomen hebben invloed op de ontwikkeling en vorming van de waterloop en zorgen voor structuren langs de loop (boomwortels) en in de loop (ingevallen bomen, takken en blad).

Chemie

Het water is zuur en meestal helder en oligo- tot mesotroof. Het betreft een oligo- tot β -mesosaproob milieu.

Biologie

De flora en fauna is aangepast aan een gedempt dynamisch milieu.

De fauna bestaat uit stromingsminnende (rheobiont of rheofiel) en stromingstolerante soorten en sommige zijn koud-stenotherm. De fauna is matig divers omvat

vertegenwoordigers van alle trofische niveaus. De meeste soorten leven op vaste substraten (grind en hout) en in mindere mate het sediment. Het betreft vooral detritivoren, detriti-herbivoren, herbivoren en carnivoren. Belangrijke groepen zijn kriebelmuggen, eendagsvliegen, steenvliegen en kokerjuffers. In deze langzaamstromende boven- en middenlopen komen visgemeenschappen voor met zwak rheofiele soorten, waarvan alle of sommige levensstadia gebonden zijn aan de hoofdstroom. Meer stroomafwaarts komen ook eurytope en limnofiele soorten voor.

De vegetatieontwikkeling in de middenloop is rijker dan de voorgaande typen en uit zich, daar waar schaduw minder effect heeft, in het pluksgewijs voorkomen van stromingsminnende waterplanten zoals waterranonkels en fonteinkruiden, met in de luwe delen helofyten en op zandbanken pioniersoorten.

3b1 Droogvallende, zwak zure tot neutrale bronnen of bovenloopjes

Landschap

Droogvallende, zwak zure tot neutrale, langzaam stromende bronnen en bovenloopjes komen voor in weinig hellende zandlandschappen, inclusief keileemplateaus. Het verval is gering (0,1-1,25 m/km). Ze zijn van nature gelegen in loofbossen.

Hydrologie

De watertoevoer sterk regenwaterafhankelijk met hooguit zeer lokale toevoer van kwel in nattere perioden. De waterafvoer is in de winter redelijk en in de zomer gering tot afwezig. De gemiddelde stroomsnelheid varieert van (0)10-30 cm/s. Jaarlijks treedt aan het eind van de zomer (gedurende maximaal 10 weken) droogval op. Het milieu heeft in de zomer daarom veel kenmerken van een semi-aquatisch milieu.

Structuren

Het lengteprofiel is zwak kronkelend tot kronkelend. Het dwarsprofiel is onregelmatig en asymmetrisch. De breedte – diepte verhouding is 1:0,16.

De bron bevindt zich in een of meerdere slenken of laagten en langs de oevers van de bovenloopjes. De bodem bestaat uit zand (soms met leem) of leem. De dimensies van de bronnen verschillen sterk. De bovenloopjes zijn smal en ondiep.

Door de verschillen in afvoer in de tijd ontstaat een wisseling in verschijningsvorm van deze droogvallende bronnen en bovenloopjes. In de zomer vormt zich in de bron een organisch pakket dat bijna het gehele brongebied bedekt. Het water in dergelijke pakketten heeft een wisselende doorstroming. Het organisch pakket is een spons van organisch materiaal vol water, die bij droogval geleidelijk opdroogt. Droogval leidt tot een sterke mineralisatie van het organisch materiaal. Ook de bovenloopjes zijn vooral bedekt met organisch materiaal. In winter en voorjaar treedt matig tot sterke afvoer op, die leidt tot het deels verdwijnen van het organisch pakket en tot het ontstaan van schoon gespoelde bronplekken en afvoerende bovenloopjes.

Chemie

De watersamenstelling is deels kwel en deels regenwaterafhankelijk. Het water is zwak zuur tot neutraal afhankelijk van het aandeel van afstromend regenwater ten opzichte van het toestromende kwelwater uit de matig basenrijke bodem. Het water is oligo- tot mesotroof en oligo- tot β-mesosaproob.

Biologie

Het uittredende water heeft een sterk wisselende temperatuur. Het water in de bovenloopjes neemt al snel de temperatuur van de lucht aan, afhankelijk van de hoeveelheid toegevoerd grondwater en de mate van beschaduwing. De milieumstandigheden zijn dynamisch als gevolg van de periodieke droogval hetgeen resulteert in een meer droogte tolerante flora en fauna. De soortensamenstelling is weinig tot matig divers en heeft matige aantallen individuen.

Eendagsvliegen, platwormen, slakken en kreeftachtigen komen slechts in lage aantallen voor. De meeste soorten leven op of in het sediment (gravers en kruipers). De voedselpiramide is relatief kort en bevat vooral predatoren, detritivore vergaarders en knippers. Belangrijke groepen zijn kevers, vedermuggen, vliegen en kevers.

Op kwelplekken komt Duizendknoopfonteinkruid en Vlottende bies voor. De plantaardige productie (vooral diatomeeën) is beperkt mede als gevolg van de lage pH.

3b2 Droogvallende, zwak zure tot neutrale, langzaam stromende boven- of middenlopen

Landschap

Droogvallende zwak zure tot neutrale, langzaam stromende boven- en middenlopen komen voor in weinig hellende zandlandschappen, inclusief keileemplateaus. Het verval is gering (0,1-1,25 m/km). Ze zijn van nature gelegen in loofbossen.

Hydrologie

De watertoevoer is sterk regenwaterafhankelijk, naast een beperkter aandeel toestromende kwelwater, met als gevolg dat de waterafvoer in de winter matig en in de zomer gering tot nul is. De gemiddelde stroomsnelheid varieert van (0)10-30 cm/s. Jaarlijks treedt aan het eind van de zomer (gedurende maximaal 10 weken) droogval op. Het milieu heeft in de zomer daarom veel kenmerken van een semi-aquatisch milieu.

Structuren

Het lengteprofiel is zwak kronkelend tot kronkelend. Het dwarsprofiel is onregelmatig en asymmetrisch. De breedte – diepte verhouding is 1:0,22. De wisselingen in afvoer leiden tot een dynamiek in erosie en sedimentatie. In de bovenlopen is daarom een variatie aan organische en minerale, zeker in de natte perioden, substraten te vinden. De middenlopen bevatten naast organische substraten ook veel zand en plaatselijk leem. De oever is bezet met els en berk en begroeid met mossen.

Chemie

Het water is zwak zuur tot neutraal afhankelijk van het aandeel van regenwater ten opzichte van het toestromende lokale matig basenrijke kwelwater en van de bodemsamenstelling. Het water is meso- tot eutroof en heeft een relatief hoog ammoniumgehalte in het najaar als gevolg van de mineraliserende droge beekbedding. Het betreft een β -mesosaproob milieu.

Biologie

Droogval heeft een overheersende invloed op de levensgemeenschap.

De kenmerkende macrofaunagemeenschap is matig divers, heeft lage aantallen individuen en bestaat veelal uit soorten met een aan droogvalling aangepaste levensstrategieën. De voedselpiramide is relatief kort en het aandeel predatoren is hoog. De meeste soorten zijn sedimentbewoners (gravers), het betreft detritivore vergaarders. Belangrijke groepen zijn vedermuggen, vliegen, steenvliegen en kevers. Er komen geen tot weinig vissen voor. Door de beschaduwing komen niet of nauwelijks hogere waterplanten, behalve soms Haaksterrekroos. Zeer lokaal op plaatsen met uittredend grondwater omstandigheden kan Duizendknoopfonteinkruid en Klimopwateranonkel worden aangetroffen, mits de duur van de droogvalling beperkt is, zodat de bodem vochtig blijft. De plantaardige productie (vooral diatomeeën) is gering mede als gevolg van beschaduwing.

3b3 Permanente, zwak zure tot neutrale, langzaam stromende bronnen of bovenloopjes

Landschap

Permanente, zwak zure tot neutrale, langzaam stromende bronnen en bovenloopjes komen voor in weinig hellende zandlandschappen, inclusief keileemplateaus. Het verval is gering (0,1-1,25 m/km). Ze zijn van nature gelegen in loofbossen.

Hydrologie

De watertoevoer zowel regen- als kwelwaterafhankelijk. De waterafvoer is in de winter redelijk en in de zomer matig. De gemiddelde stroomsnelheid varieert van 10-30 cm/s. Er is geen droogval.

Structuren

Het lengteprofiel is zwak tot matig kronkelend. Het dwarsprofiel is onregelmatig en asymmetrisch. De breedte – diepte verhouding is 1:0,16.

De bron bevindt zich in een of meerdere (zwakke) slenken of grote laagten en langs de oevers van de bovenloopjes. De bodem bestaat uit zand (soms met leem). De dimensies van de bronnen verschillen sterk. De bovenloopjes zijn smal en ondiep.

Door de zwakke afvoer is gedurende het gehele jaar een mozaïek aanwezig van vooral organische en in minder mate minerale substraten.

Chemie

De watersamenstelling is afhankelijk van de verhouding regen-kwelwater. Het water is zwak zuur tot neutraal, oligo- tot mesotroof en oligo- tot β -mesosaproob.

Biologie

Het uittredende water heeft een weinig wisselende temperatuur. Het water in de bovenloopjes neemt echter in haar loop de temperatuur van de lucht aan, afhankelijk van de mate van beschaduwing. De milieuomstandigheden zijn minder dynamisch dan de voorgaande droogvallende typen hetgeen resulteert in een zwak rheofiele flora en fauna. De fauna is divers. De meeste soorten leven op vaste substraten en in mindere mate het sediment. Veel soorten zijn (zwak) rheofiel en koud-stenotherm. Het betreft vooral detritivoren, detriti-herbivoren en herbivoren. Belangrijke groepen zijn kokerjuffers, kreeftachtigen en eendagsvliegen. De voedselpiramide is meer complex waarbij alle trofische niveaus aanwezig zijn.

Op plaatsen waar lokaal voldoende zonlicht doordringt, komt vegetatie tot ontwikkeling, zoals kleine fonteinkruiden, Bronmos, Klimopwaterranonkel en/of Kleine watereppe. De plantaardige productie (vooral diatomeeën) is gering tot matig mede als gevolg van beschaduwing.

3b4 Beekmoeras

Landschap

Het beekbegeleidend beekmoeras met plaatselijk tijdelijk zwak zuur tot neutraal, stilstaand tot zwak stromend ondiep water komt voor in hoge delen in zandgebieden en is regenwater gevoed met hooguit, zeer lokale kwel in natter periode uit direct aanliggende ruggen. Het verval is nagenoeg nihil. De laagten zijn met loofbos begroeid.

Hydrologie

Het betreft regenwater gevoede gebieden met periodiek langdurige inundatie met stilstaand of zwak stromend water. De gebieden staan 's winters blank en drogen 's zomers uit, met een (grond)waterpeilwisseling tot 60 cm. De gebieden voeren voornamelijk in de winter water af. De gemiddelde stroomsnelheid is < 5 cm/s. Het oppervlak is sterk variërend en de open wateren zijn ondiep tot zeer ondiep.

Structuren

Het maaiveld vertoont is minder reliëfrijk, maar wel met hogere drogere delen en diepere permanent natte delen. De bodem is bedekt met organisch materiaal en er kan veenvorming optreden.

Chemie

De voeding met het zure, voedselarme regenwater in combinatie met de matig zure (lemige) zandbodem zorgt voor een zwak zuur tot neutraal milieu. De hoge input van organisch materiaal zorgt voor veel afbraak en hoge ammoniumgehalten. Het water is oligo- tot mesotroof en mesosaproob.

Biologie

De ondiepe open wateren worden gekarakteriseerd door extreme milieucondities. De hoge mate van decompositie, een stagnerende voedingsstoffenkringloop, de lage zuurstofgehalten en de wisselende temperaturen zorgen voor een milieu dat alleen geschikt is voor sterk (fysiologisch) aangepaste fauna. Waar stroming optreedt kunnen algemene stromingsminnende soorten voorkomen.

Dergelijke laagten betreffen van nature door berk en zwarte els gedomineerde bossen.

3c1 Droogvallende, neutrale tot basische, langzaam stromende bronnen of bovenloopjes

Landschap

Droogvallende, neutrale tot basische, langzaam stromende bronnen en bovenloopjes komen voor in weinig hellende zandlandschappen, inclusief keileemplateaus. Het verval is gering (0,1-1,25 m/km). Ze zijn van nature gelegen in loofbossen.

Hydrologie

De watertoevoer sterk regenwaterafhankelijk met lokale toevoer van kwel in nattere perioden. De waterafvoer is in de winter redelijk en in de zomer gering tot afwezig. De gemiddelde stroomsnelheid varieert van (0)10-30 cm/s. Jaarlijks treedt aan het eind van de zomer (gedurende maximaal 10 weken) droogval op. Het milieu heeft in de zomer daarom veel kenmerken van een semi-aquatisch milieu.

Structuren

Het lengteprofiel is zwak kronkelend tot kronkelend. Het dwarsprofiel is onregelmatig en asymmetrisch. De breedte – diepte verhouding is 1:0,16.

De bron bevindt zich in een of meerdere slenken of laagten en langs de oevers van de bovenloopjes. De bodem bestaat uit zand (soms met leem) of leem. De dimensies van de bronnen verschillen sterk. De bovenloopjes zijn smal en ondiep. Door de verschillen in afvoer in de tijd ontstaat een wisseling in verschijningsvorm van deze droogvallende bronnen en bovenloopjes. In de zomer vormt zich in de bron een organisch pakket dat bijna het gehele brongebied bedekt. Het water in dergelijke pakketten heeft een wisselende doorstroming. Het organisch pakket is een spons van organisch materiaal vol water, die bij droogval geleidelijk opdroogt. Droogval leidt tot een sterke mineralisatie van het organisch materiaal. Ook de bovenloopjes zijn vooral bedekt met organisch materiaal. In winter en voorjaar treedt matig tot sterke afvoer op, die leidt tot het deels verdwijnen van het organisch pakket en tot het ontstaan van schoon gespoelde bronplekken en afvoerende bovenloopjes.

Chemie

De watersamenstelling is deels kwel en deels regenwaterafhankelijk. Het water is hard en neutraal tot basisch afhankelijk van het aandeel van afstromend regenwater ten opzichte van het toestromende kwelwater uit de basenrijke, kalkrijke bodem. Het water is oligo- tot mesotroof en oligo- tot β -mesosaproob.

Biologie

Het uittredende water heeft een sterk wisselende temperatuur. Het water in de bovenloopjes neemt al snel de temperatuur van de lucht aan, afhankelijk van de hoeveelheid toegevoerd grondwater en de mate van beschaduwing. De milieuomstandigheden zijn dynamisch als gevolg van de periodieke droogval hetgeen resulteert in een meer droogte tolerante flora en fauna. De soortensamenstelling is weinig-matig divers en heeft matige aantallen individuen.

Eendagsvliegen, platwormen, slakken en kreeftachtigen komen slechts in lage aantallen voor. De meeste soorten leven op of in het sediment (gravers en kruipers). De voedselpiramide is relatief kort en bevat vooral predatoren, detritivore vergaarders en knippers. Belangrijke groepen zijn kevers, vedermuggen, vliegen en kevers.

Op kwelplekken komt duizendknoopfonteinkruid en vlottende bies voor. De plantaardige productie (vooral diatomeeën) is beperkt mede als gevolg van de lage pH.

3c2 Droogvallende, neutrale tot basische, langzaam stromende boven- of middenlopen

Landschap

Droogvallende neutrale tot basische, langzaam stromende boven- en middenlopen komen voor in weinig hellende zandlandschappen, inclusief keileemplateaus. Het verval is gering (0,1-1,25 m/km). Ze zijn van nature gelegen in loofbossen.

Hydrologie

De watertoevoer is sterk regenwaterafhankelijk, naast een beperkter aandeel toestromende kwelwater, met als gevolg dat de waterafvoer in de winter matig en in de zomer gering tot nul is. De gemiddelde stroomsnelheid varieert van (0)10-30 cm/s. Jaarlijks treedt aan het eind van de zomer (gedurende maximaal 10 weken) droogval op. Het milieu heeft in de zomer daarom veel kenmerken van een semi-aquatisch milieu.

Structuren

Het lengteprofiel is zwak kronkelend tot kronkelend. Het dwarsprofiel is onregelmatig en asymmetrisch. De breedte – diepte verhouding is 1:0,22. De wisselingen in afvoer leiden tot een dynamiek in erosie en sedimentatie. In de bovenlopen is daarom een variatie aan organische en minerale, zeker in de natte perioden, substraten te vinden. De middenlopen bevatten naast organische substraten ook veel zand en plaatselijk leem. De oever is bezet met els en berk en begroeid met mossen.

Chemie

Het water is neutraal tot basisch afhankelijk van het aandeel van regenwater ten opzichte van het toestromende lokale basenrijke kwelwater en van de samenstelling van de kalkrijke toplaag. Het water is relatief eutroof en heeft een relatief hoog ammoniumgehalte in het najaar als gevolg van de mineraliserende droge beekbedding. Het betreft een β -mesosaproob milieu.

Biologie

Droogval heeft een overheersende invloed op de levensgemeenschap.

De kenmerkende macrofaunagemeenschap is matig divers, heeft lage aantallen individuen en bestaat veelal uit soorten met een aan droogvalling aangepaste levensstrategieën. De

voedselpiramide is relatief kort en het aandeel predatoren is hoog. De meeste soorten zijn sedimentbewoners (gravers), het betreft detritivore vergaarders. Belangrijke groepen zijn vedermuggen, vliegen, steenvliegen en kevers. Er komen geen tot weinig vissen voor. Door de beschaduwing komen niet of nauwelijks hogere waterplanten, behalve soms haaksterrekroos. Zeer lokaal op plaatsen met uittredend grondwater omstandigheden kan duizendknoopfonteinkruid en klimopwaterranonkel worden aangetroffen, mits de duur van de droogvalling beperkt is, zodat de bodem vochtig blijft. De plantaardige productie (vooral diatomeeën) is gering mede als gevolg van beschaduwing.

3c3 Permanente, neutrale tot basische, langzaam stromende bronnen of bovenloopjes

Landschap

Permanente, neutrale tot basische, langzaam stromende bronnen en bovenloopjes komen voor in weinig hellende zandlandschappen, inclusief keileemplateaus. Het verval is gering (0,1-1,25 m/km). Ze zijn van nature gelegen in loofbossen of in zeggenvegetatie..

Hydrologie

De watertoevoer zowel regen- als kwelwaterafhankelijk. De waterafvoer is in de winter redelijk en in de zomer matig. De gemiddelde stroomsnelheid varieert van 10-30 cm/s. Er is geen droogval.

Structuren

Het lengteprofiel is zwak tot matig kronkelend. Het dwarsprofiel is onregelmatig en asymmetrisch. De breedte – diepte verhouding is 1:0,16.

De bron bevindt zich in een of meerdere (zwakke) slenken of grote laagten en langs de oevers van de bovenloopjes. De bodem bestaat uit zand (soms met leem). De dimensies van de bronnen verschillen sterk. De bovenloopjes zijn smal en ondiep.

Door de zwakke afvoer is gedurende het gehele jaar een mozaïek aanwezig van vooral organische en relatief minder minerale substraten.

Chemie

De watersamenstelling is afhankelijk van de verhouding regen-kwelwater en de samenstelling van de kalkrijke toplaag van de (lemige) zandbodem. Het water is neutraal tot basisch, hard, mesotroof en β -mesosaproob.

Biologie

Het uittredende water heeft een weinig wisselende temperatuur. Het water in de bovenloopjes neemt echter in haar loop de temperatuur van de lucht aan, afhankelijk van de mate van beschaduwing. De milieuomstandigheden zijn minder dynamisch hetgeen resulteert in een sterk stromingsminnende flora en fauna.

De fauna is minder divers. De meeste soorten leven op vaste substraten en in mindere mate het sediment. Veel soorten zijn zwak rheofiel en koud-stenotherm. Het betreft vooral detritivoren, detriti-herbivoren en herbivoren. Belangrijke groepen zijn kokerjuffers, steen- en eendagsvliegen. De voedselpiramide is relatief complex waarbij alle trofische niveaus aanwezig zijn.

Op plaatsen waar lokaal voldoende zonlicht doordringt, komt vegetatie tot ontwikkeling, zoals Bronmos, knolrus en/of Kleine watereppe. De plantaardige productie (vooral diatomeeën) is gering mede als gevolg van beschaduwing.

3c4 Permanente, neutrale tot basische, langzaam stromende boven- of middenlopen

Landschap

Permanente, neutrale tot basische, langzaam stromende boven- en middenlopen komen voor in weinig hellende zandlandschappen, inclusief keileemplateaus. Het verval is gering (0,1-1,25 m/km). Ze zijn van nature gelegen in loofbossen of in zeggenvegetatie.

Hydrologie

De langzaam stromende boven- en middenloop is permanent, heeft een matig tot lage afvoer (waardoor het water langzaam stroomt) en een gedempte dynamiek, mede als gevolg van inundatie bij verhoogde afvoeren. De voeding is afkomstig van regen- en matig basenrijk grondwater. De gemiddelde stroomsnelheid varieert van 10-30 cm/s. Bij afvoerpieken inundeert de beek de lage delen van het beekdal.

Structuren

De beekloop is zwak kronkelend tot kronkelend. Het dwarsprofiel is onregelmatig en asymmetrisch. De breedte – diepte verhouding is 1:0,22. De beekbedding bevat zandbanken, overhangende oevers, aangeslibde, rustig stromende tot stilstaande plekken en plaatselijk stroomversnellingen met bankjes van fijn grind. Er is veel organisch materiaal aanwezig in de vorm van slibzones, detritusafzettingen, bladpakketten, takken en boomstammen. Dit leidt tot een rijk mozaïek aan habitats. De bodem bestaat uit zand, soms leem.

Chemie

Het water is neutraal tot basisch, mesosaproob en meestal meso- tot eutroof, mede afhankelijk van de verhouding regen-grondwater en de samenstelling van de kalkrijke toplaag van de (lemige) zandbodem. De beek wordt gevoed met lokaal, basenrijk grondwater.

Biologie

De kenmerkende macrofaunagemeenschap is vrij divers en bestaat uit (zwak) rheofiele, soms stromingstolerante soorten. De stromend watersoorten van grotere beken doen hun intrede. Kreeftachtigen, vedermuggen, kokerjuffers, wormen, kevers en libellen zijn belangrijke groepen. De meeste soorten leven op vaste substraten en in mindere mate in of op het sediment, in de waterkolom en het littoraal. Het betreft vertegenwoordigers van alle trofische niveaus. De visgemeenschap is matig divers en bestaat uit stromingsminnende en -tolerante soorten. Deze soorten kunnen gebonden zijn aan de hoofdstroom maar er zijn ook stadia die gebonden zijn aan zijwateren in permanent open verbinding met de beek. De vegetatieontwikkeling is beperkt tot het pluksgewijs voorkomen van enkele stromingsminnende waterplanten, zoals Haaksterrenkroos, Kleine egelskop en Grote waterranonkel op open plaatsen, bijvoorbeeld in open delen.

3c5 Beekbegeleidend beekmoeras

Landschap

Het beekbegeleidend beekmoeras met plaatselijk tijdelijk neutraal tot basisch, stilstaand tot zwak stromend ondiep water komt voor komen voor in weinig hellende zandlandschappen, inclusief keileemplateaus. Het verval is gering (0,1-1,25 m/km). Ze zijn van nature gelegen in loofbossen of in zeggenvegetatie.

Hydrologie

Het betreft regenwater gevoede gebieden met periodiek langdurige inundatie met stilstaand of zwak stromend water. De gebieden staan 's winters blank en drogen 's zomers uit, met een (grond)waterpeilwisseling tot 60 cm. De gebieden voeren voornamelijk in de winter water af. De gemiddelde stroomsnelheid is < 5 cm/s. Het oppervlak is sterk variërend en de open wateren zijn ondiep tot zeer ondiep.

Structuren

Het maaiveld vertoont is minder reliëfrijk, maar wel met hogere drogere delen en diepere permanent natte delen. De bodem is bedekt met organisch materiaal en er kan veenvorming optreden.

Chemie

De voeding met het zure, voedselarme regenwater in combinatie met de neutrale tot basische (lemige) zandbodem zorgt voor een neutraal tot basisch milieu. De hoge input van organisch materiaal zorgt voor veel afbraak en hoge ammoniumgehalten. Het water is meso- tot eutroof en mesosaproob.

Biologie

De ondiepe open wateren worden gekarakteriseerd door extreme milieucondities. De hoge mate van decompositie, een stagnerende voedingsstoffenkringloop, de lage zuurstofgehalten en de wisselende temperaturen zorgen voor een milieu dat alleen geschikt is voor sterk (fysiologisch) aangepaste fauna. Waar stroming optreedt kunnen algemene stromingsminnende soorten voorkomen.

Dergelijke laagten betreffen van nature door zwarte els gedomineerde bossen. Veel plantensoorten zijn stikstofindicatoren. Door de aanrijking met kalk ontstaat een (zwakke) buffering en bestaat de vegetatie uit onder andere teer vederkruid.

3d1 Permanente, zwak zure tot neutrale, langzaam stromende boven- of middenlopen

Landschap

Permanente, zwak zure tot neutrale, langzaam stromende boven- en middenlopen komen voor in weinig hellende zandlandschappen, inclusief keileemplateaus. Het verval is gering (0,1-1,25 m/km). Ze zijn van nature gelegen in loofbossen.

Hydrologie

De langzaam stromende boven- en middenloop is permanent, heeft een matig tot lage afvoer (waardoor het water langzaam stroomt) en een gedempte dynamiek, mede als gevolg van inundatie bij verhoogde afvoeren. De voeding is afkomstig van regen- en matig basenrijk grondwater. De gemiddelde stroomsnelheid varieert van 10-30 cm/s. Bij afvoerpieken inundeert de beek de lage delen van het beekdal.

Structuren

De beekloop is zwak kronkelend tot kronkelend. Het dwarsprofiel is onregelmatig en asymmetrisch. De breedte – diepte verhouding is 1:0,22. De beekbedding bevat zandbanken, overhangende oevers, aangeslibde, rustig stromende tot stilstaande plekken en plaatselijk stroomversnellingen met bankjes van fijn grind. Er is veel organisch materiaal aanwezig in de vorm van slibzones, detritusafzettingen, bladpakketten, takken en boomstammen. Dit leidt tot een rijk mozaïek aan habitats. De bodem bestaat uit zand.

Chemie

Het water is matig zuur tot neutraal, meestal oligo- tot mesotroof en oligo- tot β -mesosaproob, mede afhankelijk van de verhouding regen-grondwater. De beek wordt gevoed met matig basenrijk grondwater.

Biologie

De kenmerkende macrofaunagemeenschap is vrij divers en bestaat uit (zwak) rheofiele, soms stromingstolerante soorten. De stromend-watersoorten van grotere beken doen hun intrede. Kreeftachtigen, vedermuggen, kokerjuffers, wormen, kevers en libellen zijn belangrijke groepen. De meeste soorten leven op vaste substraten en in mindere mate in of op het sediment, in de waterkolom en het littoraal. Het betreft vertegenwoordigers van alle trofische niveaus. De visgemeenschap is matig divers en bestaat uit stromingsminnende en -tolerante soorten. Deze soorten kunnen gebonden zijn aan de hoofdstroom maar er zijn ook stadia die gebonden zijn aan zijwateren in permanent open verbinding met de beek. De vegetatieontwikkeling is beperkt tot het pluksgewijs voorkomen van enkele stromingsminnende waterplanten, zoals Haaksterrenkroos, Kleine egelskop en Grote waterranonkel op open plaatsen, bijvoorbeeld in open delen tussen overhangende bomen.

3d2 Beekmoeras

Landschap

Het beekbegeleidend beekmoeras met plaatselijk tijdelijk zwak zuur tot neutraal, stilstaand tot zwak stromend ondiep water komt voor in weinig hellende zandlandschappen, inclusief keileemplateaus. Het verval is gering (0,1-1,25 m/km). Ze zijn van nature gelegen in loofbossen.

Hydrologie

Het betreft regenwater gevoede gebieden met periodiek langdurige inundatie met stilstaand of zwak stromend water. De gebieden staan 's winters blank en drogen 's zomers uit, met een (grond)waterpeilwisseling tot 60 cm. De gebieden voeren voornamelijk in de winter water af. De gemiddelde stroomsnelheid is < 5 cm/s. Het oppervlak is sterk variërend en de open wateren zijn ondiep tot zeer ondiep.

Structuren

Het maaiveld vertoont is minder reliëfrijk, maar wel met hogere drogere delen en diepere permanent natte delen. De bodem is bedekt met organisch materiaal en er kan veenvorming optreden.

Chemie

De voeding met het zure, voedselarme regenwater in combinatie met de matig zure (lemige) zandbodem zorgt voor een zwak zuur tot neutraal milieu. De hoge input van organisch materiaal zorgt voor veel afbraak en hoge ammoniumgehalten. Het water is oligo- tot mesotroof en mesosaproob.

Biologie

De ondiepe open wateren worden gekarakteriseerd door extreme milieucondities. De hoge mate van decompositie, een stagnerende voedingsstoffenkringloop, de lage zuurstofgehalten en de wisselende temperaturen zorgen voor een milieu dat alleen geschikt is voor sterk (fysiologisch) aangepaste fauna. Waar stroming optreedt kunnen algemene stromingsminnende soorten voorkomen.

Dergelijke laagten betreffen van nature door berk en zwarte els gedomineerde bossen.

Weinig hellende, vlakke beekdalen met sterke (voormalige) slibafzetting

Het hoofdtype komt voor in weinig hellende zandlandschappen op overgangen naar zandgebieden naar Holoceen en overgangen Pleistoceen-Holoceen zonder duidelijke beekdal. De beken betreffen langzaam stromende benedenlopen van laaglandbeken.

4a1 Inunderende neutrale tot basische, langzaam stromende benedenlopen of riviertjes

Landschap

Inunderende neutrale tot basische, langzaam stromende benedenlopen of riviertjes en hun beekbegeleidende matig voedselrijke tot voedselrijke wateren komen voor in weinig hellende zandlandschappen op overgangen naar zandgebieden naar Holoceen en overgangen Pleistoceen-Holoceen zonder duidelijke beekdal. Het verval van benedenlopen en riviertjes is in vergelijking tot kleinere beken nog geringer (0,1-1,00 m/km).

Hydrologie

De langzaam stromende benedenlopen en riviertjes verbinden de middenloop van een beek enerzijds en een grote rivier, riviertje, meer anderzijds, waarbij er sprake is van lage afvoer (waardoor het water langzaam stroomt) en een beperkt gedempte dynamiek. Benedenlopen en nog sterker riviertjes dragen daarom kenmerken van grote rivieren zowel als van beken. Zo worden langs riviertjes stroomrug-, kom- en overslaggronden aangetroffen. Daartussen komen veel oude rivierarmen voor in verschillende stadia van verlanding; de beekbegeleidende matig voedselrijke tot voedselrijke wateren. Langs beken kan een uitgestrekte vlakte met slibrijke veenbodem voorkomen. De meeste benedenlopen en riviertjes ontvangen het merendeel van het afvoerwater van de bovenstroomse beken, maar er treedt ook (sterke) bovenlokale en regionale kwel op. De gemiddelde stroomsnelheid varieert van 10-30 cm/s. Er vindt bij hoge afvoer inundatie met slibrijk water plaats.

Structuren

Natuurlijke benedenlopen en riviertjes zijn kronkelend tot sterk kronkelend. De breedte – diepte verhouding is 1:0,64. Ze hebben een onregelmatig en asymmetrisch dwarsprofiel. De bodem bestaat veelal uit zand, zandbanken en plaatselijk overhangende oevers, aangeslibde plekken met rustig stromend tot stilstaande water en incidentele stroomversnellingen met zandbanken. Er is verspreid organisch materiaal aanwezig in de vorm van detritusafzettingen, bladpakketten, takken en boomstammen. Dit leidt tot een grootschaliger, minder ten opzichte van kleinere beken geschakeerd mozaïek aan habitats. Bij lagere stroomsnelheid kan slib en fijn organisch materiaal bezinken. Benedenlopen en riviertjes snijden zowel zandige als kleiige- en venige bodemtypen aan.

Chemie

Het water is neutraal tot basisch en eutroof. Het betreft een β -mesosaproob milieu. Het water is helder.

Biologie

De kenmerkende macrofaunagemeenschap is divers en bestaat uit (sub)rheofiele en limnofiele soorten van diverse milieus. Veel soorten leven op vaste substraten zoals waterplanten en op en in het sediment, de waterkolom en de litorale zone.

Benedenlopen en riviertjes kennen een volledig ontwikkelde voedselketen, waarbij alle functionele groepen aanwezig zijn. Belangrijke groepen zijn wormen, vedermuggen, kevers en kokerjuffers. De visfauna is goed ontwikkeld en bestaat uit subrheofiele, eurytope en limnofiele soorten.

In de langzaam stromende benedenlopen en riviertjes komen veel waterplanten voor. De vegetatie bestaat uit een combinatie van soorten die gevonden worden in langzaam stromende riviertjes, brede sloten en kleine meren: zowel ondergedoken en drijfbladplanten als helofyten.. Naarmate de beek breder en dieper wordt komt bij lage afvoer relatief veel fytoplankton voor.

4a2 Beekbegeleidende matig voedselrijke tot voedselrijke wateren

Landschap

Als 4a1a.

Hydrologie

Het betreft min of meer stilstaande, zoete wateren die meer of minder frequent tot permanent met het beekwater in contact staan. De voeding is vanuit regen-, grond- en vooral oppervlaktewater. Het betreft geïsoleerde wateren met een lage tot hoge inundatiefrequentie. Tot deze wateren behoren ook wateren die aan één zijde een open verbinding met de benedenloop of het riviertje hebben. Het water stroomt alleen permanent in de instroomopening wanneer een open verbinding aanwezig is of periodiek (en vaak sterk) tijdens inundaties. De gemiddelde stroomsnelheid is < 5 cm/s. Het waterpeil is als gevolg van de (sterke) bovenlokale en regionale kwel slechts zwak wisselend.

Structuren

Klein tot matig groot, lijn- of min of meer langwerpige gevormde wateren op zand, veen of klei. De bodem is met slib bedekt en de ondiepe oeverzone kan organisch en minerale substraten bevatten. De oever is bij sterke inundatie aan erosie- en sedimentatieprocessen onderhevig, wat kan resulteren in een minerale zand/kleibodem met een geringe tot matige hoeveelheid organische materiaal.

Chemie

Door het contact met het beekwater is het water neutraal tot basisch, zwak eutroof tot eutroof en mesosaproob. In de wateren met een open verbinding treden, vanaf de benedenloop of het riviertje richting de verst afgelegen delen, gradiënten op in zowel de waterdynamiek als de chemische samenstelling van het water (bijvoorbeeld het nutriëntengehalte).

Biologie

Er treedt een zekere verlanding op afhankelijk van de waterbeweging en windwerking. Voor de beoogde verlandingsuccessie is het noodzakelijk dat de wind geen (zware) golfslag veroorzaakt.

De vegetatie in deze wateren wordt in vroege stadia gekenmerkt door kranswieren, fonteinkruiden (zoals Plat, Spits en Stomp fonteinkruid). In de loop van de tijd gaat met name Krabbenscheer domineren en gaan zich drijftillen met Slangenwortel of Waterscheerling vormen. Er is een zonerings van vegetatietypen van diep naar ondiep. De onderwaterzone is begroeid met grote fonteinkruiden en op de vooral kleiige bodems is de Watergentiaan karakteristiek. Er is ook een gradiënt van monding naar uiteinde. Door sterke stroming en peilfluctuaties komen in de monding weinig waterplanten voor. In deze wateren worden Glanzig fonteinkruid, Doorgroeid fonteinkruid en Schedefonteinkruid aangetroffen.

Het fytoplankton en het fytobenthos zijn beide goed ontwikkeld en er komt een seizoenscyclus in planktongroepen voor.

De macrofaunagemeenschap wordt gedomineerd door filtreerders (veel mosselen) en relatief veel vergaarders. Het aandeel zandminnende soorten is hoog, evenals het aandeel rivierbewoners (veelal ubiquisten en immigranten). Kenmerkende soorten zijn bloedzuigers, slakken, zoetwaterpissebedden, wantsen, kevers en kokerjuffers. De meeste soorten zijn algemeen en komen vooral voor tussen de vegetatie, vaak in de verlandende oeverzone. Het sediment in de diepe open delen van deze wateren is soortenarm door de hoge dynamiek en het relatief lage zuurstofgehalte. Soorten die tolerant zijn voor lage zuurstofgehalten, zoals muggen en wormen komen hier veelvuldig voor.

Deze wateren zijn belangrijk voor de voortplanting van het Vetje, maar ook Kroeskarper en Winde groeien in deze wateren op. Riviergrondel en Winde komen voor naast Blankvoorn en Brasem (beide dominant). Andere stroomminnende soorten zoals Barbeel, Kopvoorn en Serpeling kunnen deze wateren gebruiken als opgroei gebied, maar hebben een duidelijke voorkeur voor stromende wateren.

Sterk hellende beekdalen met lokale kwel

Het hoofdtype komt voor in reliëfrijk gebied (stuwwallen en het heuvelland). De beken zijn intermediaire en heuvellandbeken met matige tot snelle stroming.

5 Droogvallende, zure, stromende bronnen of bovenloopjes

Landschap

Droogvallende, zure, stromende bronnen en bovenloopjes komen voor op stuwwallen (hoog op de stuwwal) op vochtige zure bodems. Het verval is redelijk sterk (1-10 m/km). Ze zijn van nature gelegen in loofbossen.

Hydrologie

De watertoevoer sterk regenwaterafhankelijk met hooguit lokale toevoer van kwel in nattere perioden uit direct aanliggende ruggen. De waterafvoer is in de winter redelijk en in de zomer gering tot afwezig. De gemiddelde stroomsnelheid varieert van (0)10-35 cm/s. Jaarlijks treedt aan het eind van de zomer (gedurende maximaal 10 weken) droogval op. Het milieu heeft in de zomer daarom veel kenmerken van een semi-aquatisch milieu.

Structuren

Het lengteprofiel is relatief recht tot zwak kronkelend. Het dwarsprofiel is onregelmatig en asymmetrisch. De breedte – diepte verhouding is 1:0,16.

De bron bevindt zich in één of meerdere slenken of laagten en langs de oevers van de bovenloopjes. De bodem bestaat uit zand (soms met veen). De dimensies van de bronnen verschillen sterk. De bovenloopjes zijn smal en ondiep.

Door de verschillen in afvoer in de tijd ontstaat een wisseling in verschijningsvorm van droogvallende bronnen en bovenloopjes. In de zomer vormt zich in de bron een organisch pakket dat bijna het gehele brongebied bedekt. Het water in dergelijke pakketten heeft een wisselende doorstroming. Het organisch pakket is een spons van organisch materiaal vol water, die bij droogval geleidelijk opdroogt. Droogval leidt tot een sterke mineralisatie van het organisch materiaal. Ook de bovenloopjes zijn vooral bedekt met organisch materiaal. In winter en voorjaar treedt afvoer op, die leidt tot het plaatselijk verdwijnen van het organisch pakket en tot het ontstaan van schoon gespoelde bronplekken en afvoerende bovenloopjes.

Chemie

De watersamenstelling is sterk regenwaterafhankelijk. Het water is zuur afhankelijk van het aandeel van lokaal, ondiep afstromend regenwater ten opzichte van het lokaal toestromende (grond)water uit de zure bodem. Het water is oligo- tot mesotroof en oligo- tot β -mesosaproob.

Biologie

Het uittredende water heeft een sterk wisselende temperatuur. Het water in de bovenloopjes neemt al snel de temperatuur van de lucht aan, afhankelijk van de hoeveelheid toegevoerd grondwater en de mate van beschaduwing. De milieuomstandigheden zijn dynamisch als gevolg van de periodieke droogval. Hetgeen resulteert in een meer droogte tolerante flora en fauna. De soortensamenstelling is weinig divers en heeft lage aantallen individuen.

Opvallend is het sporadisch voorkomen of ontbreken van veel soorten eendagsvliegen, platwormen, slakken en kreeftachtigen. Ook duikerwantsen en sommige vedermuggen zijn te verwachten. De meeste soorten leven op of in het sediment (gravers en kruipers). De voedselpiramide is kort en het aandeel predatoren is hoog, naast detritivore vergaarders en knippers. Belangrijke groepen zijn kevers, vedermuggen, vliegen en kevers.

De plantaardige productie (vooral diatomeeën) is gering mede als gevolg van de lage pH. Op kwelplekken komt Duizendknoopfonteinkruid voor.

5a1 Droogvallende, zwak zure tot neutrale, stromende tot snel stromende bronnen en bovenloopjes

Landschap

Droogvallende, zwak zure tot neutrale, stromende tot snel stromende bronnen en bovenloopjes komen voor in reliëfrijk gebied (op stuwwallen en in het heuvelland) hoog op de helling. Het verval is redelijk sterk tot sterk (1-30 m/km). Ze zijn van nature gelegen in loofbossen.

Hydrologie

Het type wordt gevoed door sterke kwel in nattere perioden, maar is ook ten dele regenwaterafhankelijk. De waterafvoer is in de winter redelijk tot sterk en in de zomer gering tot afwezig. De gemiddelde stroomsnelheid varieert van (0)10-35 cm/s. Jaarlijks treedt aan het eind van de zomer (gedurende maximaal 10 weken) droogval op. Het milieu heeft in de zomer daarom veel kenmerken van een semi-aquatisch milieu.

Structuren

Het lengteprofiel is relatief recht tot zwak kronkelend. Het dwarsprofiel is onregelmatig en asymmetrisch. De breedte – diepte verhouding is 1:0,16.

De bron bevindt zich in een of meerdere slenken of laagten en langs de oevers van de bovenloopjes. De bodem bestaat uit zand (soms met leem). De dimensies van de bronnen verschillen sterk. De bovenloopjes zijn smal en ondiep.

Door de verschillen in afvoer in de tijd ontstaat een wisseling in verschijningsvorm van deze droogvallende bronnen en bovenloopjes. In de zomer vormt zich in de bron een organisch pakket dat bijna het gehele brongebied bedekt. Het water in dergelijke pakketten heeft een wisselende doorstroming. Het organisch pakket is een spons van organisch materiaal vol water, die bij droogval geleidelijk opdroogt. Droogval leidt tot een sterke mineralisatie van het organisch materiaal. Ook de bovenloopjes zijn vooral bedekt met organisch materiaal. In winter en voorjaar treedt matig tot sterke afvoer op, die leidt tot het deels verdwijnen van het organisch pakket en tot het ontstaan van schoon gespoelde bronplekken en afvoerende bovenloopjes.

Chemie

De watersamenstelling is deels kwel en deels regenwaterafhankelijk. Het water is zwak zuur tot neutraal afhankelijk van het aandeel van afstromend regenwater ten opzichte van het toestromende kwelwater uit de basenarme tot matig basenrijke bodem. Het water is oligo- tot mesotroof en oligo- tot β -mesosaproob.

Biologie

Het uittredende water heeft een sterk wisselende temperatuur. Het water in de bovenloopjes neemt al snel de temperatuur van de lucht aan, afhankelijk van de hoeveelheid toegevoerd grondwater en de mate van beschaduwing. De milieumstandigheden zijn dynamisch als gevolg van de periodieke droogval. Hetgeen resulteert in een meer droogte tolerante flora en fauna. De soortensamenstelling is weinig divers en heeft matige aantallen individuen.

Eendagsvliegen, platwormen, slakken en kreeftachtigen komen slechts in lage aantallen voor. De meeste soorten leven op of in het sediment (gravers en kruipers). De voedselpiramide is relatief kort en bevat vooral predatoren, detritivore vergaarders en knippers. Belangrijke groepen zijn kevers, vedermuggen, vliegen en kevers.

Op kwelplekken komt Duizendknoopfonteinkruid en Vlottende bies voor. De plantaardige productie (vooral diatomeeën) is beperkt mede als gevolg van de lage pH.

5b1 Permanente, zwak zure tot neutrale, stromende tot snel stromende bronnen en bovenloopjes

Landschap

Permanente, zwak zure tot neutrale, stromende tot snel stromende bronnen en bovenloopjes komen voor in reliëfrijk gebied (op stuwwallen en in het heuvelland) hoog op de helling. Het verval is redelijk sterk tot sterk (1-30 m/km). Ze zijn van nature gelegen in loofbossen.

Hydrologie

Het type wordt gevoed door sterke kwel. De waterafvoer is in de winter sterk en in de zomer matig tot sterk. De gemiddelde stroomsnelheid varieert van 15-50 cm/s. Er is geen droogval.

Structuren

Het lengteprofiel is relatief recht tot matig kronkelend. Het dwarsprofiel is onregelmatig en asymmetrisch. De breedte – diepte verhouding is 1,0:16.

De bron bevindt zich in een of meerdere slenken of laagten en langs de oevers van de bovenloopjes. De bodem bestaat uit zand (soms met leem). De dimensies van de bronnen verschillen sterk. De bovenloopjes zijn smal en ondiep.

Door de matig tot sterke afvoer is gedurende het gehele jaar een mozaïek aanwezig van organische en minerale substraten in bronnen en bovenloopjes.

Chemie

De watersamenstelling is sterk kwelafhankelijk. Het water is zwak zuur tot neutraal afhankelijk van het aandeel van afstromend regenwater ten opzichte van het toestromende kwelwater uit de basenarme tot matig basenrijke bodem. Het water is oligo- tot mesotroof en oligo- tot β -mesosaproob.

Biologie

Het uittredende water heeft een weinig wisselende temperatuur. Het water in de bovenloopjes neemt echter in haar loop de temperatuur van de lucht aan, afhankelijk van

de mate van beschaduwing. De milieumstandigheden zijn minder dynamisch dan de voorgaande type hetgeen resulteert in een sterk stromingsminnende flora en fauna. De fauna is zeer divers. De meeste soorten leven op vaste substraten en in mindere mate het sediment. Veel soorten zijn stromingsminnend (rheobiont of rheofiel) en koud-stenotherm. Het betreft vooral detritivoren, detriti-herbivoren en herbivoren. Belangrijke groepen zijn kokerjuffers, kreeftachtigen en eendagsvliegen. De voedselpiramide is meer complex waarbij alle trofische niveaus aanwezig zijn.

Op plaatsen waar lokaal voldoende zonlicht doordringt, komt vegetatie tot ontwikkeling, zoals kleine fonteinkruiden, Bronmos, Klimopwaterranonkel en/of Kleine watereppe. De plantaardige productie (vooral diatomeeën) is gering tot matig mede als gevolg van beschaduwing.

5c1 Permanente, zwak zure tot neutrale, stromende tot snel stromende boven- en middenlopen

Landschap

Permanente, zwak zure tot neutrale, stromende tot snel stromende boven- en middenlopen komen voor in reliëfrij gebied (stuwwallen en het heuvelland) lager op de helling en bovenin het dal. Het verval is matig (1-6 m/km). Ze zijn van nature gelegen in loofbossen.

Hydrologie

De stromende tot snel stromende boven- en middenloop is permanent, heeft een relatief hoge afvoer en een gedempte dynamiek. De gemiddelde stroomsnelheid varieert van 15-50 cm/s. De voeding is afkomstig van regen- en vooral grondwater.

Structuren

De beekloop kronkelt zwak tot matig met korte bochten door het landschap en is tot 2 meter breed (plaatselijk tot 3 meter). Het dwarsprofiel is onregelmatig en asymmetrisch. De breedte – diepte verhouding is 1:0,22.

De beekbodem bevat zandbanken, overhangende oevers, aangeslibde, rustig stromende tot stilstaande plekken en plaatselijk stroomversnellingen met bankjes van fijn grind. Er is veel organisch materiaal aanwezig in de vorm van slibzones, detritusafzettingen, bladpakketten, takken en boomstammen. Dit leidt tot een rijk mozaïek aan habitats. De bodem bestaat uit zand en plaatselijk leem of veen.

Chemie

Het water is zwak zuur tot neutraal, meestal oligo- tot mesotroof en β -mesosaproob. De bovenloop wordt gevoed met matig mineralenarm tot mineralenrijker kwelwater.

Biologie

De flora en fauna is aangepast aan een gedempt dynamisch milieu.

De fauna bestaat uit stromingsminnende (rheobiont of rheofiel) en stromingstolerante soorten en sommige zijn koud-stenotherm. De fauna is zeer divers omvat vertegenwoordigers van alle trofische niveaus. Het rijke mozaïek aan relatief grootschalige habitats is voor de macrofaunagemeenschap. De meeste soorten leven op vaste substraten (grind en hout) en in mindere mate het sediment. Het betreft vooral detritivoren, detriti-herbivoren, herbivoren en carnivoren. Belangrijke groepen zijn kreeftachtigen, kriebelmuggen, eendagsvliegen, steenvliegen en kokerjuffers. In deze snelstromende boven- en middenlopen komen visgemeenschappen voor met veel stromingsminnende soorten, waarvan alle of sommige levensstadia gebonden zijn aan de hoofdstroom. Meer stroomafwaarts komen ook eurytope en limnofiele soorten voor.

De vegetatieontwikkeling in de middenloop is rijker dan de voorgaande typen en uit zich, daar waar schaduw minder effect heeft, in het pluksgewijs voorkomen van stromingsminnende waterplanten zoals waterranonkels en fonteinkruiden, met in de luwe delen helofyten en op zandbanken pioniersoorten.

5c2 Permanente, neutrale tot basische, stromende tot snel stromende boven- en middenlopen

Landschap

Permanente, neutrale tot basische, stromende tot snel stromende boven- en middenlopen komen voor in reliëfrij gebied (stuwwallen en het heuvelland) lager op de helling en bovenin het dal. Het verval is matig (1-6 m/km). Ze zijn van nature gelegen in loofbossen.

Hydrologie

De stromende tot snel stromende boven- en middenloop is permanent, heeft een hoge afvoer en een gedempte dynamiek. De gemiddelde stroomsnelheid varieert van 15-50 cm/s. De voeding is afkomstig van regen- en vooral grondwater.

Structuren

De beekloop kronkelt zwak tot matig met korte bochten door het landschap en is tot 2 meter breed (plaatselijk tot 3 meter). Het dwarsprofiel is onregelmatig en asymmetrisch. De breedte – diepte verhouding is 1:0,22.

De beekbodem bevat zandbanken, overhangende oevers, aangeslibde, rustig stromende tot stilstaande plekken en plaatselijk stroomversnellingen met bankjes van fijn grind. Er is veel organisch materiaal aanwezig in de vorm van slibzones, detritusafzettingen, bladpakketten, takken en boomstammen. Dit leidt tot een rijk mozaïek aan habitats. De bodem bestaat uit zand en plaatselijk leem of veen.

Chemie

Het water is neutraal tot basisch en meestal mesotroof en β -mesosaproob. De bovenloop wordt gevoed met neutraal tot basisch kwelwater.

Biologie

De flora en fauna is aangepast aan een gedempt dynamisch milieu.

De fauna bestaat uit stromingsminnende (rheobiont of rheofiel) en stromingstolerante soorten en sommige zijn koud-stenotherm. De fauna is zeer divers omvat vertegenwoordigers van alle trofische niveaus. Het rijke mozaïek aan relatief grootschalige habitats is voor de macrofaunagemeenschap. De meeste soorten leven op vaste substraten (grind en hout) en in mindere mate het sediment. Het betreft vooral detritivoren, detriti-herbivoren, herbivoren en carnivoren. Belangrijke groepen zijn kreeftachtigen, kriebelmuggen, eendagsvliegen, steenvliegen en kokerjuffers. In deze snelstromende boven- en middenlopen komen visgemeenschappen voor met veel stromingsminnende soorten, waarvan alle of sommige levensstadia gebonden zijn aan de hoofdstroom. Meer stroomafwaarts komen ook eurytope en limnofiele soorten voor.

De vegetatieontwikkeling in de middenloop is rijker en uit zich, daar waar schaduw minder effect heeft, in het pluksgewijs voorkomen van stromingsminnende waterplanten zoals Haaksterkroos, waterranonkels en fonteinkruiden, met in de luwe delen helofyten en op zandbanken pioniersoorten.

De visgemeenschap bestaat uit stromingsminnende soorten.

5c3 Beekmoeras (=1a1)

Landschap

Het infiltratiegebied met plaatselijk tijdelijk neutraal tot basisch, stilstaand tot zwak stromend ondiep water op maaiveld komt voor in hoge delen in zandgebieden en is regenwater gevoed met hooguit, zeer lokale kwel in natter periode uit direct aanliggende ruggen. Het verval is nagenoeg nihil. De laagten zijn met loofbos begroeid.

Hydrologie

Het betreft regenwater gevoede gebieden met periodiek langdurige inundatie met stilstaand of zwak stromend water (<5 cm/s). De gebieden staan 's winters blank en drogen 's zomers uit, met een (grond)waterpeilwisseling tot 60 cm. De gebieden voeren voornamelijk in de winter water af. Het oppervlak is sterk variërend en de open wateren zijn ondiep tot zeer ondiep.

Structuren

Het maaiveld vertoont is minder reliëfrijk, maar wel met hogere drogere delen en diepere permanent natte delen. De bodem is bedekt met organisch materiaal en er kan veenvorming optreden.

Chemie

De voeding met het zure, voedselarme regenwater in combinatie met de neutrale tot basische (lemige) zandbodem zorgt voor een neutraal tot basisch milieu. De hoge input van organisch materiaal zorgt voor veel afbraak en hoge ammoniumgehalten. Het water is meso- tot eutroof.

Biologie

De ondiepe open wateren worden gekarakteriseerd door extreme milieucondities. De hoge mate van decompositie, een stagnerende voedingsstoffenkringloop, de lage zuurstofgehalten en de wisselende temperaturen zorgen voor een milieu dat alleen geschikt is voor sterk (fysiologisch) aangepaste fauna. Waar stroming optreedt kunnen algemene stromingsminnende soorten voorkomen.

Dergelijke laagten betreffen van nature door zwarte els gedomineerde bossen. Veel plantensoorten zijn stikstofindicatoren.

5d1 Permanente, neutrale tot basische, stromende tot snel stromende bronnen en bovenloopjes

Landschap

Permanente, neutrale tot basische, stromende tot snel stromende bronnen en bovenloopjes komen voor in reliëfrijk gebied (op stuwwallen en in het heuvelland) hoog op de helling. Het verval is redelijk sterk tot sterk (1-30 m/km). Ze zijn van nature gelegen in loofbossen.

Hydrologie

Het type wordt gevoed door sterke kwel. De waterafvoer is in de winter sterk en in de zomer matig tot sterk. De gemiddelde stroomsnelheid varieert van 15-50 cm/s. Er is geen droogval.

Structuren

Het lengteprofiel is relatief recht tot matig kronkelend. Het dwarsprofiel is onregelmatig en asymmetrisch. De breedte – diepte verhouding is 1:0,16. De bron bevindt zich in een of meerdere slenken of laagten en langs de oevers van de bovenloopjes. De bodem bestaat uit zand (soms met leem). De dimensies van de bronnen verschillen sterk. De bovenloopjes zijn smal en ondiep. Door de matig tot sterke afvoer is gedurende het gehele jaar een mozaïek aanwezig van organische en minerale substraten in bronnen en bovenloopjes.

Chemie

De watersamenstelling is sterk kwelafhankelijk. Het water is neutraal tot basisch afhankelijk van het aandeel van afstromend regenwater ten opzichte van het toestromende kwelwater uit de basenrijke bodem. Het water is mesotroof en β -mesosaproob.

Biologie

Het uittredende water heeft een weinig wisselende temperatuur. Het water in de bovenloopjes neemt echter in haar loop de temperatuur van de lucht aan, afhankelijk van de mate van beschaduwing. De milieuomstandigheden zijn vrij dynamisch hetgeen resulteert in een sterk stromingsminnende flora en fauna. De fauna is zeer divers. De meeste soorten leven op vaste substraten en in mindere mate het sediment. Veel soorten zijn stromingsminnend (rheobiont of rheofiel) en koud-stenotherm. Het betreft vooral detritivoren, detriti-herbivoren en herbivoren. Belangrijke groepen zijn kokerjuffers, kreeftachtigen en eendagsvliegen. De voedselpiramide is meer complex waarbij alle trofische niveaus aanwezig zijn. De plantaardige productie (vooral diatomeeën) is hoog. Op plaatsen waar lokaal voldoende zonlicht doordringt, komt vegetatie tot ontwikkeling, zoals kleine fonteinkruiden, Bronmos en/of Kleine watereppe. De plantaardige productie (vooral diatomeeën) is matig mede als gevolg van beschaduwing.

Sterk hellende, lage beekdalen met kwel

Het hoofdtype komt voor in heuvelland met sterke regionale, basenrijke kwel, eventueel ook nog lokale kwel en met periodieke overstroming met slibrijk beekwater. De beken betreffen heuvellandbeken met matige tot snelle stroming.

6a1 Permanente, neutrale tot basische, snelstromende benedenlopen of riviertjes

Landschap

De permanente, neutrale tot basische, snelstromende benedenlopen of riviertjes midden- en benedenloop komen voor in heuvelland. Het verval is sterk (> 10 m/km). De beken zijn gedeeltelijk beschaduwde en bevinden zich in loofbos of in half open landschap.

Hydrologie

De permanente, neutrale tot basische, snelstromende benedenlopen of riviertjes midden- en benedenloop bezitten een sterke regionale, basenrijke kwel, en met eventueel ook nog lokale kwel en periodieke overstroming met slibrijk beekwater. De afvoer is hoog met een gedempte dynamiek. De gemiddelde stroomsnelheid is > 25 cm/s.

Structuren

Het profiel is zwak kronkelend tot kronkelend en is structuurrijk. In riviertjes met een relatief hoge afvoerdynamiek treedt zonder oeverbescherming verbreding van het stroombed op door laterale erosie en ontwikkeld zich een vlechtend lengteprofiel op de pleistocene basis. Het dwarsprofiel is onregelmatig, met zand en plaatselijk fijne grindbanken, overhangende oevers, aangeslibde tot zandige plekken met rustig stromend tot stilstaand water en plaatselijk stroomversnellingen met grof grind en keien. Er is organisch materiaal aanwezig in de vorm van slibzones, detritusafzettingen, bladpakketten, takken en boomstammen. Dit leidt tot een rijk mozaïek aan habitats. De bodem bestaat uit zand of leem met plaatselijk grindbanken. De breedte – diepte verhouding is 1:0,64.

Chemie

Het water is neutraal tot basisch en zwak eutroof. Het betreft een β -mesosaproob milieu.

Biologie

De kenmerkende organismen zijn zeer divers en bestaan deels uit stromingsminnende (rheobionte en rheofiele) soorten. Kenmerkend zijn de op de stroom meedeinende vegetatieplukken, oxyfiele macrofauna en stromingsgebonden vissen.

De vegetatieontwikkeling uit zich in het pleksgewijs voorkomen van waterplanten die zijn aangepast aan stroming en is het meest uitgesproken in minder beschaduwde trajecten. Een beeldbepalende soort is onder andere Vlottende waterranonkel.

De macrofaunagemeenschap is zeer divers. Belangrijke groepen zijn kevers, vedermuggen, kriebelmuggen, eendagsvliegen, libellen en kokerjuffers. De dieren bewonen het substraat en structuren in de stroming zoals bladdammen, bomen en takken en pleksgewijs ondergedoken waterplanten. Bijzondere vertegenwoordigers komen uit met name de groepen kokerjuffers, steenvliegen en haften.

In snelstromende midden- en benedenlopen op zand- en grindbodem bestaat de visgemeenschap uit stromingsminnende soorten, waarvan alle of sommige levensstadia gebonden zijn aan de hoofdstroom, en soorten uit allerlei biotopen. Dergelijke soorten zijn gebonden aan de hoofdstroom én afhankelijk van zijwateren die in permanente verbinding met de beek staan.