

1995-03\_beken-stromen

**stowa**

## Beken stromen

Leidraad voor  
ecologisch beekherstel

95-03  
WEW-06





Subgroep Beekherstel

Werkgroep  
Ecologisch  
Waterbeheer

## Beken stromen

### Leidraad voor ecologisch beekherstel

Piet Verdonschot (eindredactie)  
m.m.v.:  
Onneke Driessen  
Wim van der Hoek  
Jeroen de Klein  
Alfred Paarlberg  
Gertie Schmidt  
Joke Schot  
Dwight de Vries

95-03  
WEW-06

Publikaties en het publikatieoverzicht  
van de Stowa kunt u uitsluitend  
bestellen bij:  
Hageman Verpakkers BV  
Postbus 281  
2700 AC Zoetermeer  
tel. 079-611188  
fax 079-613927  
o.v.v. ISBN- of bestelnummer en  
een duidelijk afleveradres.  
ISBN 90.74476.26.0





## TEN GELEIDE

Een belangrijk terrein waarop een groot aantal leden van de *Werkgroep Ecologisch Waterbeheer* (WEW) actief is, zijn de stromende wateren. In begin negentiger jaren werden op veel plaatsen en niveaus ideeën en plannen gelanceerd om te komen tot het herstel van de beken in ons land. Verschillende leden van de WEW waren en zijn bij lokale ontwikkelingen met betrekking tot beekherstel betrokken. Een aantal leden van de WEW constateerde dat er voor het herstel van Nederlandse beekecosystemen op korte termijn behoefte is aan een duidelijke leidraad voor beekherstel waarin kennis en, eventueel recent opgedane, ervaringen zijn gebundeld. Hiertoe ontstond in maart 1992 de *subgroep beekherstel*.

In een breed platform waarin Vogelbescherming Nederland, Stichting Natuur en Milieu, Vereniging Natuurmonumenten en de subgroep beekherstel van de *Werkgroep Ecologisch Waterbeheer* (WEW) participeren, is in de loop van 1994 het idee uitgewerkt om een actieplan voor herstel van beekecosystemen in Nederland op te zetten, het project Ijsvogel. De leidraad die de subgroep beekherstel beoogde, geeft hiertoe een ecologisch-technische basis. Daarnaast vinden voorbereidingen plaats voor het opstellen van een vergelijkbaar bestuurlijk-juridisch document (STOWA in voorbereiding).

De subgroep beekherstel van de WEW koos als doelstelling zich in te zetten voor de inhoudelijke verbreding en verdieping van ecologische kennis over *herinrichting, beheer, beleid en theorie van beken in Nederland*. De subgroep koos als uitgangspunt "beken stromen (Tolkamp, 1980)". Een benadering van de beek waarbij de ecologie voorop staat. Beekherstel betekent voor de subgroep het verhogen van de ecologische waarden van een beeksysteem door het beïnvloeden van het ecologisch functioneren. De subgroep vindt dat vanuit de ecologie de keuzen dienen te worden gemaakt en de maatregelen te worden genomen omdat de ecologie het integrale kader levert waarop de effecten van het menselijk handelen kunnen worden afgewogen. Ecologie kan daarnaast op verschillende manieren aan verschillende functies worden gekoppeld.

De subgroep verkoos om als échte werkgroep aan de slag te gaan waarbij de bundeling van informatie voorop zou staan. Na ruim 2 jaar van grote inzet resulteerde dit in een omvangrijke compilatie van theoretische en praktische informatie aangaande beekherstel. Daarbij ontbraken enerzijds nog een evaluatie van de aanpak en het ecologisch rendement van reeds uitgevoerde beekherstelprojecten en was anderzijds nog een eindredactie nodig van het door de subgroep verzamelde materiaal, alvorens dit daadwerkelijk voor publikatie gereed was. Voor beide onderwerpen is een beroep gedaan op (mede-)financiering door de STOWA. Doordat dit bijzonder goed paste in thema 12 van het Onderzoeksplan 1995-1999 ('herstel van ecosystemen'), heeft de STOWA aan het Instituut voor Bos- en Natuuronderzoek (IBN-DLO), afdeling Aquatische Ecologie opdracht gegeven tot het uitvoeren van de bovengenoemde evaluatie en het inhoudelijk en tekstueel redigeren van de eindversie van de leidraad.

De *doelgroep* van de leidraad wordt gevormd door alle groeperingen (zoals waterbeheerders, Ministerie van LNV directie Natuurbeheer en LBL, SBB, gemeenten, provincies, waterleidingbedrijven en particulieren) betrokken bij beleid, beheer en uitvoering van beekherstel. Er is binnen deze doelgroep duidelijk behoefte aan praktische adviezen. De leidraad wil daartoe de ecologische criteria en randvoorwaarden leveren in de vorm van pragmatische handreikingen.

Het voorliggende rapport beoogt een *leidraad* te zijn waaraan ideeën kunnen worden ontleend om te komen tot ecologisch verantwoorde beekherstelplannen en -maatregelen. De STOWA en de WEW hopen dat dit werk een waardevolle bijdrage levert aan het project Ijsvogel dat gericht is op het behoud en herstel van het beekmilieu in Nederland.



Een handleiding als deze kan alleen het produkt zijn van de inzet van een grote groep mensen. Het werk is voornamelijk ontstaan uit het enthousiasme van deskundigen die daarvoor veel van hun 'eigen' tijd hebben geïnvesteerd. Dankzij deze inzet is dit produkt tot stand gekomen. De volgende personen worden hiervoor bedankt:

Naam	Hoofdstuk /Functie	Instantie
Ronald Buskens	2	Grontmij
Onneke Driessen*	secretaris	Zuiveringschap Limburg
Harm Duel	1	TNO-beleidsstudies
Hein Elemans	2	Waterschap De Dommel
Wim van der Hoek*	1,3,5	EcoQuest
Bert Higler	3	Instituut voor Bos- en Natuuronderzoek
Jeroen de Klein*	4	TAUW Civiel en Bouw BV
Roy Laseroms	1,3	Ministerie LNV, Dienst LBL
Carleen Mesters	1	Kiwa N.V. Onderzoek en Advies
Bert Moonen	4	Zuiveringschap West-Overijssel
Henk Mosterdijk	1	Buro BIOPT
Alfred Paarlberg*	2,6	Waterschap Peel & Maasvallei
Edwin Peeters	4	Landbouwuniversiteit Wageningen
Robbert de Ridder	1	Ministerie LNV, Dienst LBL
Mirjam Ruigrok	3	Zuiveringsschap Oostelijk Gelderland
Erik Schellekens	3	LB&P
Gertie Schmidt*	3	Waterschap Regge & Dinkel
Joke Schot*	5	Instituut voor Bos- en Natuuronderzoek
Martin Soesbergen	2,5	AquaSense
Reinder Torenbeek	5	Zuiveringsschap Drenthe
Henk Vallenduuk	4	Adviesburo Vallenduuk
Peter Veen	4	IWACO
Frans Verdonschot	3	Waterschap Peel & Maasvallei
Piet Verdonschot	voorzitter, 1-6	Instituut voor Bos- en Natuuronderzoek
Dwight de Vries*	5	Zuiveringsbeheer Provincie Groningen
Guido Waajen	3	Hoogheemraadschap West-Brabant
Richard Welling	3	Nederlands Normalisatie Instituut
Nic Zuurdeeg	3	Informatie en KennisCentrum - N

Sjoerd Klapwijk (STOWA) en Michèle van der Vlies (Project IJsvogel) worden bedankt voor hun redactionele inbreng. Verder gaat speciale dank uit naar Fieke van Dijk en Edith Jeurninck van het Zuiveringschap Limburg, die op hun eigen efficiënte wijze de werkzaamheden van de secretaris steeds ondersteunden. Joke Schot (IBN-DLO) verzorgde de tekeningen.

De leden van de redactiegroep (\*) vormden tevens de begeleidingscommissie van de STOWA-opdracht aan het IBN-DLO.

Utrecht, mei 1995

De directeur van de STOWA

drs. J.F. Noorthoorn van der Kruijff

## INHOUDSOPGAVE

TEN GELEIDE	3
INHOUDSOPGAVE	5
INLEIDING	9
Aanleiding	9
Doel	10
Leeswijzer	10
<b>1. BEEKECOLOGIE; THEORETISCHE ACHTERGRONDEN</b>	<b>13</b>
1.1 Systeembeschrijving	13
1.1.1 Korte ecologische systeembeschrijving	13
1.1.2 Het 5-S-model	15
1.2 Systeemvoorwaarden	18
1.2.1 Klimaat; temperatuur en neerslag	18
1.2.2 Geologie, geomorfologie en hoogteverschillen	19
1.2.3 Bodem	21
1.2.4 Menselijke beïnvloedingen op systeemvoorwaarden	22
1.3 Stroming	23
1.3.1 Inleiding	23
1.3.2 Grondwater	24
1.3.3 Oppervlaktewater hydrologie	27
1.3.4 Oppervlaktewater hydraulica	29
1.3.5 Menselijke beïnvloedingen op stroming	30
1.4 Structuren	31
1.4.1 Tracé	31
1.4.2 Bedding en substraatmozaïeken	35
1.4.3 Menselijke beïnvloedingen op structuren	41
1.5 Stoffen	42
1.5.1 Inleiding	42
1.5.2 Zuurstof en organisch materiaal	42
1.5.3 Voedingsstoffen	45
1.5.4 Macro-ionen	47
1.5.5 Microverontreinigingen	48
1.5.6 Stoffenbalans	50
1.5.7 Menselijke beïnvloedingen op stoffen	50
1.6 Soorten	54
1.6.1 Inleiding	54
1.6.2 Soorten en systeemvoorwaarden	55
1.6.3 Soorten en stroming	56
1.6.4 Soorten en structuren	57
1.6.5 Soorten en stoffen	58
1.6.6 Soorten in het stroomgebied	59
1.6.7 Menselijke beïnvloedingen op soorten	62
1.7 Referenties en streefbeelden	63
<b>2. HISTORISCHE ECOLOGIE</b>	<b>67</b>
2.1 Inleiding	67
2.2 Bronnen van informatie	68
2.2.1 Kaarten	68
2.2.2 Archieven	70
2.2.3 Literatuur	73
2.2.4 Collecties	75
2.2.5 Foto- en satellietbeelden	76
2.2.6 Overige bronnen	76



2.3	Praktijktoepassingen	76
2.3.1	Inleiding	76
2.3.2	Projecten	77
2.3.3	Evaluatie interviews	81
2.3.4	Historische informatie en beekherstel in het buitenland	82
2.4	Historische ecologie in het 5-S-model	82
2.4.1	Historische informatie en systeemvoorwaarden	82
2.4.2	Historische informatie en stroming	83
2.4.3	Historische informatie en structuren	83
2.4.4	Historische informatie en stoffen	84
2.4.5	Historische informatie en soorten	84
2.4.6	Toepassing van historische informatie in de praktijk	84
<b>3.</b>	<b>BEEKHERSTELMAATREGELEN</b>	<b>89</b>
3.1	Inleiding	89
3.2	Maatregelen ten behoeve van stroming	89
3.2.1	Inleiding	89
3.2.2	Verwijderen drainage	90
3.2.3	Bevorderen infiltratie	91
3.2.4	Wijzigen wateronttrekking	92
3.2.5	Ontwikkelen bos	93
3.2.6	Aanleggen hydrologische buffer	93
3.2.7	Gebruiken gezuiverd effluent	94
3.2.8	Ontwikkelen inundatiezone	94
3.2.9	Vergroten retentie	95
3.2.10	Herstellen oorspronkelijk stroomgebied	96
3.2.11	Verwijderen stuw	97
3.2.12	Aanleggen nevengeul	98
3.3	Maatregelen ten behoeve van structuren	99
3.3.1	Inleiding	99
3.3.2	Passief ontwikkelen meanders/niets doen	100
3.3.3	Graven meanders	101
3.3.4	Actief ontwikkelen (micro-)meanders	105
3.3.5	Verkleinen profiel	105
3.3.6	Verwijderen profielverdediging	106
3.3.7	Aanleggen asymmetrisch profiel	107
3.3.8	Aanplanten houtwal	107
3.3.9	Aanleggen twee-fasen bedding (accoladeprofiel)	109
3.3.10	Aanleggen stroomkuilen en zandbanken	110
3.3.11	Aanbrengen stoorobjecten	111
3.3.12	Aanleggen soortgerichte structuur	112
3.3.13	Inrichten steile en overhangende oever	113
3.3.14	Aanleggen vispassage	113
3.3.15	Aanleggen poelen	114
3.3.16	Aankoppelen oude meander	114
3.4	Maatregelen ten behoeve van stoffen	115
3.4.1	Inleiding	115
3.4.2	Verminderen meststoffentoevoer	116
3.4.3	Opheffen huishoudelijke lozing	117
3.4.4	Opheffen overstort	117
3.4.5	Verbeteren RWZI in kwalitatieve zin	117
3.4.6	Scheiden waterstromen	118
3.4.7	Verlagen maaiveld	119
3.4.8	Aanleggen helofytenfilter	119
3.4.9	Aanleggen horse-shoe wetland	120
3.4.10	Aanleggen bufferzone	121
3.5	Toepassen van beekherstelmaatregelen	121

3.6	Overige beekherstelmaatregelen	123
3.6.1	Herintroduceren van soorten	123
3.6.2	Reguleren recreatief medegebruik	124
3.7	Ecologische richtlijnen voor ontwerp en onderhoud	125
3.7.1	Inleiding	125
3.7.2	Grondwater	125
3.7.3	Oppervlaktewater hydrologie	128
3.7.4	Oppervlaktewater hydraulica	129
3.7.5	Tracé en bedding	129
3.7.6	Ecologisch onderhoud en beheer	129
<b>4.</b>	<b>MONITORING</b>	<b>135</b>
4.1	Inleiding	135
4.2	Het monitoringsprogramma	139
4.2.1	Keuze van te monitoren factoren	139
4.2.2	Keuze van meetfrequentie en verwerkingstechnieken	140
4.3	Monitoring van systeemvoorwaarden	141
4.4	Monitoring van stroming	142
4.4.1	Inleiding	142
4.4.2	Grondwater	142
4.4.3	Oppervlaktewater hydrologie	144
4.4.4	Oppervlaktewater hydraulica	145
4.5	Monitoring van structuren	146
4.5.1	Inleiding	146
4.5.2	Tracé	146
4.5.3	Bedding	148
4.5.4	Substraatmozaïeken	149
4.6	Monitoring van stoffen	150
4.6.1	Inleiding	150
4.6.2	Zuurstof en organisch materiaal	152
4.6.3	Voedingsstoffen	152
4.6.4	Macro-ionen	153
4.6.5	Microverontreinigingen	153
4.7	Monitoring van soorten	154
4.7.1	Macrofyten	154
4.7.2	Macrofauna	157
4.7.3	Diatomeeën	159
4.7.4	Vissen	160
4.7.5	Overige organismengroepen	160
4.8	Evaluatie	161
<b>5.</b>	<b>INVENTARISATIE EN EVALUATIE VAN BEEKHERSTELPLANNEN IN NEDERLAND</b>	<b>163</b>
5.1	Inleiding	163
5.2	Enquête van beekherstelplannen	163
5.2.1	Doel van de enquête	163
5.2.2	Werkwijze van de enquête	163
5.2.3	Resultaten van de enquête	164
5.2.4	Evaluatie van de enquête	172
5.3	Evaluatie van ecologische uitgangspunten in bestaande beekherstelplannen	173
5.3.1	Aanpak van de evaluatie	173
5.3.2	Gebuurde rapporten	175
5.3.3	Toetsingskader	176
5.3.4	Analyse van rapporten	177
5.3.5	Vergelijking analyse van rapporten met toetsingskader	182

5.4	Evaluatie van bestaande monitoringsprogramma's	184
5.4.1	<i>Inleiding</i>	184
5.4.2	Resultaten	185
5.4.3	Ecologische effectiviteit en rendement	195
5.4.4	Conclusies en aanbevelingen	196
<b>6.</b>	<b>LEIDRAAD VOOR BEEKHERSTELPROJECTEN</b>	199
6.1	Inleiding	199
6.2	Beleidsvoorbereiding	200
6.3	Algemeen ecologische uitgangspunten voor beeksystemen	202
6.4	Aanpak op hoofdlijnen (checklist)	205
<b>7.</b>	<b>LITERATUUR</b>	215
<b>8.</b>	<b>TERMENLIJST</b>	229



## INLEIDING

### Aanleiding

Op dit moment bestaan en ontstaan op allerlei beleids- en beheersniveaus plannen (inclusief geldstromen) voor herinrichting, restauratie en herstel van beken. Op circa 170 locaties in Nederland (anno 1993) zijn beekherstelprojecten uitgevoerd of worden plannen ontwikkeld die een verbetering van het beekstelsel voorstaan. Er gebeurt veel op het gebied van beekherstel, hetgeen een uiterst positieve ontwikkeling is.

Het is echter ook duidelijk dat het allemaal niet zo eenvoudig is, dat het niet zo snel tot uitvoering van maatregelen komt als gewenst zou zijn, dat er nogal wat bestuurlijke en/of juridische belemmeringen zijn en dat bij de ecologische relevantie van sommige projecten vraagtekens geplaatst kunnen worden. Veel herstelprojecten hebben als doel de ecologische kwaliteit van de betreffende beken te vergroten. Hiertoe worden vaak maatregelen voorgesteld aangaande de morfologie van de beekbedding zoals het graven van meanders, het aanleggen van driehoekskribben, het aanbrengen van plas-dras bermen en/of het creëren van flauwe en steile oevers. Hoe het met het ecologisch rendement van deze maatregelen staat is echter nog nauwelijks onderzocht of geëvalueerd. Daarnaast zijn de vereiste randvoorwaarden vaak onduidelijk omschreven en niet nader gekwantificeerd.

Vaak lift herstel van beken mee met maatregelen die de waterbeheerder neemt uitgaande van de traditionele taken zoals de combinatie van het wijzigen van de afvoercapaciteit van een beek of het uitvoeren van achterstallig onderhoud met een landschappelijke verfraaiing. Dat kan positief uitwerken wanneer de juiste criteria worden gehanteerd en er rekening wordt gehouden met ecologische processen en randvoorwaarden. Het kan vanuit ecologisch perspectief ook mis gaan, wanneer er vooral landschappelijk of cultuurtechnisch wordt gekeken. Die verwarring dient te worden voorkomen. Ecologisch verantwoorde oplossingen behoeven niet tot hogere kosten te leiden en kunnen tot een veel hoger rendement leiden wanneer tevoren meer rekening wordt gehouden met de eisen die een beekecosysteem zelf stelt aan morfologie, hydrologie, waterkwaliteit, sedimentsamenstelling, beekbegeleidende vegetatie, etc.

Veel van de huidige plannen omvatten niet het gehele stroomgebied maar slechts trajecten van beken en riviertjes. Tegenstellingen in gebruiksfuncties maken een volledige stroomgebiedbenadering vaak ook onmogelijk. Zo worden veel plannen in een middenloop uitgevoerd om aldaar de ecologische kwaliteit te vergroten terwijl het bovenstroomse gedeelte onder dezelfde hydrologische en fysisch-chemische beïnvloeding blijft staan als gevolg van bijvoorbeeld landbouwkundig en/of stedelijk gebruik. Er leeft duidelijk een behoefte om het ecologische rendement van plannen te kunnen inschatten of zelfs te kwantificeren. Ook is veel vraag naar een zekere kwantificering van de effectiviteit van de benodigde maatregelen (bufferbeleid, hydrologische aanpassingen).

Dit alles overziend kan worden geconstateerd dat er voor het herstel van Nederlandse beekecosystemen behoefte is aan een duidelijke handleiding waarin kennis en, eventueel recent opgedane, ervaringen zijn opgenomen en waaraan ideeën kunnen worden ontleend om te komen tot ecologisch verantwoorde plannen en maatregelen. Met andere woorden het is gewenst om voor de praktische uitvoering het 'ecologisch basisgereedschap' te leveren. Dit handboek tracht hierin te voorzien.

Van belang is dat de ecologie in projecten voor herstel van beekecosystemen het uitgangspunt vormt. Daarbij hoort een goed uitgewerkte checklist voor planvorming.



Ecologische kennis van beken resulterend in pragmatische handreikingen dient de keuze te onderbouwen van te hanteren methodieken en technieken zoals keuze van de vorm van nieuwe tracés, inrichting van oevers, beplanting van oevers en oeverzones of het spontaan laten ontwikkelen van vegetaties, gewenste hydrologie, aanleg van paaiplaatsen, 'meanders', steile ijsvogelbroedwanden, enzovoort.

Om deze wens vorm te geven is door de subgroep beekherstel Werkgroep Ecologisch Waterbeheer een zestal themagroepen geformeerd. Deze themagroepen hebben ten behoeve van dit boek vooral aandacht gegeven aan het bekecosysteem en in mindere mate op het beekdal- en beekflanksysteem alhoewel de invloed van beide laatste op de eerste als essentieel onderdeel is meegenomen. Genoemde themagroepen hebben de volgende onderwerpen aangepakt;

- een inventarisatie van afgesloten, lopende en geplande projecten,
- het analyseren en evalueren van bestaande projecten op ecologische criteria,
- \* het in beeld brengen van mogelijke beekherstelmaatregelen, hun mogelijkheden en beperkingen,
- het beschrijven van het ecologisch functioneren van het beekstelsysteem met bijzondere aandacht voor de hydrologie en de hydraulica,
- het nagaan van de mogelijkheden voor het gebruik van historische gegevens en
- het opstellen van een overzicht van methoden voor het ecologisch monitoren, waarderen, beoordelen, en evalueren.

## Doel

Het doel van de subgroep beekherstel van de Werkgroep Ecologisch Waterbeheer (WEW) is het opstellen van een ecologische leidraad voor het herstel van bekecosystemen. De basis hiervan is het beschrijven van de ecologische theoretische achtergronden, van beoordelings- en/of evaluatiesystemen, van de toepassingen van historische gegevens, van maatregelen en van de ervaringen van in uitvoering zijnde of uitgevoerde projecten.

## Leeswijzer

*Hoofdstuk 1* bevat een algemene bekecosysteembeschrijving waarin patronen en processen in een beekstelsysteem in ruimte en tijd beschreven worden. Dit hoofdstuk 1 is een theoretisch verhaal waarin de ecologische achtergronden en overwegingen van criteria, randvoorwaarden en maatregelen worden gegeven. De hieruit voortvloeiende praktische consequenties worden in algemene termen geformuleerd in de vorm van ecologische randvoorwaarden. De basis van deze systeembeschrijving vormt het **5-S-model** (paragraaf 1.1) bestaande uit de vijf belangrijkste groepen van factoren die het beekmilieu bepalen, namelijk **S**ysteemvoorwaarden (paragraaf 1.2), **S**troming (paragraaf 1.3), **S**tructuren (paragraaf 1.4), **S**toffen (paragraaf 1.5) en **S**oorten (paragraaf 1.6). In paragraaf 1.7 komen referenties en streefbeelden aan bod.

In *Hoofdstuk 2* wordt de meerwaarde van het gebruik van historische gegevens bij beekherstelprojecten geëvalueerd en worden hiertoe mogelijke bronnen van informatie en werkwijzen aangegeven. Na een algemene inleiding (paragraaf 2.1) waarin wordt uitgelegd wat historische ecologie inhoudt, komen de belangrijkste bronnen van informatie aan bod (paragraaf 2.2). In paragraaf 2.3 wordt aan de hand van voorbeelden ingegaan op de toepassing in beekherstelprojecten in de praktijk. In paragraaf 2.4 wordt tenslotte de rol van de historische ecologie in het 5-S-model geschetst en worden aanbevelingen gedaan.



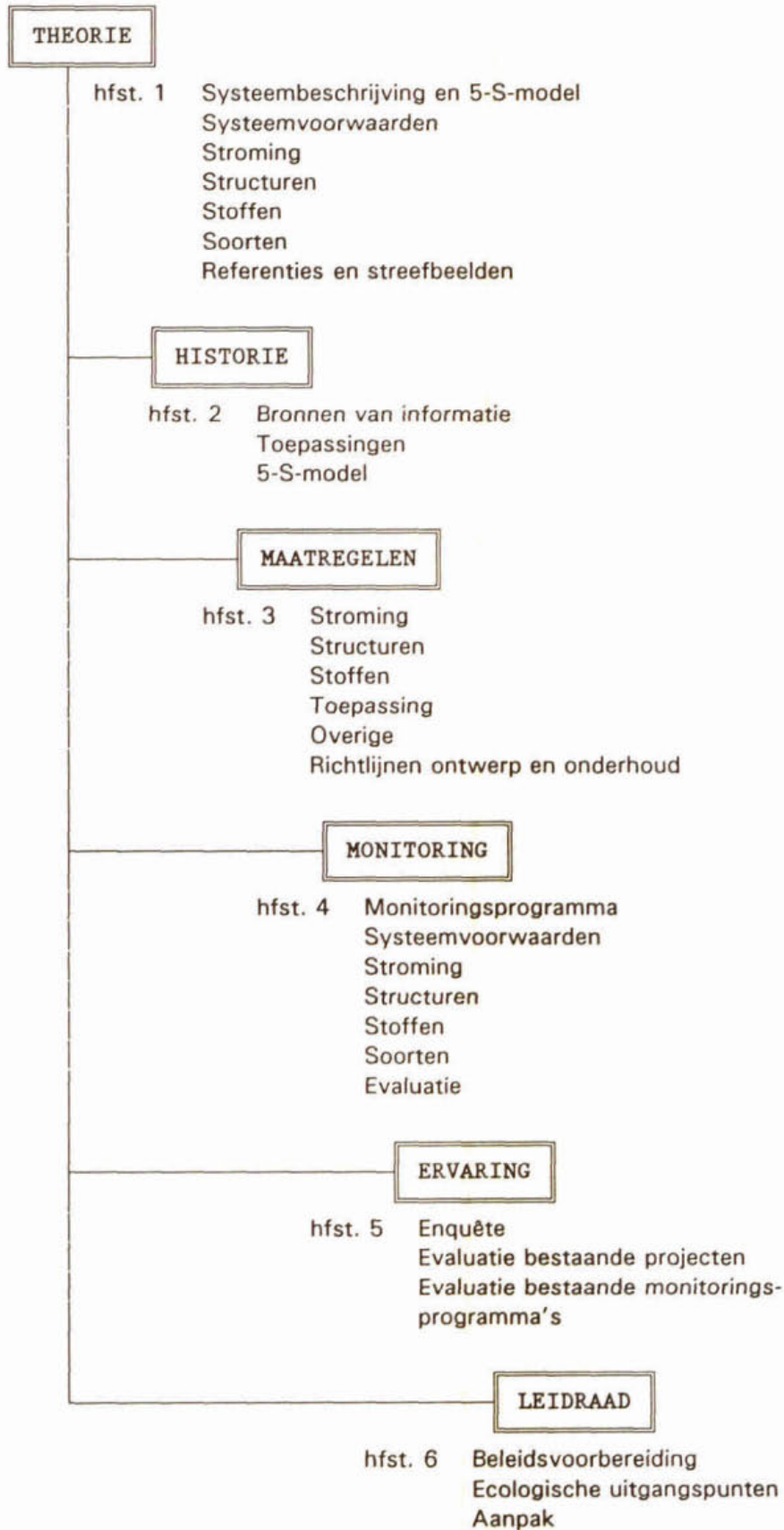
Knelpunten in beekherstelplannen vragen om mogelijke oplossingen en maatregelen. Het inventariseren en beschrijven van het totaal aan mogelijke herinrichtings- en beheersmaatregelen ten aanzien van beekherstelprojecten is neergelegd in *hoofdstuk 3*. In dit hoofdstuk zijn eveneens criteria aangegeven voor het al dan niet toepassen van maatregelen. Na de inleiding in paragraaf 3.1 worden de eigenlijke inrichtings- en beheersmaatregelen in de volgende paragrafen weergegeven. In iedere paragraaf wordt de groep maatregelen ingeleid, worden de maatregelen zelf beschreven en wordt de ecologische effectiviteit aangegeven. Het betreft de groepen maatregelen gerelateerd aan Stroming (paragraaf 3.2), aan Structuren (paragraaf 3.3) en aan Stoffen (paragraaf 3.4). In paragraaf 3.5 wordt ingegaan op het toepassen van maatregelen in de praktijk. Maatregelen gerelateerd aan Soorten en aan recreatie komen in paragraaf 3.6 aan bod. Tenslotte wordt nader ingegaan op de huidige en vanuit de ecologie gewenste droogleggings- en afwateringsnormen (paragraaf 3.7).

Om een probleem aan te pakken en om ontwikkelingen te volgen is informatie nodig. Bestaande methoden om beken te inventariseren, beoordelen, waarderen en monitoren worden geïnventariseerd en geëvalueerd in *hoofdstuk 4*. Naast de biota worden ook de abiota meegenomen. In dit hoofdstuk wordt getracht na te gaan om welke factoren (welke methoden of systematieken), om welke werkwijzen en waarom (de criteria achter de keuzen en afwegingen) het bij het monitoren van beekherstel gaat. Na een inleiding (paragraaf 4.1) wordt het monitoringsprogramma besproken (paragraaf 4.2). Daarna volgen meetmethoden voor Systeemvoorwaarden (paragraaf 4.3), Stroming (paragraaf 4.4), Structuren (paragraaf 4.5), Stoffen (paragraaf 4.6) en Soorten (paragraaf 4.7). Tenslotte wordt kort ingegaan op de evaluatie (paragraaf 4.8).

Planvorming heeft veel baat bij ervaringen van anderen. In *hoofdstuk 5* wordt een inventarisatie van lopende (en reeds afgesloten) beekherstelprojecten in Nederland (circa 170) gepresenteerd en wordt een 18-tal projecten nader en geëvalueerd. De resultaten geven inzicht in de huidige stand van zaken, geven aan waar voldoende en onvoldoende kennis over bestaat en geven inzicht in en praktische mogelijkheden om ecologische beekontwikkeling vorm te geven. Na een inleiding (paragraaf 5.1) wordt in paragraaf 5.2 ingegaan op de enquête. Hier wordt de werkwijze verklaard en komen kader, object, documentatie, herinrichting, problemen en evaluatie aan de orde. Van 18 geselecteerde projecten voor beekherstel zijn de gehanteerde uitgangspunten bij een aantal keuzemomenten geïnventariseerd en geëvalueerd. De resultaten zijn weergegeven in paragraaf 5.3. Er wordt ingegaan op de keuzen die gemaakt zijn rond de te herstellen beek of het beektraject, de keuze van de doelstellingen van het herstelproces, het onderzoek dat vooraf heeft plaats gevonden, de criteria en keuzen van maatregelen en de aspecten van monitoring en evaluatie.

*Hoofdstuk 6* geeft een leidraad voor een beekherstelplan. Dit hoofdstuk tracht een synthese van de inhoud van de hoofdstukken 1 tot en met 5 te geven en dient als checklist voor het opstellen van een plan van aanpak. In dit hoofdstuk worden puntsgewijs ecologisch relevante criteria en keuzemogelijkheden aangegeven. De algemene uitgangspunten worden geschetst in paragraaf 6.1. In paragraaf 6.2 wordt de beleidsvoorbereiding belicht. Elk ecologisch beekherstelproject start vanuit een aantal algemeen ecologische uitgangspunten (paragraaf 6.3). De relevante onderdelen van een plan van aanpak zijn vervolgens gerangschikt in paragraaf 6.4. Zo komen achtereenvolgens de probleemanalyse, het ontwerp, de uitvoering, de evaluatie en het natraject aan de orde. In totaal worden 14 stappen uitgewerkt als ruggesgraat voor de aanpak van een ecologisch verantwoord beekherstelproject.

## LEESWIJZER





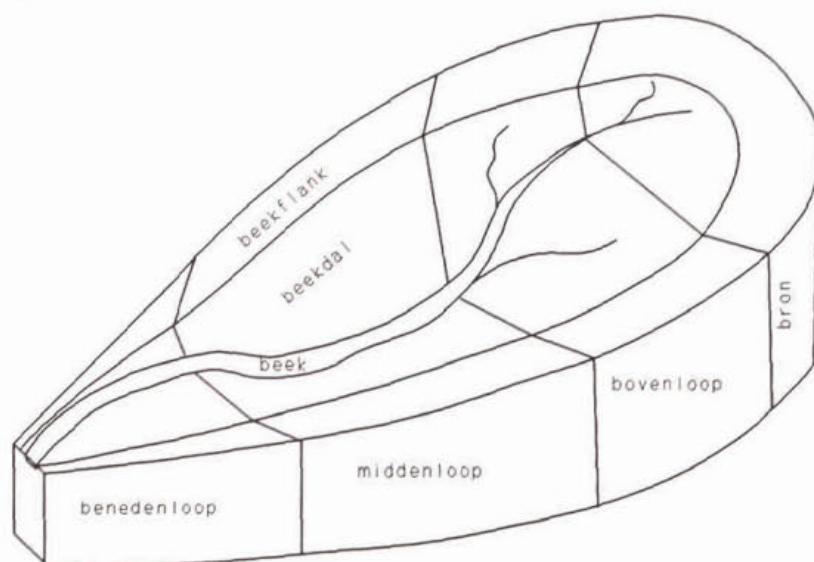
## 1. BEEKECOLOGIE; THEORETISCHE ACHTERGRONDEN

### 1.1 Systeembeschrijving

#### 1.1.1 Korte ecologische systeembeschrijving

Beekherstelprojecten blijven vaak beperkt tot lokaties in of kleine trajecten van een beek en worden uitgevoerd binnen het bestek van één of enkele jaren. De planperiode van een beekherstelproject bedraagt vaak slechts 5 jaar. Het stroomgebied komt meestal niet aan bod en van een uitgewerkte lange-termijnvisie is vaak geen sprake. Ecologische processen strekken zich echter over het gehele stroomgebied uit en spelen vaak over lange tijd. Het gehele stroomgebied werkt conditionerend voor het beekecosysteem 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.

Uitgaand van de ecologie van een beek betekent dit het benaderen van een beek vanuit grote ruimtelijke verbanden en over een lange termijn. Voor een beter begrip van dit essentiële uitgangspunt wordt in deze paragraaf een korte ecologische systeembeschrijving gegeven.

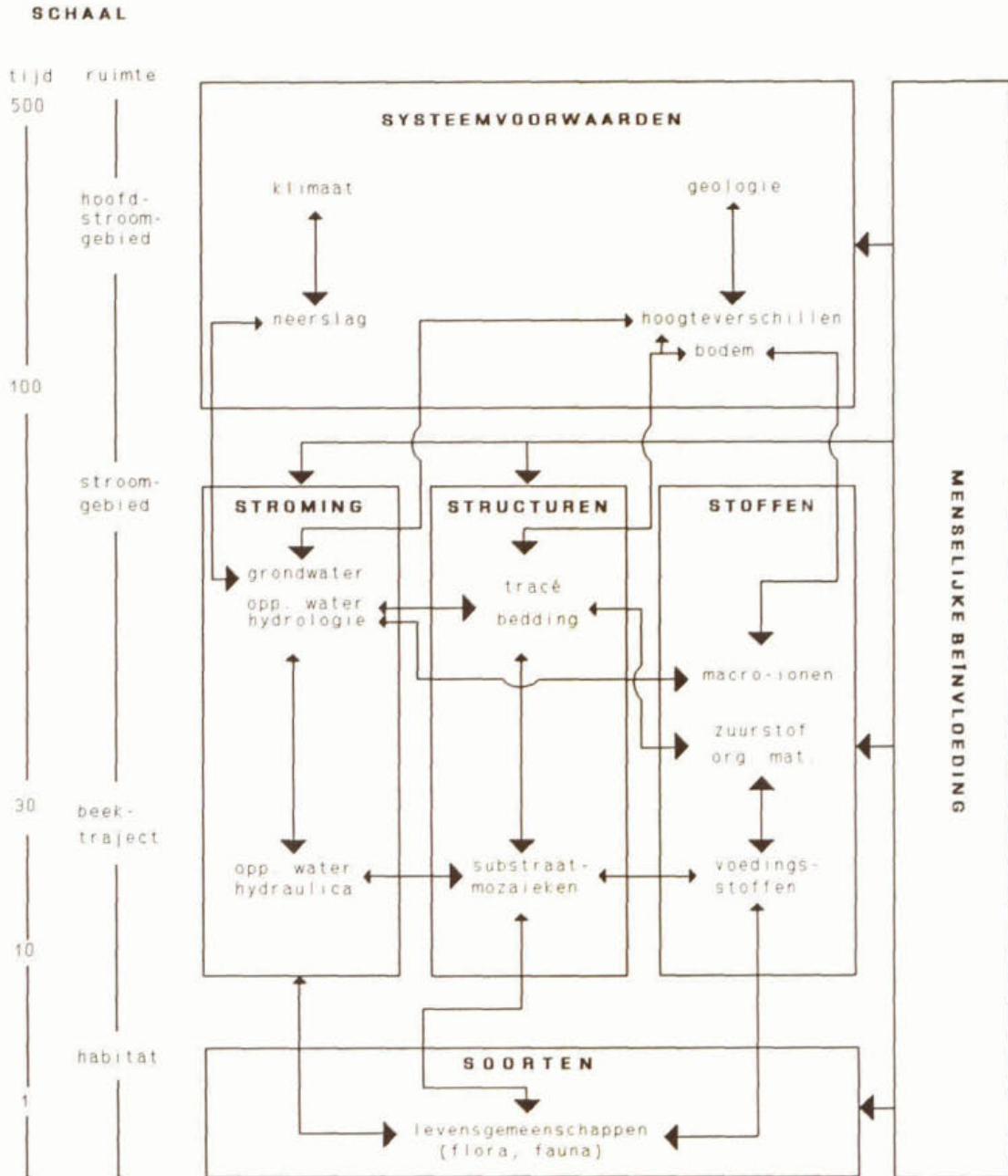


Figuur 1.1 Het stroomgebied.

De beek zelf en haar biotische componenten worden aangeduid als het beekecosysteem, de onmiddellijke abiotische en biotische omgeving van de beek als het beekdalecosysteem en de ruimere omgeving als het beekflankecosysteem. De overgang tussen beekdal en beekflank is vaak herkenbaar aan een verschil in het transversaal terreinverhang. De beekflank is begrensd door de grens van het stroomgebied. Het beek-, beekdal- en beekflankecosysteem zijn nauw verweven en vormen tezamen het ecosysteem van het stroomgebied (figuur 1.1).

Het stroomgebied is het gebied van waaruit een beek haar water ontvangt. Het water stroomt in het stroomgebied via de flank en het beekdal, boven- en ondergronds af naar de beek die het uit het stroomgebied afvoert. De beek is de ader van het stroomgebied en de kenmerken van het stroomgebied bepalen de kenmerken van de beek.





*Figuur 1.2 Ecologische factorcomplexen, hun samenhang en de menselijke beïnvloedingen in het beek(dal)stelsel.*

Omdat één van de belangrijkste kenmerken van een beek de afstroming van water in één richting is, en deze waterstroom gaande naar benedenstrooms toeneemt, kunnen zones in het stroomgebied worden onderscheiden, namelijk; het brongebied, de bovenloop, de middenloop en de benedenloop (figuur 1.1). Alles wat er gebeurt in een stroomgebied is van invloed op ten eerste de hoeveelheid water en de fysische (stroomsnelheid, temperatuur, en dergelijke) en chemische (calcium, fosfaat, en dergelijke) kenmerken van het water in de beek en ten tweede op de samenstelling van de beeklevensgemeenschap. De toestand van de beek zelf is daardoor een graadmeter voor de toestand van het gehele stroomgebied.

Stroomgebieden zijn grote, samenhangende systemen. Ingrepen op een bepaalde plaats in een stroomgebied hebben vaak gevolgen op andere plaatsen (vooral stroomafwaarts). Ecologisch beekstelsysteemherstel is daarom alleen mogelijk als het ecosysteem van stroomgebied, flank-dal-beek, als een integraal geheel wordt bekeken. Het basisuitgangspunt voor een beekecosysteem is dat alle ogenschijnlijke scheidingen, tussen land en water, tussen beekzones en tussen water, bodem en oever, worden gezien als pragmatisch gekozen. Het zijn allemaal onderdelen van één continuüm. Er zijn tussen deze eenheden allerlei interacties aanwezig. Deze bepalen de uiteindelijke toestand.

Het ecologisch functioneren van een beekstelsysteem wordt onder natuurlijke omstandigheden in hoofdlijn bepaald door de factoren klimaat en geologie. Het klimaat bepaalt de toevoer van energie (bijvoorbeeld zonlicht) en water naar het beekstelsysteem. De geologische geschiedenis bepaalt de hoogteverschillen, het bodemmateriaal en de daarin aanwezige mineralen. Op basis van de hoogteverschillen kunnen in Nederland twee hoofdtypen worden onderscheiden. De snelstromende of heuvellandbeken gelegen in het pre-pleistocene gebied dat hoofdzakelijk beperkt is tot Zuid-Limburg en een overgangszone in het oosten van Twente en de Achterhoek, en de langzaam stromende of laaglandbeken gelegen in het pleistocene gebied. Het bodemmateriaal bestaat in deze beeksystemen meestal uit zand en soms beekveen of grind.

### 1.1.2 Het 5-S-model

De opbouw van de ecologische systeembeschrijving is gebaseerd op de volgende vijf factorcomplexen; Systeemvoorwaarden - Stroming - Structuren - Stoffen - Soorten. De factoren en processen en hun onderlinge samenhang (inclusief de terugkoppelingsmechanismen) van deze 5 "S-en" kunnen modelmatig worden weergegeven in het zogenaamde 5-S-model (figuur 1.2).

#### Systeemvoorwaarden

Het klimaat, de geologie en de geomorfologie spelen op een hoog ruimtelijk, temporeel en procesmatig schaalniveau (figuur 1.2). Op ditzelfde niveau spelen ook de gevolgen van een aantal door menselijke activiteiten beïnvloede factoren zoals atmosferische depositie en klimaatveranderingen. Een beekherstelplan richt zich meestal niet direct op dit schaalniveau maar in toekomstige plannen dient wel rekening te worden gehouden met effecten van bijvoorbeeld atmosferische depositie, ontgrondingen, stedenbouw en grootschalige egalisaties. De factoren en processen samenhangend met klimaat (temperatuur, neerslag) en geologie (geomorfologie, hoogteverschillen, bodem) worden aangeduid met de term "systeemvoorwaarden" en beschouwd als de 'externe ruimte' waarin beekherstel plaatsvindt.

#### Stroming

De combinatie van de systeemvoorwaarden bepaalt in belangrijke mate de hydrologie van een stroomgebied. De hydrologie is de bepalende of sturende factor (combinatie van werkende factoren) voor de levensgemeenschap. Op het niveau van het stroomgebied zijn de belangrijkste waterkwantiteitsprocessen; neerslag, verdamping door vegetatie en open water, oppervlakkige en ondiepe afstroming, infiltratie, kwel, ondiepe en diepe grondwaterstroming. We kunnen twee waterstromen onderscheiden namelijk één hellend van bron naar monding en één hellend van flank naar beek. In het beektraject spelen debiet en hydraulica (met name stroomsnelheid en -verdeling) een belangrijke rol. Deze factoren en processen worden aangeduid met de term "stroming".

#### Structuren

De waterstromen hebben ook een belangrijk effect op de vorm van de beek en het beekdal. Dit geldt voor de ontwikkeling van het lengte- en dwarsprofiel en voor het ontstaan en verdwijnen van structuren in de beek zoals substraatmozaïeken, bladdammen en detrituszones. De vorm van de beek leidt tot een differentiatie in structuren van beekbodem en beekoevers. Kenmerkend voor beken is het mozaïek aan habitats. Echter



ook in het beekdal leiden meanderontwikkeling, afsnijding van meanders, overstrooming en verlanding tot lokale ruimtelijke patronen in bodemsamenstelling. Voorbeelden zijn de afzetting van slib en de vorming van oeverwallen door overstrooming. Tesamen met verschillen in kwel- en infiltratiestromen leidt dit tot een verscheidenheid aan levensomstandigheden. Ook waterplanten in de beek zorgen voor vormverschillen door wijzigingen van de stroomdraad en variaties in de stroomsnelheden. Daarnaast zijn de waterplanten een structuur op zich voor andere waterorganismen (bijvoorbeeld macrofauna, microflora). Deze aspecten van vorm worden aangeduid met de term "structuren".

#### Stoffen

De stofstromen in een beekstelsysteem (het chemisch aspect) volgen de boven genoemde waterstromen. De stoffen 'liften' als het ware mee met het water. In het natuurlijk beekstelsysteem is, gaande van de beekdalflanken (de hoogste punten) naar de beek, een toename van opgeloste stoffen (met name voedingsstoffen) in het afstromende water waarneembaar. Deze toename vormt een gradiënt van voedselarm naar matig voedselrijk. Deze toename is een gevolg van een accumulatie van voedingsstoffen die vrijkomen uit de mineralisatie van organisch materiaal en vervolgens inzigen/afstromen. Ook in de beek gaande van bron naar benedenstrooms neemt de voedselrijkdom, eveneens door accumulatie van toestromende stoffen, toe. Door de opname van stoffen door planten en dieren treden er tevens kringlopen van stoffen op. Door de afstroming van water in één richting krijgen deze kringlopen de vorm van spiralen. De chemische factoren en processen worden aangeduid met de term "stoffen".

#### Soorten

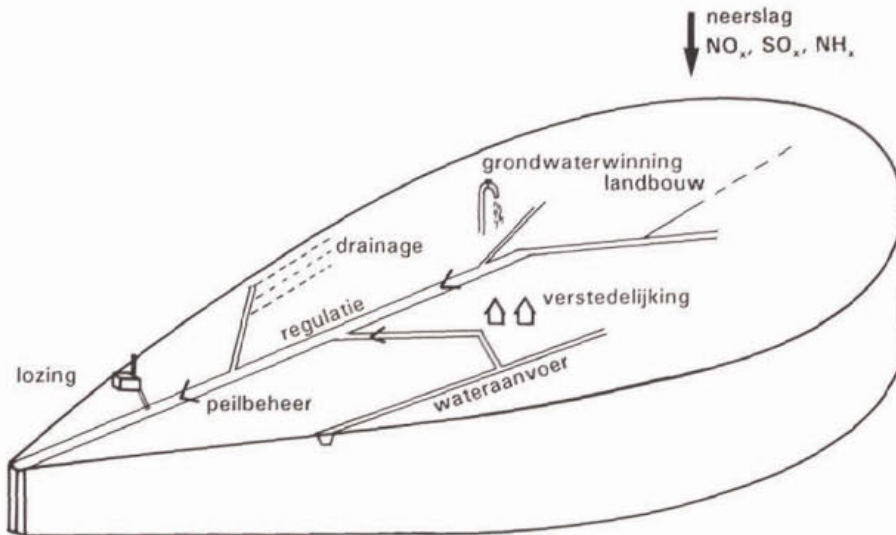
Zoals uit de bovenstaande alinea's blijkt bestaan in het stroomgebied, gaande van hoog naar laag, enkele belangrijke gradiënten, namelijk die van waterkwantiteit en chemie. De kwantiteitsgradiënt loopt van droog (op de hoogste delen) via vochtig en nat naar het water in de beek. De chemische gradiënt volgt de kwantiteitsgradiënt en loopt van voedselarm naar matig voedselrijk. De samenstelling van de terrestrische en (semi-)aquatische levensgemeenschappen is gerelateerd aan deze gradiënten. Door plaatselijke verschillen in de combinatie van waterkwantiteit en kwaliteit ontstaat een mozaïekpatroon van levensomstandigheden. Dit leidt tot een mozaïek van levensgemeenschappen in het gehele stroomgebied. De levensgemeenschappen in de beek en in het stroomgebied zijn de volgvariabelen van de processen en de daaruit ontstane abiotische patronen in het stroomgebied. De levensgemeenschappen hangen direct samen met de plaats in het stroomgebied. De organismen die de levensgemeenschappen vormen worden aangeduid met de term "soorten".

#### Het 5-S-model

Het 5-S-model bestaat uit een externe conditionerende ruimte weergegeven in het bovenste blok (figuur 1.2). De externe ruimte omvat de systeemvoorwaarden, die bestaan uit de klimatologische en geologische factoren en processen. Deze factoren en processen spelen op het hoofdstroomgebied en strekken zich uit over een periode van meer dan 100 jaar. Bij de processen op lange termijn zijn niet de natuurlijke klimaatsveranderingen en dergelijke inbegrepen. Deze processen worden binnen deze context als constant beschouwd. De volgende drie blokken staan voor de factorcomplexen stroming, structuren en stoffen. Hier zijn twee schaalniveaus te onderscheiden. Enerzijds betreft het de factorcomplexen stroming (hydrologische factoren en processen) en structuren (morfologische factoren en processen), die spelen op het niveau van het stroomgebied en over een termijn van circa 10 tot 50 jaar. Anderzijds betreft het de factorcomplexen stroming (hydraulische factoren en processen), structuren (organische structuren en mozaïeken) en stoffen (fysische en chemische factoren en processen), die spelen op het niveau van het beektraject over een termijn van 1 tot 10 jaar. In het onderste blok staan de soorten (de levensgemeenschap van flora en fauna). Dit bevat het niveau van het habitat over een termijn van dagen tot enkele jaren. Allereerst wordt op elk van deze vijf factorcomplexen nader ingegaan.



De bovengenoemde termen (systeemvoorwaarden, stroming, structuren, stoffen en soorten) hebben een hiërarchische samenhang op ruimtelijke en temporele schaal (Van der Maarel & Dauvellier 1977). De processen van een hoger niveau zijn meer dominant en sturend voor een lager niveau. Dit lager niveau is dan volgend. Echter dit lager niveau kan weer sturend zijn voor een volgend nog lager niveau. Daarnaast kunnen factoren en processen elkaar ook op één bepaald schaalniveau beïnvloeden (sturen dan wel volgen). Ingrepen van de mens op de factoren of processen op een bepaald niveau betekenen dus sturing op dat of een lager schaalniveau. De terugkoppeling van een lager naar een hoger niveau is minder sterk maar mag niet worden onderschat. Allerlei terugkoppelingsmechanismen maken van de natuur juist 'natuur'. Processen worden doorgaans vanaf een hoger schaalniveau gedirigeerd totdat een lager schaalniveau terugwerkt en er een wederzijdse afhankelijkheid ontstaat. Zo wordt er als gevolg van erosie zand verplaatst door de waterstroom ('stroming') totdat er benedenstrooms een zandbank ('structuur') is gevormd die het water een andere, langere en tragere, weg doet zoeken. De soorten zijn de uiteindelijke volgvariabelen die echter ook de andere variabelen weer kunnen beïnvloeden (bijvoorbeeld bomen die de weg van de beek doen verleggen). Deze wederzijdse beïnvloedingen zijn in figuur 1.2 met pijlen aangegeven. Grote pijlpunten betekenen een dominante invloed, kleine pijlpunten betekenen een terugkoppeling.



Figuur 1.3 De menselijke activiteiten in een stroomgebied (Verdonschot 1992).

Voor het eigenlijke beekherstelplan gaat de aandacht uit naar het beektraject en de middellange en korte termijn. Wordt echter de koppeling tussen systeemvoorwaarden en alle andere factorcomplexen achterwege gelaten dan ontbreekt een ecologisch belangrijke schakel. De lange termijn en de grotere ruimtelijke verbanden bieden het perspectief vanuit het stroomgebied en bepalen de mogelijkheden voor een beek en beektraject op kortere termijn. Bijvoorbeeld een lange-termijnbeleid ten behoeve van waterberging door het omhoog brengen van de grondwaterspiegel, het verwijderen van drainage en dempen van sloten in het stroomgebied of een gedeelte daarvan, maakt een aantal korte termijn maatregelen in de beek zelf zoals het aanleggen van zandvangen en het vastleggen van oevers overbodig.

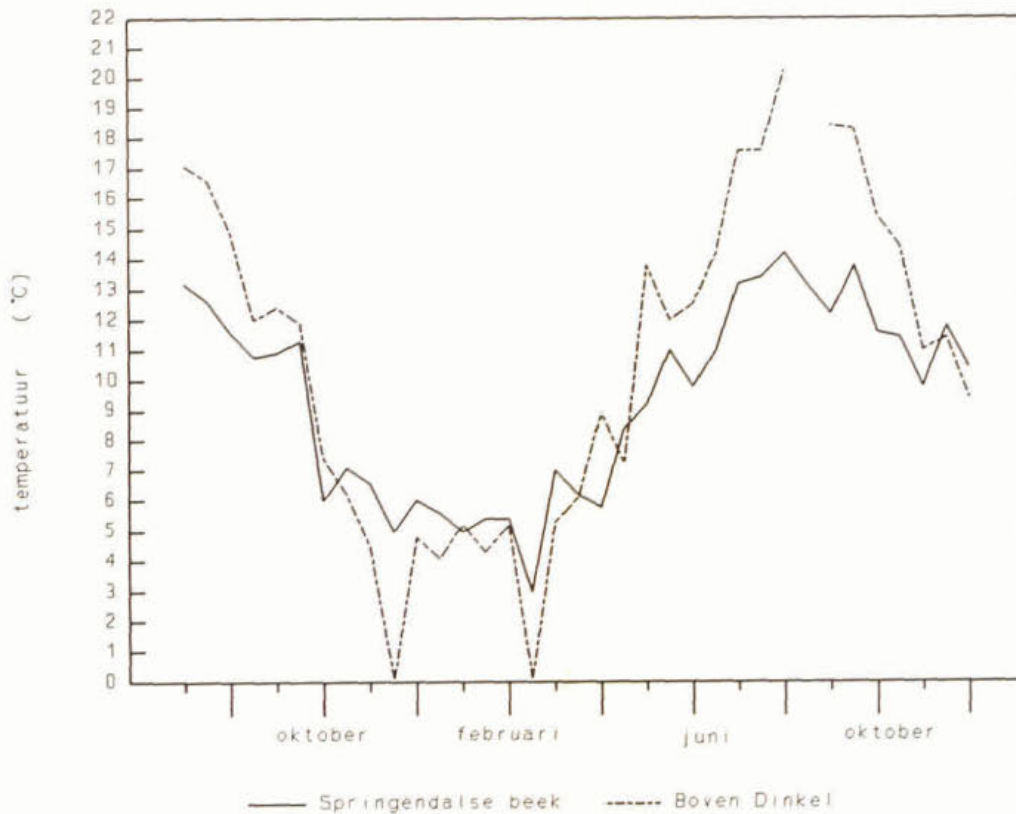
De menselijke beïnvloeding staat als een apart blok rechts en heeft invloed op alle factorcomplexen én daarmee op alle schaalniveaus in ruimte en tijd. De belangrijkste menselijke invloeden zoals stikstofdepositie, grondwaterwinning, drainage, wateraanvoer, afvalwaterlozingen, landbouwkundige activiteit, peilbeheer en verstedelijking zijn weergegeven in figuur 1.3.



## 1.2 Systemvoorwaarden

### 1.2.1 Klimaat; temperatuur en neerslag

De belangrijkste door het klimaat bepaalde factor is de temperatuur. De hoeveelheid zoninstraling bepaalt de hoeveelheid energie die in een beekstelsysteem wordt opgenomen, met als belangrijkste resultante de temperatuur van het beekwater. De temperatuur is bepalend voor de activiteit van alle levende organismen, bijvoorbeeld voor de afbraak van organisch materiaal in het beekstelsysteem. In Nederland is de gemiddelde temperatuur van het beekwater op jaarbasis ongeveer 10°C. De temperatuur van beekwater volgt enigszins vertraagd en sterker afgezwakt de fluctuaties in de luchttemperatuur. Waarden variërend van ± 0-20 °C komen voor (figuur 1.4). Stromend water vriest on-



**Figuur 1.4** *Temperatuurverloop in een bovenloop (Springendalse beek oppervlak deelstroomgebied ± 575 ha) en in een riviertje (Dinkel oppervlak deelstroomgebied ± 43550 ha) in 1993-1994.*

der Nederlandse omstandigheden zelden dicht. Doorgaans zijn de meer beschaduwde bovenstroomse trajecten kouder en minder aan schommelingen onderhevig dan de minder beschaduwde benedenstroomse trajecten. Bovenstroomse trajecten hebben vaak ook een groter aandeel kwelwater dat gemiddeld een meer constante temperatuur heeft. Daarnaast dempt beschaduwing de temperatuurschommelingen. Minder snelstromende, open, kleinere wateren volgen de luchttemperaturen meer direct. Tussen directe instraling van zonlicht en de aanwezigheid van macrofyten en epilytische diatomeeën (ééncellige algen levend op stenen, grind en zand) in beken is dikwijls een oorzakelijk verband aan te wijzen. Het lichtklimaat is daardoor mede bepalend voor de micro-habitatstructuur in de beek en oefent zo invloed uit op bijvoorbeeld de samenstelling van de macrofauna-levensgemeenschap.

Nederland heeft een gematigd zeeklimaat met een jaarlijks neerslagoverschot. In het pre-pleistocene en pleistocene deel van Nederland varieert het neerslagoverschot van 150 tot 300 met een gemiddelde van circa 225 mm/jaar. Geografisch zijn de onderlinge verschillen vrij gering. De periode waarin neerslagoverschot optreedt loopt van september tot april. Van april tot september is er een neerslagtekort. De hoeveelheid jaarlijkse neerslag varieert van circa 700 tot 800 mm met een gemiddelde van circa 750 mm. De geografische verschillen zijn vooral van belang indien naar dagsommen van de neerslag wordt gekeken. De jaarlijkse verschillen in afvoerpatronen kunnen per beek eveneens aanzienlijk zijn.

Neerslag is van nature erg arm aan opgeloste stoffen en wordt atmotroof genoemd. Neerslag is van nature zwak zuur tot pH 5,5. Beken die veel direct regenwater ontvangen zijn tegenwoordig over het algemeen zuurder als gevolg van de in de depositie aanwezige verzurende stoffen.

### 1.2.2 Geologie, geomorfologie en hoogteverschillen

Op grond van de geologische ontstaanswijze worden met betrekking tot beeksystemen verschillende geologische gebiedstypen in Nederland onderscheiden (figuur 1.5). De drie belangrijkste regio's zijn:

- Pre-pleistocene gebieden; gebieden ontstaan door tektonische processen (Zuid-Limburg, oostelijk Twente en Achterhoek).
- Pleistocene gebieden; gebieden ontstaan door klimatologische processen m.n. water- en winderosie (hogere zandgronden).
- \* Holocene gebieden; gebieden ontstaan door fluviaatiele en mariene processen (overige gebieden langs de kust).

De ontstaanswijze van een gebied heeft belangrijke gevolgen voor de wijze waarop ondergrondse hydrologische systemen functioneren:


- Pre-pleistocene gebieden kenmerken zich door complexe hydrologische systemen ondergronds. De ondergrond is weliswaar gelaagd van opbouw maar door de aanwezigheid van door tektoniek ontstane breukvlakken liggen deze lagen vaak in verticale richting ten opzichte van elkaar verschoven. Dit leidt tot ingewikkelde stromingspatronen. Hierdoor is het aan de oppervlakte voorkomen van infiltratie-, kwel- en intermediaire gebieden moeilijk voorspelbaar. De diepte van het hydrologische systeem is doorgaans gering, van enkele tientallen tot hooguit 100 meter. Soms komen hydrologische systemen boven elkaar voor die onafhankelijk van elkaar functioneren.
- Pleistocene gebieden kenmerken zich meestal door een vrij regelmatig gelaagde opbouw van de ondergrond. Het hydrologische systeem voegt zich naar deze gelaagdheid. Hierdoor is de ligging van hydrologisch verschillende gebiedstypen aan de oppervlakte regelmatig en meer voorspelbaar. De hydrologische systemen zijn doorgaans dieper, tot 250-300 meter, dan in pre-pleistoceen gebied.
- \* Holocene gebieden worden gekenmerkt door relatief diepe hydrologische systemen, tot 450-500 meter diepte. Vooral in het uiterste westen van het land heeft de invloed van opkwellend zout water vanuit zee invloed. Alleen de duinen (ontstaan door windwerking) tonen binnen het holocene gebied vergelijkbare kenmerken met het Pleistoceen. Zij vormen een, in een band langs de kust gelegen, min of meer zelfstandig hydrologisch systeem. Hierin komen door de verschillen in hoogteligging ook beken (rellen) voor.

In tabel 1.1 is de gemiddelde terreinhelling en de hoogteligging van enkele pre-pleistocene, pleistocene en holocene gebieden weergegeven.

Het voorkomen van heuvellandbeken is in Nederland beperkt tot het pre-pleistocene gebied (de regio's met Tertiaire en Mesozoïsche afzettingen aan of nabij het oppervlak). Laaglandbeken komen verspreid in het hele pleistocene zandgebied voor. Laaglandbeken die van een plateaurand afstromen hebben over een korte afstand een steil traject. Hierdoor hebben ze op die plaats vaak het karakter van een heuvellandbeek.




## PRE-PLEISTOCEEN

 Opwellingen uit het Mesozoïcum en Paleozoïcum

## PLEISTOCEEN


 Dekzand of löss


 Grof rivierzand

 Vroegpleistocene en tertiaire leem

 Keileem


## HOLOCEEN

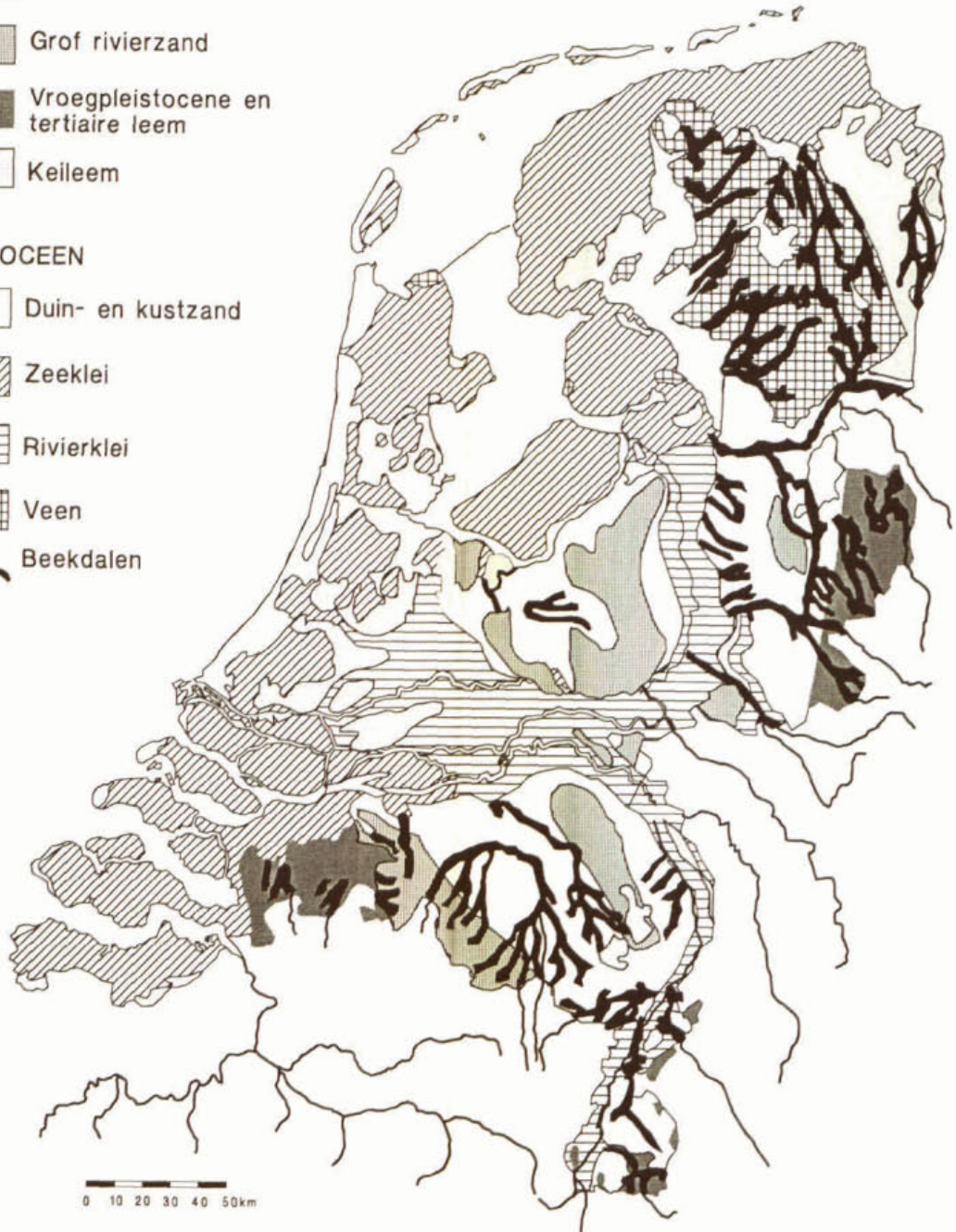
 Duin- en kustzand

 Zeeklei

 Rivierklei

 Veen

 Beekdalen



Figuur 1.5 Ligging van pre-pleistocene, pleistocene en holocene gebieden (naar De Vries 1974).

Tabel 1.1 Gemiddelde terreinhelling en hoogteligging van enkele pre-pleistocene, pleistocene en holocene gebieden (naar Van der Hoek & Higler 1993).

	<i>gem. terrein- helling (m/km)</i>	<i>hoogteligging (m + NAP)</i>
<b>pre-Pleistoceen</b>		
Zuid-Limburgs Plateau	6,25	100 - 300
Oost Nederlands Plateau	1,25	20 - 50
<b>Pleistoceen</b>		
Glaciale Plateau-rand van Drenthe	0,66	0 - 10
Glaciale Plateau van Drenthe	0,29	10 - 20
Fluviatiele Plateau van West-Brabant	0,80	0 - 20
Kempisch Plateau	1,00	5 - 50
Peelhorst	1,00	10 - 50
Zuidelijk dekzandgebied	0,66	5 - 20
Oostelijk dekzandgebied	0,25	0 - 20
Stuwwallen (glaciaal): Veluwe (> 20 m + NAP)	10,00	20 - 100
Gelderse Vallei	0,80	0 - 20
<b>Holoceen</b>		
Algemeen	0,10	6 - 1
Duinen (Pleistoceen)	>2,00	5 - 40

Dit komt voor langs zuidelijke en oostelijke flanken van het Veluwemassief en langs het Maasterras in Limburg. In sommige gevallen lopen de benedenlopen door holocene gebieden (bijvoorbeeld Hunze, Overijsselse Vecht). Vaak hebben deze trajecten een zodanig grote hydraulische straal dat ze volgens de classificatie van Higler & Mol (1985) tot de kleine rivieren worden gerekend.

### 1.2.3 Bodem

De Nederlandse beekdalen zijn vanaf het Laat-Glaciaal ontstaan door het terugtrekkend landijs tijdens perioden met grote waterafvoeren. De huidige beken liggen doorgaans in deze brede, veelal deels met dekzand opgevulde dalen. Vanaf het Laat-Glaciaal, maar vooral in de loop van het Holoceen zijn de dalen opgevuld met beeksedimenten. Hierdoor bestaat de beekdalbodem bijna overal uit afzettingen van de formatie van Singraven die onderling nogal verschillen met betrekking tot samenstelling. Een uitzondering vormen de beken die door holocene gebieden stromen. In Overijssel, Gelderland, Zuid-Limburg en in de benedenstroomse trajecten van de beken in Noord-Brabant bestaan de afzettingen uit klastische (minerogene) materialen; klei, leem en fijn zand. Op het keileemplateau van Drenthe, in Friesland en Groningen en in de bovenstroomse trajecten van de beken in Noord-Brabant bestaan de afzettingen uit organogene afzettingen; veen, dy en gyttja. Mogelijk houdt dit verband met de aanwezigheid van de formatie van Drenthe in het noorden van ons land en in Noord-Brabant met de vorming van dekzandruggen dwars op oudere dalen en met de aanwezige horsten en slenken.

Door verschillen in afzettingen komen in de beekbeddingen verschillende bodemtypen voor. In Noord-Limburg, Noord-Brabant, Twente, Overijssel en de Gelderse Vallei komen vooral beekerdgronden en moerige eerdgronden voor. In Drenthe, Groningen en Friesland komen vooral madeveen-, vlierveen- en moerige eerdgronden voor. In Zuid-Limburg komen nauwelijks typische beekdalgronden voor maar vooral brikgronden. In sommige gebieden met een relatief grote terreinhelling, zoals het Zuid-Limburgs Plateau en het Oost Nederlandse Plateau, hebben de beken geen materiaal afgezet maar zich juist ingesneden in eerdere afzettingen (bijvoorbeeld in de formatie van Twente). De formatie van Twente bestaat uit dekzand op de hooggelegen delen (zeer fijn tot matig fijn zand); fluvioperiglaciale afzettingen zonder dekzand ten noorden van Hengelo (zeer



grote variatie in samenstelling); fluvioperiglaciale afzettingen met een dunne laag dekzand in de Centrale Slenk, de Gelderse Vallei en het laaggelegen Pleistoceen (grote variatie in samenstelling) en löss in Zuid-Limburg (leem, zeer fijn zand).

De bodemsamenstelling in een bepaald gebied is in de eerste plaats een gevolg van vroegere geologische en geomorfologische processen. Hoe de bodem zich verder heeft ontwikkeld is vooral afhankelijk van het gedrag van het water. Op plaatsen met infiltratie ontstaat vaak een haarpodzolbodem (grondwatertrap (= Gt) VII en VIII) doordat passerend mineralenarm en enigszins zuur regenwater organische bestanddelen oplost en afvoert (uitloging). Deze bodem is mineraal van samenstelling, bevat weinig organische stof en is arm aan voedingsstoffen. Waar de grondwaterstroming al op geringere diepte van richting verandert gaat de haarpodzolbodem over in een veldpodzolbodem (Gt III tot V). Ook de veldpodzol wordt gekenmerkt door verschijnselen van uitloging. Podzolbodems worden verder gekenmerkt door aanwezigheid van uitspoelings- en inspoelingshorizonten.

In gebieden met kwel (opwaarts gerichte grondwaterstroming) ontstaan in de loop der tijd juist bodems die zeer rijk zijn aan organische stof (veenbodems) en voedingsstoffen. Op plaatsen met permanente kwel (Gt II of III) komen beekkeerdgronden voor. Beekkeerdgronden zijn, doordat geen uitloging optreedt, veel rijker aan organische stof (soms venig). Waar sprake is van permanente, diepere kwel komt laagveenvorming voor (madeveen; Gt II). Door overstromingen zijn in de bodem dikwijls beekafzettingen terug te vinden in de vorm van fijnzandige of kleiïge lagen. Tussen infiltratie en kwelgebieden komen allerlei intermediairen voor die vaak lokatiespecifieke processen weergeven zoals bijvoorbeeld gooreerdgronden (Gt III 's zomers, 's winters hoger). Dit zijn gronden waar in de winter sprake is van infiltratie en tijdelijk uitloging terwijl in de zomer sprake is van kwel waarmee mineralen worden aangevoerd. Overal in het stroomgebied waar de aanwezigheid van ondiep liggende weerstandbiedende lagen (leem, klei, gy of gyttja) wegzijging belemmert, kunnen zogenaamde regenwaterlenzen voorkomen. Hierin heerst een hogere grondwaterstand (schijnspiegels; tot Gt I) dan in de omgeving, wat aanleiding kan zijn voor de ontwikkeling van (hoog)veen.

In het kader van beekherstel kan de bodemopbouw belangrijke historische informatie bevatten. In het bodemprofiel kan worden 'afgelezen' hoe de bodem in de loop van jaren is opgebouwd en welke waterbewegingen daarbij een rol hebben gespeeld. Aan de hoogte van bepaalde horizonten kan worden bepaald welke (grond-)waterstanden in potentie haalbaar zijn. In dit bodemarchief treedt na wijziging van de actuele bodemvormende processen een geleidelijke vervaging van patronen op.

#### *1.2.4 Menselijke beïnvloedingen op systeemvoorwaarden*

Tot de menselijke beïnvloedingen op de systeemvoorwaarden behoren klimaatsveranderingen en luchtverontreiniging. Vooral wijzigingen in het klimaat (met name temperatuur en neerslag) kunnen ingrijpende gevolgen hebben voor beeksystemen. Het schaalniveau van de oorzaak-effect relatie ligt echter meestal buiten de reikwijdte van het beekherstelplan. Wel dient deze problematiek op de juiste beleidsniveaus onder de aandacht te worden gebracht. Het is bijvoorbeeld goed denkbaar dat de gevolgen van klimaatsveranderingen op het neerslagpatroon het rendement van de uit te voeren herstelplannen teniet doet.

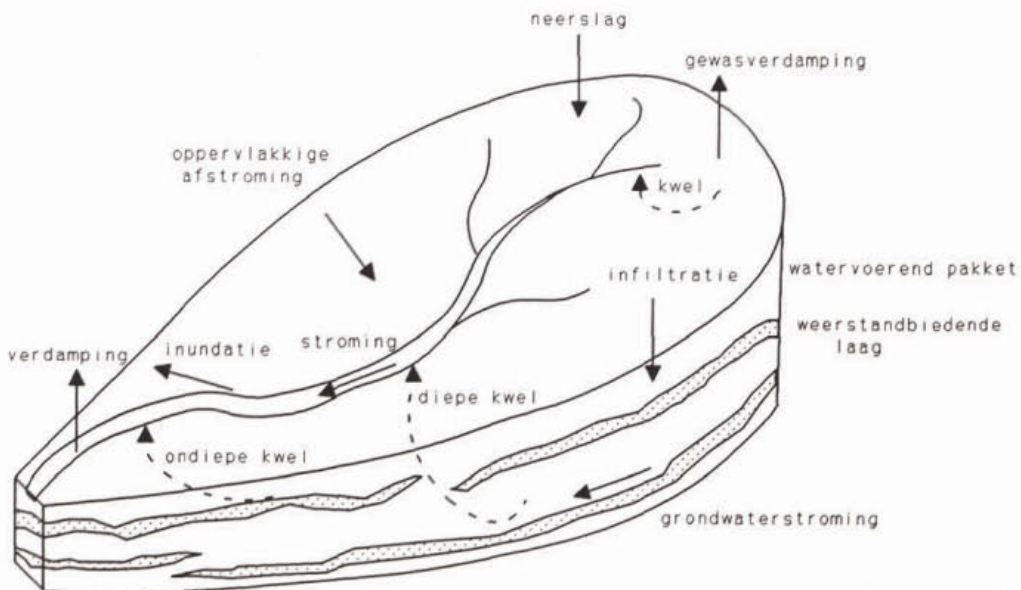


### 1.3 Stroming

#### 1.3.1 Inleiding

Stroming van oppervlakte- en grondwater is onderdeel van het transport van neerslagwater in de richting van de zee. Dit proces is onderdeel van de hydrologische kringloop. Van de totale hoeveelheid water dat aan dit proces deelneemt, wordt slechts een zeer klein deel ingenomen door het oppervlaktewater zelf. Verreweg het grootste deel (> 95%) bevindt zich in de grond (grondwaterstroming). In een stroomgebied vormen open watergangen (beken en rivieren) de plaats waar het neerslagoverschot uit het stroomgebied wordt afgevoerd naar zee. Essentieel voor de verloop van watertransport en het in stand houden van stroming in stroomgebieden zijn de hoogte van het neerslagoverschot en de snelheid waarmee het beschikbare neerslagoverschot uit een stroomgebied wordt afgevoerd (afvoerpatroon).

De meer opvallende reliëfvormen in Nederland zijn de basis van een aantal grotere stromingsstelsels. Deze zijn geanalyseerd en in kaart gebracht door Engelen et al. (1989). Een stromingsstelsel is een gebied waarbinnen de aan- en afvoer van grond- en oppervlaktewater een min of meer gesloten systeem vormt. Door meer recente geologische processen zoals overstuiving met dekzand en erosie en sedimentatie door stromend water, zijn interne hoogteverschillen (mesoreliëf) ontstaan. Het watersysteem binnen een stromingsstelsel kan door de aanwezigheid van deze interne hoogteverschillen worden onderverdeeld in één of meer subsystemen. Zo'n subsysteem wordt een stroomgebied genoemd. Stroomgebieden voeren elk een gedeelte van het totale neerslagoverschot binnen het stromingsstelsel af. Een voorbeeld van een stromingsstelsel is het Veluwesysteem, dat naar het noorden toe afwatert via de stroomgebieden van onder andere de Hierdense beek. Naar het oosten en zuiden watert het Veluwe-systeem af via stroomgebieden van o.a. Renkumse en Heelsumse beek en een groot aantal (meest gegraven) sprengen en parkbeken.



Figuur 1.6 Waterstromen in een stroomgebied.

Binnen een stroomgebied is sprake van een open watersysteem dat wordt begrensd door een grond- en oppervlaktewaterscheiding. Grondwaterscheidingen markeren de grens met andere stroomgebieden in hetzelfde stromingsstelsel. In de diepere ondergrond is de scheiding tussen stroomgebieden dikwijls veel minder duidelijk. Het



watersysteem in een stroomgebied wordt door neerslag en ondergrondse instroming gevoed. Ook ondergrondse verliezen naar andere stroomgebieden komen voor. Grondwaterscheidingen liggen op de plaats waar de grondwaterstand (grondwaterstijg-hoogte in het 1<sup>ste</sup> watervoerende of freatische pakket) in een regio het hoogst staat (niet t.o.v. maaiveld). De grondwaterscheiding volgt globaal de hoogste elementen in het landschap. De waterscheiding voor het grondwater hoeft niet samen te vallen met die voor het oppervlaktewater.

In figuur 1.6 is een globale schets van de waterstromen in een stroomgebied gegeven. Stroomgebieden worden schematisch opgevat als in twee richtingen hellende vlakken, namelijk hellend van de bron van de beek naar de monding (lengte- of longitudinaal verhang (m/km)) en hellend van de rand van het stroomgebied in de richting van de beek (dwars- of transversaal verhang (m/km)). Water dat van deze hellingen afstroomt verzamelt zich op de laagste plaatsen, de beekbedding. De beek functioneert als een verzamelgoot en neemt daarmee een centrale plaats in het stroomgebied in.

Het longitudinaal verhang varieert in Nederland gemiddeld per gebied van 0-0.1 m/km (Holoceen) tot 6 m/km (Zuid-Limburg) met lokale uitzonderingen tot 10 m/km (De Vries 1974). Hierdoor verschilt de stroomsnelheid van gemiddeld 30-100 cm/s in sneller stromende heuvellandbeken en 10-50 cm/s in langzamer stromende laaglandbeken (Tolkamp 1983). De hoogte van het dwars- of transversaal verhang bepaalt globaal de snelheid waarmee water van de randen van het stroomgebied in de richting van de beek wordt getransporteerd. Dit kan een sterke invloed uitoefenen op de vorm van het afvoerpatroon (Faber 1972). Het afvoerpatroon reflecteert daardoor sneller of meer vertraagd de aanvoer via neerslag.

Stroomgebieden zijn echter geenszins in lengte- en dwarsrichting vlak maar vertonen reliëf en plaatselijke verschillen in bodemdichtheid die beide de stroming en de stroomsnelheid beïnvloeden. Slechts een beperkt deel van het neerslagoverschot stroomt direct over de bodem in de richting van de beek af, de zogenaamde oppervlakkige afstroming of run-off. Het aandeel van oppervlakkige afstroming is bij heuvellandbeken (hoger dwarsverhang) doorgaans groter dan bij laaglandbeken. Het overig deel van het neerslagoverschot infiltreert en wordt onderdeel van de grondwaterstroming.

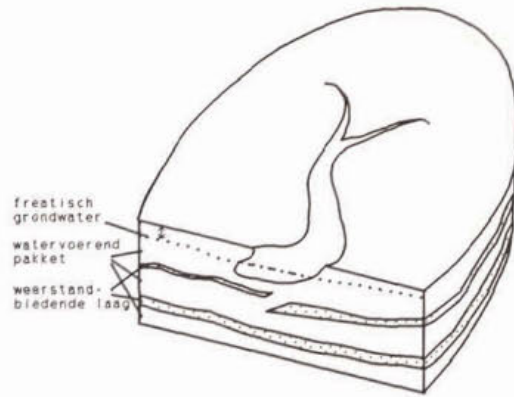
### 1.3.2 Grondwater

De opbouw van de bodem oefent invloed uit op de plaats (ondiep/diep, type watervoerend pakket), de richting (neerwaarts, opwaarts of 'horizontaal'), de stroomsnelheid en verblijftijd, en de chemische samenstelling van het grondwater. Verschillende geologische processen hebben de bodem in lagen opgebouwd (Pannekoek 1956). Ondanks deze gelaagdheid is de bodem op veel plaatsen in 'horizontale' richting verre van homogeen. Dit heeft belangrijke gevolgen voor het stromen van water. Tertiaire kleien van mariene oorsprong (het moedermateriaal) vormen in een groot deel van Nederland de basis van het hydrologische systeem. Deze komen voor op een diepte van 0-50 m beneden maaiveld in oostelijk Twente, Achterhoek en Zuid-Limburg en tot > 500 m in het noord-westen van het land (Zagwijn & Van Staaldin 1975).

Boven op het Tertiair worden watervoerende en weerstandbiedende lagen onderscheiden (figuur 1.7). Watervoerende lagen bestaan uit grover materiaal met een hogere porositeit (zand en grind) en een bepaald horizontaal doorlatend vermogen. Het doorlatend vermogen is samengesteld uit een doorlaatfactor en de dikte van het watervoerend pakket. De doorlaatfactor is vooral afhankelijk van de porositeit van het materiaal. Weerstandbiedende lagen bestaan uit fijne materialen met een laag verticaal doorlatend vermogen en dus een weerstand tegen verticale stroming. Het doorlatend vermogen (kD) en de weerstand (C) van watervoerende respectievelijk weerstandbiedende lagen kan door inhomogeniteiten van het materiaal en verschillen in dikte van plaats tot plaats verschillen.

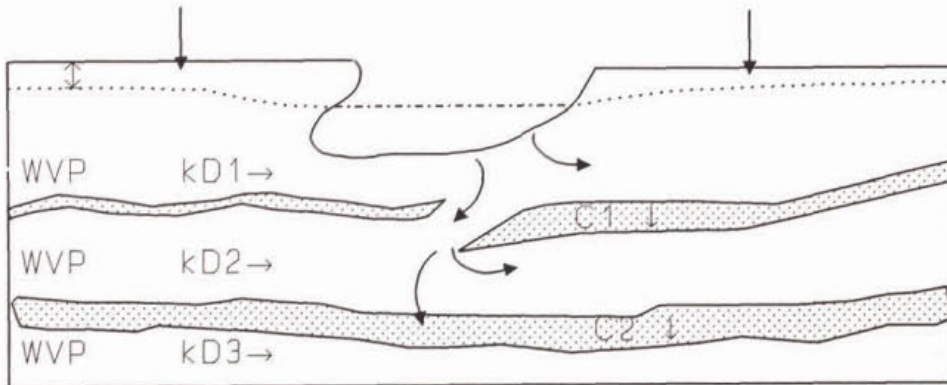


Regenwater infiltreert onder invloed van de zwaartekracht in de bodem en percoleert vervolgens door de onverzadigde zone naar de verzadigde zone (het grondwater; figuur 1.8). De preferente stromingsrichting is verticaal. De infiltratie- en percolatiesnelheid is afhankelijk van de porositeit van de bodem. Zandgronden hebben een hogere infiltratiecapaciteit dan lemige en kleïge gronden. De porositeit bepaalt in samenhang met de terreinhelling de verhouding tussen infiltratie en oppervlakkige afstroming (runoff). Het



Figuur 1.7 Bodemlagen in een stroomgebied.

bovenste grondwater (het eerste watervoerende pakket) wordt freatisch grondwater genoemd. Dit is het grondwater dat mede via de capillaire werking voor plantaardig en dierlijk leven aan het oppervlak (direct) bereikbaar is. De grondwaterstand is de afstand tussen het oppervlak van de verzadigde zone en NAP. Oppervlaktewater komt voor op plaatsen waar de grondwaterstand boven het maaiveld komt. Door de aanwezigheid van reliëf en door 'opbolling' van de grondwaterspiegel tussen twee watergangen, is de grondwaterstand niet overal even hoog (Couwenhoven 1991). Zo ontstaan zijwaartse ('horizontale') stromingscomponenten waarbij water over de helling in de grondwaterspiegel afstroomt bijvoorbeeld langs een beekflank in de richting van een beek (ondiepe toestroming) of in de richting van een andere 'drainerende' watergang. In of in de omgeving van de watergang, dagzoomt het water weer in de vorm van lokale (ondiepe) kwel. De horizontale stroombanen in het eerste watervoerende pakket worden in de eerste plaats gericht door het reliëf terwijl op lokaties waar nauwelijks sprake is van reliëf drainerende watergangen bepalend zijn.



Figuur 1.8 Bodemopbouw en grondwaterstroming (WVP = watervoerend pakket,  $kD$  = horizontaal doorlatend vermogen wvp,  $C$  = verticale stromingsweerstand weerstandbiedende laag,  $\ddagger$  = onverzadigde zone).

Een weerstandbiedende laag kan verdere verticale neerwaartse stroming vertragen of belemmeren (figuur 1.8). Het water dat de eerste weerstandbiedende laag passeert komt in het tweede watervoerende pakket, dat aan de onderzijde wordt begrensd door een tweede weerstandbiedende laag, enzovoorts. In het tweede watervoerende pakket herhaalt zich hetzelfde stromingsproces. De horizontale stromingsrichting kan echter totaal anders zijn dan in het eerste watervoerend pakket doordat het reliëf van de dieper liggende pakketten anders is en doordat druk het water in een bepaalde richting dwingt. Deze druk ontstaat op plaatsen waar de grond verzadigd is en waar verdere stroming wordt vertraagd of geblokkeerd. Dit kan voorkomen op plaatsen waar het doorstroomde profiel van het watervoerend pakket kleiner wordt of waar verschillende stromen elkaar ontmoeten. Het bestaan van druk kan aanleiding vormen voor het



ontstaan van opwaartse stromingen, in omgekeerde richting door een weerstandbiedende laag. Dit kan vervolgens weer aanleiding zijn voor het ontstaan van druk in een hoger gelegen watervoerend pakket, wat aan de oppervlakte uiteindelijk tot uiting komt in het 'dagzomen' van grondwater (diepe kwel). Een groot aantal beken wordt al in de oorsprong gevoed door diepere kwel afkomstig uit naburige stroomgebieden met name in Z-Limburg en in mindere mate in Brabant en op de Veluwe. Het voorkomen van deze kwelplekken is een gevolg van de geologische opbouw van de bodem die lokaal verschilt van de omgeving (zoals door 'lekken' in ondiepe klei- of leemlagen).

De 'grondwaterstand' in diepere pakketten ('semi-gespannen' en 'gespannen' water) wordt stijghoogte genoemd. Doordat grondwater in diepere pakketten onder druk staat kan de stijghoogte hoger zijn dan de grondwaterstand in het bovenste pakket (ook wel 'ongespannen' water genoemd). De grondwaterstijghoogten bepalen mede hoeveel water in een pakket aanwezig is, dit wordt de grondwaterberging genoemd.

Binnen elk stroomgebied is een gebied aan te wijzen waarin de grondwaterstroming over een langer tijdsbestek (bijvoorbeeld een jaar) netto neerwaarts gericht is, dit is het infiltratiegebied (Locher & De Bakker 1987). Waterstromen vanuit dit gebied voeden het grondwater in de ondergrond (grondwateraanvulling). In infiltratiegebieden is de grondwaterstand laag (Gt VI en VII) en leiden variaties in de wateraanvoer (neerslag) tot aanzienlijke fluctuaties in de grondwaterstand (tot meer dan een meter).

Ook zijn gebieden aan te wijzen waarin de grondwaterstroming netto opwaarts gericht is, dit zijn de kwelgebieden. Kwelstromen werken vaak voedend voor het oppervlaktewater. In kwelgebieden zijn fluctuaties van de grondwaterstand door wateraanvoer van onderaf gering. Er is onderscheid te maken tussen lokaties waar diepere kwelstromen periodiek voorkomen (Gt III en hoger; stromingsrichting seizoensafhankelijk van het seizoen) en lokaties waarin continue met wisselende intensiteit kwel optreedt (Gt II en III). Regenwater wordt grotendeels oppervlakkig of ondiep naar de beek afgevoerd. Omdat het aangevoerde water hier alleen door de beek wordt afgevoerd leidt de combinatie van kwel en overvloedige regenval tot het buiten de oevers treden van de beek.

Tussen infiltratie en kwelgebied bevindt zich een intermediair gebied waarin over een langere periode de balans tussen grondwateraanvulling en -afgifte ongeveer in evenwicht is. De grondwaterstand is doorgaans hoger dan in het infiltratiegebied (Gt III tot V) en de fluctuaties zijn kleiner doordat er minder sprake is van infiltratie naar dieper gelegen grondwaterlagen. De grondwaterstroming verloopt (gemiddeld) parallel aan het maaiveld (horizontaal). In natte perioden is sprake van grondwateraanvulling (infiltratie), terwijl in drogere perioden afgifte (kwel) kan voorkomen. Ondiepe infiltratie wordt dikwijls vrij snel gevolgd door zijdelingse afvoer, wat leidt tot lokale kwel in de omgeving van de beek. Omdat de aanvoer van water naar de beek door het grondwatercompartiment wordt gebufferd is er minder kans op droogvallen van de bedding.

Naast neer- en opwaartse grondwaterstroming treedt ook longitudinale grondwaterstroming op. Dit is grondwaterstroming parallel aan de beek en onder de beekbedding. Deze vaak ondiepe stroombanen in het beekdal stromen als het ware met de beek mee, echter de stroomsnelheid is veel lager. In grovere substraten (grof zand, grind) kan bepaalde macrofauna vanuit de beek in dit milieu doordringen. Ook kan hier typische grondwaterfauna worden aangetroffen.

Worden bovengronds stroomsnelheden bereikt in de orde van tientallen tot honderden cm/s, ondergronds zijn de horizontale en verticale stroomsnelheden afhankelijk van het doorlatend vermogen veel lager, in de orde van bijna nul tot enkele m/jaar. Anders dan in oppervlaktewatersystemen, waar de verblijftijd van water meestal niet veel langer is dan enkele dagen tot hooguit enkele weken, is water dat ondergronds wordt getransporteerd al snel een aantal maanden tot jaren onderweg. Naarmate water dieper in de ondergrond doordringt en één of meer weerstandbiedende lagen passeert is de ver-



blijftijd aanzienlijk langer. Voor Nederlandse begrippen 'oud' grondwater kan enkele duizenden jaren in de bodem hebben doorgebracht. Verblijftijden van grondwaterstromen zijn voor beekherstel van belang omdat onder andere met het opkwellen van water vervuilingen uit het verleden kunnen meekomen of juist schoon water kan worden aangevoerd.

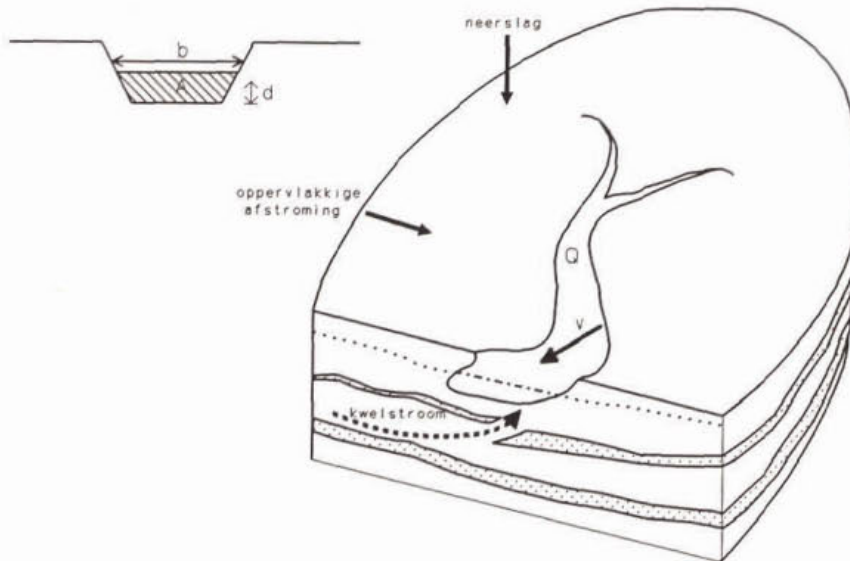
### 1.3.3 Oppervlaktewater hydrologie

Figuur 1.9 geeft een overzicht van de factoren die van belang zijn bij oppervlaktewaterstroming. De stroomsnelheid is afhankelijk van het verhang van de bedding, de afmetingen, het debiet en de weerstand van de bedding (grofheid van het beddingmateriaal, aanwezigheid van planten, detritus en dergelijke alsmede de vorm van de waterloop), dit wordt uitgedrukt in de formule van Manning:

*formule van Manning*

$$v = 1/n \cdot I^{1/2} \cdot R^{2/3}$$

( $v$  = stroomsnelheid,  $n$  = ruwheidsfactor,  $I$  = bodemverhang,  $R$  = hydraulische straal)



*Figuur 1.9 Oppervlaktewater hydrologie (b = breedte, d = diepte, A = nat oppervlak, v = stroomsnelheid, Q = afvoer).*

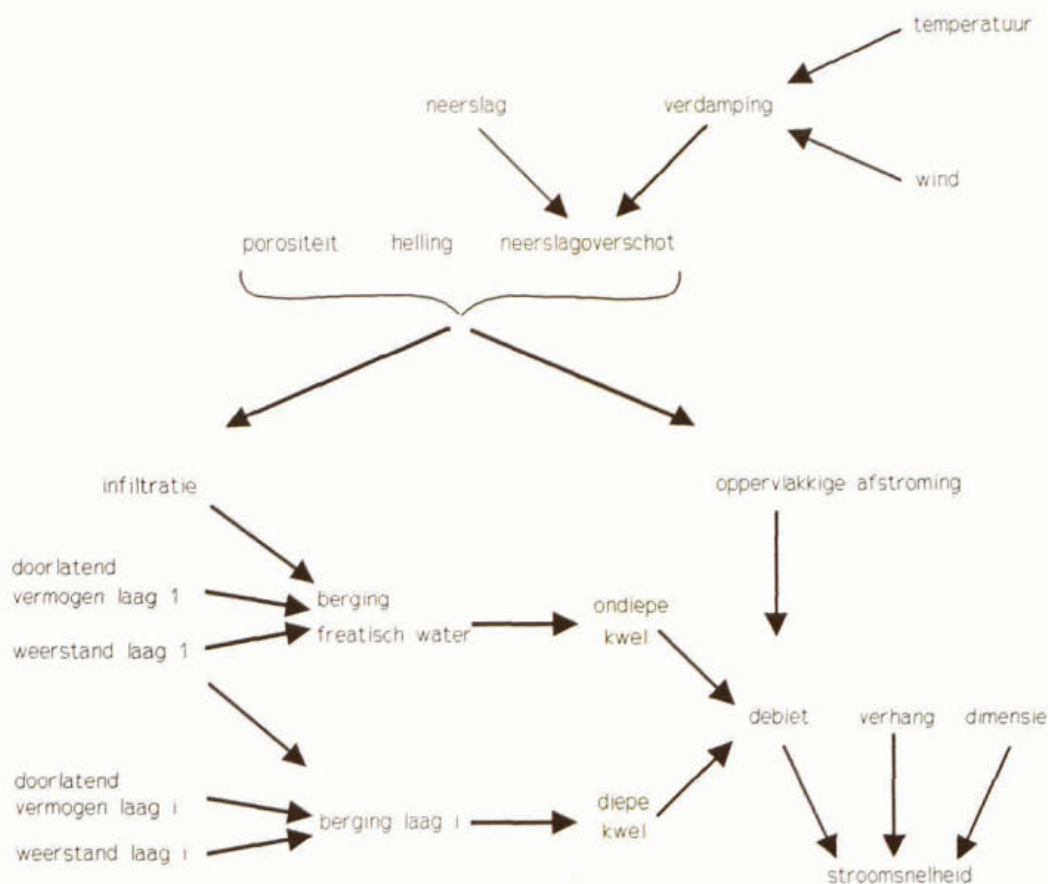
Het debiet is gerelateerd aan de hoeveelheid en de snelheid waarmee water vanuit het stroomgebied wordt aangevoerd. De aard en mate van begroeiing van het stroomgebied zijn tesamen met de bodemopbouw in sterke mate bepalend voor de verhouding tussen oppervlakkige afvoer, infiltratie en verdamping, en zodoende op de berging. De vegetatie in het beekdal heeft hierdoor een grote invloed op de afvoer(-dynamiek) en derhalve op de morfo(-dynamiek). Het verloop van het debiet in de tijd wordt het afvoerterloop of afvoerpatroon genoemd. De basisafvoer of trage afvoer is dat deel van de afvoer dat als gevolg van langdurige berging eerst na geruime tijd tot stand komt. De berging kan plaatsvinden in de bodem en in oppervlaktewateren. Het debiet neemt in stroomafwaartse richting, behalve bij tussentijdse wegzijging, altijd toe. Doordat tevens het longitudinale verhang in het landschap en de invloed van de bodemweerstand op de stroomsnelheid afneemt, blijft de stroomsnelheid in veel gevallen ongeveer gelijk of neemt af. Ook lokale variaties in de grootte van het doorstroomde profiel spelen voor de stroomsnelheid een rol. Verschillen in de wijze waarop en de snelheid waarmee water naar een beek wordt aangevoerd leiden tot verschillen in het afvoerpa-



troon (Faber 1972). Op lokaties die voornamelijk worden gevoed door oppervlakkige en ondiepe toestroming van regenwater of op sterk gedraineerde plaatsen volgt de afvoer met een relatief korte vertraging de neerslag. Het afvoerpatroon vertoont in natte perioden hoge debieten en in droge perioden komen uiterst lage debieten voor, waarbij sprake kan zijn van stagnatie (beekpoelen) of zelfs geheel droogvallen. Deze situatie wordt bijvoorbeeld gevonden op plaatsen waar ondiepe weerstandbiedende lagen de wegzijging belemmeren. Deze snel reagerende beken komen van nature voor op plaatsen in de Achterhoek, Twente en Noord-Brabant.

Aanvoer van dieper grondwater heeft op het afvoerpatroon een stabiliserende invloed. Dieper grondwater ondervindt een grotere vertraging en verkrijgt daardoor een grotere mate van constantie. Pieken in het neerslagpatroon worden hierdoor afgevlakt. Ook de stroomsnelheid in de tijd is constanter. Bekken die op deze wijze worden gevoed voeren meestal permanent water. De levensomstandigheden voor aquatische organismen zijn in de tijd eveneens meer constant.

Ook het omgekeerde komt voor. Sommige beken vertonen zeer plaatselijk een traject waarin ze, anders dan boven- en benedenstrooms, water naar de ondergrond verliezen doordat 'toevallig' op die plaats een laag met grovere sedimenten, bijvoorbeeld grind, aan de oppervlakte komt (sommige westelijke zijbeken van de Dinkel, Hierdense beek, Boschbeek).



Figuur 1.10 Samenhang in het factorcomplex stroming.

Iedere lokatie in een beek heeft zijn eigen afvoerpatroon afhankelijk van de hoeveelheid en de verhouding tussen bovenstroomse aanvoer, oppervlakkige toestroming, ondiepe, en diepe kwel. Mede omdat de verdeling van neerslag van jaar tot jaar niet identiek is, bestaat een variatie in het afvoerpatroon. Het meest ideale afvoerpatroon van een beek

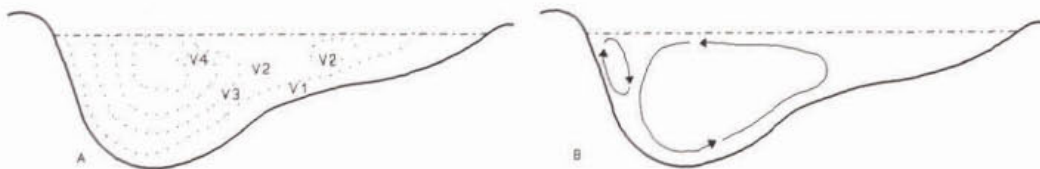
is niet te definiëren. Het optimaliseren van het afvoerpatroon van een beek in het kader van ecologisch herstel vraagt daarom om kennis van de gebiedseigen verhoudingen tussen de verschillende waterstromen.

In figuur 1.10 is de samenhang tussen grondwater- en oppervlaktewater-hydrologie aangegeven. De morfologische parameters verhang beekbedding, breedte en diepte zijn buiten beschouwing gelaten. De relaties die deze parameters met debiet en stroomsnelheid hebben, worden in paragraaf 1.4 behandeld. De verdamping (evapotranspiratie) is als één term opgenomen. De verdamping bestaat uit een grondwater-, vegetatie- en oppervlaktewaterverdamping. De grondwaterstijghoogte en de (actuele) berging zijn nauw aan elkaar gekoppeld. In veel systemen is de berging in het diepe grondwater maximaal. Het gaat immers om 'gespannen' water in de verzadigde zone (de stijghoogte in het pakket staat altijd boven de hoogte (t.o.v. NAP) van het pakket (zie figuur 1.8)). De variatie in ondergrondse berging zit daarom voornamelijk in het freatisch pakket, waarin een onverzadigde zone voorkomt.

In de figuur 1.10 zijn twee terugkoppelingsmechanismen weergegeven. De grondwaterstand oefent invloed uit op het vermogen van verdamping door de vegetatie of voeding van het oppervlaktewaterstelsel en daarmee op de omvang van het neerslagoverschot. Een hoge grondwaterstand heeft meer bodemverdamping tot gevolg waardoor het neerslagoverschot daalt. De grondwaterstand oefent ook invloed uit op de verhouding tussen infiltratie en oppervlakkige afstroming (runoff). Een hoge grondwaterstand (berging vol) heeft tot gevolg dat de infiltratie drastisch daalt en een groot deel van het neerslagoverschot oppervlakkig wordt afgevoerd. Bij zeer hoge afvoeren kan het voorkomen dat een beek buiten haar oevers treedt en de beekbegeleidende gronden onder water komen te staan. Deels zal dit water opnieuw in de bodem infiltreren. Op deze wijze wordt de afvoer van het betreffende water vertraagd. Inundaties vormen een middel waarmee de berging van water tijdelijk kan worden vergroot (óf aan de oppervlakte in plassen en poelen, óf ondergronds).

### 1.3.4 Oppervlaktewater hydraulica

Het stroomsnelheidsprofiel in een rechte beek is min of meer parabolisch van vorm; de stroomsnelheid is het hoogst in het midden van de beek nabij de waterspiegel en neemt zijwaarts en naar de bodem toe, als gevolg van de wrijving, geleidelijk af. De stroomsnelheid is het laagst nabij de bodem (figuur 1.11). Een dergelijk stroomsnelheidsprofiel



Figuur 1.11 Stroomsnelheden in het dwarsprofiel. A. Isotachen (lijnen met gelijke stroomsnelheid)  $v_4 > v_3 > v_2 > v_1$ , B. Stromingsrichtingen.

kan zich over grote afstanden voortzetten, zonder veel variatie. Er is dan ook weinig variatie te verwachten in de habitatstructuur van zo'n beek. In een beek met een onregelmatige vorm is het stroomsnelheidsprofiel ingewikkelder. Doordat de waterstroom plaatselijk tegen de oever botst en terugkaatst, ontstaan dwarsstromingen zoals draaikolken en wervelingen, verticale stromingen zoals spiraalstromen en tegenstromen. In binnenbochten treden lagere en in buitenbochten treden hogere stroomsnelheden op, vaak gepaard gaande met kleine tegenstromingen vlak tegen de oever, maar ook dit is geen constant patroon. In een natuurlijke beek treden, bij verandering van het debiet, steeds wisselingen in stroomsnelheden op. Dit leidt tot wisselende stroomsnelheden nabij de oever en de bodem hetgeen resulteert in een wisseling in erosie en sedimenta-



tie. Materiaaltransport in beken vertoont dan ook sterke periodieke wisselingen. Voor een uitgebreide beschrijving van stromingsprofielen in meanderende beken wordt verwezen naar Calow & Petts (1992). Juist deze variaties in de stroomsnelheid en stromingsrichting zorgen ervoor dat er allerlei verschillende factoren in verschillende mate werkzaam zijn en dat daardoor allerlei (micro-)habitats ontstaan.

Stroming stelt hoge eisen aan organismen die in beken leven. Het stromingspatroon in beken is bijna altijd turbulent behalve in de poriënruimte in het sediment en op de grenslaag tussen bodem en water. Hier kan een laminaire stroming optreden. Laminaire stroming treedt alleen op als het Reynolds getal kleiner dan 2000 is.

*Reynolds getal*

$$Re = v R / k_v \quad (v = \text{stroomsnelheid (m/s)}, R = \text{hydraulische straal (m)}, k_v = \text{kinematische viscositeit (m}^2/\text{s)})$$

De dikte van de laminaire laag bij 15 °C is 5,4 mm bij een gemiddelde stroomsnelheid van 5 cm/s, 2,7 mm bij 10 cm/s en 0,54 mm bij 50 cm/s (Gordon et al. 1992). Dit betekent dat bij stroomsnelheden hoger dan 10-20 cm/s, aquatische organismen zich niet meer kunnen verplaatsen of verschuilen in deze laag. Een uitzondering vormt de aanwezigheid van vegetatie. Tussen vegetatie is wel vaak laminaire stroming. De vele compartimenten tussen de stengels hebben alle een geringe hydraulische straal zodat de wet van Darcy toegepast moet worden (Pitlo & Griffioen 1991). Aquatische organismen worden in het algemeen blootgesteld aan turbulente stroming. De turbulentie is afhankelijk van de viscositeit van water, de stroomsnelheid, de dimensies van het doorstroomde oppervlak en de aanwezige structuren (met name wandruwheid en cohesie). Stroming oefent kracht uit op bodem, oevers, en op de aanwezige organismen. Deze kracht kan onderverdeeld worden naar een stuwende en een opwaartse kracht. Een organisme moet beide krachten (als totaal uitgedrukt in de zogenaamde shear stress) weerstaan om zich in de stroming te kunnen handhaven.

*shear stress*

$$\tau = \rho g R S \quad (\tau = \text{shear stress (N/m}^2\text{)}, \rho = \text{dichtheid (kg/m}^3\text{)}, g = \text{zwaarte-krachtsversnelling (m/s}^2\text{)}, R = \text{hydraulische straal (m)}, S = \text{hoek energielijn})$$

Bij grovere substraten kunnen luvtezones, wervelingen en sterk fluctuerende stroomsnelheden optreden; vooral op plaatsen achter stenen of andere objecten.

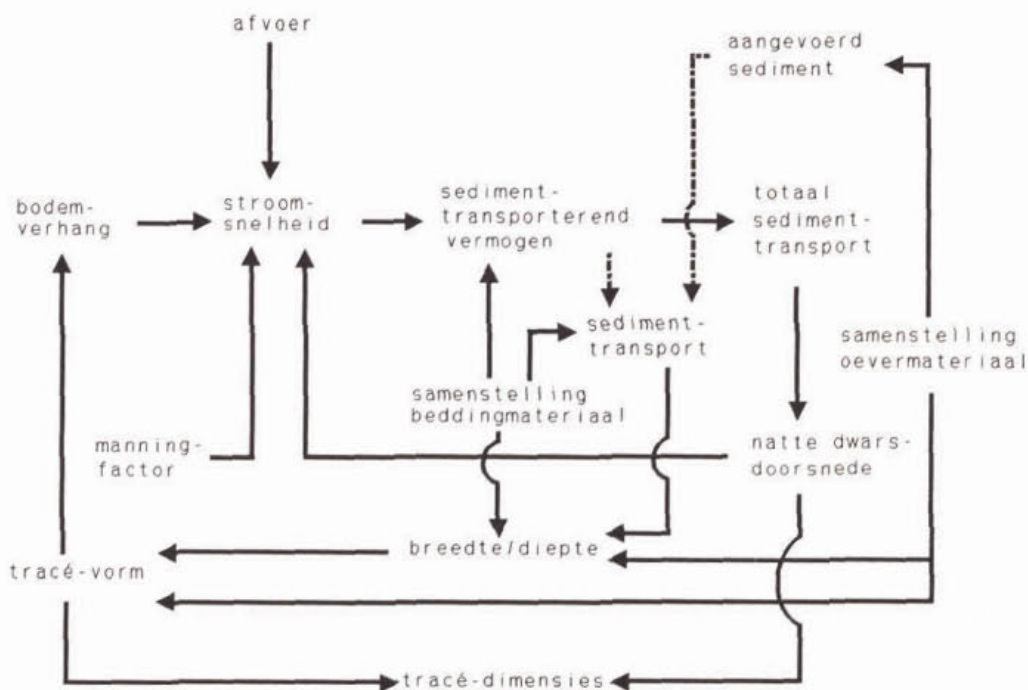
### 1.3.5 Menselijke beïnvloedingen op stroming

Tot de menselijke beïnvloedingen op het factorcomplex stroming behoort de aanleg van 'kunstmatige' afwateringsstelsels (kanalen, sloten en dergelijke) ten behoeve van de optimalisatie van de watervoorziening van met name landbouwgronden, een verdere verfijning van het menselijk gebruik door peilbeheer (regulatie; aanleg van stuwen en andere 'kunstwerken') en onttrekkingen van (grond-)water aan watersystemen voor de voorziening van drink-, industrie- en irrigatiewater. De hieruit voortvloeiende effecten betreffen het verkleinen van de grondwaterberging en het wegvallen van continue en/of variaties in stroming door bijvoorbeeld opstuwing en verdroging (droogvallen van de beekbedding, verdwijnen van vochtige en natte milieus in de omgeving van beken).

## 1.4 Structuren

### 1.4.1 Tracé

Van oorsprong zijn de meeste beeksystemen in Nederland morfologisch stabiel. Onder invloed van de (seizoens-)variatie in de neerslag, hetgeen leidt tot fluctuaties in de afvoer (afvoerdynamiek), kunnen zich kortstondige veranderingen voordoen in de beddingvorm en -dimensies en in de samenstelling van het beddingmateriaal. Echter de gemiddelde waarden over middellange termijn veranderen niet of nauwelijks, er is sprake van een evenwicht. Door menselijke activiteiten, zoals de aanleg van stuwen en drainagesystemen, door normalisaties, verstedelijking en waterwinning, wordt dit evenwicht verstoord. Hierdoor zijn nagenoeg alle Nederlandse beeksystemen in meer of mindere mate instabiel geworden.

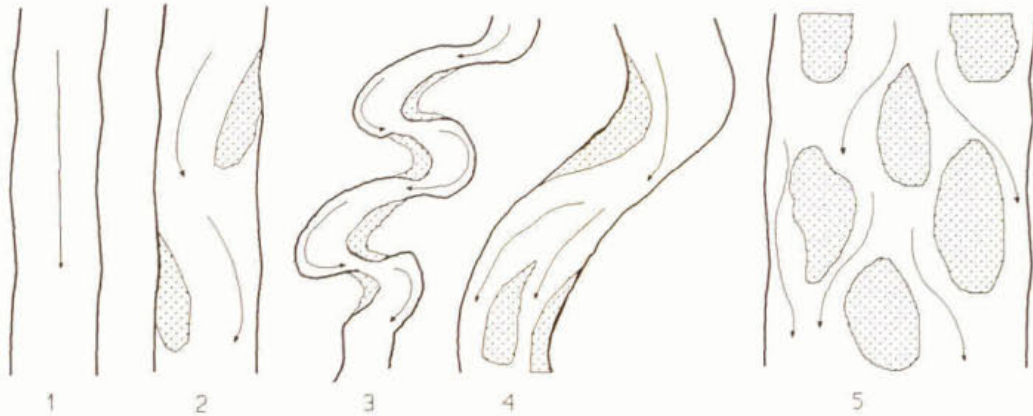


Figuur 1.12 Samenhang in het factorcomplex structuren.

Erosie en sedimentatie kunnen op lange termijn (decennia tot eeuwen) meer of minder grote veranderingen in tracévorm en -dimensies en daarmee het verhang veroorzaken. In figuur 1.12 is het functioneren van het stabiele beekstelsel op middellange termijn weergegeven. De tracévorm (sinuositeit) wordt vooral bepaald door de beddingvorm (b/d-ratio) (onder andere Yen 1970, Stevens 1989, Apmann 1972). Deze is afhankelijk van de samenstelling van het getransporteerde sediment en de samenstelling van het beddingmateriaal. De tracédimensies (meanderlengte en -breedte) zijn vooral afhankelijk van de afvoer (Chorley et al. 1984). Daarnaast is ook de samenstelling van het beddingmateriaal van belang. Verder heeft de afvoerdynamiek belangrijke invloed op de tracévorm. Bij sterk wisselende afvoeren en vooral wanneer de bedding periodiek droogvalt worden de zandbanken op ogenschijnlijk willekeurige plaatsen in de bedding gevormd waardoor uiteindelijk een verwilderd (vlechtend) tracé kan ontstaan.

Er komen allerlei tracévormen voor die in vijf categorieën zijn te onderscheiden (figuur 1.13);





Figuur 1.13 Vijf tracévormen.

- |   |  |
|---|--|
| 1 | recht,   |
| 2 | thalweg; recht tracé met een kronkelende laagwatergeul,                    |
| 3 | meanderend,  |
| 4 | intermediair; meanderend met splitsing stroomgeul/meerdere stroomgeulen en |
| 5 | vlechtend; nagenoeg recht tracé met meerdere stroomgeulen.                 |

Deze vijf categorieën komen zowel in grote als kleine beken onder diverse omstandigheden voor. De mate van slingeren wordt uitgedrukt in de sinuositeit. Deze is gedefinieerd als de verhouding tussen de lengte van de beek (het traject) en de lengte van het dal. Indien de sinuositeit groter is dan 1,5 spreekt men van meandering. De maximale sinuositeit is theoretisch circa 4,58 (Bouwknegt & Gelok 1992). De ontwikkeling van een tracé kan uit de volgende fasen bestaan;

- 1 toename van de beddingdimensies,
- 2 de vorming van migrerende, alternerende zandbanken op regelmatige afstanden langs de oevers,
- 3 groei en migratie van de zandbanken en initiatie van een regelmatig slingerende "thalweg",
- 4 oevererosie onder invloed van de zandbanken en het ontstaan van een slingerende bedding,
- 5 voortgezette oevererosie en toename van de mate van slingering (sinuositeit) en
- 6 meanderontwikkeling tot evenwicht of vlechten voordat zich een evenwicht heeft kunnen instellen.

De vorming van zandbanken is afhankelijk van het sedimenttransport, de b/d-ratio en de spiraalstroming. De plaats waar zandbanken in de bedding worden gevormd, is afhankelijk van de vorm van de bedding (b/d-ratio). Bij een smalle diepe bedding (kleine b/d) is de invloed van de wandwrijving groter dan van de bodem, waardoor de stroomsnelheid langs de wanden beduidend lager is dan in het midden van de bedding (figuur 1.14A). Hierdoor ontstaan zandbanken langs de oevers. Bij een brede, ondiepe bedding (grote b/d) is de invloed van wrijving van de oevers gering ten opzichte van die langs de bodem. De stroomsnelheid langs de bodem is hierdoor nagenoeg uniform in het hele dwarsprofiel. Daardoor vormen zandbanken zich min of meer in het midden van de bedding (figuur 1.14B).

Door de aanwezigheid van zandbanken, die afvoer belemmeren, kan oevererosie optreden. Indien zandbanken voorkomen in het midden van de bedding zal de oevererosie aan beide oevers optreden. Hierdoor ontstaat een verwilderd tracé. Indien zandbanken langs de oevers voorkomen, ontstaat een slingerende loop (thalweg), hetgeen uiteindelijk tot een meanderende of een vlechtende loop kan leiden (figuur 1.13). Oevererosie treedt vooral op tijdens en na een periode van hoge waterstanden (vooral na snelle afname van de afvoer). Op dat moment is het oevermateriaal verzadigd met water en is de schuifweerstand gering.





Helocrene bron van de Vlasbeek (Overijssel)

*(foto P. Verdonschat)*



Bosbeekjuffer; karakteristiek voor bronnen en bovenlopen

*(foto P. Verdonschat)*





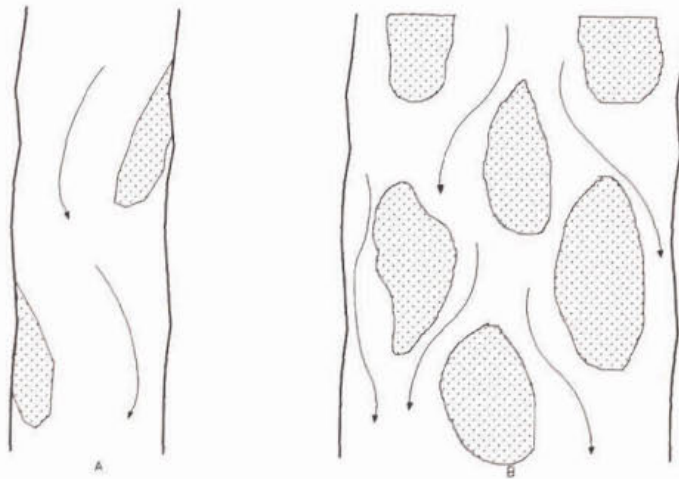
Dinkel (Groene Staart); een natuurlijke benedenloop

*(foto P. Verdonschot)*



Ijsvogel met prooi (driedoornig stekelbaarsje)

*(foto J. van Duinen)*



*Figuur 1.14 Zandbanken. A. Een smalle diepe bedding. B. Een brede ondiepe bedding.*

Het verhang en de afvoer zijn direct van invloed op de tracédimensies, ze bepalen de stroomsnelheid en ten dele het sedimenttransporterend vermogen. Evenals bij de beddingdimensies (paragraaf 1.4.2) geldt in het algemeen voor de tracédimensies (bochtstralen, meanderlengte, meanderbreedte) dat ze groter zijn naarmate de afvoer groter is (Leopold & Wolman 1957, Friedkin 1945).

#### 1.4.2 Bedding en substraatmozaïeken

##### Mineraal materiaal

In figuur 1.12 zijn eveneens de morfologische processen op korte termijn of beddingprocessen in een beekstelsysteem weergegeven. In het algemeen bepalen debiet, verhang, beddingdimensies (breedte, diepte, natte dwarsdoorsnede) en beddingweerstand de stroomsnelheid. Naarmate het debiet en het verhang groter en de beddingdimensies kleiner zijn, is de stroomsnelheid groter (formule van Manning). Een toename van de afvoer alleen leidt niet automatisch tot een evenredige stroomsnelheidstoename. Meestal resulteert een toename van de afvoer ook in een peilstijging (het effect van weerstand in de formule van Manning), waardoor het doorstroomde natte oppervlak wordt vergroot. Dit laatste speelt vooral een rol bij een gering verhang.

Morfologische processen treden op als materiaal (mineraal en organisch) getransporteerd wordt. Het transport van materiaal, in het bijzonder het sedimenttransporterend vermogen is rechtevenredig met de stroomsnelheid en afhankelijk van de samenstelling van het beddingmateriaal. Naarmate het beddingmateriaal fijner is, zal het sedimenttransporterend vermogen groter zijn. Dit met uitzondering van sterk cohesief materiaal zoals klei en leem. Afhankelijk van het sedimenttransporterend vermogen en de aanvoer van sediment uit het bovenstroomse traject zal een bepaald sedimenttransport optreden. In veel gevallen treedt gelijktijdig erosie van fijne deeltjes en sedimentatie van grovere deeltjes op. Dit wordt veroorzaakt door de spreiding in de korrelgrootte van de deeltjes in de bedding.

De beddingdimensies zijn het resultaat van de eroderende en sedimenterende werking van het water en aan- respectievelijk afvoer van sediment gedurende een relatief lange termijn. Aangezien de dimensies op hun beurt van invloed zijn op de stroomsnelheid is er sprake van een terugkoppelingsmechanisme. Door erosie wordt het doorstroomde natte oppervlak groter waardoor de stroomsnelheid en daarmee het sedimenttransporte-

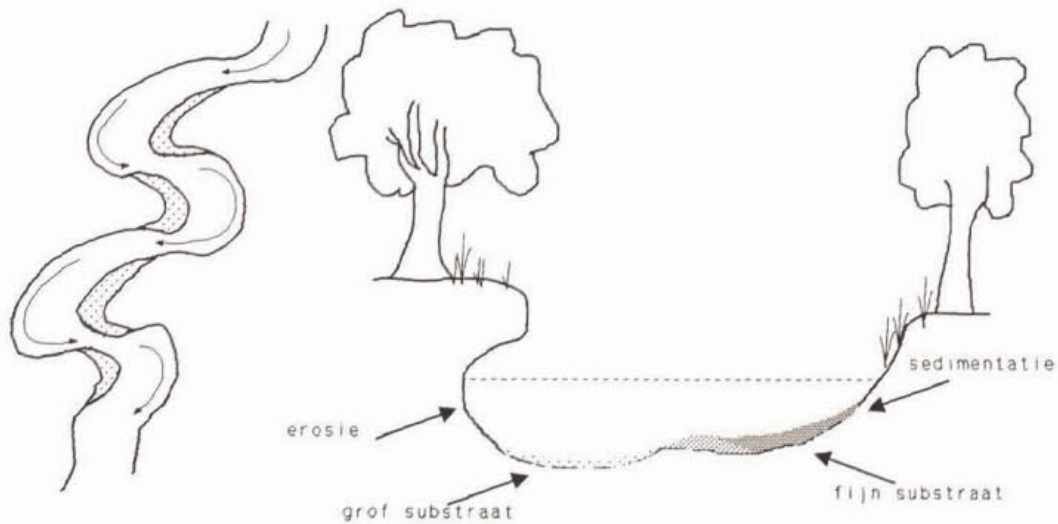


rend vermogen afneemt. Bovendien neemt de erosie af als al het transporteerbare materiaal is verdwenen. Het omgekeerde doet zich voor bij sedimentatie. De beddingvorm is vooral afhankelijk van de samenstelling van het beddingmateriaal en de hoeveelheid en samenstelling van het getransporteerd sediment. In het algemeen geldt dat de dimensies groter zijn naarmate de afvoer groter is (Schumm 1977, Stevens 1989, Chorley, Schumm & Sugden 1984). Door de wisselingen in afvoer treden ook fluctuaties in dimensies op. Deze fluctuaties in dimensies noemt men het "ademen" van de beek. Of bij een bepaalde afvoer daadwerkelijk erosie of sedimentatie optreedt, is afhankelijk van de samenstelling van het bedding- en oevermateriaal en van de hoeveelheid en samenstelling van het sediment uit het bovenstroomse traject. Daarnaast is de duur en frequentie van de desbetreffende afvoer van belang.

In de meeste literatuur worden piekafvoeren als maatgevend voor de beddingmorfologie (beddingdimensies en -vorm) beschouwd. Gezien de lage frequentie en de korte periode waarin deze afvoeren voorkomen, is hun invloed op langere termijn volgens sommige auteurs echter relatief gering (Geessink & Romeijn 1990, Bouwknecht & Gelok 1992). Verder worden er in de literatuur formules vermeld die de relatie tussen het debiet en de beddingdimensies beschrijven. Deze formules geven echter een dermate grote spreiding dat ze beter buiten beschouwing kunnen worden gelaten. Fijn cohesief bodemmateriaal zoals klei en leem resulteert in een smalle diepe bedding (kleine breedte-diepte verhouding (=  $b/d$ -ratio)) terwijl grover (weinig cohesief) bodemmateriaal, zoals zand en grind leidt tot een brede ondiepe bedding (grote  $b/d$ -ratio) (Yu & Wolman 1987, Stevens 1989). Er is een duidelijke relatie tussen de beddingvorm en het percentage fijn beddingmateriaal ( $< 0,074$  mm). Naarmate het percentage fijn beddingmateriaal groter is, is de  $b/d$ -ratio kleiner. Dit is een lineair verband. Wanneer sedimenttransport optreedt, is vanwege de variatie in de samenstelling van het beddingmateriaal en het aangevoerde materiaal altijd sprake van bodem- en zwevend-transport. Hierbij wordt het fijne materiaal in de vorm van zwevend transport en het grootste deel van het grovere materiaal in de vorm van bodemtransport getransporteerd. De verhouding tussen deze beide is afhankelijk van de samenstelling van het beddingmateriaal en het sedimenttransporterend vermogen. Indien het sedimenttransporterend vermogen gering is, kan er weinig grof materiaal worden getransporteerd en is er nauwelijks bodemtransport. Indien het beddingmateriaal een groot percentage fijn materiaal bevat, treedt meer zwevend transport op en is het aandeel van het bodemtransport in het totale transport kleiner. Daarom is er zowel een relatie tussen de  $b/d$ -ratio en het bodemtransport als tussen de  $b/d$ -ratio en het percentage fijn beddingmateriaal. De wijze waarop water naar de beek wordt aangevoerd, heeft ook invloed op de samenstelling en de hoeveelheid bodemmateriaal dat vanuit het beekdal naar de beek wordt getransporteerd. Naarmate de oppervlakkige afstroming groter is, zal de hoeveelheid bodemmateriaal dat de beek bereikt groter zijn en ook grovere deeltjes bevatten (hogere afstromingssnelheid).

De beddingvorm is onder andere afhankelijk van de aanwezigheid van bochten en obstakels. Door de slingering in het tracé komt de stroomdraad dicht bij een oever te liggen omdat het sneller stromende water bovenin het profiel de neiging heeft om rechtdoor te stromen. Hierdoor ontstaat een gering dwarsverhang in de waterspiegel die een secundaire dwarsstroming teweeg brengt. Deze dwarsstroming resulteert tesamen met de longitudinale stroming in een spiraalstroming. De spiraalstroming transporteert sediment uit de oever naar het midden hetgeen leidt tot een enigszins asymmetrisch dwarsprofiel (figuur 1.15). Doordat erosie aan de buitenoever optreedt, wordt deze uitgediept en ontstaat een stroomkom. Daarbij kan de oever stabiliteit verliezen, hetgeen tot een grotere bochtkromming leidt. In eerste instantie versterkt de grotere kromming het proces van bochtstroming. De stroomsnelheid in de buitenbocht wordt groter naarmate de kromming groter is (bochtstraal kleiner is). Hetzelfde geldt overigens ook voor het bodemdwaarsverhang. Door de vergroting van de kromming neemt echter ook het logitudinale verhang af, hetgeen tot afname van de stroomsnelheid kan leiden. Hierdoor wordt de oevererosie afgeremd; een terugkoppelingsmechanisme. Tegelijkertijd wordt aan de binnenbocht en in de rechtstand tussen twee





*Figuur 1.15 Bovenaanzicht en dwarsdoorsnede van een meanderende beek (naar Van den Brand et al. 1983).*

tegengestelde bochten in, sediment afgezet waardoor daar zandbanken ontstaan. Bij lage afvoeren is de invloed van de spiraalstroom gering en treedt het omgekeerde op, sedimentatie in de buitenbocht, waardoor de stroomkom aanzandt en verdwijnt terwijl in de rechtstand erosie van de zandbank op kan treden (Leopold & Wolman 1964). Deze veranderingen in de beddingvorm worden beschouwd als het "ademen" van de bocht. Dit zogenaamde "ademen" wordt nog sterker indien er vegetatie aanwezig is. Alhoewel vegetatie zich meestal in de ondiepere delen ontwikkelt waardoor de stroomdraad naar het midden wordt gedwongen en de oevers juist minder door erosie worden aangetast.

Naarmate de bedding dichter begroeid is, neemt door de grotere stromingsweerstand tussen de vegetatie (oevervegetatie en waterplanten), de stroomsnelheid en daarmee de afvoer af. Daardoor zal materiaal tussen de planten bezinken, zal erosie worden voorkomen en wordt erosie als gevolg van piekafvoeren gecompenseerd. Daarnaast heeft de oevervegetatie een grote stabiliserende invloed op de oevers en zal derhalve oevererosie beperken. Ook de stabiliteit van zandbanken in de bedding worden door de vegetatie beïnvloed. Naarmate de begroeiing op de zandbanken sterker ontwikkeld is, zal de stabiliteit groter zijn. De vegetatie zorgt als het ware voor een "demping" van het systeem. Deze is groter naarmate de beddingdimensies kleiner, de b/d ratio groter en de vegetatie sterker ontwikkeld is. Zo is de invloed van vegetatie bij brede ondiepe beken groter dan bij smalle diepe beken.

Aan de wijze waarop sediment wordt getransporteerd, kunnen drie beddingvormen worden gekoppeld, namelijk; bodemtransport bedding, gemengd transport bedding en zwevend transport bedding. In tabel 1.2 zijn de voornaamste kenmerken van deze beddingtypen opgenomen.

De kweldruk is van invloed op de stabiliteit van de oevers en dus op de beekdimensies. Vergeleken met de hoeveelheid afstromend oppervlaktewater (door de beek) is de invloed van de kweldruk echter zeer gering.



Tabel 1.2 Kenmerken van de drie beddingtypen (Schumm 1977).

<i>vorm sediment-transport en beddingtype</i>	<i>sediment-samenstelling (% fijn*)</i>	<i>bodemtransport (% v/h totale sed.transport)</i>	<i>b/d ratio</i>	<i>sinuo-siteit</i>	<i>verhang</i>
zwevend transport	> 20	< 3	< 10	> 2	rel. gering
gemengd transport	5 - 20	3 - 11	10 - 40	1.3 - 2	gemiddeld
bodem transport	< 5	> 11	> 40	< 1.3	rel groot

\*% fijn = % van het beddingmateriaal < 0.017 mm

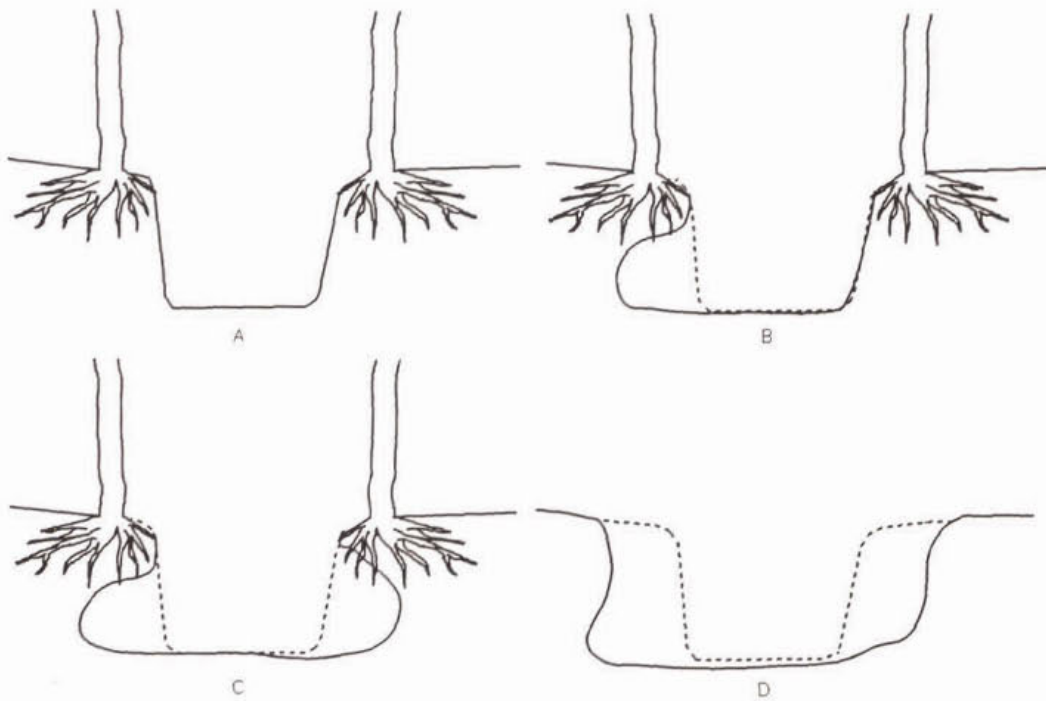
De samenstelling van het beddingmateriaal ondergaat periodieke veranderingen als gevolg van de afvoerdynamiek. Bij lage afvoer domineert de sedimentatie en kan aanzanding optreden waarbij fijnere sedimenten worden afgezet. Hierdoor zal de bovenste laag van het beddingmateriaal geleidelijk fijner van samenstelling worden. Bij hoge afvoer treedt erosie op. Hierdoor worden vooral de fijnere bestanddelen uit het beddingmateriaal gespoeld waardoor de bovenste laag grover van samenstelling wordt. De samenstelling van de bovenste laag van het beddingmateriaal weerspiegelt het sedimenttransport van dat moment.

Samenvattend blijkt uit figuur 1.12 dat de variatie in het debiet (afvoerdynamiek) mede verantwoordelijk is voor de variatie in stroomsnelheid en diensgevolge van invloed op de veranderingen in de beekmorfologie. Veranderingen van de stroomsnelheid resulteren in veranderingen in het sedimenttransporterend vermogen wat kan leiden tot erosie en/of sedimentatie. Enerzijds kunnen hierdoor veranderingen in beddingdimensies en -samenstelling optreden; een terugkoppelingsmechanisme. De veranderingen in de dimensies kunnen weer tot nivellering van de stroomsnelheid leiden. Anderzijds treedt op de ene plek 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 verspreid en gesorteerd hetgeen leidt tot substraatmozaïeken. Bij verschillende afvoeren kunnen verschillende substraatmozaïeken ontstaan die op hun beurt de afvoeren weer beïnvloeden, opnieuw is sprake van een terugkoppeling. Zo kan bijvoorbeeld door het uitzeven van fijnere deeltjes uit de bovenste laag, deze laag een zodanige grove samenstelling krijgen dat bij het actuele stromingsregime geen erosie meer optreedt.

#### Organisch materiaal

Een van de belangrijkste relaties van de beek met haar directe omgeving wordt bepaald door de oeverbegroeiing. De relatie tussen het beekmilieu en de oeverbegroeiing uit zich in de mate van beschaduwing (effect op watertemperatuur en hoeveelheid lichtinstraling) en de hoeveelheid (met name dood) organisch materiaal die in het water terecht komt. De intensiteit van deze relatie is een gevolg van de verhouding tussen de oeverlengte en het oppervlak van de beekbedding (Anderson & Sedell 1979). Daarnaast zijn ook de in het water vallende diertjes van belang als voedsel voor onder andere de beekschaaftenrijder (*Gerris najas*) en de kokerjuffer *Plectrocnemia conspersa*. Veel stromende wateren worden begeleid door bossen en houtwallen. Daarnaast kan ook de oevervegetatie de beekmorfologie beïnvloeden vooral als gevolg van de bewortelvorm. Van nature komen houtige gewassen veel langs beken voor. Maar ook komen soms onder invloed van grazers die de natuurlijke opslag van houtige gewassen oneindig lang kunnen tegenhouden, uitgestrekte grazige vegetaties voor. Dat de begeleidende vegetatie het lengte- en dwarsprofiel vastlegt en dat het een belangrijke bron van organisch materiaal is, is duidelijk. Soms kan deze vegetatie gebruikt worden als parameter van erosie in voorgaande jaren. Figuur 1.16 illustreert enkele groeivormen indicatief voor erosie (Gregory et al. 1985). Vindt de erosie plaats onder invloed van natuurlijke morfologische oftewel autogene processen dan is deze meestal slechts aan één zijde van de beek zichtbaar en vindt op de andere aanzanding plaats. Is deze erosie





*Figuur 1.16 Erosie van beekoevers. A. Normprofiel met niet verticaal wortelende houtopstand. B. Eenzijdige erosie. C. Tweezijdige erosie. D. Tweezijdige erosie kale oever. (naar Gregory et al. 1992).*

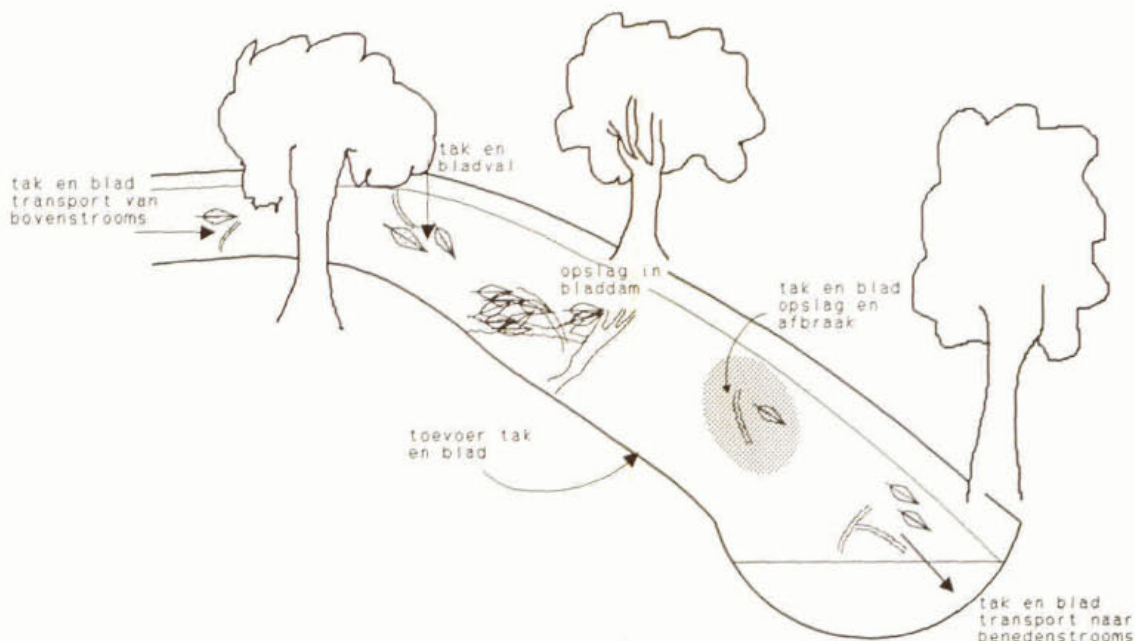
echter een gevolg van externe veranderingen dan is deze tweezijdig zichtbaar. Dit verschijnsel dient wel over een geheel traject te worden bekeken, lokaal kan altijd erosie optreden gevolgd door sedimentatie stroomafwaarts. Het weghalen van organische structuren uit de beek leidt vaak tot tweezijdige oevererosie.

Een belangrijk verschil met de hydraulische en morfologische processen in de beek is dat de organische structuren moeilijk kwantificeerbaar zijn en niet met formules zijn te beschrijven. Toch blijken juist de organische structuren een cruciale invloed te hebben op de hydraulische en morfologische processen, vooral ten aanzien van stromingsweerstand, oeverstabiliteit, oevervorm, sedimentatie en damvorming (Hickin & Nansen 1984).

Aangezien beken van nature in de laagste delen van een dal zijn gelegen fungeren ze als verzamelbekkens voor door wind en oppervlakkige afstroming verplaatst, dood organisch materiaal zoals blad en takken. Dit direct invallend of aangevoerd organisch materiaal zorgt voor onder andere een constante voedselaanvoer en de vorming van organische structuren in de beek. Opeenhopingen van organisch materiaal zoals dammetjes houden het organische materiaal en ook deels het minerale materiaal vast en bieden micro-organismen (bacteriën en schimmels) en macro-organismen (macrofauna, vissen) schuilplaatsen en voedsel. Figuur 1.17 geeft een overzicht van de aan- en afvoerstromen van dood organisch materiaal naar en van de beek.

De natuurlijke aanvoer van organisch materiaal is het hoogst in de herfst. De organische structuren worden vooral verplaatst, gevormd en weggeslagen tijdens afvoerpieken in met name 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.





Figuur 1.17 De aan- en afvoerstromen van dood organisch materiaal (naar Gregory et al. 1992).

De invloed van takjes, takken en stammen op stromende wateren uit zich in een wijziging van de (micro-)morfologie van de beek. In een natuurlijke beek bestaat gemiddeld ongeveer 25 % van de bodem van een bronbeek of bovenloop uit dood hout terwijl nog eens gemiddeld ongeveer 25 % bestaat uit detritusafzettingen, ontstaan in de luwte van organische structuren (Anderson & Sedell 1979). Dit betekent dat ongeveer de helft van het natuurlijk beekmilieu wordt gevormd door dood hout. Daarbij komt nog dat op macroschaal de loop van de beek sterk bepaald wordt door de aanwezigheid van levend organisch materiaal; bomen. In de benedenlopen loopt het aandeel van dood organisch materiaal ongeveer met de helft terug. De fysische rol van hout in de beek als vormer van de micromilieus is belangrijker dan de metabolische. Voor ingevallen blad geldt het omgekeerde.

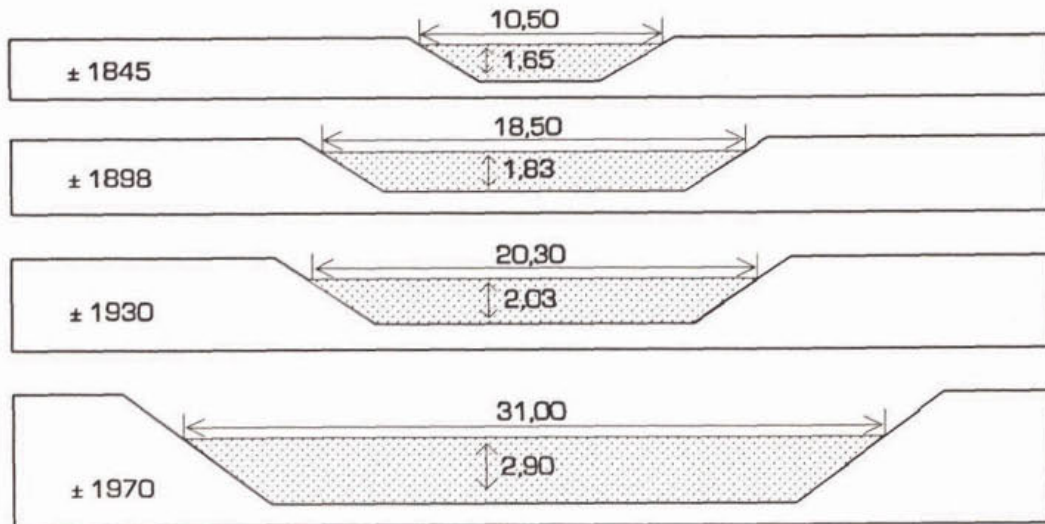
De basisafvoer wordt met een factor twee tot drie verkleind (opstuwning) door organische structuren en obstakels. Ook het sedimenttransport en de oevererosie nemen dan significant af terwijl de habitatdiversiteit toeneemt. Het verwijderen van organische structuren hoort niet thuis in een natuurlijke beek. Bij hoge piekafvoeren worden veel organische structuren weggeslagen.

Ophopingen van organisch materiaal in beken zijn 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. Verder sturen ophopingen van organisch materiaal de stroomdraad en de erosie-sedimentatie processen en verhogen ze de retentie van water (aftopping piekafvoeren) en van anorganisch en organisch sediment (bevorderen sedimentatie). Hierbij dient te worden aangetekend dat de opstuwende werking bij piekafvoeren in hellende gebieden van minder belang is dan in vlakkere. Daarnaast zorgen ophopingen van organisch materiaal voor variatie in stroomsnelheden en microhabitatvorming hetgeen kan leiden

tot een grotere soortdiversiteit. Plaatselijk ontstaan stroomversnellingen waardoor met name in sneller stromende beken, indien grind aanwezig is, grindsubstraten kunnen ontstaan terwijl in de luwte van de stroom afzettingen van fijn organisch materiaal worden gevormd. Stroomversnellingen en watervalletjes zorgen voor turbulentie met een goede zuurstofvoorziening als gevolg.

#### 1.4.3 Menselijke beïnvloedingen op structuren

Het gebruik van beeklopen als bron van gebruikswater zoals drinken, wassen, irrigatie en bemesting is al vele eeuwen oud. Van een zeer groot aantal beken is vastgesteld dat hun ligging in het verleden is aangepast om aan de menselijke behoeften te voldoen. Veel beken zijn hoger in het dal gelegd, om het dal bij overstroming met voedingsstoffen/klei te verrijken. Andere beken zijn voor menselijke doeleinden gegraven (bijvoorbeeld sprengen op de Veluwe). Van veel latere datum zijn aanpassingen aan de loop en de vorm van beken ten behoeve van de optimalisatie van de afvoerfunctie. Dit betreft normalisatie; het aanbrengen van standaardprofielen, kanalisatie; het rechtekken van kronkels (figuur 1.18) en regulatie; het aanbrengen van stuwen. In beken in Nederland is zo een grote mate van éénvormigheid ontstaan. Ook wijzigingen in de vorm en het reliëf van het landschap in stroomgebieden (grootschalige egalisaties, ophoging met zand ten behoeve van bouwactiviteiten en dergelijke) hebben een grote mate van uniformiteit gecreëerd. Dit betekent op kleine en grote schaal vermindering van de variatie in het abiotische milieu, hetgeen een beperking inhoudt voor de vestigings- en bestaansmogelijkheden van soorten en levensgemeenschappen.



Figuur 1.18 Schematisch dwarsprofiel van de Berkel bovenstrooms van Lochem na drie perioden van aanpassingswerkzaamheden (De Jong 1982).

Indien een beekstelsel niet langer onderhevig is aan regulaties, bepaalt het systeem zelf zijn variabelen (stroomsnelheid, sedimenttransport, beddingdimensies). Het kiezen van de beddingdimensies en het verhang (sinuositeit, tracé), hetgeen voor ontwerpen vaak wordt gedaan, is derhalve beperkt. Er zijn een aantal belangrijke systeemkarakteristieken die niet zomaar terzijde kunnen worden geschoven. De belangrijkste zijn de b/d-ratio en de sinuositeit. Indien teveel van de b/d-ratio en de sinuositeit die in overeenstemming zijn met de heersende lokale omstandigheden wordt afgeweken, kunnen zich ongewenste effecten voordoen. Zo zal een beek die qua omstandigheden een grote sinuositeit zou moeten hebben, maar in het kader van een beekherstelplan een geringe sinuositeit heeft gekregen, haar profiel aanpassen. Dit zou ertoe kunnen leiden dat gedurende een lange periode een sterk vergrote morfodynamiek optreedt, wat



gepaard kan gaan met grote sedimentlasten. Onder morfodynamiek wordt de mate waarin veranderingen in de morfologie (op macroschaal; tracé, op mesoschaal; bedding-dimensies en samenstelling beddingmateriaal, op microschaal; bodemreliëf, mozaïeken) optreden, verstaan.

Door historische gegevens te verzamelen kan inzicht worden verkregen in de b/d-ratio en de sinusiteit die in overeenstemming zijn met de toendertijd lokaal heersende natuurlijke omstandigheden. Deze kunnen dan als uitgangspunt worden genomen. Ze dienen echter flexibel te worden toegepast omdat de omstandigheden in de loop van de tijd sterk kunnen zijn veranderd.

Niet alleen de stroomsnelheid en de beddingvorm, maar ook de morfologische stabiliteit en de morfodynamiek zijn van belang voor de ecologische ontwikkelingsmogelijkheden. Deze zijn namelijk van grote invloed op de structuur van het habitat en de habitatdynamiek. Onder (morfologische) stabiliteit wordt hier verstaan dat de veranderingen die zich in de morfologie voordoen, sporen met de benodigde tijd en dat bepaalde variabelen (met name b en d) rond een gemiddelde fluctueren. Zo treedt meandermigratie in Nederland nauwelijks indien de systemen stabiel zijn.

## 1.5 Stoffen

### 1.5.1 Inleiding

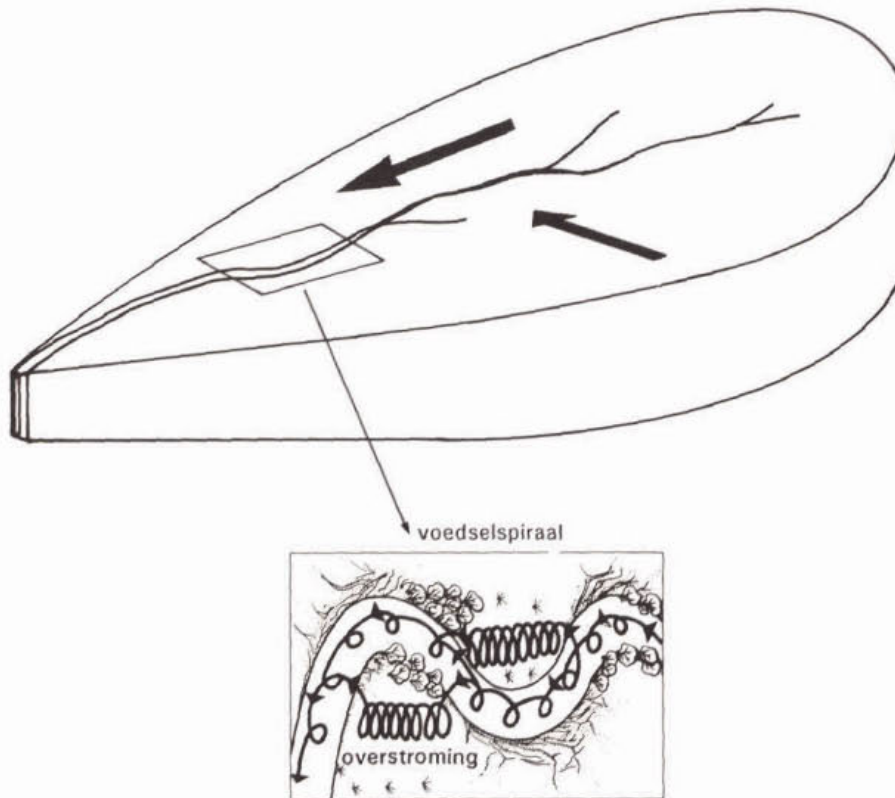
Stoffen bereiken de beek direct via de neerslag en indirect via de oppervlakkige afstroming en het grondwater. In de beek worden stoffen getransporteerd en/of opgenomen in de biologische kringloop en daarmee tijdelijk vastgelegd. Binnen de kringloop van stoffen vervullen organismengroepen een belangrijke rol als uitvoerders van de omzettingprocessen. De plantaardige produktie staat aan de basis van deze stofkringloop. Dieren gebruiken planten weer als voedsel. Na uitscheiding of sterfte van het organisme worden deze stoffen weer gemobiliseerd, om vervolgens verder benedenstrooms opnieuw in de voedselketen te worden opgenomen (nutrient spiralling (Wallace et al. 1977)). De kringloop van stoffen (met name voedingsstoffen) bekend uit het stilstaande water heeft in het stromende water een spiraalvormige verloop (figuur 1.19).

Stoffen die een belangrijke invloed op de beeklevensgemeenschap uitoefenen, zijn;

- zuurstof en organische verbindingen (koolstofverbindingen),
- voedingsstoffen of nutriënten (koolstof, stikstof en fosfaat verbindingen),
- macro-ionen (natrium, kalium, calcium, magnesium, ijzer, bicarbonaat, chloride, sulfaat),
- microverontreinigingen zoals zware metalen (bijvoorbeeld als anorganische vrije ionen, anorganische complexen, of geassocieerd met organisch materiaal, dan wel aan het bodemcomplex) en milieuvreemde stoffen zoals bestrijdingsmiddelen en synthetische wasmiddelen.

### 1.5.2 Zuurstof en organisch materiaal

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. Concentraties lopen uiteen van 0 tot  $\pm 20$  mg/l. De zuurstofconcentratie in water is temperatuurafhankelijk; bij hogere temperatuur treedt eerder zuurstofverzadiging op. Bij lagere temperatuur kan het water meer zuurstof bevatten. Zuurstof wordt naar de beek aangevoerd via diffusie uit de lucht, aëratie als gevolg van waterturbulentie, en door de fotosynthese van waterplanten.



*Figuur 1.19 De stoffenstromen in een stroomgebied. De pijlen geven de richting en toename van de stoffenstroom weer. Het kader illustreert het nutrient spiralling concept (Verdonschot 1992).*

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 beek 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 naar benedenstrooms afgevoerd. Waarschijnlijk zijn de afbraak en de afvoer op jaarbasis in redelijk evenwicht met de aanvoer, met als correctie lokale ophopingen zoals in binnenbochten.

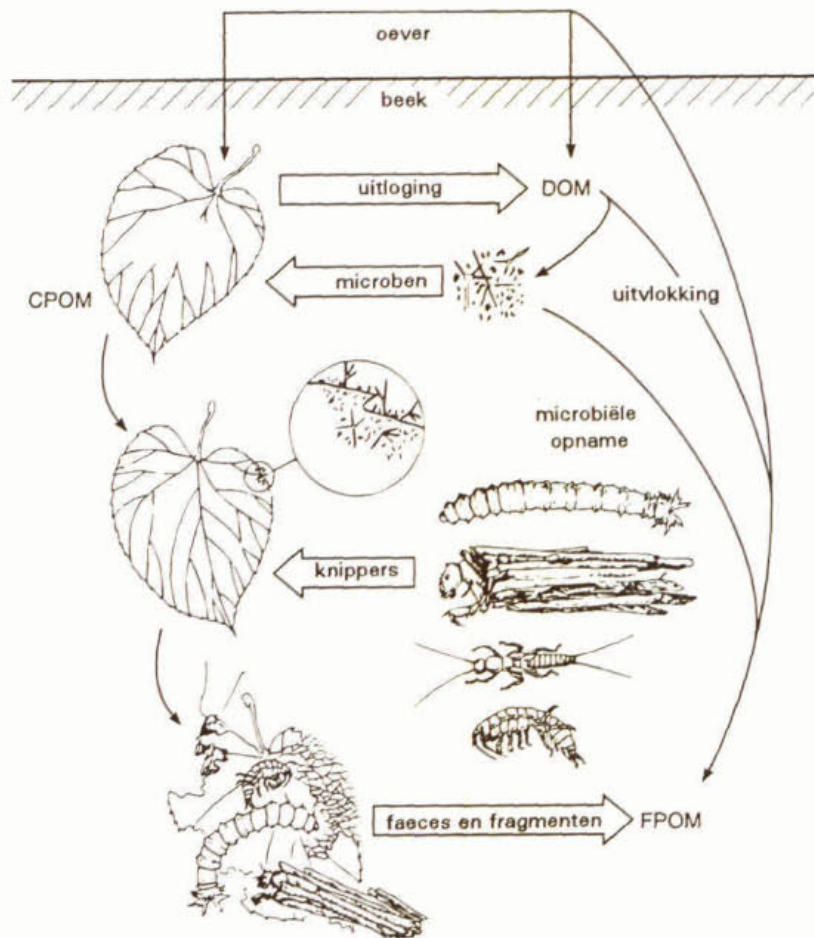
Het organisch materiaal in een beek kan worden onderverdeeld naar het levend organisch materiaal (zoals algen, mossen, waterplanten en dieren) en het dode organisch materiaal. Deze laatste categorie is onder te verdelen naar;

- \* opgelost organisch materiaal (Dissolved Organic Matter; DOM < 0.45  $\mu\text{m}$ ),
- fijn organisch materiaal (Fine Particular Organic Matter; FPOM < 1 mm) en
- \* grof organisch materiaal (Coarse Particular Organic Matter; CPOM > 1 mm).

Het CPOM kan nader onderverdeeld worden in bladeren enerzijds en takjes, takken en boomstammen anderzijds.

De rol van organisch materiaal als bron van voedsel kan onderverdeeld worden naar microbiologische en biochemische criteria. Gaande van CPOM naar DOM neemt de rol van de fungi (schimmels) af en die van de bacteriën toe (figuur 1.20). Het levende organische materiaal wordt verdeeld naar aanwezigheid van chlorofyl (groene planten) en hoeveelheid eiwitten (dieren). Veel beekorganismen gebruiken dood organisch materiaal als voedselbron. Hierbij speelt vooral de hoeveelheid stikstof een belangrijke rol. Dood hout (takjes, takken en boomstammen) is minder van belang omdat de vastgelegde energie is opgeslagen in moeilijk afbreekbare verbindingen zoals lignine en cellu-





Figuur 1.20 De afbraak van blad (CPOM) door organismen tot fijn organisch (FPOM) en opgelost organisch materiaal (DOM).

lose en omdat de stikstofconcentraties laag zijn. Anderson et al. (1978) vermelden een N-concentratie van 0.04 % van het drooggewicht en een C/N verhouding van 1343. De afbraak van dood hout verloopt daarom ook traag, in de orde van 10-20 jaar. Dood hout is wel een lange-termijn leverancier van particulier organisch materiaal. De lage voedingswaarde van het hout wordt enerzijds ondervangen doordat sommige organismen die dit hout consumeren een aangepaste darmflora bezitten die wel beschikt over de benodigde enzymen om lignine en cellulose af te breken terwijl andere organismen juist leven van de micro-organismen die zich op het dode hout bevinden. Blad daarentegen bevat anorganische voedingsstoffen, suikers en polyfenolen die de belangrijkste bijdrage leveren aan de energie- en voedingsstoffenhuishouding van de beek. Blad breekt in een periode van maanden tot ruim een jaar af:

		afbraakcoëfficiënt (verlies/dag)
Fraxinus sp.	(es)	0.0104
Acer spp.	(esdoorn)	0.0093
Carpinus sp.	(haagbeuk)	0.0083
Betula spp.	(berk)	0.0077
Alnus glutinosa	(els)	0.0075
Salix spp.	(wilg)	0.0070
Ulmus sp.	(iep)	0.0056
Populus spp.	(populier)	0.0043
Quercus robur	(eik)	0.0035
Fagus sp.	(beuk)	0.0025

(naar Petersen & Cummins 1974)

Afbraak van organisch materiaal leidt tot toevoer van voedingsstoffen naar het beekstelsysteem. Daarnaast kunnen ophopingen van organisch materiaal leiden tot verlaging van de zuurstofconcentratie. Een teveel aan organisch materiaal kan zelfs leiden tot zuurstofloosheid in bodem en oppervlaktewater. Dit kan optreden op plaatsen waar de beek zwaar beschaduwd wordt maar waar onvoldoende afvoer plaatsvindt. De mate van organische belasting wordt uitgedrukt in de saprobiëgraad die op het ammoniumgehalte gebaseerd kan worden (Wegl 1983):

	<i>ammonium (NH<sub>4</sub> mg/l)</i>	
oligosaproob	< 0.1	
β-mesosaproob	0.1 - 0.5	
α-mesosaproob	0.5 - 4.0	
polysaproob	> 4.0	

### 1.5.3 Voedingsstoffen

Koolstof, stikstof en fosfaat zijn belangrijke bouwstoffen voor levende organismen. Om het voedingsstoffengehalte aan te duiden wordt de trofiegraad gebruikt. De aanduiding van de trofiegraad kan gebaseerd worden op de indeling van orthofosfaat- en nitraatgehalten naar Leentvaar (1979):

	<i>orthofosfaat (mgP/l)</i>		<i>nitraat (mgN/l)</i>	
oligotroof	< 0.01		0	
β-mesotroof	0.01 - 0.025		0 - 1	
α-mesotroof	0.025 - 0.05		1 - 1.5	
eutroof	0.05 - 0.1		1.5 - 2	
hypertroof	> 0.1		> 2	

De trofie-indeling kan ook worden gebaseerd op het totaal-fosfaatgehalte en het totaal-stikstofgehalte naar Vollenweider (1968):

	<i>totaal-fosfaat (mgP/l)</i>		<i>totaal-stikstof (mgN/l)</i>	
ultra- tot oligotroof	< 0.005		< 0.2	
oligo- tot mesotroof	0.005 - 0.01		0.2 - 0.4	
meso- tot eutroof	0.01 - 0.03		0.3 - 0.6	
eu- tot polytroof	0.03 - 0.1		0.5 - 1.5	
polytroof	> 0.1		> 1.5	

Van nature komen fosfor en stikstof niet evenredig verdeeld over een stroomgebied voor. De bron van een beek is vaak gelegen in het infiltratiegebied. Hier vormt neerslag de belangrijkste bron van water en stoffen. Omdat neerslag van nature arm is aan opgeloste stikstof- en fosforverbindingen is de omgeving van de bron voedselarm of oligotroof. Dit geldt ook voor de randen van het stroomgebied (waterscheiding) en andere hoog gelegen delen (infiltratiegebieden), waar neerslag de belangrijkste bron van stoffen en water is. Bij voeding met grondwater uit kalkrijkere bodems is de bron matig voedselrijk of mesotroof. Zo zijn de Zuidlimburgse bronnen van nature kalkrijk (circa 100 mg/l) terwijl de Veluwe kalkarm zijn (circa 15-25 mg/l) (Redeke 1948). Door transport door of over de bodem worden oplosbare stikstof- en fosforverbindingen uit de bodem aan het water toegevoegd. Fosfaat kan worden gebonden aan bodemdeeltjes, maar de mate waarin dat gebeurt is sterk afhankelijk van de bodemsamenstelling. Zandgrond die arm is aan ijzer of aluminium, en ook nog kalkarm, is vrij snel verzadigd. In 1990 bleek reeds 53 % van het totale maïs- en grasland areaal in de zandgebieden fosfaatverzadigd (Breeuwsma et al. 1990). Hier spoelt een groot deel van de fosfaat die als bemesting wordt toegediend uit naar het grondwater. Stikstof wordt nauwelijks gebonden waardoor het in de vorm van nitraat uitspoelt. Bij een hoge grondwaterstand in de percelen of langs de beek kan denitrificatie optreden waardoor een (groot) deel van de stikstof als stikstofgas (N<sub>2</sub>) naar de lucht verdwijnt.



De in de grond aanwezige mineralen kunnen ook oplossen in het grondwater zodat het water naarmate het langer (óf over langere afstand) door of over de bodem is getransporteerd geleidelijk rijker kan worden aan kalk of ijzer. Het kan echter ook rijker worden aan stikstof en fosfaat als dat in grote mate in de bodem aanwezig is, zoals in mariene kleiafzettingen in het holocene deel van Nederland. Uit inmiddels fosfaatverzadigde gronden, maar ook overige gronden met een gering fosfaatbindend vermogen kunnen een verhoogde uitspoeling vertonen, vooral na grondwaterstandsverhogingen.

Ook spelen processen in de beek zelf een rol. De beek wordt bovenstrooms gevoed met grof organisch materiaal. Naarmate dit materiaal stroomafwaarts wordt verplaatst, breekt het verder af en komen steeds meer oplosbare verbindingen 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).

Behalve de natuurlijke toevoer van voedingsstoffen worden ook stoffen vanuit aangrenzende gronden aangevoerd. Deze veelal ongewenste toevoer kan worden verminderd door de aanleg van bufferstroken. De te realiseren vermindering is afhankelijk van de aard van de bufferstrook (type, breedte, inrichting en beheer), van de hoogte van de nutriëntenaanvoer (bemesting, depositie, basisbelasting van de bodem) en van de milieufactoren ter plaatse (grondsoort, grondwaterstand, landgebruik, drainage, helling van het terrein, temperatuur en neerslag). De werking van bufferstroken berust op een vermindering van het nutriëntentransport naar het oppervlaktewater ten opzichte van de situatie zonder bufferstrook. Het gaat hierbij om het transport dat plaatsvindt via de korte transportwegen, namelijk oppervlakkige afspoeling (surface runoff) en ondiepe uitspoeling (subsurface runoff). Orleans et al. (1994) geven op basis van een literatuurstudie en op grond van aanvullende berekeningen voor de Nederlandse situatie de effectiviteit van verschillende typen bufferstroken. Om een 100 % reductie van de nutriëntenbelasting van het oppervlaktewater te verkrijgen zijn de volgende breedtes van verschillende typen bufferstroken benodigd. Voor stikstof geldt;

	<i>type bufferstrook</i>			
	<i>onbemest</i>	<i>grasland</i>	<i>bos</i>	<i>moeras</i>
mais op zand	27.5	19.2	19.2	7.8
gras op zand	17.6	17.6	17.7	7.1

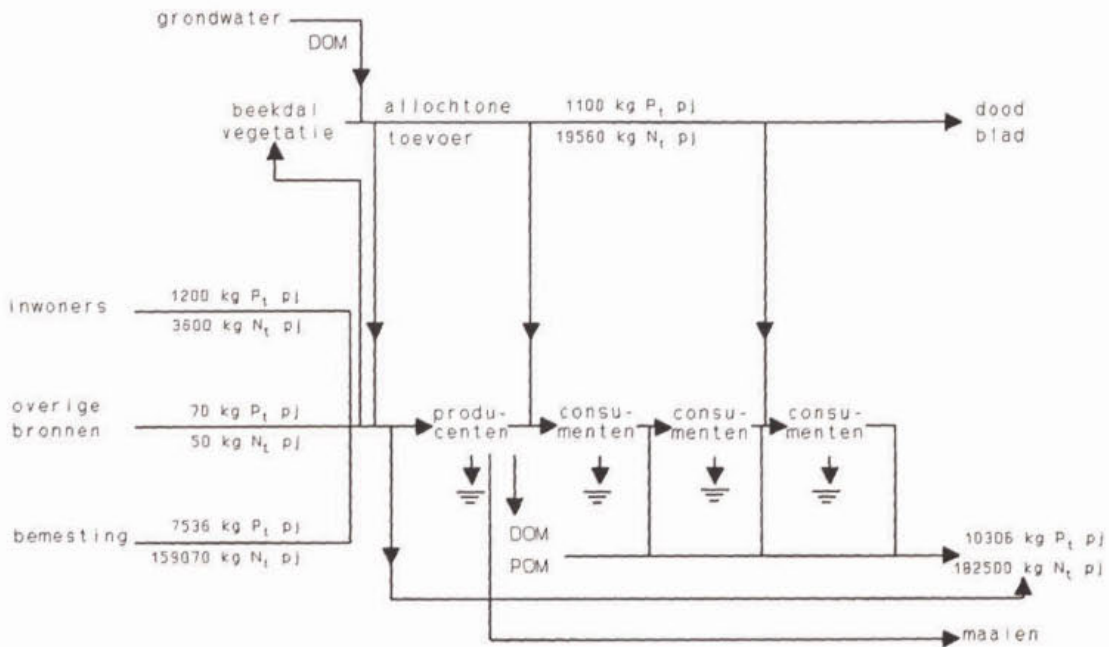
en voor fosfaat geldt;

	<i>type bufferstrook</i>			
	<i>onbemest</i>	<i>grasland</i>	<i>bos</i>	<i>moeras</i>
mais op zand	57.3	50.8	79.1	54.3
gras op zand	37.4	37.4	75.6	41.1

Bufferstroken kunnen zeer effectief zijn om de stikstofbelasting van het oppervlaktewater te reduceren. Daarentegen is de verwijdering van fosfaat door bufferstroken veel geringer.

Osborne & Kovacic (1993) geven een overzicht van beschikbare gegevens met betrekking tot het rendement van (laagland)beekbegeleidende bufferstroken. Hieruit blijkt dat bij oppervlakkige afspoeling een vermindering van 73 tot 98 % van nitraat en 50 tot 85 % van fosfaat kan optreden. Bij ondiepe uitspoeling treedt, mede afhankelijk van het seizoen, een reductie van 40 tot 100 % van nitraat op. De waargenomen reductie is mede afhankelijk van de breedte van de oeverstrook en de aard van de vegetatie. Stroken van 10 meter kunnen al zeer effectief zijn. Aangetekend moet worden dat de gegeven percentages als gevolg van de ongelijke uitgangssituaties met de nodige aandacht bekeken moeten worden.





Figuur 1.21 Stroomdiagram van voedingsstoffen in de Hierdense beek (naar Higler & Verdonschot 1993).

In figuur 1.21 is een voorbeeld van de stromen van voedingsstoffen door het stroomgebied van de Hierdense beek gegeven (Higler & Verdonschot 1993). Het diagram geeft een indicatie van de omvang van de verschillende stromen van stikstof en fosfaat in een stroomgebied onder Nederlandse omstandigheden.

#### 1.5.4 Macro-ionen

Macro-ionen komen in neerslagwater slechts in zeer lage concentraties voor (tabel 1.3) behalve bij de kust waar de concentraties bijvoorbeeld in de duinbeken als gevolg van de ligging nabij de zee hoger liggen. Eenmaal geïnfiltreerd wordt het water door uitwisselingsprocessen in de bodem, geleidelijk macro-ionen-rijker. In infiltratiegebieden raakt de bodem in de tijd geleidelijk armer aan macro-ionen (uitloging of vertering waardoor podzolen ontstaan) ten gunste van de gehalten aan opgeloste zouten, in het bijzonder macro-ionen, in grondwater. Naarmate water langer ondergronds verblijft, wordt de aanrijking met macro-ionen (in het bijzonder calcium, bicarbonaat en sulfaat) groter. Behalve van de verblijftijd is de mate van 'aanrijking' afhankelijk van de samenstelling van de bodem. In Zuid-Limburg, waar zich vele kalkrijke sedimenten in de bodem bevinden, is water na een slechts korte verblijftijd dikwijls al verzadigd met kalk. In het pleistocene zandgebied met minder kalkrijke afzettingen is een langere verblijftijd nodig voor het bereiken van verzadiging. Hier wordt alleen in zeer oud kwelwater (enkele honderden tot enkele duizenden jaren) kalkverzadiging waargenomen. De onderlinge macro-ionenverhoudingen vormen een goede tracer voor de herkomst van het grondwater als de bodemsamenstelling bekend is. Beken die in de bron en bovenloop worden gevoed met neerslag en/of 'jong' grondwater, bevatten doorgaans lage gehalten aan macro-ionen (atmotroof watertype; Stuyfzand 1986, Van Wirdum 1991) en zijn vaak zwak zuur tot neutraal (pH 6-8). De gehalten aan macro-ionen nemen verder stroomafwaarts toe, naarmate ouder grondwater wordt toegevoerd en door het verloop van mineralisatieprocessen in de beek. In beken die in de oorsprong al door ouder grondwater worden gevoed (lithotroof watertype; Stuyfzand 1986, Van Wirdum 1991) komt dit patroon minder duidelijk tot uiting. Ouder grondwater dat verrijkt is met



mineralen waaronder kalk, is doorgaans neutraal tot licht basisch. Basisch water (pH > 8) komt voor in Zuid-Limburg, langs plateauranden met kalkrijkere afzettingen en in het kalkrijke duingebied. Beken die worden gevoed vanuit veenpakketten, zijn of beter gezegd waren vaak arm aan macro-ionen en zuurder (vroegere situatie van onder andere Reest, Drentse Aa en Glanerbeek).

**Tabel 1.3** De voornaamste macro-ionen in regen- en bronwater (Werkgroep Biologische Waterbeoordeling 1977).

		<i>regenwater</i>	<i>bron Ugchelen</i>
Ca <sup>++</sup>	mg/l	1.68	3.01
Mg <sup>++</sup>	mg/l	1.09	1.01
Na <sup>+</sup>	mg/l	0.00	6.99
K <sup>+</sup>	mg/l	0.00	1.02
HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	mg/l	2.56	12.20
Cl <sup>-</sup>	mg/l	5.01	11.72
SO <sub>4</sub> <sup>-</sup>	mg/l	4.61	7.20

De totale ionenconcentratie in het beekwater kan worden ingedeeld naar Olsen (1950):

	<i>elektrisch geleidingsvermogen (μS/cm)</i>	
oligo-ionisch	<	200
β-meso-ionisch	200 -	500
α-meso-ionisch	500 -	1000
poly-ionisch	>	1000

### 1.5.5 Microverontreinigingen

Zware metalen komen in natuurlijke systemen slechts in uiterst geringe hoeveelheden voor. Sommige zware metalen zijn echter een bestanddeel van enzymen van levende organismen. Hierop berust ook de toxische werking. Te hoge concentraties ontregelen deze enzymsystemen doordat belangrijke elementen zoals mangaan, ijzer of zink vervangen worden door het in overmaat beschikbaar zijn van ongeschikte zware metalen zoals cadmium, kwik of lood. De toxiciteit van zware metalen berust dan ook meestal op dit concurrentiemechanisme (Locher & De Bakker 1990).

Het gedrag van zware metalen in de beekbodem is zeer gecompliceerd en wordt door allerlei chemische, fysische en biologische processen beïnvloed. Het chemisch gedrag is voornamelijk afhankelijk van adsorptie- en desorptieprocessen. Adsorptie vindt vooral plaats aan de lutumfractie (deeltjes kleiner dan 2 μm) en aan organische stof. Daarbij hebben de zuurgraad en de redox potentiaal invloed op de sorptie-evenwichten in het systeem.

In tabel 1.4 worden enkele gehalten gegeven van zware metalen in niet direct door afvalwater beïnvloede niet gekanaliseerde beken (STORA 1989).

Milieuvreemde stoffen zijn microverontreinigingen, afkomstig van menselijk handelen. Ze kennen in een natuurlijke omgeving een min of meer karakteristiek verspreidingspatroon. Dicht bij de bron (waarbij de stof meestal in opgeloste vorm aanwezig is) is de concentratie het hoogst. Verder van de bron neemt de concentratie door diffusie, adsorptie aan het bodemcomplex (lutum en organisch materiaal) en/of biologische of chemische degradatie af. In stromend water verloopt de verspreiding relatief snel waardoor de voor organismen toxische concentraties sneller worden verdund. Een uitzondering hierop vormen synthetische zeep (uit wasmiddelen). Deze oppervlakte-actieve stoffen concentreren zich aan het wateroppervlak en leiden op stromingsluwe

Tabel 1.4 Stofgehalten in vier niet direct door afvalwater beïnvloede niet gekanaliseerde beken over de periode 18-10-1982 tot en met 12-09-1983 (naar STORA 1989).

		Anloër Diepje	Els- beek	Verloren beek	Bos- beek
kleur int.	mg Pt/l	25.0	67.5	13.0	37.5
t	°C	11.35	7.60	11.65	10.15
O <sub>2</sub>	mg/l	9.65	9.65	10.00	10.15
	%	89.5	85.5	87.0	90.5
pH		7.01	7.18	7.08	6.59
zw. stof	mg/l	8.50	8.50	12.75	4.25
EGV	mS/m	39.85	43.95	18.55	11.30
tot. hardheid	mmol/l	1.35	1.58	0.64	0.35
Cl <sup>-</sup>	mg/l	43.5	40.5	14.5	9.0
SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup>	mg/l	54.0	66.5	23.5	34.5
t-P	mgP/l	0.045	0.185	0.050	0.010
opgel.o-P	mgP/l	<0.010	0.060	0.010	<0.010
N-kj	mg/l	0.80	1.65	0.75	0.50
NO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	mgN/l	8.60	7.75	0.27	0.16
NO <sub>2</sub> <sup>-</sup>	mgN/l	0.10	0.065	0.10	<0.010
BZV-5	mg O <sub>2</sub> /l	1.0	1.0	1.0	1.0
NH <sub>4</sub> <sup>+</sup>	mgN/l	0.120	0.260	0.105	0.045
fenolen	µg/l	2.0	5.0	1.0	2.0
th.bact.	MPN/100	500.0	7000.0	9000.0	170.0
HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	mmol/l	0.540	0.750	0.500	0.190
CZV	mg O <sub>2</sub> /l	26.0	45.0	14.0	20.0
EOCL	µg/l	2.5	1.5	1.5	<1.0
vrij NH <sub>4</sub> OH	mgN/l	<0.10	<0.10	<0.10	<0.10
Cd	µg/l	0.30	0.40	0.10	0.40
Cr	µg/l	3.0	4.0	2.0	1.5
Cu	µg/l	6.0	4.0	2.0	1.0
Ni	µg/l	7.0	10.0	3.0	6.5
Pb	µg/l	1.5	2.0	2.0	5.0
Zn	µg/l	34.0	50.0	13.0	60.0
Hg	µg/l	<0.075	0.100	<0.050	<0.050
As	µg/l	1.0	1.0	5.5	1.0

Opmerking: Aantal metingen van zware metalen in de Elsbeek 3, in de overigen 4, van fenolen in de Elsbeek 7, in de overigen 9 en alle andere variabelen in de Elsbeek 10 en in de overigen 12.

plaatsen tot schuimvorming. Door verlaging van de oppervlaktespanning en verstoring van gasuitwisselingsprocessen (zuurstof) tussen atmosfeer en water zijn ze schadelijk voor veel waterorganismen.

Enkele belangrijke groepen milieuvreemde stoffen zijn:

- \* polychloorbifenylen (PCB's): PCB's zijn persistent, adsorberen snel aan organische stoffen en worden veelal met het voedsel door organismen opgenomen (accumulatie). Vooral de chronische toxiciteit vormt een gevaar voor organismen (remming groei en voortplanting, hormonale storingen, leveraandoeningen, gedragsveranderingen).
- \* Organochloorbestrijdingsmiddelen (OCB's): DDT en cyclodiënen of drin's zoals dieldrin en endrin, zijn zeer persistent. Hoewel veel van deze stoffen inmiddels verboden zijn, zijn nog steeds residuen aanwezig.
- Polycyclische Aromatische Koolwaterstoffen (PAK's): De lipofiele PAK's, met een hoog molecuulgewicht, zijn slecht oplosbaar in water terwijl de PAK's met een laag molecuulgewicht beter oplosbaar en mobieler zijn. Veel PAK's hebben een toxische en/of carcinogene werking. Sommige PAK's zijn niet persistent en breken af in opgeloste toestand.



- Organofosfor en organostikstof: Beide stoffen zijn goed tot matig oplosbaar, mobieler en ook beter afbreekbaar.

Voor een uitgebreid overzicht van milieuvreemde stoffen en hun effecten wordt verwezen naar Moore & Ramamoorthy (1984a,b), Stortelder, Van der Gaag & Van der Kooij (1989) en Hellawell (1984).

### *1.5.6 Stoffenbalans*

De stoffenbalans in een stroomgebied bestaat voor iedere verbinding of groep van verbindingen uit toe- en afvoer, omzetting en al dan niet tijdelijke opslag. Het opstellen van een stoffenbalans voor een stroomgebied is complex maar biedt inzicht in grootte en belang van stofstromen hetgeen bij de keuze van maatregelen van groot belang is. Bij het opstellen van een stoffenbalans wordt een aantal systeemcompartimenten onderscheiden, namelijk grondwater, oppervlaktewater, bodem en totale biomassa van vegetatie en fauna.

De belangrijkste toevoer van stoffen van buiten een stroomgebied zijn het grondwater uit andere stroomgebieden en de neerslag (natte en droge atmosferische depositie). De belangrijkste toevoer van binnen het stroomgebied vindt plaats door verwerking van moedermateriaal, door biologische afbraakprocessen en door desorptie.

De afvoer vindt plaats met het oppervlakte- en grondwater naar buiten het stroomgebied en door opname en opslag in vegetatie en fauna en adsorptie aan het bodemcomplex binnen het stroomgebied.

De omzettingsprocessen zijn in belangrijke mate biologisch en in mindere mate fysisch-chemisch van aard. Tot de biologische omzettingsprocessen behoren veranderingen van de verschijningsvorm van stoffen door de activiteit van organismen. Belangrijke voorbeelden zijn de opbouw- en afbraakprocessen, nitrificatie, denitrificatie, sulfaatreductie en stikstofbinding. Fysisch-chemische omzettingsprocessen zijn bijvoorbeeld veranderingen van de oplosbaarheid onder invloed van de zuurgraad, veraarding en degradatie.

Stoffen kunnen voor korte of lange tijd worden opgeslagen in het systeem. Dit gebeurt bijvoorbeeld in de vorm plantaardige en dierlijke biomassa of door binding aan de lutumfractie of organisch materiaal.

### *1.5.7 Menselijke beïnvloedingen op stoffen*

Beïnvloeding op het factorcomplex stoffen omvat de, vaak overmatige, aanvoer van stoffen uit punt- en diffuse bronnen (bijvoorbeeld vermisting, vergiftiging en verzuring). Groepen van stoffen die de kwaliteit van wateren negatief beïnvloeden zijn organische verbindingen die bijdragen aan een verhoging van het zuurstofverbruik (BZV, CZV), anorganische verbindingen met een bemestende werking (nutriënten), anorganische verbindingen die bijdragen aan de verzuring van het abiotische milieu ('potentieel zuur') en milieuvreemde verbindingen die een directe bedreiging vormen voor het voortbestaan van organismen (toxicanten). In dit verband speelt ook de aanvoer van verontreinigingen uit het verleden die na verloop van tijd met het grondwater weer boven komen (chemische tijdbom). Hier moet men denken aan nutriëntenvoorraden die zijn ontstaan op plaatsen waar voorheen akkers zijn overbemest, maar ook aan microverontreinigingen (zoals landbouwbestrijdingsmiddelen) en industriële vervuilingen (zware metalen, persistente chemicaliën).

Door menselijke activiteiten worden stofgehalten vaak sterk gewijzigd. De belangrijkste bronnen zijn;

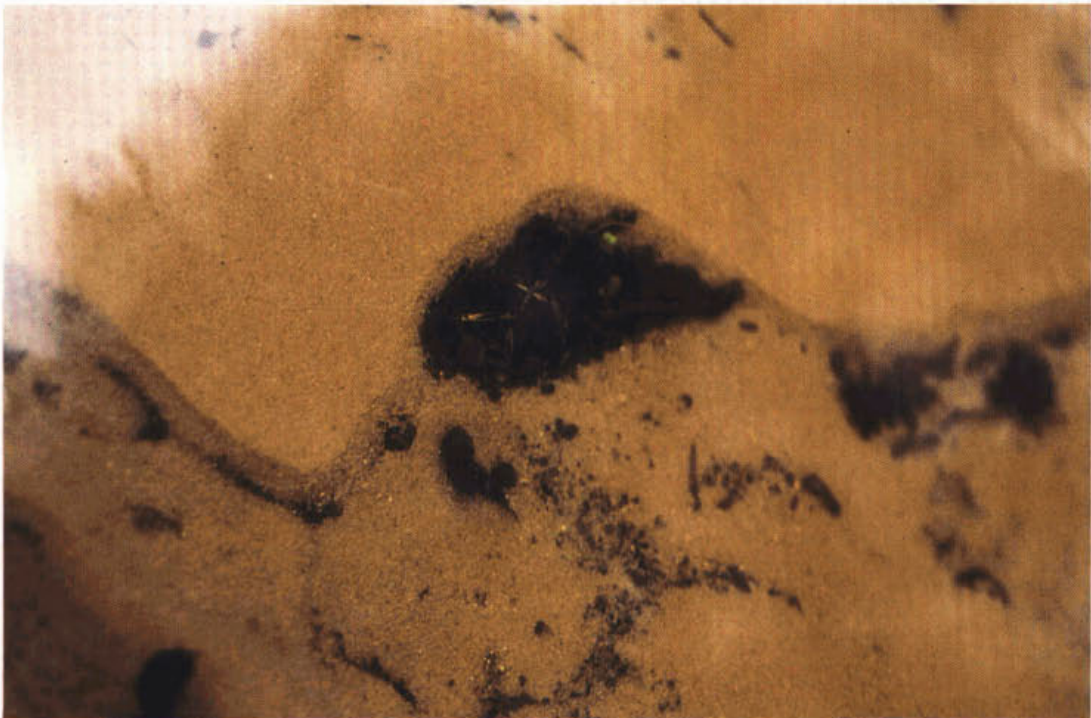
- atmosferische depositie; atmosferische depositie vormt een bron van vooral stikstof en in veel mindere mate fosfor, en milieuvreemde stoffen (met name PAK's),





Organische structuren in het beektracé

*(foto P. Verdonschot)*



Substraatmozaïek; grof organisch materiaal in stroomribbels

*(foto P. Verdonschot)*





Gevlekte orchis; karakteristiek voor het beekdalgrasland

*(foto M. van den Hoorn)*



Mijtertje; aquatische schimmel met emerse vruchtbeginsels

*(foto M. van den Hoorn)*

- \* landbouw; landbouw vormt een bron van nutriënten en gifstoffen, waardoor water dat op landbouwgronden infiltreert of afstroomt, wordt verrijkt,
- \* RWZI's, overstorten en industrie; deze drie vormen voor de beek een bron van nutriënten en gifstoffen.
- \* desorptie; desorptie (het in oplossing gaan, na gebonden te zijn geweest aan het bodemcomplex) van vooral fosfaat en gifstoffen kan worden opgevat als een belangrijke secundaire bron en kan een gevolg zijn van (over)bemesting en gebruik van bestrijdingsmiddelen in het verleden. Dit proces kan plaatsvinden in het stroomgebied maar kan ook in de beek zelf plaatsvinden na verlaging van de stofconcentraties in de waterfase. Desorptie is, als de toevoer eenmaal is gestopt, een eindig proces. Daarbij moet worden aangetekend dat in sommige (water-)bodems in de loop der jaren zoveel stoffen zijn opgeslagen (bijvoorbeeld bij fosfaat-verzadiging) dat het desorptieproces tientallen jaren in beslag neemt.

Om deze bronnen te saneren zijn bij voorkeur brongerichte maatregelen gewenst. Milieuvreemde stoffen horen niet in het milieu thuis. Voor de praktijk van het waterbeheer zijn concentraties van een aantal stoffen aan wettelijke normen gebonden. Van deze stofnormen is de relatie met het voorkomen van soorten en levensgemeenschappen echter moeilijk aan te geven en het is maar de vraag of ze voldoende zijn om min of meer natuurlijke beken te beschermen. De ecologische normdoelstellingen, die hieraan tegemoet dienen te komen, zijn vaak nog niet ingevuld. Toch bieden normen vaak een belangrijk instrument om ongewenste stoffen terug te dringen.

Over referentie-waarden voor allerlei stoffen in beken is weinig bekend. In tabel 1.5 zijn enkele natuurlijke trajecten voor een aantal variabelen volgens CUWVO (1988) gegeven. De soms hoge ranges zijn een gevolg van het samenvoegen van gegevens uit verschillende regio's, waar de individuele gehalten sterk kunnen verschillen zoals voor het kalkgehalte.

Tabel 1.5 Enkele natuurlijke trajecten van variabelen voor bronnen en beken (gewijzigd naar CUWVO 1988).

			<i>bronnen</i>	<i>beken</i>
T	(°C)	max.	10 - 15	15 - 20
pH		gem.	6 - 8	6 - 8
Cl <sup>-</sup>	mg/l	gem.	0 - 20	10 - 40
SO <sub>4</sub> <sup>-</sup>	mg/l	gem.	0 - 40	0 - 40
Ca <sup>++</sup>	mg/l	gem.	10 -100	10 -100
ortho-P	mg/l	max.	0 -0.1	0 -0.1
NO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	mg/l	max.	0 - 1	0 - 1
O <sub>2</sub>	mg/l	min.	6 - 9	6 - 9
		gem.	8 - 11	8 - 11

Tabel 1.6 De gemiddelde samenstelling van het water in enkele Limburgse beken in de periode van december 1923 tot en met december 1924 (Redeke 1948).

		<i>Geul / Maas</i>	<i>Geleen- beek</i>	<i>Molen- beek</i>	<i>Roer / Maas</i>
EGV	μS/cm	373	616	489	313
Cl <sup>-</sup>	mg/l	11.6	28.4	28.5	25.1
SO <sub>4</sub> <sup>-</sup>	mg/l	39.2	91.3	60.4	49.0
HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	mg/l	232	324	255	118
Fe <sup>+++</sup>	mg/l	1.92	2.58	2.98	1.26
KMnO <sub>4</sub> -vb.	mg/l	15.7	46.0	29.1	16.8
Tot. hardh.	°D	12.8	12.1	11.1	6.9



Redeke (1948) en Maas (1959) geven enkele waarden voor meer en minder beïnvloede omstandigheden (tabel 1.6 en 1.7).

Tabel 1.7 Enkele gemiddelde gehalten van helocrene bronnen (Maas 1959).

<i>regio</i>	:	<i>Twente</i>	<i>Twente</i>	<i>Veluwe</i>	<i>Veluwe</i>
<i>bodem</i>	:	<i>rijk</i>	<i>arm</i>	<i>arm</i>	<i>matig rijk</i>
pH		6.9	5.8	4.3	6.8
EGV	$\mu\text{S/cm}$	278	95	99	177
Ca <sup>++</sup>	mg/l	22.7	9.5	5.6	16.1
Mg <sup>++</sup>	mg/l	8.3	2.3	2.2	4.3
NO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	mg/l	1.7	0.8	0.0	11.4
HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	mg/l	55.5	19.6	-	-
SO <sub>4</sub> <sup>-</sup>	mg/l	39.6	17.1	-	-
NO <sub>2</sub> <sup>-</sup>	mg/l	0.0	0.0	0.0	0.0

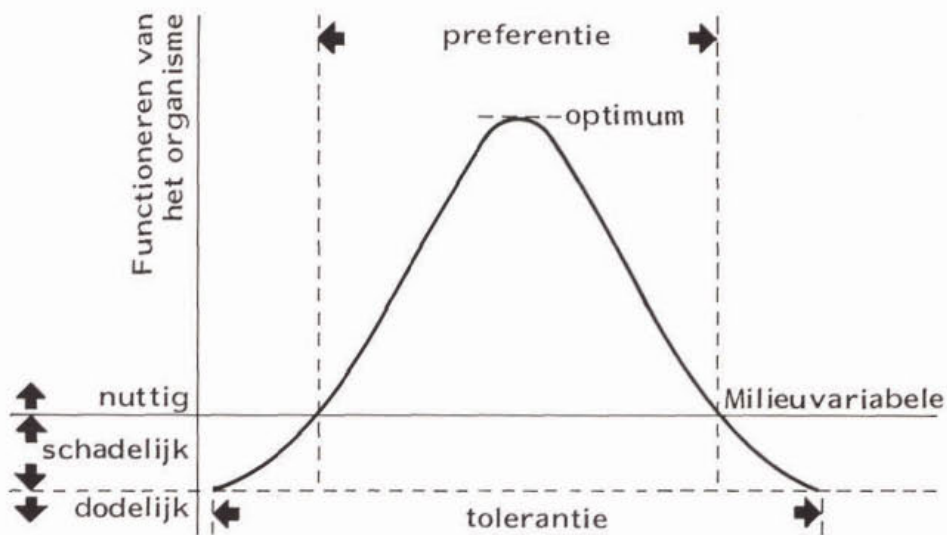
<i>regio</i>	:	<i>Veluwe</i>	<i>Nijmegen</i>	<i>Z.Limburg</i>
<i>bodem</i>	:	<i>rijk</i>	<i>matig rijk</i>	<i>zeer rijk</i>
pH		6.9	7.2	7.8
EGV	$\mu\text{S/cm}$	271	214	407
Ca <sup>++</sup>	mg/l	32.5	26.5	74.7
Mg <sup>++</sup>	mg/l	5.4	3.5	5.1
NO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	mg/l	25.1	0.6	1.7
HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	mg/l	-	92	215
SO <sub>4</sub> <sup>-</sup>	mg/l	-	28.3	37.0
NO <sub>2</sub> <sup>-</sup>	mg/l	0.07	0.0	0.0

## 1.6 Soorten

### 1.6.1 Inleiding

Beekherstelplannen worden vaak uitgevoerd ten behoeve van het voorkomen van bepaalde soorten of een bepaalde levensgemeenschap. Voor de waterbeheerder vormt het voorkomen van soorten een belangrijke graadmeter van de toestand en het functioneren van een beekstelsysteem. Vanuit ecologisch oogpunt geldt het optreden van soorten en levensgemeenschappen als volgvariabele van de omstandigheden in een systeem. Niet alle soorten komen overal voor. Elke soort heeft zijn eigen toleranties voor de verschillende milieufactoren. In figuur 1.22 is het functioneren van een soort uitgezet tegen een gradiënt in een milieufactor. Boven en beneden bepaalde waarden van de milieufactor kan de soort niet leven. In de schadelijke range zal de soort op termijn verdwijnen terwijl deze soort overleeft en reproduceert in het preferentiegebied. Deze zogenaamde optimumkromme geeft een ideale soort-factor relatie weer. In een ecosysteem reageert een soort niet op één enkele factor maar op het samenspel van alle werkende factoren. Door het aanwezig of juist afwezig zijn van bepaalde soorten in een ecosysteem is de werking van milieufactoren herkenbaar. Deze indicatieve waarde van soorten wordt gebruikt om uitspraken over ecosystemen te doen. Bij deze benadering gaat het steeds om afzonderlijke soorten en milieufactoren; de autecologie.

In een synecologische benaderingswijze worden alle soorten in een systeem, hun onderlinge afhankelijkheidsrelaties en hun relaties met alle werkende milieufactoren in beschouwing genomen. Het meest duidelijk zijn de voedselrelaties tussen herbivore organismen en algen, tussen predatoren en prooien en tussen parasieten en gastheren. Naast directe relaties bestaan er ook indirecte relaties tussen soorten in een levensge-



Figuur 1.22 Het functioneren van een soort in relatie tot een milieuvariabele (naar Verdonschot 1990).

meenschap. Een voorbeeld is het aantal verschillende bewoners van een bepaalde structuur zoals een bladpakket.

Om op basis van het voorkomen van soorten of levensgemeenschappen iets te kunnen zeggen over de toestand of het functioneren van een systeem moeten de specifieke eigenschappen van de aanwezige soorten en/of groepen bekend zijn. Tevens kan kennis van soorten en levensgemeenschappen bijdragen aan het doen van uitspraken over gewenste toekomstige omstandigheden.

In de volgende paragrafen wordt ingegaan op de relatie tussen soorten en levensgemeenschappen enerzijds en factoren en complexen van milieuomstandigheden geënt op het 5-S-model anderzijds. Daarna wordt een aantal toepassingen aangegeven.

### 1.6.2 Soorten en systeemvoorwaarden

Het klimaat komt via neerslag en zoninstraling tot uiting in de hoeveelheid aangevoerd water, de watertemperatuur en het lichtklimaat. De mate van permanentie is de resultante van enerzijds de aanvoer van water naar een beekstelsel via neerslag en grondwater en anderzijds de afvoer via stroming, verdamping en inzijging in de bodem. De gemiddelde grondwaterstand (ten opzichte van de hoogte van de beekbedding) speelt hierbij een belangrijke rol. Permanentie wordt doorgaans uitgedrukt in het aantal malen en de lengte van de periode dat een water droogvalt (per jaar of over een langere periode). Zo worden drie groepen onderscheiden (Driver 1977):

- permanente beken; vallen in een periode van meer dan 25 jaar niet droog,
- semi-permanente beken; vallen niet elk jaar droog,
- temporaire beken; vallen elk jaar droog.

Het wegvallen van het medium water heeft voor de meeste soorten catastrofale gevolgen. Periodiek droogvallen vereist speciale aanpassingen van beekorganismen om te kunnen overleven. Gemeenschappen van droogvallende beektrajecten zijn relatief arm aan soorten. Een belangrijk deel van de gemeenschap bestaat uit opportunisten, dit zijn soorten (vaak goed vliegende insecten) die zich 'op goed geluk' vestigen en zich handhaven zolang de omstandigheden (hoofdzakelijk de waterstand) dat toelaten. Het aantal soorten dat specifieke aanpassingen bezit om een periode van droogvallen te overleven is niet bijzonder groot. Voorbeelden van dergelijke aanpassingen zijn;



- ontwijkgedrag; door het wegkruipen in vochtig blijvende waterbodem (detrituspakketten) of in overblijvende plassen (beekpoelen);
- aangepaste stadia; het aanpassen aan drooggevallen situaties door onder andere het bezit van een semi-terrestrisch of terrestrisch stadium (bijvoorbeeld de terrestrische groeivorm van sterrekroos (*Callitriche spp.*))
- vluchtgedrag; bij vliegende soorten zoals kevers en wantsen;
- aangepaste levenscyclus; het aanpassen van het verloop van de levenscyclus aan de hoeveelheid water zoals het leggen van droogteresistente eieren, het bezit van een obligate diapauze in het substraat of in een speciale cocon;
- fysiologische aanpassingen; veel waterplanten hebben fysiologische aanpassingen om te overleven in de vaak zuurstofloze waterbodem of zich juist te handhaven bij lage organische koolstofgehalten. Beperking van de hoeveelheid zuurstof vormt voor soorten met een hoog zuurstof- en energieverbruik een bron van stress.

De temperatuur van het water is ecologisch van belang omdat deze mede bepalend is voor de zuurstofspanning van het water. Hoe hoger de temperatuur des te minder zuurstof oplosbaar is in water. Een aantal soorten komt alleen voor in water met een constant lage temperatuur (koud-stenotherm) en deze soorten hebben vaak een grote zuurstofbehoefte. De temperatuur is daarnaast van groot belang voor de snelheid waarmee alle chemische en biologische processen verlopen. Bij een hogere temperatuur verlopen chemische reacties sneller en zijn veel organismen actiever. De temperatuur is daardoor sterk bepalend voor de snelheid waarmee stoffen worden omgezet, b.v. de afbraak van grof via fijn organisch materiaal tot opgeloste mineralen. In koudere (beschaduwde) bovenlopen is de omzettingssnelheid (turnover) lager dan in warmere midden- en benedenlopen.

Een andere belangrijke systeemvoorwaarde is licht. Over het algemeen zijn de meeste beken in ons land klein en ondiep en is er doorzicht tot op de bodem. De vestiging van macrofyten of groei van microfyten wordt niet door lichtgebrek belemmerd behalve in geval van beschaduwing. Daardoor wordt de ontwikkeling van hogere waterplanten in overschaduwde bronnen en bovenlopen enigzins beperkt. Diatomeeën daarentegen blijken zich hier toch sterk te kunnen ontwikkelen. Bij hoge afvoerpieken in diepere benedenlopen kan het voorkomen dat door algenontwikkeling en slibopwerveling de ontwikkeling van macrofyten door lichtgebrek wordt tegengehouden hetgeen in estuaria heel gewoon is.

### 1.6.3 Soorten en stroming

Organismen die alleen in stromend water voorkomen, worden stroomminnend of rheofiel genoemd. De relatie tussen rheofiele soorten en stroming is een gevolg van de kenmerken van de waterstroom;

- zuurstofvoorziening; de aanwezigheid van turbulentie en stroming staat garant voor een goede zuurstofvoorziening (een aantal stroomminnende soorten is oxybiont, dat wil zeggen dat ze uitsluitend in wateren met een hoog en constant zuurstofgehalte leven),
- \* voedselvoorziening; stroming zorgt voor aanvoer van voedsel; sommige soorten zijn aangewezen op materiaal dat met de waterstroom wordt aangevoerd (sommige soorten bouwen zelfs speciale vangnetjes),
- \* stress; stroming zorgt echter ook continu voor stress. Om zich te handhaven op een bepaalde plaats moet een organisme continu energie investeren en bewoont mede daarom zelden de stroomdraad zelf. Veel rheofiele organismen hebben gedragsaanpassingen zoals het zoeken van beschutting onder stenen, stukken hout, tussen waterplanten, in luwten (vooral vissen) of in opgestuwde bladpakketten, het ingraven in het bodemsubstraat of een sessiele (vastzittend op harde substraten) levenswijze. Anderen bezitten morfologische en/of fysiologische aanpassingen zoals het beschikken over haken of het uitscheiden van kleefstoffen waarmee ze zich vasthouden, het bezit van een stroomlijn en/of een afgeplatte



vorm, het gebruik van verzwarende materialen (kokerjuffers verzwaren soms hun kokers met kleine steentjes of zwanemossels (*Unio spp.*) die zware schelpen bezitten, het bezit van kleine afmetingen of een langgerekte, weinig in de breedte vertakte vorm (waterplanten zoals de waterranonkel (*Ranunculus fluitans*)), het hebben van een sterk wortelstelsel, het gemakkelijk elders wortel schieten van afgebroken waterplantendelen, het bezit van een aangepaste groeivorm zoals bij drijvend fonteinkruid (*Potamogeton natans*) en schedefonteinkruid (*Potamogeton pectinatus*) in de vorm van het blad, lengte van de internodiën, bloei of de structuur van het wortelstelsel (Mesters 1990).

- habitats; stroming zorgt ook voor het ontstaan van habitats zoals grind-, zand- en detrituszones, bladdammen en opeenhopingen van takken (zie paragraaf 1.6.4). Luwtes tussen organische structuren zoals bladdammen of tussen waterplanten bieden aan veel organismen rust en schuilplaatsen (Brown 1974). Luwtes zijn uiterst geschikt als paaiplaats, voor ei-afzetting en als milieu voor de ontwikkeling van het visbroed. In grotere riviertjes kan in deze luwe zones zelfs planktonbloei optreden. Juist dit mozaïek aan micromilieus biedt veel organismen levenskansen.

#### 1.6.4 Soorten en structuren

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 1980). 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. De samenstelling van het substraat is vanwege bewortelbaarheid en houvast ook van belang voor de vestiging van macrofyten. Grind is weliswaar goed bewortelbaar, maar biedt vaak onvoldoende houvast om een plant in stromend water op zijn plaats te houden. Zandige substraten zijn in het algemeen goed bewortelbaar en bieden het wortelstelsel tevens voldoende houvast. Kleiïge en lemige substraten kunnen voor planten problemen opleveren omdat de zuurstofvoorziening van het wortelstelsel al op geringe diepte in het substraat nihil is.

Organische substraten beïnvloeden de levensgemeenschap door het bieden van;

- voedsel en voedingsstoffen en
- van schuil- en aanhechtingsplaatsen voor organismen; de habitatstructuur.

De habitatstructuur is van essentieel belang voor de beeklevensgemeenschap. De vorming van microhabitats door ingevallen blad, takjes en takken is geïllustreerd in figuur 1.23. 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 organismen. 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.

De rol van de hogere waterplanten en mossen als habitat is groot. Er kan onderscheid worden gemaakt in emerse, drijvende en ondergedoken waterplanten. In bronnen en bovenlopen is de soortensamenstelling van de macrofauna op dood organisch materiaal hoog ten opzichte van die op hogere planten (Wright et al. 1983, Ormerod 1988). Daarentegen zijn de hogere planten vaak de meest soortenrijke habitats in midden- en benedenlopen (Wright et al. 1992). Dit geldt in het bijzonder voor de oevervegetaties (Jenkins et al. 1984). Hogere waterplanten spelen in de midden- en benedenloop, waar door afnemende stroomsnelheid en verminderde beschaduwning een geschikt milieu ontstaat, een belangrijke rol (Dawson 1988).







waardoor zuurstofbehoefte soorten niet kunnen overleven. Bij lozingen van RWZI's of riooloverstorten wordt de fijne slibfractie dominant over de andere substraten waardoor de omstandigheden voor de levensgemeenschap ongunstig worden beïnvloed. In het algemeen zijn slibrijke bodems ongeschikt als vestigingsplaats voor planten in stromend water. Zij zijn te slap om de plant goed vast te kunnen houden. Bovendien zijn slibbodems door aanwezigheid van afbraakprocessen (rotting) dikwijls zuurstofarm of geheel anaëroob, wat de zuurstofvoorziening van het wortelstelsel en de overlevingskansen van de fauna negatief beïnvloedt.

In een natuurlijke beek vormen de vegetatie op de oever (via bladinvall) en de beekorganismen (planten en dieren) belangrijke bronnen van organisch materiaal. De hoeveelheid dood organisch materiaal wordt uitgedrukt in de saprobiegraad en gemeten als chemisch - of biologisch zuurstofverbruik (CZV of BZV) en de dode en levende hoeveelheid samen wordt als totaal organisch koolstof (TOC) aangeduid. Tevens wordt vaak de aard en grootte bepaald zoals grof en fijn, bezonken, gesuspendeerd en opgelost. De aanwezige hoeveelheid organisch materiaal in het systeem vormt een belangrijke bron van voedsel voor de levensgemeenschap, zorgt voor de vorming van habitats en heeft effect op de zuurstofvoorziening. Stroomafwaarts wordt de structuur van het organisch materiaal steeds fijner en neemt de voedingswaarde af. Er komt meer materiaal in suspensie en een deel van het materiaal wordt zover afgebroken dat het in oplossing gaat. Het gebruik van de verschillende deeltjes dood organisch materiaal hangt samen met de voedingswijze van de verschillende diergroepen. Onder de macrofauna vinden we 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.

Het epilython bestaat uit een combinatie van aangehechte algen en detritus, inclusief de geassocieerde microflora en microfauna aan minerale substraten. Ondanks het feit dat vaak detritus als component overheerst, zijn de algen vooral de diatomeeën het belangrijkste (lage C/N ratio) voor de schrapers. Schrapers voeden zich door algen van harde substraten te schrapen.

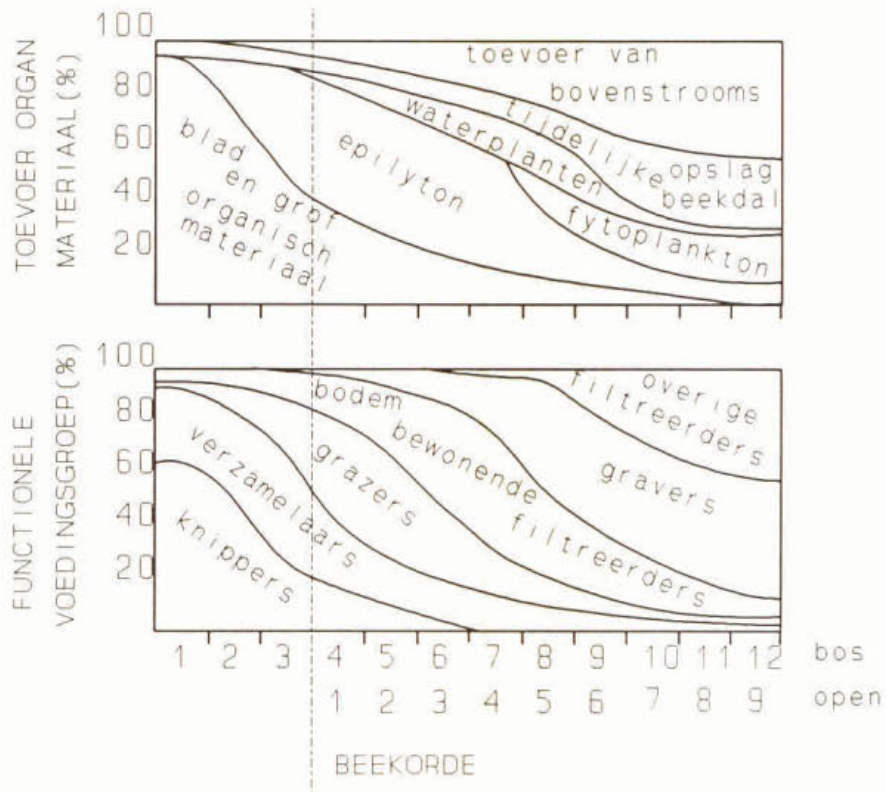
Levend plantaardig materiaal van hogere waterplanten en mossen wordt door aquatische fauna zelden als voedsel gebruikt (Tokeshi & Pinder 1985). Uitzonderingen zijn de kokerjuffers van de familie *Limnephilidae* (bijvoorbeeld *Limnephilus lunatus*) en de kokerjuffersoort *Triaenodes bicolor*. Dit wordt 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 voedselbron in de vorm van epifytische algen, ingevangen slib en afstervend plantaardig materiaal. Het laatste is van groot belang in grotere beken en autotrofe systemen.

De trofie of voedselrijkdom (vaak uitgedrukt in concentraties of vrachten van stikstof (totaal-stikstof, Kjehldal-stikstof, ammonium, nitraat, nitriet) en fosfor (ortho - en totaal-fosfaat)) wordt in een natuurlijke beek beschouwd als een uitvloeisel van de afbraakprocessen (mineralisatie). De voedselrijkdom is in stromende aquatische systemen vooral van belang voor de groei van plantaardige organismen (algen en hogere planten). Voor de fauna is de voedselrijkdom slechts indirect van belang (voedsel en structuur) behalve als er toxische componenten zoals ammoniak en nitriet gevormd worden.

#### 1.6.6 Soorten in het stroomgebied

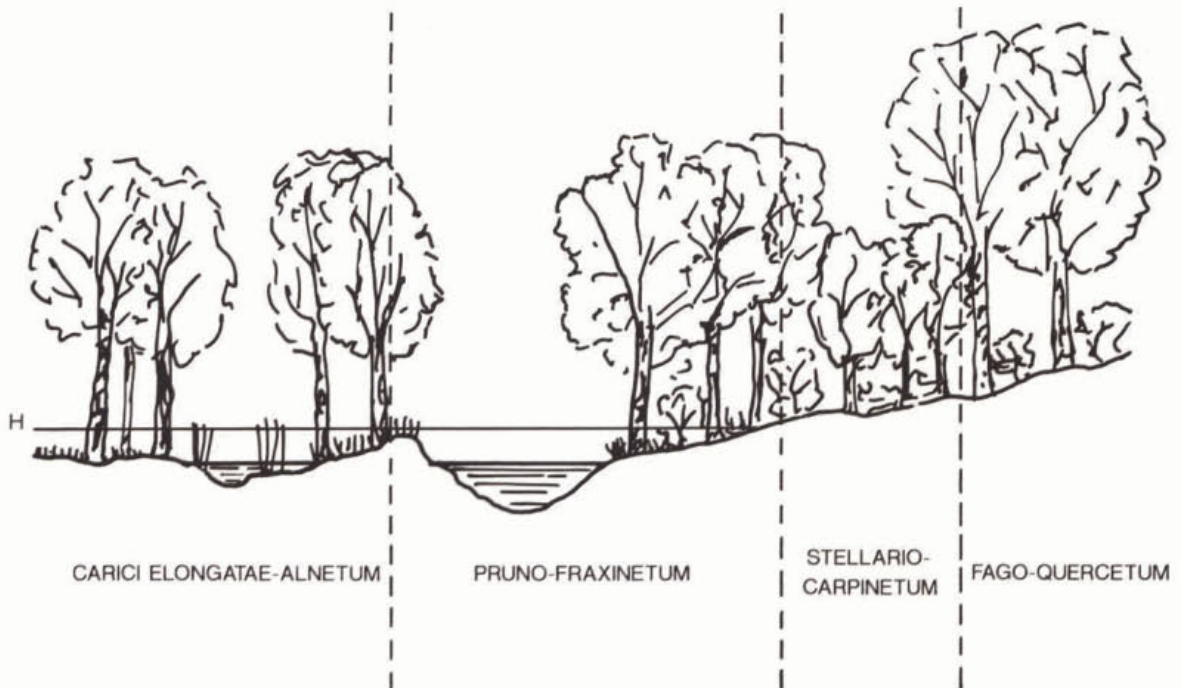
De verspreiding van soorten en levensgemeenschappen in het stroomgebied en in de beek volgt de gradiënten in waterkwantiteit en stoffen (figuur 1.24). Op de flanken van het stroomgebied worden op de hoogste delen uitgeloopte haarpodzolen met vaak soortenarme vegetaties van drogere en armere gronden gevonden (bijvoorbeeld eiken-





Figuur 1.24 De verschuiving van voedselbronnen en functionele voedingsgroepen gaande van bron naar monding (naar beekorde) in een beschaduwde en in een onbeschaduwde beek.

berkenbos). Gaande van de flank naar de beek worden op de intermediaire gooreerdgronden vegetatietypen van vochtigere en enigszins (voedsel)rijkere gronden gevonden. Vegetaties op de lage plaatsen zijn vaak kwelwaterafhankelijk (Kemmers 1991). Het proces van aanrijking van het grondwater met mineralen speelt een grote rol bij de ontwikkeling van vegetaties in beken en beekdalen. Ook sommige dierlijke beekorganismen, zoals slakken en kreeftachtigen, zijn gebaat bij een zekere kalkrijkdom voor de opbouw van hun huisje respectievelijk exoskelet. Zo komen in Zuid-Limburgse beekdalen op uitgebreide schaal vegetaties voor die afhankelijk zijn van kalkrijk water (bijvoorbeeld het goudveil-essenbos). In de dalen van laaglandbeken in de rest van het land neemt de kans op het voorkomen van kalkafhankelijke vegetaties (bijvoorbeeld vogelkers-essenbos) in stroomafwaartse richting toe naarmate het opkwellende water 'ouder' is. Plaatselijk (ook in het bovenstroomse gebied) kunnen kwelvensters voorkomen die oud water aanvoeren. In veel gevallen gaat het hierbij om, uit andere stroomgebieden afkomstig water dat vanuit diepe lagen opkwelt. Naast kalk en de samenhangende zuurgraad speelt de voedselrijkdom en het macro-ionengehalte van de bodem een rol. Daar, waar inundatie kan voorkomen, is de vegetatie bestand tegen periodiek onder water staan (anaërobie in de wortelzone). In poelen die na inundatie overblijven komen waterplanten voor. Doordat met mineralen 'aangerijkt' water wordt aangevoerd, vormt de beschikbaarheid van voedingsstoffen geen beperking voor de ontwikkeling van de vegetatie. Voor een overzicht van vegetatiegemeenschappen in beekdalen wordt verwezen naar Higler (1993; figuur 1.25) en Everts & De Vries (1991). De waterplanten en hun gemeenschappen worden onder andere beschreven door Bloemendaal & Roelofs (1988), Vegter (1991), Pott (1992), Schaminée et al. (1995) en Haslam (1987).



Figuur 1.25 Boslevensgemeenschappen in het beekdal (Higler 1993).

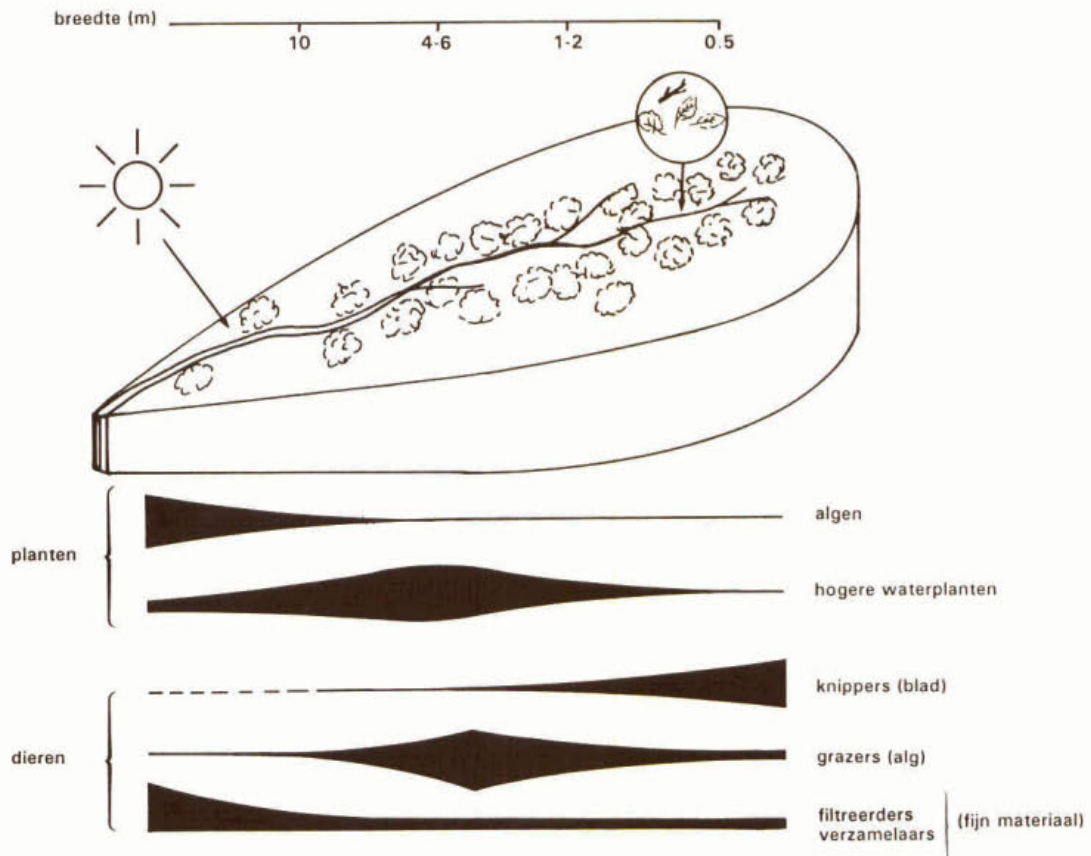
De breedte en diepte van beken nemen als gevolg van de hydrologische processen in het stroomgebied richting benedenstrooms toe. Deze toename in dimensie heeft geleid tot zoneringsconcepten van beeksystemen (figuur 1.26).

De brongebieden en bovenlopen zijn door hun geringe afmetingen vaak volledig beschaduwde en het aangevoerde grond- en regenwater is van nature voedselarm. Hierdoor wordt de primaire productie (macrofyten) door gebrek aan voedingsstoffen en licht gelimiteerd. Dit gedeelte van het beekstelsel wordt gekenmerkt door een vrij constante watertemperatuur en een aanvoer van organisch materiaal (allochtoon materiaal) vanaf de oevers en directe omgeving (het beekdal). Het systeem is hoofdzakelijk heterotroof. De levensgemeenschap in de beek is hier rijk aan consumenten (met name macrofauna die leeft van het allochtone materiaal). In sommige gevallen is de beek in dit gebied droogvallend, doordat de grondwaterstand in drogere perioden tot onder de beekbedding daalt (regenbeken).

Gaande van de bron naar de monding neemt de directe invloed van de oeverbegroeiing op de beek af omdat de verhouding tussen de oeverlengte en het natte bodemoppervlak afneemt. Doordat de invloed van licht, de hoeveelheid voedingsstoffen en de temperatuur toenemen, treedt ook een verschuiving op in het functioneren. De primaire productie gaat een steeds belangrijkere rol spelen hetgeen tot uiting komt in de samenstelling van de levensgemeenschap. Er ontstaat een meer autotroof systeem met een levensgemeenschap die naast consumenten ook producenten bevat.

In sommige benedenlopen kan het voorkomen dat door toename van de turbiditeit (doorzichtafname) de ontwikkeling van primaire producenten wordt gelimiteerd. Hier wordt op diepe plaatsen opnieuw een heterotroof systeem gevonden, gedomineerd door consumerende organismen. Verhoging van de voedselrijkdom door lozingen en afspoeling van meststoffen kan leiden tot opheffing van stofflimitaties en zo aanzienlijke veranderingen in de samenstelling van levensgemeenschappen teweeg brengen. Deze continue gradiënt in het functioneren van het beekstelsel is beschreven in het zogenaamde "River Continuum Concept" (Vannote et al. 1980).





Figuur 1.26 De continue overgangen in samenstelling van flora en fauna in een beekstelsysteem (Verdonschot 1992).

#### 1.6.7 Menselijke beïnvloedingen op soorten

Het factorcomplex soorten wordt op allerlei manieren door de mens beïnvloed. Hiertoe behoren onder andere het verwijderen van beekbegeleidende vegetatie, het schonen van de waterloop, het uitzetten van vissen en andere dieren, het vangen van vis en het introduceren van systeemvreemde soorten. Het wijzigen van deze volgvariabelen betekent bijna altijd het uitvoeren van een effectgerichte maatregel. Het systeem zal zichzelf daarna trachten te herstellen maar het wordt daarna vaak wel een ander systeem.

Van de karakteristieke eigenschappen van individuele soorten kan bij de herkenning van menselijke beïnvloedingen en bij beekherstel nuttig gebruik worden gemaakt. De soort fungeert als een indicator voor een bepaalde factor of factorcomplex. De indicatieve waarde wordt groter naarmate meer voor de desbetreffende factor kenmerkende soorten worden aangetroffen. Het aantal kenmerkende soorten kan in de tijd worden gevolgd om een indruk te verkrijgen van de ontwikkeling in de beek.

In de literatuur is een grote hoeveelheid informatie te vinden over de autecologie van afzonderlijke soorten en de synecologie van gemeenschappen. Deze informatie is onder te verdelen naar relaties met milieufactoren en naar soorten- of levensgemeenschapseigen karakteristieken. Met deze karakteristieken wordt de specifieke plaats en functie van een soort of levensgemeenschap in het ecosysteem beschreven. Het gebruik van informatie van hogere taxonomische eenheden moet altijd met de nodige voorzichtigheid gebeuren. Voor nadere informatie wordt verwezen naar hoofdstuk 4.



### 1.7 Referenties en streefbeelden

Veel beken hebben een natuurfunctie, zijn onderdeel van de ecologische hoofdstructuur of hebben anderzins meer of minder belangrijke ecologische potenties en/of waarden. De vraag rijst onmiddellijk, wat de inhoud is van de natuurfunctie en hoe deze te operationaliseren. De betrokken beleidsvelden, water, ruimtelijke ordening, landbouw en natuur, vragen om ecologische kennis over gewenste ontwikkelingen en welke inrichtings- en beheersingrepen hiervoor nodig zijn. Om de ecologische richting te bepalen wordt vaak gebruik gemaakt van de referentie. In verschillende beleidsnota's wordt de referentie omschreven als een AMOEBE, een streefbeeld, een natuurdoeltype of een optimale ecologische ontwikkelingstoestand.

Bij het gebruik van zogenaamde doelsoorten wordt vaak alleen gekeken naar één of enkele soorten die beleidsmatig relevant worden geacht (vaak met een hoge aaibaarheid). Het is belangrijk bij de keuze van afzonderlijke soorten de representativiteit voor het gehele bekecosysteem in ogenschouw te nemen. Zo kan met het graven van een broedtunnel voor een ijsvogel wel een belangrijke factor voor een individuele soort worden gecreëerd maar het beeksysteem en de levensgemeenschap hebben daar nauwelijks baat bij. En als bijvoorbeeld het beekwater tegelijkertijd troebel blijft, zal de ijsvogel geen voedsel kunnen verzamelen en ondanks de broedtunnel niet terugkeren. Het gebruik van doellevensgemeenschappen kan aan dit bezwaar tegemoet komen. Het Natuurbeleidsplan (Min. van LNV 1989) hanteert ook een sterk soortgericht benadering voor beek- en beekdalsystemen (Meerjarenprogramma Natuur en Landschap 1992-1996 1991). Een belangrijk deel van de uitwerking van het landelijk natuurbeleid op regionaal niveau (fysisch geografische regio's) is neergelegd in Ecosysteemvisies. In de Ecosysteemvisie Beken en Beekdalen (Higler, Beijer & Van der Hoek 1995) worden natuurdoeltypen beschreven die zowel betrekking hebben op de levensgemeenschap in de beek als op de vegetatie in het beekdal. De natuurdoeltypen worden in de praktijk gebruikt als leidraad bij het realiseren van nieuwe natuur, maar ook bij de bescherming van natuurwaarden in bestaande natuurgebieden.

Bij het gebruik van levensgemeenschappen of beter nog ecosystemen wordt in feite de huidige toestand van een water vergeleken met de beste toestand oftewel een referentiepunt. Ecologisch gezien is dit referentiepunt de natuurlijke of ecologisch optimale toestand; de na te streven toestand. Het begrip natuurlijk is echter niet waarde vrij. Behalve te waarderen naar ecologische maatstaven (waar hier vanuit wordt gegaan) zijn er andere waarderingen mogelijk, bijvoorbeeld het streven naar maximale biodiversiteit en het behoud van de cultuurhistorische waarden.

De definitie van referentie als ecologisch optimale toestand, is een toestand waarbij het ecosysteem onder de gegeven klimatologische, geomorfologische en geologische randvoorwaarden zelfregulerend functioneert. Het is echter moeilijk om werkelijk objectieve en waarde vrije criteria aan te geven voor de omschrijving van dé referentie.

De definitie van de referentie geeft een onafhankelijkheid aan van maatschappelijke ontwikkelingen. Dit is statisch en weinig realistisch. Bij de definitie van het streefbeeld wordt rekening gehouden met bestaande menselijke activiteiten (de omstandigheden zijn en blijven ook in de toekomst veranderlijk). Bij het streefbeeld of doeltype worden de te bereiken toestanden doelafhankelijk gemaakt met andere woorden ecologisch geoptimaliseerd onder de betreffende omstandigheden. Een dergelijk streefbeeld wordt gedefinieerd als een toestand waarbij het ecosysteem onder de gegeven klimatologische, geomorfologische en geologische randvoorwaarden zelfregulerend functioneert onder invloed van huidige en toekomstige maatschappelijke ontwikkelingen. De referentie vormt daarmee de beschrijving van een toestand om mogelijke doel- of streefrichtingen aan te geven. Het gaat er bij de referentie om de richting van de ecologisch optimale ontwikkeling aan te geven. Voor dit richtingsproces wordt de term ecosysteemontwikkeling gebruikt.



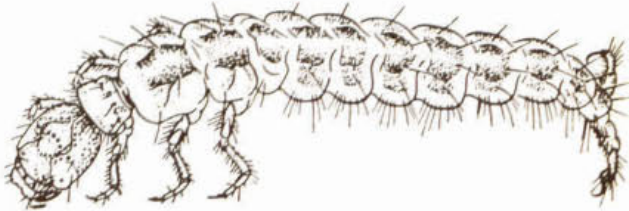






structuren uit het verleden op de huidige toestand van groot belang zijn. Maar ook kennis van de invloed van toekomstige maatschappelijke processen (functies) op het beekstelsel is nodig om reële streefbeelden op te stellen. Het inventariseren van bestaande en toekomstige functies betekent niet dat sommige functies niet ter discussie staan. Andere zijn onvermijdelijk en hebben invloed op de mogelijkheden (ontwikkelingsrichtingen en -toestanden).

Samenvattend komt het er op neer dat toestanden worden beschreven in het verleden en heden, dat processen leidend tot deze toestanden worden beschreven en dat maatregelen worden aangegeven om deze processen in een gewenste richting te kunnen sturen. Toestandsbeschrijvingen zijn daarbij bedoeld om effecten van uitgevoerde maatregelen (het sturen van processen) te toetsen. Echter de basis voor elke beschrijving vormen de ecologische wetmatigheden en processen. Deze moeten de basis zijn van referentie en streefbeelden. Uiteraard zal niet altijd even gedetailleerd gewerkt kunnen worden en bepalen de praktische mogelijkheden de mate van gedetailleerdheid, maar ze bepalen niet de wijze van aanpak.



Naakte kokerjuffer; karakteristiek voor bronbeken



Beekpunge; veel langs de beekoever gevonden

## 2. HISTORISCHE ECOLOGIE

### 2.1 Inleiding

De historische ecologie beweegt zich op de grens van de ecologie en de historische geografie, en wordt gedefinieerd als het vakgebied dat historische ecosystemen bestudeert. Hierbij kunnen zowel natuurlijke als antropogene systemen onderwerp van studie zijn (Dirkx et al. 1992), de nadruk ligt echter op ruimtelijke aspecten van de eerste. De historische ecologie gebruikt een groot aantal onderzoekstechnieken, maar richt zich vooral op het tijdvak waarvan geschreven bronnen beschikbaar zijn. Kaartmateriaal speelt een belangrijke rol.

Historisch ecologisch onderzoek ten behoeve van beekherstel volgt drie benaderingswijzen:

- \* Inzicht verkrijgen (reconstructie) in een historische situatie (retrogressief); bijvoorbeeld het achterhalen van een "oorspronkelijke" beekloop door het analyseren van historisch kaartmateriaal en door een nauwkeurige terreinverkenning.
- \* Verklaar van een actuele situatie vanuit het verleden (retrospectief); bijvoorbeeld het verklaren van de actuele verspreiding van macrofauna vanuit de ontwikkelingsgeschiedenis van een stroomgebied van een beek.
- Beschrijven van een ontwikkeling gaande van verleden naar heden (chronologisch); bijvoorbeeld het koppelen van het voorkomen van beekorganismen aan gegevens over de ontwikkeling van de waterkwaliteit. Een min of meer exacte datering is hierbij van belang.

Een van de toepassingen van de historische ecologie is het opstellen van referentie- en streefbeeld (Doring & Joosten 1992). Een voorbeeld is de AMOEBE-benadering (Hosper & Ten Brink 1989) waarmee de huidige abiotische en biotische toestand van watersystemen vergeleken wordt met een historische toestand. Deze toepassing is nogal beperkt omdat meestal gerefereerd wordt aan één bepaald moment in het verleden.

Bij beekherstelprojecten kunnen historisch ecologische gegevens worden gebruikt voor het beschrijven van een toestand in het verleden (biotisch, abiotisch) of van in het verleden opgetreden processen en patronen (hydrologisch, morfologisch). Hiermee kunnen tesamen met informatie over veranderingen in de tijd, de huidige toestand en de huidige voorkomende processen, potenties voor de ontwikkeling (herstel) van een bepaald beekstelsel worden aangegeven.

Historische ecologie speelt derhalve een rol bij de bepaling van de ontwikkelingsmogelijkheden voor beekherstel. Vanuit de gedachte dat de huidige milieu-omstandigheden (hydrologisch, morfologisch, waterkwaliteit) sterk veranderd zijn ten opzichte van een subjectief gekozen historische situatie, kunnen historische gegevens niet zonder meer fungeren als streefbeeld. Er mag niet vergeten worden dat zeer veel beken in het verleden door de mens gegraven of vergraven zijn. Waarschijnlijk is het moeilijk om nog echt natuurlijke beeklopen te vinden. Beekherstel richt zich dan ook niet op de restauratie van een vroegere situatie, maar op het optimaliseren van ecologische beek- en beekdalprocessen in de toekomst. Historische gegevens zorgen hierbij voor een betere begripsvorming. De historische ecologie is dus een hulpmiddel bij het beschrijven van de mogelijkheden van toekomstige ontwikkelingen.

Op basis van interviews, literatuurstudie en de analyse van enkele beekherstelprojecten wordt in dit hoofdstuk de meerwaarde van het gebruik van historische gegevens bij beekherstelprojecten geëvalueerd en wordt inzicht gegeven in bronnen van informatie. Historische gegevens kunnen bijdragen aan het formuleren van ecologische randvoor-



waarden waaraan bij herstelprojecten moet worden voldaan. Het betreft gegevens over voormalige factoren en processen in beeksystemen met een nadruk op het voorkomen van karakteristieke organismen.

Bij een aantal mensen die betrokken zijn (geweest) bij projecten waar historische ecologische gegevens een rol hebben gespeeld, is de aard en het belang van deze rol in het totale project nagegaan. Tevens is die rol bij een zevental concrete beekprojecten nader geanalyseerd. Op grond van de analyseresultaten worden aanbevelingen gedaan voor het gebruik van historische gegevens bij beekherstelprojecten.

## 2.2 Bronnen van informatie

### 2.2.1 Kaarten

In Nederland zijn sinds de Middeleeuwen ten behoeve van waterhuishoudkundige maatregelen en voor domeinbesturen kaarten vervaardigd. Tegen het eind van de 18<sup>e</sup> eeuw waren de technische ontwikkelingen en rekenmethoden zover gevorderd dat topografische verkenningen werden uitgevoerd, in eerste instantie met een militaire grondslag. Bij het gebruik van historisch kaartmateriaal moet worden bedacht dat oude kaarten vaak veel fouten bevatten. De bruikbaarheid van dit materiaal neemt toe in combinatie met ondersteunende gegevens. Hieronder volgt een overzicht van de belangrijkste kaarten.

#### Ferraris-kaart (1771-1778)

Deze kaart beslaat het gebied van de Oostenrijkse Nederlanden en heeft schaal 1:11.250 (bron: Algemeen Rijksarchief te Den Haag).

#### Militaire kaarten

De Topografische en Militaire Kaart (TMK) van Nederland dateert van 1864 (schaal 1:50.000; vanaf circa 1900 ook op schaal 1:25.000). De nettekeningen worden in het Algemeen Rijksarchief in Den Haag, afdeling kaarten en tekeningen, bewaard. De waterstaatskaarten werden van de TMK afgeleid. Andere afgeleide kaarten zijn de Grote Historische Atlas (periode 1838-1858, schaal 1:50.000) en de Historische Atlas (periode 1890-1924, schaal 1:25.000). De Topografische Dienst te Emmen maakt kaarten met schaal 1:25.000 en 1:50.000, en bewerkt een 1:10.000 bestand dat in 1997 landsdekkend beschikbaar zal zijn.

#### Kadasterkaarten

Vanaf 1832 zijn kaarten van gemeenten voorhanden op schaal 1:1250, 1:2500 en/of 1:5000. Deze kaarten bevatten echter nauwelijks topografische details en zijn beperkt tot de gemeentegrenzen.

#### Tranchot-kaart

Deze kaart (schaal 1: 20.000) dateert van het begin van de 19e eeuw en beslaat het Rijnland, te weten Limburg en delen van Noord-Brabant en Gelderland. De landschappelijke structuren komen op deze gedetailleerde kaart goed tot uiting. Replica's van deze kaart zijn te koop.

#### Waterstaatskaarten

Deze kaarten zijn gebaseerd op afwateringseenheden en bevatten gedetailleerde informatie over onder andere peilen en dijk- en terreinhoogten. De eerste versies beslaan de periode 1865-1890. De kaarten hebben schaal 1: 50.000, terwijl er ook overzichtskaarten met schaal 1: 400.000 zijn. In principe worden alle kaarten elke tien jaar herzien.

### Leggerkaarten

Vanaf het eind van de 19<sup>e</sup> eeuw maken de waterkwantiteitsbeheerders kaarten (schaal 1: 1000 tot 1: 5000) van de te beheren wateren waarop afmetingen exact zijn weergegeven. Deze gaan meestal vergezeld van kadaster- en topografische gegevens.

### Verbeteringskaarten

Vanaf eind 19<sup>e</sup> eeuw zijn door waterschappen kaarten gemaakt voordat met de "verbetering" van beken is begonnen. Vaak is op deze kaarten zeer nauwkeurig aangegeven hoe de "oorspronkelijke" beek er uitzag en hoe de beken zijn gewijzigd. Deze kaarten behoren tot de meest informatieve.

### COLN-kaarten

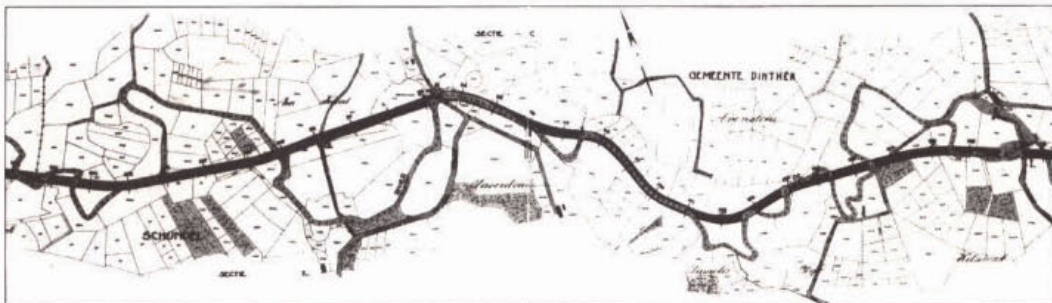
De COLN-kaarten leveren een duidelijk beeld van de waterhuishoudkundige situatie anno begin jaren vijftig. Er is een zomergrondwaterstandsk kaart, een wintergrondwaterstandsk kaart en een verdrogingskaart.

### Grootschalige Basiskaart Nederland (GBKN)

De GBKN wordt een digitaal kaartproduct. De voorbereiding vindt plaats in een landelijk Samenwerkingsverband GBKN. De vervaardiging dient in regionale samenwerkingsverbanden tot stand te komen. Hiertoe is een accord tussen de verschillende participanten (VNG, VEWIN, PTT-Telecom, Kadaster, Vereniging EnergieNed).



De Aa in 1816 nabij Dintther



Profielvergroting en bochtafsnijdingen van de Aa (1938)

**Figuur 2.1** De Aa nabij Dintther in 1816 en na profielvergroting en bochtafsnijdingen in 1938 (Waterschap de Aa 1987).

### Overige kaarten

Voorts zijn beschikbaar de bodemkundige (Stiboka) en geomorfologische kaarten (Geomorfologische Kaart van Nederland schaal 1: 50.000). Voor de Ecosysteemvisie Beken en Beekdalen wordt een beken-kaart van Nederland gemaakt. Hiervoor zijn per provincie kaarten gedigitaliseerd die bij de LD in Utrecht tot een landelijke kaart worden samengevoegd.



Veel kaartgegevens zijn geautomatiseerd beschikbaar; als voorbeeld kunnen de vermelde leggerkaarten worden genoemd. Met betrekking tot kaartmateriaal is een tweetal tijdschriften noemenswaard te weten Caert-Thresoor, tijdschrift voor de geschiedenis van de cartografie in Nederland (Alphen a/d Rijn), en het Historisch Geografisch Tijdschrift (Stichting Matrij's Utrecht).

Over de periode voor 1500 zijn weinig gegevens beschikbaar, daarna is fragmentarisch informatie en zijn er halfjuiste kaartbeelden. Vanaf begin 19<sup>e</sup> eeuw zijn er betere kaarten, zelfs bruikbaar voor bepaalde kwantitatieve vergelijkingen. Historisch kaartmateriaal is vooral bruikbaar in combinatie met andere gegevens. Kaarten met te kleine schaal zijn sowieso slecht bruikbaar. Goed te gebruiken kaarten zijn de Tranchot-kaart, leggerkaarten en verbeteringskaarten. Oude kaarten bevatten vaak veel fouten. Hierbij moet worden bedacht dat ze veelal voor een ander doel zijn gemaakt dan waarvoor ze in dit kader worden gebruikt. Een voorbeeld van een oude kaart wordt in figuur 2.1 gegeven.

Kaarten geven inzicht in landschapsstructuren en -gebruik (bijvoorbeeld bos, heide, veen, bebouwing en grasland) van stroomgebieden en patronen van beken. Kaarten maken hierin ontwikkelingen in de tijd zichtbaar. Oude legger- en waterstaatskaarten geven inzicht in de vroegere waterhuishouding van een bepaald gebied. Voor een nader inzicht in aspecten van kwel en infiltratie in een stroomgebied is het interpreteren van kaarten met waterhuishoudkundige informatie een belangrijk hulpmiddel (zie onder andere Stuurman et al. 1990). Plannen van verbeteringswerken uit het verleden (vanaf eind 19<sup>e</sup> eeuw) geven meer gedetailleerde informatie over veranderingen in de waterhuishouding en de morfologie van beken. Hierbij moet worden bedacht dat belangrijke ingrepen in de hydrologie al plaatsvonden vanaf de Middeleeuwen, bijvoorbeeld de ontwatering van kommen en venen. Een goede basis voor een waterhuishoudkundige analyse op historische grondslag is het bestuderen van opeenvolgend oud kaartmateriaal dat inzicht verschaft in de dynamiek in de tijd van een beekstelsel. Wijzigingen in meanderpatronen kunnen duidelijk maken in hoeverre processen als erosie en sedimentatie daarin een rol speelden. Op basis van kaartstudies is gebleken dat tal van meanderende beken in Nederland van nature hun loop gedurende decennia niet of nauwelijks hebben verlegd (Geesink & Romeijn 1990, Wolfert 1991).

### 2.2.2 Archieven

Het raadplegen van archieven kan een waardevolle bijdrage zijn aan historisch onderzoek. De meeste archieven bevatten zoeksystemen waarvan er enkele geautomatiseerd zijn. Hierna wordt een aantal te raadplegen archieven nader aangeduid.

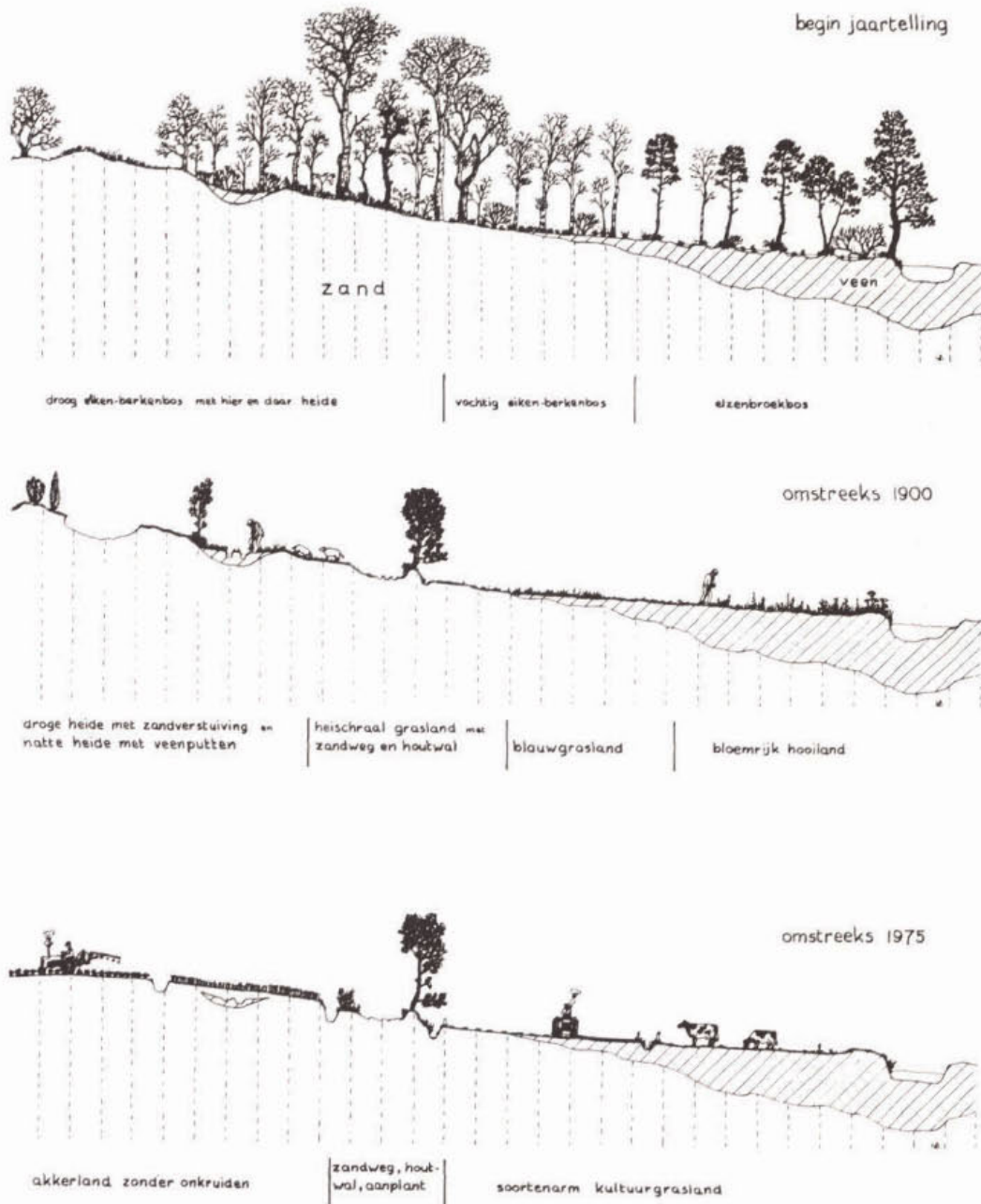
#### Biogeografisch Informatiecentrum (BIC)

Een belangrijk natuurwetenschappelijk archief dat betrekkelijk gemakkelijk is te raadplegen, is het BIC, momenteel ondergebracht bij het IKC/NBLF te Wageningen.

#### Natuur Wetenschappelijk Archief (NWA)

Door het Staatsbosbeheer zijn vanaf 1928 documenten verzameld over de Nederlandse natuur en het landschap. In dit NWA bevindt zich alleen informatie die in relatie staat met de Staatsbosbeheerterreinen en documentatie over het beheer daarvan. Alle andere informatie is al langere tijd geleden naar het voormalige RIVON overgegaan, en later (1989) voor een deel naar het BIC. Het NWA brengt documenten bijeen en heeft een verzameling van natuurwetenschappelijke gegevens over onder meer bodem/geologie, hydrologie, hydrobiologie, flora/vegetatie, invertebraten, vissen, herpetofauna, vogels en zoogdieren. Ook gegevens over toekomstige eigendommen van Staatsbosbeheer worden in het archief opgenomen. In de bibliotheek bevindt zich literatuur met niet gepubliceerde waarnemingen van planten en dieren. Het NWA is gedeeltelijk een openbaar archief. Onder bepaalde voorwaarden worden documenten uitgeleend. Het NWA bevat een

geautomatiseerd zoekstelsel met meer dan duizend sleutelcodes via welke ruim dertigduizend documenten kunnen worden geraadpleegd. Dit zal mogelijk met nog circa dertigduizend worden uitgebreid.



Figuur 2.2 Dwarsdoorsnede door een beekdal ter hoogte van de middenloop (Bakker & De Vries 1983).

#### Natuurwetenschappelijk Archief IBN-DLO

Vanaf het eind van de vijftiger jaren heeft het Rijksinstituut voor Veldbiologisch Onderzoek ten behoeve van Natuurbehoud (RIVON), later Rijksinstituut voor Natuurbeheer (RIN), nu het Instituut voor Bos en Natuuronderzoek (IBN-DLO) veel gegevens verzameld. Wat betreft dit archief kan worden gemeld dat dit is onderverdeeld naar gemeente en zich thans bij het IKC/NBLF te Wageningen en het IBN-DLO te Arnhem bevindt.



### Natuur Historische Musea

Vermeldenswaard is voorts dat ook regionale Natuur Historische Musea vaak waardevolle archieven en bibliotheken bezitten. Dergelijke musea zijn aanwezig in Leeuwarden, Enschede, Denekamp, Rotterdam, Tilburg, Zwolle, Maastricht en Den Haag. Het Nationaal Natuurhistorisch Museum bevindt zich te Leiden. Daar is ook het Centraal Bureau van EIS (European Invertebrate Survey) gevestigd, dat zich bezig houdt met het verzamelen van verspreidingsgegevens van evertibraten.

### Streekarchieven

Regionale informatie, zoals cultuurhistorische maar ook natuurwetenschappelijke informatie, is vaak in streekarchieven opgeslagen. Voor adressen wordt verwezen naar de Almanak van het Nederlandse Archiefwezen (Koninklijke Vereniging van Archivarissen in Nederland 1993). In de almanak wordt onderscheid gemaakt in de volgende categorieën, te weten het Algemeen Rijksarchief, de Rijksarchieven per provincie, de provinciale archiefinspecties, gemeentearchieven, streekarchieven, waterschapsarchieven, kerkelijke archieven, bedrijfsarchieven, audio-visuele archieven en overige archiefbeherende instellingen en documentatiecentra. De toegankelijkheid van de onderscheiden archieven kan onderling sterk verschillen. Opgemerkt moet worden dat bovengenoemde niet een uitputtende opsomming van bestaande archieven betreft.

### Oude vegetatiegegevens

Voor het opsporen van vroegere gegevens over vegetatie is door IBN-DLO te Wageningen het project "Oude Vegetatiegegevens" opgezet. Het doel is zoveel mogelijk oude opnamen van Nederlandse vegetaties op te sporen en te automatiseren. Begin 1993 waren reeds meer dan 12.000 opnames van voor 1970 in de databank opgeslagen. Er wordt gewerkt aan de automatisering van nog eens 10.000 opnamen, alsook aan de ontwikkeling van programmatuur om de gegevens te analyseren en te presenteren. De gegevens kunnen patronen opleveren zoals weergegeven in figuur 2.2.

### Werkgemeenschap Landschapsecologisch Onderzoek (WLO)

Voorts kan de Werkgroep Historische Ecologie van de WLO informeren over de aanwezigheid en bruikbaarheid van specifieke archieven.

### Nederlandse Vereniging tegen Water-, Bodem- en Luchtverontreiniging (NVWBL)

Met betrekking tot gegevens over waterkwaliteit is het onderzoek van de NVWBL naar de verontreinigingsstoestand van het oppervlaktewater in de jaren veertig, vermeldenswaard. Per provincie zijn rapporten gepubliceerd. Ook vermeldenswaard zijn de analyses die door apothekers in de 17e/18e eeuw werden verricht in opdracht van geneeskundige raden en het Staatstoezicht op de Volksgezondheid.

### Archief Hydrobiologische Vereniging

Het hydrobiologisch onderzoek dateert van het begin van deze eeuw en was grotendeels inventariserend en beschrijvend van karakter, zie bijvoorbeeld Sijnders (1912). Veel aandacht werd besteed aan taxonomie en autoecologie van soorten door onder andere Redeke (1948). In het begin was slechts een beperkte groep onderzoekers actief (Geelen & Leentvaar 1988). Documentatie van vermaarde hydrobiologen van de "Hydrobiologische Club" die in 1921 door Redeke is opgericht, zoals J. Heimans en Th. Dresscher en de archieven van de Hydrobiologische Vereniging alsook het archief van P. Schroevers, bevinden zich bij AquaSense TEC te Wageningen.

Archiefwerk is bijvoorbeeld toegepast bij onderzoek naar de verspreiding en de aantalsontwikkeling van diersoorten. Met name in relatie tot visserij en jacht zijn vaak tal van documenten te vinden. Een voorbeeld van een studie waarbij archieven een grote rol hebben gespeeld, is die van Pelzers (1988) naar de zalmvisserij op de rivieren in Limburg en Gelderland in de vorige eeuw. Historische informatie over staat, inrichting



en beheer van watergangen kan ook in verborgen staat in archieven aanwezig zijn. De ingang "wateroverlast" bijvoorbeeld kan een handvat bieden. Tal van beken en riviertjes zijn eeuwenlang gebruikt om schoepenraden van watermolens in beweging te brengen, wat aanleiding gaf (en nog steeds geeft) tot conflicten en geschillen vanwege de opstuwung van water. Uit 1545 is een plakkaat bekend van Karel V waarin werd bevolen om de pegel (het waterpeil) van watermolens officieel vast te leggen.

Het bestuderen van archiefmateriaal is een uiterst arbeidsintensieve aangelegenheid en naarmate men verder in de tijd terug gaat, neemt de erin te investeren tijd toe, terwijl de 'opbrengst' verhoudingsgewijs afneemt. Veelal zal er geen tijd zijn om zelf archieven te bezoeken voor het achterhalen van interessante informatie. Aanbevolen wordt om in voorkomende gevallen (cultuur)historische werkgroepen of heemkunde kringen te raadplegen. Deze bezitten specifieke kennis over de streek en hebben wellicht nuttige tips en informatie.

### 2.2.3 Literatuur

Veel informatie is in literatuur opgeslagen. De ontsluiting is soms echter een probleem. Literatuuropgaven in recente publikaties kunnen worden gebruikt om aan de hand van de literatuurlijst andere en oudere literatuur op te sporen (sneeuwbal-effect). Ook kan worden teruggezocht in registers en zoeksystemen.

#### Internationale tijdschriften

Tijdschriften zijn een belangrijke bron van informatie. Artikelen in internationale tijdschriften zijn in veel grotere (on-line) zoeksystemen opgenomen. Het zoeken met deze systemen levert weinig bruikbare historische Nederlandse informatie op.



Figuur 2.3 *Illustratie uit het bekennummer van Natura (1983). De 'Nieuwe molen' in 't Woold even ten zuiden van Winterswijk (tek. St. van den Brand).*



### Nederlandse tijdschriften

De meest bruikbare tijdschriften zijn De Levende Natuur, Natura, het Natuurhistorisch Maandblad (Limburg), Natuur & Landschap, Hydrobiological Bulletin (Neth. J. Aquat. Ecol.), Landschap, het tijdschrift Water, Bodem, Lucht (Heidemij), Jaarboek Twente (Overijssel) en de bladen van jeugdbonden en lokale verenigingen. Het tijdschrift De Levende Natuur heeft een register op de jaargangen van 1896-1941 (Creuzberg & Van Wijngaarden 1965). Van Natura wordt een register op alle jaargangen samengesteld. Andere overzichten kunnen als register worden gebruikt zoals het overzicht van de hydrobiologische literatuur voor Noord-Brabant (Mol 1986) en het historisch overzicht van 1910 tot 1990 over de beken in Noord-Limburg ten westen van de Maas (AquaSense 1990). Voor historische gegevens over bepaalde groepen kunnen specialistische tijdschriften worden geraadpleegd zoals Lutra (zoogdieren), Vogeljaar, Limburgse Vogels, Ardea (vogels) en Lacerta (herpetofauna), OVB-berichten (vissen), Entomologische Berichten (insekten), Gorteria, Stratiota, Nederlands Kruidkundig Archief (NKA) en Acta Botanica Neerlandica (planten).

In een aantal tijdschriften zijn themanummers over beken en beekdalen verschenen. Genoemd kunnen worden het Bekenummer van Natura uit 1983 (jaargang 80, no.1; figuur 2.3), de publikatie over Beken in Noord-Brabant van de Brabantse Milieufederatie (Van der Straten & Von Meijenfheldt 1983), en het themanummer Beken en Beekdalen in Zuid-Limburg van het Natuurhistorisch Maandblad uit 1990 (jaargang 79, no.3/4).

In de zestiger jaren verschenen veel publikaties die verband hielden met waterkwaliteitsproblemen (Higler 1964). Nadien werden systemen ontwikkeld voor waterkwaliteitsbeoordeling op biologische grondslag. Voor een overzicht hiervan en relevante literatuur wordt verwezen naar Tolkamp & Gardeniers (1988).

### Rapporten

In Nederland worden veel onderzoeksresultaten gerapporteerd in rapporten met een beperkte oplage en verspreiding. Vaak zijn deze opgenomen in de zoeksystemen van de universiteitsbibliotheken (bijvoorbeeld AGRALIN), van het KIWA (Aqualine) of van de STOWA (Hydrotheek).

### Verspreidingsatlassen

Veel relevante literatuur is verwerkt in verspreidingsatlassen. Voor een aantal dieren- en plantengroepen is een Nederlandse atlas beschikbaar, terwijl soms ook regionale of provinciale atlassen beschikbaar zijn. Voorbeelden zijn de atlas van de Nederlandse flora, de zoogdierenatlas, tal van vogelgidsen, de atlas van de Nederlandse amfibieën en reptielen, de vlinderatlas en andere entomologische uitgaven met verspreidingskaarten. Veelal worden inzichten gegeven in de huidige maar ook in de vroegere verspreiding van soorten. Met betrekking tot de vissen is medio 1993 het project "Visatlas" van start gegaan. Dit moet leiden tot een atlas waarin de verspreiding van de Nederlandse zoetwatervissen in kaart is gebracht. Het project valt onder de Stichting Atlas Verspreiding Nederlandse Zoetwatervissen.

### Milieu-inventarisaties

Voor een overzicht van provinciale milieu-inventarisaties, voor onder andere hydrobiologie, wordt verwezen naar Dumont et al. (1985). Gegevens uit deze bestanden worden op verzoek meestal verstrekt. Het gebruik ervan is meestal aan voorwaarden gebonden.

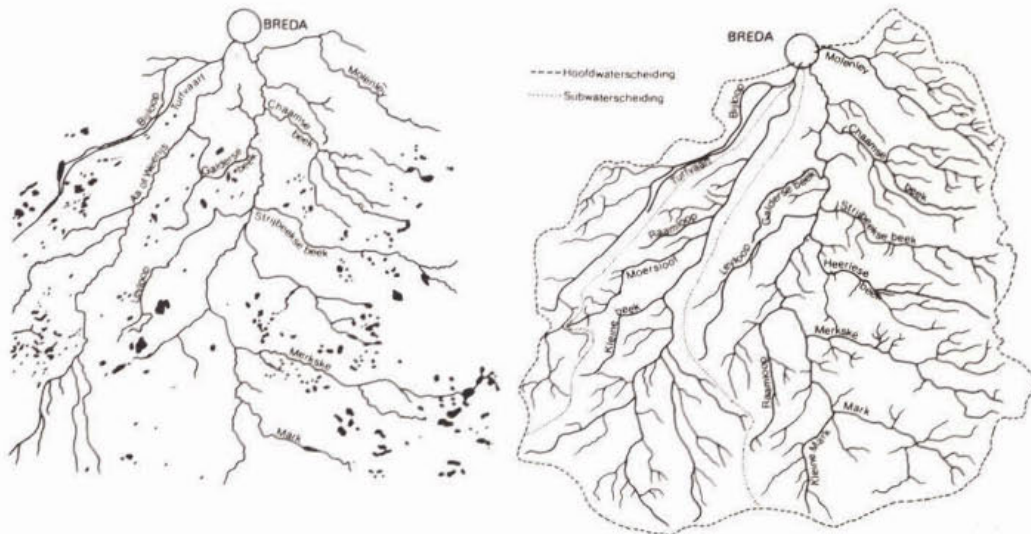
### Periodieken

Voor regionale en lokale informatie over ontwikkelingen in flora en fauna kunnen de periodieken van Provinciale Landschappen, heemkundeverenigingen en natuurbeschermingsorganisaties (bijvoorbeeld plaatselijke IVN-afdelingen) een belangrijke aanvullende bron van informatie vormen.



### Grijze literatuur

Naast de officiële literatuur is er een grote hoeveelheid grijze literatuur zoals onderzoeksverslagen, notities en andere verslagen waarin vaak waardevolle gegevens zijn te vinden. Veel van deze literatuur is te vinden in universiteitsbibliotheken (van met name KUN, LUW, RUU, UvA en RUL) en natuurwetenschappelijke archieven (SBB en IBN-DLO). Een bezoek aan deze instanties levert vaak meer op dan een enkele referentie. Voor beken die in een terrein van een natuurbeschermingsorganisatie liggen, is het nuttig om contact met de betreffende organisatie op te nemen. Natuurmonumenten heeft per terrein een archief met beheer- en onderzoeksverslagen, ondergebracht te 's-Gravenland.



*Figuur 2.4 Bekenstelsel van de Mark, ten zuiden van Breda. Links situatie 1850, rechts 1980 (Buiks & Geerts 1983).*

### 2.2.4 Collecties

#### Instituut voor Taxonomische Zoölogie (ITZ), Nationaal Natuurhistorisch Museum (NNM) en Instituut voor Bos en Natuuronderzoek (IBN-DLO)

Bij het ITZ (afdeling Entomologie) van de Universiteit van Amsterdam bevindt zich het Zoölogisch Museum waar zich, evenals bij het NNM te Leiden en het IBN-DLO te Leersum (afdeling Aquatische Ecologie), oude collecties van aquatische organismen bevinden.

#### Rijksherbarium

Wat vegetatie betreft, is het florabestand van het Rijksherbarium te Leiden vermeldenswaard (zie onder andere Witte & Van der Meijden 1989). Door het Rijksherbarium wordt het geautomatiseerd vegetatiebestand, FlorBase, ontwikkeld.

#### Universiteit van Amsterdam

Bij de Universiteit van Amsterdam zijn de zogenaamde van der Werff collectie en andere microfyten-collecties ondergebracht.



In het algemeen zijn collecties slecht ontsloten en kost het zeer veel moeite om bruikbare informatie hieraan te onttrekken. Ook zijn er grote verschillen in hoeveelheid en aard van de beschikbare informatie tussen diverse tijdvakken. Over flora en fauna is relatief veel materiaal beschikbaar uit de 18<sup>e</sup> en 19<sup>e</sup> eeuw. Doordat de naamgeving nogal eens veranderde moet worden bedacht dat dit een probleem kan zijn bij het bestuderen van niet alleen collectiemateriaal maar van alle oude gegevens.

### *2.2.5 Foto- en satellietbeelden*

Foto- en satellietbeelden kunnen zeer gedetailleerde informatie bevatten over bijvoorbeeld het bodemgebruik en allerlei waterhuishoudkundige aspecten van heden en verleden. Oude luchtfoto's zijn beschikbaar bij de Topografische Dienst in Emmen. Via foto- en satellietbeelden is kwel gemakkelijk op te sporen, vooral in de winter. Via warmtebeelden wordt het dan relatief warme grondwater dat aan de oppervlakte komt, duidelijk zichtbaar. In januari 1982 werden door Rijkswaterstaat vluchten uitgevoerd langs de grote rivieren waarbij foto's werden gemaakt met schaal 1:5000 voor een kwelkartering. Via warmtebeelden kunnen ook oude beek- en rivierlopen worden getraceerd. Plaatselijke verschillen in bodemeigenschappen en daardoor ongelijke vochtverdelingen in de bodem indiceren dit.

### *2.2.6 Overige bronnen*

Aanvullend kunnen ook archeologische en paleolimnologische gegevens een rol spelen bij het verzamelen van historische gegevens. In het paleolimnologisch onderzoek bijvoorbeeld worden resten van planten en dieren uit sedimenten bestudeerd (onder andere Janssen 1972, Van Leeuwen & Janssen 1987, Klink 1986).

Archeologische informatie kan een rol spelen bij de analyse van de historie van een watersysteem (Andrea et al. 1990). Archeologisch onderzoek langs de Boven Regge heeft aangetoond dat in de Midden Steentijd (8000-4500 v.Chr.) de dekzandkoppen die grenzen aan het beekdal werden bewoond omdat die als "eilanden" in een uitgestrekt moerasgebied lagen. De bewoningsgeschiedenis biedt onder meer informatie over de vroegere waterhuishoudkundige situatie. Vondsten kunnen daarbij inzicht verschaffen in de toen voorkomende flora en fauna (pollen, vezelresten). Oude dichtgeslibde meanders bieden vanwege de natte en zuurstofarme omgeving de beste mogelijkheden voor het bewaard blijven van organische overblijfselen. Dit geeft inzicht in de relatie tussen de vroegere mens en de toenmalige natuurlijke omgeving.

Ook biedt het gebruik van veldnamen of toponiemen perspectieven (figuur 2.4). Deze benaderingswijzen of bronnen worden vanwege het tijdrovende en/of specialistische karakter, weinig toegepast. De resultaten zijn echter belangwekkend.

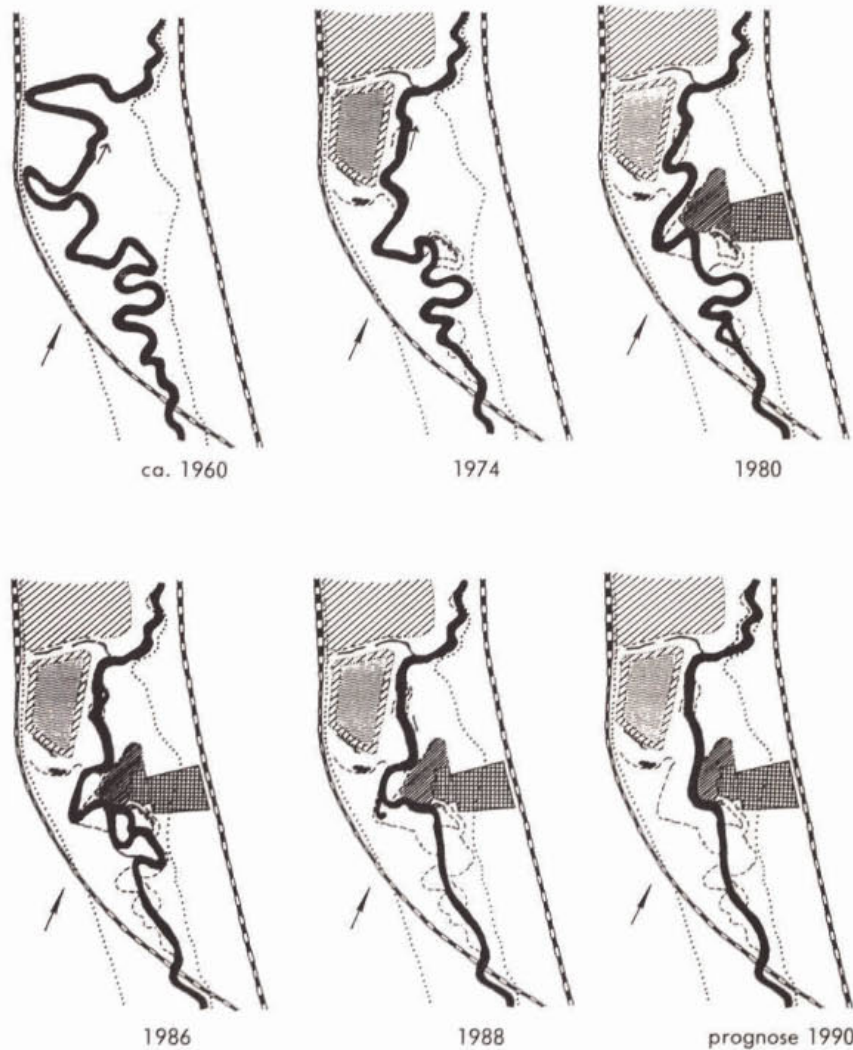
## **2.3 Praktijktoepassingen**

### *2.3.1 Inleiding*

In deze paragraaf wordt enkele projecten geëvalueerd waarbij historisch ecologisch onderzoek in meer of mindere mate een rol heeft gespeeld. Daarnaast is een aantal mensen dat zich met beekherstel bezig houdt, geïnterviewd. Tenslotte wordt ingegaan op ervaringen die in het buitenland, met name Duitsland en Denemarken, zijn opgedaan met beekherstel en de rol die historisch ecologische gegevens daarbij hebben gespeeld.

### 2.3.2 Projecten

Recent zijn in verschillende studies reconstructies van het abiotisch milieu en/of van het ecologisch functioneren gemaakt. Enkele van deze studies, waarbij gebruik is gemaakt van respectievelijk historisch kaartmateriaal, literatuur en archieven, worden hier nader beschouwd.



*Figuur 2.5 De loop van de Worm tussen Haanrade en Worm vanaf omstreeks 1960 (Bauer & Gerrisheim 1988).*

#### Historische kaarten voor de beschrijving van de morfodynamiek van een rivier

Overmars (1992) geeft aan de hand van kaartmateriaal vanaf 1615 een beeld van de veranderingen in het stroombed van een deel van de Waal. De oude kaarten laten de veranderingen in de tijd van opwassen, aanwassen, schaar dijken en nevengeulen zien. Kaarten van uiterwaarden uit 1688 en 1720-1730, vervaardigd door landmeters, bevatten zelfs aantekeningen over de begroeiing zoals griend, riet, "lies", "seer laag onland" of grasland al of niet met zandafzetting. Op de rivierkaart uit 1920 zijn aantekeningen over de dikte van sliedlagen opgenomen, die blijken te variëren mede afhankelijk van het al of niet voorkomen van bekadingen langs uiterwaarden. Op basis van de kaarten wordt een beeld geschetst van een Waal met een zandig en dynamisch stroombed dat in de 19e eeuw verandert in een genormaliseerde stroomgeul met bekade en daardoor opkleiende uiterwaarden. De beddingverplaatsingen en later het opslibbingsproces van het rivierbed worden



meer in detail, op basis van negen kaarten uit de periode van 1607-1992, gepresenteerd voor de Winssense Waard.

De studie van Overmars geeft geen informatie over de toegankelijkheid en toepasbaarheid van de gehanteerde kaarten. Het rapport van Faessen (1993) over de Grensmaas doet dit wel. Als basis voor onderzoek in archieven is bijvoorbeeld gebruik gemaakt van Donkersloot-de Vrij (1981) waarin een overzicht wordt gegeven van topografische kaarten van Nederland voor 1750. De door Faessen gebruikte historische kaarten zijn systematisch bestudeerd aan de hand van specifieke morfologische karakteristieken en op opname-formulieren verwerkt. Met name de kaarten uit de 19e eeuw bleken zeer bruikbaar te zijn voor de analyse van de morfodynamiek. Wel veroorzaken verschillen in schalen van verschillende kaarten, bij onderlinge vergelijking, meetkundige afwijkingen. Voor kleinschalige kaarten uit de 17e eeuw wordt expliciet aangegeven dat deze geometrisch geheel onbetrouwbaar zijn. Wel kunnen dergelijke oude kaarten voor een meer globale interpretatie worden gebruikt (aanwezigheid meanders, eilanden en dergelijke).

De kaartanalyse laat uitspraken toe over veranderingen in de lengte van de thalweg, de breedte, de sinuositeit en de dynamiek van de ligging (zie paragraaf 1.4) waaronder laterale verleggingen van de bedding van de Maas in de 19e en de 20e eeuw. Een ander voorbeeld wordt getoond in figuur 2.5.

#### Historische literatuurinformatie en effecten van wateraanvoer

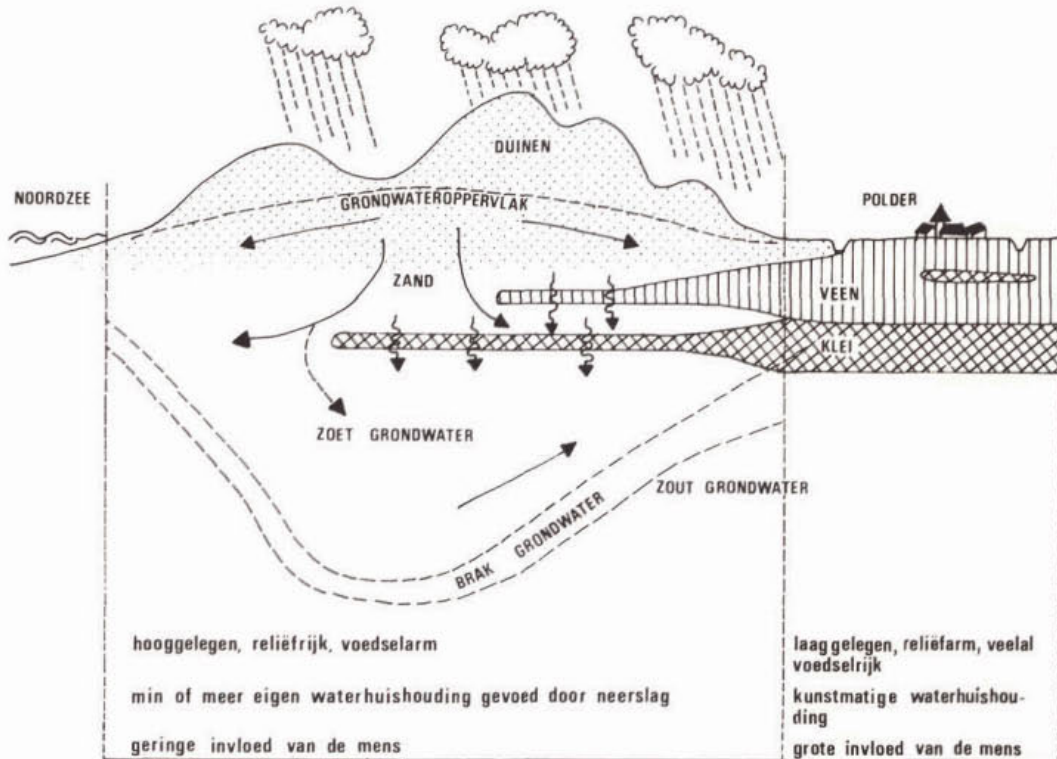
In het kader van een beleidsvoorbereidende studie voor het Waterhuishoudingsplan Limburg over de toevoer van Maaswater naar Noord-Limburg, zijn historische gegevens uit de periode 1910-1990 geanalyseerd uitgaande van literatuurreferenties en jaargangen van het Natuurhistorisch Maandblad (AquaSense 1990). De verzamelde gegevens betreffen voornamelijk aquatische en semi-terrestrische plante- en diersoorten. Per decade wordt een beeld geschetst van verspreiding en aantalsverloop van getraceerde soorten in de natte biotopen in Noord- en Midden-Limburg. Het historisch overzicht is gebruikt voor de selectie van zogenaamde kensoorten voor ecotopen, te weten; beken, oevers, Maasmeanders en landschap in algemene zin. In het tweede deel van het rapport worden fysisch-chemische gegevens van waterlopen sinds 1969 beschouwd voor en na de start van de toevoer van Maaswater via de Peelkanalen naar Noord-Limburg. De ecologische effecten zijn bestudeerd aan de hand van gegevens van macrofauna in aanvoerkanalen en in watergangen met weinig of geen beïnvloeding met gebiedsvreemd water, gebaseerd op inventarisaties uit 1954, 1976 en 1984-1988. De veranderingen van levensgemeenschappen onder invloed van de toevoer van gebiedsvreemd water zijn in beeld gebracht met kensoorten in zogenaamde AMOEBES. In het rapport wordt opgemerkt dat historische gegevens over Noord- en Midden-Limburg zeer schaars zijn en bovendien verspreid als kleine mededelingen in oude jaargangen van het Natuurhistorisch Maandblad.

#### Natuurlijke historie van de Utrechts-Noordhollandse Vecht

De studie is verricht als onderdeel van het restauratieplan Vecht met als doel het schetsen van een ecologische referentie op basis van historische gegevens. Daartoe zijn 28 archieven, 75 literatuurreferenties, bibliografische ontsluitingen en historische kaarten en afbeeldingen geraadpleegd (During & Schreurs 1991). Verslaglegging in het verleden bleek vooral te hebben plaatsgevonden in relatie tot specifieke knelpunten zoals hoge waterstanden, erosie van oevers, verzilting, watervervuiling, volksgezondheid en bevaarbaarheid. De naspeuringen leverden gegevens op over morfologie, verval, dwarsprofiel en peilbeheer, voornamelijk uit de 19e eeuw. De fysisch-chemische gegevens zijn in beperkte mate voorhanden uit 19e eeuwse bronnen en meer uitgebreide gegevens uit het begin van de 20e eeuw. Daarnaast kon belangwekkende informatie over micro- en macrofauna, vissen en water- en oeverplanten worden gevonden. Vooral de vissen worden uitgebreid in



het rapport behandeld in een overzicht van meer dan tien pagina's. De verzamelde gegevens zijn gebruikt voor de beschrijving van de veranderingen in de tijd van de waterhuishoudkundige toestand vanaf de 9<sup>e</sup> eeuw, de vervuiling sinds de 15<sup>e</sup> eeuw en de natuurlijke historie vanaf de 17<sup>e</sup> eeuw. Geconcludeerd wordt dat aan het eind van de vorige eeuw de fysisch-chemische waterkwaliteit van de Vecht nog een oorspronkelijk karakter bezat. Voor macrofauna, standvis en 'minder actief trekkende' vissoorten wordt de 19<sup>e</sup> eeuw representatief geacht voor een relatief weinig verstoord systeem. Alhoewel Redeke (1948) reeds opmerkte dat de Vecht eerder het karakter van een boezemwater heeft sinds er geen sprake meer is van een vrije uitmonding door de aanleg van de zeesluizen in Muiden in 1674. Een beschrijving van een ecologische referentie gerelateerd aan een bepaalde periode is op basis van het vergaarde materiaal met de nodige beperkingen mogelijk. Daarnaast is opgemerkt dat de rijkdom aan historische informatie vooral te danken is aan het eeuwenlange gebruik van de Vecht als vaar-, vis- en drinkwater, en aan het voorkomen van oude woonkernen en buitenplaatsen langs de oevers. Dit laat meer sporen achter in de vorm van documenten, kaarten en publicaties dan wateren met een beperkter gebruik en aanzien (vergelijk de beken in Noord- en Midden-Limburg).



Figuur 2.6 Schematische weergave van de oorspronkelijke hydrologische situatie in het Nederlandse duingebied (Bakker et al. 1979).

#### Historische gegevens bij het herstel van duinrellen

Duinrellen en -beken zijn gegraven, respectievelijk natuurlijke ondiepe watergangen die onder vrij verval kwelwater, afkomstig uit de duinen, afvoeren naar de polder (figuur 2.6). Duinbeken en duinrellen zijn stromende wateren die worden gevoed met het neerslagoverschot uit het duinmassief. Het overschot treedt ten dele uit als ondiep kwelwater aan de binnenduintrand. De goede kwaliteit van het kwelwater maakt duinrellen bij uitstek geschikt voor de ontwikkeling van natuurwaarden in en aan de binnenduintrand. Historische gegevens zijn gebruikt bij twee projecten; St. Maartenszee en het Verlengde Oosterkanaal. In het eerste project (AquaSense 1992) zijn historische gegevens verzameld over waterchemie, macrofauna en macrofyten. Een deel van de historische informatie is verzameld, door mensen van wie gedacht werd dat zij informatie zouden kunnen verschaffen, rechtstreeks te



benaderen. Op basis van vroegere opnamen zijn kensoorten geselecteerd voor de watervegetatie (5 soorten), de oevervegetatie (9 soorten) en de macrofauna (13 soorten). Vervolgens is nagegaan of in 1991 de kensoorten nog werden aangetroffen en is met behulp van de kensoorten en de chemische parameters een AMOEBE als streefbeeld opgesteld ter ondersteuning van herstelmaatregelen voor de duinrellen bij St. Maartenszee. Geconcludeerd is dat de situatie anno 1991 goede kansen biedt op (gedeeltelijk) herstel van het systeem omdat een aantal belangrijke kensoorten nog aanwezig is, en de situatie ten aanzien van waterkwaliteit en inrichting kan verbeteren. Er is echter ook aangegeven dat het streven naar een oorspronkelijk systeem niet realistisch is omdat enige mate van antropogene beïnvloeding blijft.

In het tweede project (AquaSense 1993) zijn op basis van historische gegevens kenmerkende soorten (planten en macrofauna) voor duinrelsystemen geselecteerd. Op basis van gegevens over waterkwaliteit, bodem en kenmerkende soorten is een streefbeeld beschreven. Hieruit zijn aanbevelingen afgeleid voor dimensionering, stromingspatroon, nat-droog gradiënten en beheer.

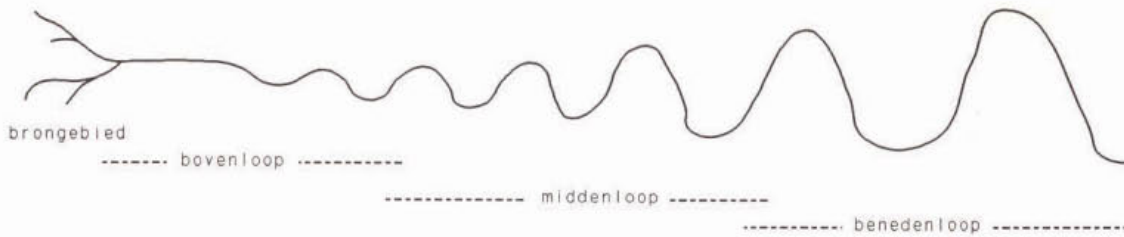
#### Historische archiefgegevens en de kansrijkheid van het Dinkelsysteem

Om de aquatische ontwikkelingsmogelijkheden voor de Dinkel, haar zijbeken en de afgesloten meanders te beschrijven zijn boeken, archieven, tijdschriften, rapporten, overige literatuur en topografische kaarten over de vroegere en de huidige toestand en processen van het Dinkelsysteem, in Nederland en het aangrenzend deel van het stroomgebied in Duitsland, verzameld (Verdonschot et al. 1993). Voor wat betreft de archieven is expliciet vermeld dat met name het Natuurmuseum Enschede en het archief van het IBN-DLO veel informatie bevatten. Het betreft gegevens over planten, dieren en hun milieu. Deze gegevens zijn aangevuld met oude gegevens van vergelijkbare laaglandbeeksystemen in Nederland. Het historisch materiaal is gebruikt, naast gegevens van de huidige toestand en de toekomstig te verwachten menselijke activiteiten, voor het beschrijven van te verwachten toekomstige toestanden en hun onderlinge verbanden. Deze toekomstige toestanden geven richting aan de gewenste ecologische ontwikkelingen in het aquatische deel van het Dinkel-gebied. Door de gewenste ontwikkelingsrichtingen en de huidige menselijke activiteiten met elkaar in verband te brengen is een indruk gegeven van de kansen van de verschillende (deel-)stroomgebieden in het Dinkelsysteem.

#### Meandering van de Aa of Goorloop; toen en in de toekomst

Het doel van dit in uitvoering zijnde project (Waterschap de Dommel) is ruimte geven aan passieve meandering, opheffen van stuwen, herstellen van inundatie en bestrijden van verdroging. Historische gegevens zijn onder meer gebruikt om antwoord te krijgen op de vraag of de beek oorspronkelijk een meanderend patroon bezat, oorspronkelijk extreem zuur was, alsook welke samenhang er in het verleden bestond tussen de beekafvoer en het beekpeil enerzijds en de grondwaterstand anderzijds. Voor deze analyse is historisch kaartmateriaal gebruikt zoals de Historische Atlas, kadastrale kaarten uit 1825, bestekken van verbeteringswerken uit circa 1930 en diverse streekkaarten uit de 17<sup>e</sup> en 18<sup>e</sup> eeuw. Tevens zijn gegevens gebruikt over de watersamenstelling en soorten waterplanten en -dieren van met name na 1960. Gebleken is dat op basis van de oude kaarten een duidelijk brongebied kon worden aangegeven. Uit kaarten bleek eveneens dat de meanderdichtheid in de bovenloop lager was dan in de midden- en benedenloop (circa 40 % tegen respectievelijk 80 % en 100 %; figuur 2.7). Geen inzicht kon worden verkregen in de oorspronkelijke zuurgraad van de beek. In het project is gekozen om niet actief te hermeanderen, doch slechts de aanwezige kades en beschoeiingen te verwijderen en met een lichte vergraving en plaatsing van boomstobben aan te zetten tot meandering. Een beekverlenging van circa 5 % wordt verwacht. Maatregelen voor verdrogingsbestrijding worden gezocht in de vermindering van de greppelontwatering en extensivering van het onderhoud.





*Figuur 2.7 Schematische weergave van het verloop van de meanderdichtheid in een laaglandbeek (Paarlberg 1990).*

#### Project Keersop-Gagelvelden

Het doel van dit project (Waterschap de Dommel) is hermeandering en bestrijding van verdroging. Historische gegevens zijn gebruikt om inzicht te krijgen in de dimensionering en het afvoerpatroon van de beek in de tijd van voor de normalisatie in 1890. De oude staat van de beek is uitgangspunt voor de herstelmaatregelen. De belangrijkste historische gegevens zijn ontleend aan het oorspronkelijk bestek met kaarten uit 1890, de Historische Atlas en diverse streekkaarten uit de 17<sup>e</sup> en 18<sup>e</sup> eeuw. Tevens is sediment-onderzoek uitgevoerd, waaruit vrij exact de oude beekbodem(-hoogte) kon worden herleid. Uit enkele beschikbare vroegere afvoergegevens is afgeleid dat de piekafvoer sinds 1900 met een factor twee is toegenomen. In het project is het oude beektracé met dezelfde bodemdiepte als in 1890, hersteld. Huidige piekafvoeren worden via nevengeulen afgeleid van de hoofdstroom.

#### *2.3.3 Evaluatie interviews*

Zeven deskundigen op het gebied van de historische ecologie in relatie tot beekherstel zijn geïnterviewd. Voor de verslagen van de verschillende interviews wordt verwezen naar Paarlberg et al. (1994). Deze paragraaf bevat een beknopte samenvatting, naar thema, van deze interviews.

#### Ervaring met historische informatie

Alle geïnterviewden hadden ervaring met het gebruik van historisch ecologische informatie opgedaan bij concrete beekherstelprojecten. Tevens was ervaring opgedaan met de raakvlakken hydrologie en morfologie.

#### Doel met betrekking tot historische informatie

Het doel van het verzamelen van historische gegevens was steeds het verkrijgen van aanvullende kennis voor visie-vorming en het formuleren van referentietoestanden en streefbeelden.

#### Opzet van het historisch onderzoek

Alle geïnterviewden hadden het historisch onderzoek opgezet en uitgevoerd als onderdeel van een grotere studie. Het is niet zo dat historisch onderzoek een zelfstandig karakter heeft. Iedereen benadrukte het belang van een structurele opzet van historisch onderzoek.

#### Invloed van historische informatie op het project

De invloed van historische informatie op de uitvoering van het betreffende project was groot. Dit geldt met name voor de reconstructie van het beekstelsel en de hydrologie alsmede voor de keuze van het tracé. Historisch ecologische gegevens zijn vooral van belang bij de keuze van doelsoorten en het opstellen van streefbeelden.



### Kan een project zonder historisch onderzoek?

De antwoorden volgden de tendens van; ja het kan, maar .... Bij voldoende kennis van sturende processen is historisch onderzoek niet altijd noodzakelijk. Echter historische informatie ondersteunt de gedachtenvorming over de richting waarin herstel op kan treden. Ook wordt onderscheid gemaakt in natuurbouwprojecten (geen historische gegevens nodig) en natuurherstelprojecten (wel historische gegevens nodig).

Het belang van het gebruik van historische gegevens wordt in de interviews bevestigd. Historische data worden (nog) te weinig gebruikt en er is nog veel informatie die niet (gemakkelijk) toegankelijk is. Het is echter geen absolute noodzaak historische gegevens te verzamelen om tot een goed project te komen.

### *2.3.4 Historische informatie en beekherstel in het buitenland*

#### Denemarken

In Denemarken zijn reeds vele tientallen beekherstelprojecten over een totale beeklengte van meer dan 600 km uitgevoerd. Daarbij is in veel gevallen gebruik gemaakt van historische informatie, met name ten behoeve van kennis over de morfologie van de beek (historisch kaartmateriaal) en informatie over de oorspronkelijk voorkomende vispopulaties. Dat laatste is van belang voor visserij en hengelsport. Naast ecologische motieven spelen daar ook economische een belangrijke rol bij beekherstel (Iversen et al. 1993). In veel projecten zijn vroegere tracés daadwerkelijk gebruikt als nieuwe beeklopen. Er lijkt genoeg ruimte te zijn voor het uitvoeren van herstelprojecten. Dit als gevolg van een verbod op de toepassing van drainagesystemen langs wateren. Hierdoor zijn de laagstgelegen beekdalgronden nat, hetgeen die gronden onrendabel maakt voor agrarisch gebruik.

#### Duitsland

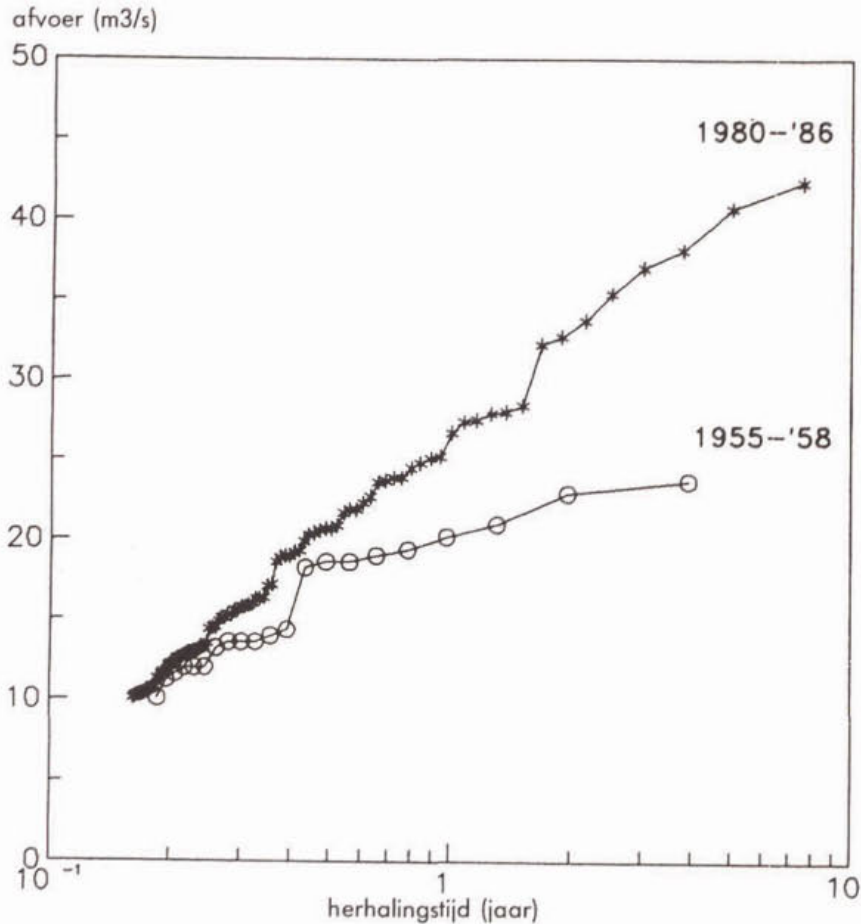
In Duitsland dragen beekherstelprojecten vooral het karakter van natuurbouw. De ontwikkeling van natuur- en landschapswaarden is hierbij veelal het doel (Landesamt für Wasser und Abfall 1989). Het gebruik van historisch kaartmateriaal is weinig aan de orde, omdat herstel meer te maken heeft met de technische inrichting van de actuele beekloop, dan met een referentiebeeld of streefbeeld mede op basis van historisch ecologische gegevens. Van twee onderzoeken is nagegaan in hoeverre gebruik is gemaakt van historische data. In de richtlijnen voor een natuurlijke ontwikkeling van stromende wateren (Landesamt für Wasser und Abfall 1989) worden geen historische gegevens gebruikt. Pflug et al. (1980) gebruiken wel historische gegevens voor de inrichting van de Ems. De landschapontwikkeling wordt beschreven vanaf 1800, waterafvoergegevens vanaf de jaren 40 (anekdotisch), klimaatsgegevens vanaf 1930 en gegevens over herpetofauna, insecten, broedvogels en vissen uit 1972. Daarnaast is de actuele toestand van de fauna beschreven. De inrichtingsvarianten zijn veelal gebaseerd op huidige natuurwaarden, landschapsecologische ruimtelijke eenheden en gebruikseisen. Er zijn 4 varianten waarvan twee een historische achtergrond hebben. Één daarvan gaat uit van de verlegging van de Ems in de historische loop van 1820, en een tweede van het waterhuishoudkundige ontwerp uit 1972.

## **2.4 Historische ecologie in het 5-S-model**

### *2.4.1 Historische informatie en systeemvoorwaarden*

Het bestuderen van oude en nieuwe kaarten zoals geologische, geomorfologische, bodem-, fysiografische, grondwatertrappen-, isohypsen- en waterstaatskaarten verschaft inzicht in de mate van dynamiek in het watersysteem. Wijzigingen in mean-

derpatronen kunnen duidelijk maken in hoeverre processen als sedimentatie en erosie een rol spelen. Gebleken is dat tal van meanderende beken in Nederland van nature hun loop gedurende decennia niet of nauwelijks hebben verlegd. Ook historische gegevens omtrent de afvoeren dragen bij aan het inzicht (figuur 2.8).



Figuur 2.8 Herhalingsstijden van piekafvoeren van de Geul in de perioden 1955-1958 en 1980-1986 te Meerssen (Leenaers et al. 1990).

#### 2.4.2 Historische informatie en stroming

Kaarten kunnen bijdragen aan inzicht in de waterhuishouding van beken en vormen een belangrijk onderdeel van een hydrologische systeemanalyse. Kennis van de historische ontwikkelingen geeft inzichten in de potenties. Zij verschaft onder meer inzicht in de situatie van kwel en infiltratie in het stroomgebied. Bij een dergelijke analyse speelt ecohydrologische kennis een belangrijke rol.

#### 2.4.3 Historische informatie en structuren

Uit historische informatie blijkt dat de meeste waterlopenstelsels in Nederland al eeuwenlang door de mens zijn beïnvloed. Daarbij is het afwateringsstelsel veelal verlengd en verruimd voor de vergroting van de af- en ontwatering van stroomgebieden (aansluiting van drainerende stelsels) of voor de benutting van kwelwater of voor de opwekking van waterkracht.



#### 2.4.4 Historische informatie en stoffen

Waterkwaliteitsgegevens zijn, hoewel beperkt en onvolledig, beschikbaar vanaf het einde van de 18<sup>e</sup> eeuw, na de opkomst van de analytische chemie. Systematisch waterkwaliteitsonderzoek wordt pas sinds de zestiger jaren uitgevoerd. Informatiebronnen zijn onder andere oude hinderwetvergunningen, verslagen van Rijkscommissies en publikaties van (semi-)wetenschappelijk onderzoek.

#### 2.4.5 Historische informatie en soorten

Historische gegevens over flora en fauna, in combinatie met kennis van de autecologie, dragen bij aan het inzicht over karakteristieke milieu-omstandigheden in het verleden en veranderingen daarvan naar het heden. De gegevens weerspiegelen de toenmalige processen en patronen. Hieruit wordt informatie verkregen voor het opstellen van streef- en referentiebeelden, en over het verloop van processen. Dit geeft inzicht in de wijze waarop aan beekherstel gestalte kan worden gegeven.

#### 2.4.6 Toepassing van historische informatie in de praktijk

Er bestaat geen standaard werkwijze voor de toepassing van historische data in beekherstelprojecten, behalve wellicht als herstel van de historische situatie een gericht doel is. Historische gegevens geven in veel gevallen belangrijke basisinformatie die in het project kan worden benut.

Het is aan te bevelen historische gegevens te gebruiken bij de visie-vorming rond beekherstel en voor het opstellen van ecologische referenties en streefbeelden. Hierbij moeten deskundigen worden ingeschakeld voor het verzamelen en evalueren van het materiaal. De eerste stap bij beekherstelprojecten moet een hydrologische systeem-analyse zijn op basis van bestaande informatie. Een onderdeel hiervan is het vergelijken van de huidige toestand met een vroegere situatie. Het is belangrijk ook het historisch onderzoek zo gericht mogelijk uit te voeren, ondermeer door van te voren de meest kansrijke informatiebronnen te selecteren.

Belangrijke onderdelen bij het opstellen van een beekherstelplan (vooronderzoek) zijn:

##### Analyse van historisch beeldmateriaal

De interpretatie van historische kaarten of atlassen met historisch kaartmateriaal vanaf het begin van de 19<sup>e</sup> eeuw (bijvoorbeeld Tranchot-kaart, Grote Historische Atlas en Historische Atlas per provincie), kaarten uit archieven (voor kaarten van vóór 1750 wordt verwezen naar Donkersloot-De Vrij (1981) en historisch (lucht-)foto-materiaal en/of satellietbeelden. Deze analyse resulteert in een zo nauwkeurig mogelijke omschrijving van een historische toestand of een bepaalde historische ontwikkeling van landgebruik, vegetatiestructuren, morfodynamiek van de beek (meanderpatronen, sinuositeit), oude meanders, inundatiepatronen en gebruik van het watersysteem (watermolens, wasplaatsen, landbouwkundig gebruik, aanwezigheid van stortplaatsen, ontgrondingen, en dergelijke).

##### Analyse van literatuur en dergelijke

Een literatuurstudie aan de hand van doorverwijzingen in recente publikaties, verspreidingsatlassen, registers, zoeksystemen en oude jaargangen van relevante tijdschriften. Dit onderzoek levert informatie op over de actuele en vroegere kwaliteit van oppervlaktewater, grondwater, waterbodembodem, oevergronden, verontreinigingsbronnen en verspreiding van planten en dieren. Bij dit onderdeel kan een antwoord worden gezocht op specifieke vragen over bijvoorbeeld specifieke soorten of specifieke milieucondities zoals de "oorspronkelijke" watersamenstelling, door gericht en diepgaand onderzoek.





Reusel; een middenloop met oude brug

*(foto P. Verdonschot)*

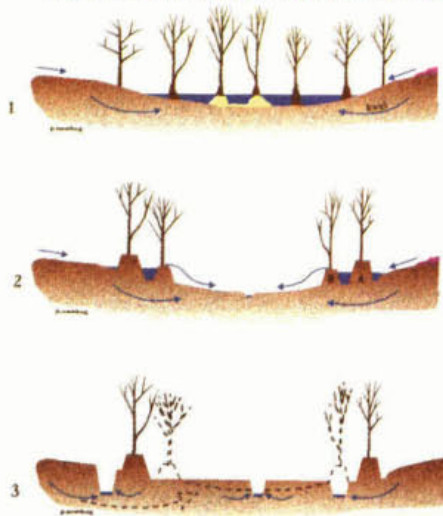


Rivierkreeft; bijna uit Nederland verdwenen

*(foto P. Verdonschot)*



### RECONSTRUCTIE VAN EEN BEEKDALONTGINNING



1. Natuurlijk beekdal met broekbos in het dal en heide op de flank.

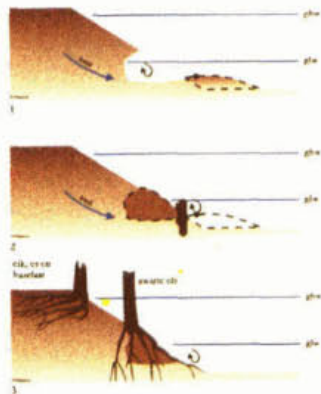
2. Het vloeisysteem waarbij de beek over meerdere lopen is gesplitst. De beek is opgeleid tussen de kade A en B. Kade A scheidt het van de heide afstromende, zure water van het kalkrijkere beekwater. Kade B wordt benut voor periodieke bevoeiing. De oude beekloop dient nog alleen voor de afvoer van vloeewater. De kaden zijn beplant om water- en winderosie tegen te gaan.



3. Het in onbruik raken van de vloeisystemen, verregaande cultivering en landbouwkundige drooglegging. De nieuwe waterlopen volgen meestal niet meer de vorm van het dal.



### NATUURLIJKE OEVERVERSTEVIGING

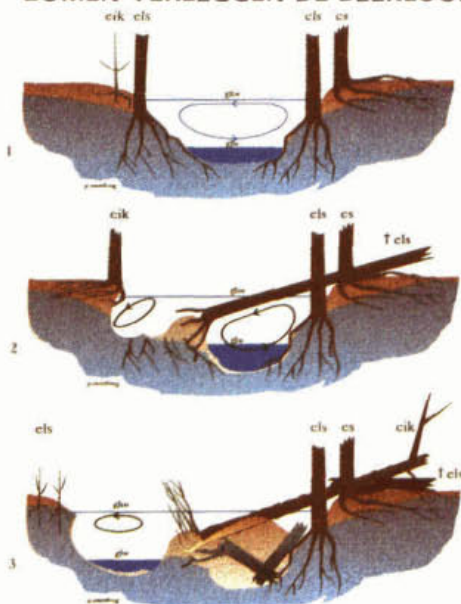


1. In een genormaliseerd profiel tredt vaak onderin het talud erosie op.

2. Traditioneel werd het talud daarom beschoeid met bijvoorbeeld hardhout.

3. Duurzame, natuurlijke vastlegging door beworteling met els aangeplant boven de gemiddelde laagwaterlijn. Eik, es en hazelaar leggen de hogere delen van het talud vast.

### BOMEN VERLEGGEN DE BEEKLOOP



1. De verticale beworteling tot onder de beekbodem van de els legt de oever langdurig vast. Deze toestand kan meer dan 100 jaar standhouden.

2. Als een els sterft (wordt gekapt) ontstaat een holle oever. De beek onderspoelt de niet doorwortelde zone onder de andere houtsoorten. Na verloop van tijd vallen deze ook om waardoor de loop zich verder verlegt.

3. Op de vrij gekomen oever krijgt de els opnieuw kans zich te vestigen.

### Analyse van archieven

Het raadplegen van het Biogeografisch Informatie Centrum (BIC), het archief van de terreinbeheerder, de initiatiefnemer van het betreffende beekproject, of het Staatsbosbeheer, van heemkunde kringen, (cultuur-)historische werkgroepen en/of streekarchieven en onderzoek aan archieven, onder andere bij natuurhistorische musea, aan collecties en/of herbaria, kan veel informatie opleveren. Met deze gegevens ontstaat inzicht in de in het verleden voorkomende levensgemeenschappen, wat mede in relatie moet worden gebracht met de ontwikkeling van de hydrologie en de morfologie van het beekstelsel.

### Paleo-onderzoek

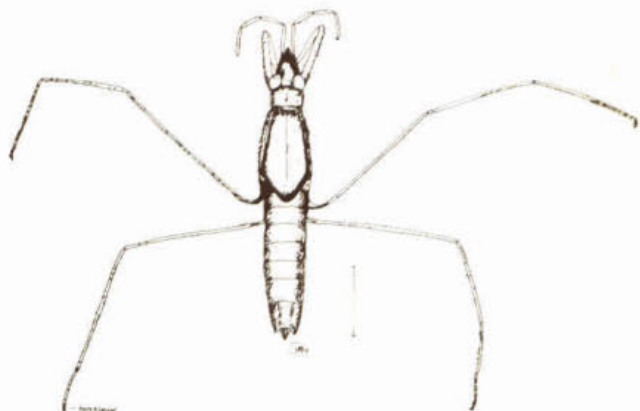
Paleolimnologisch of archeologisch onderzoek kan informatie leveren over het vroegere voorkomen van planten en dieren en, daarvan afgeleid, de toen geldende abiotische omstandigheden (bijvoorbeeld Riezebos & Slotboom 1970). Deze informatie kan onder meer worden gebruikt bij het opstellen van referentie- en streefbeelden.



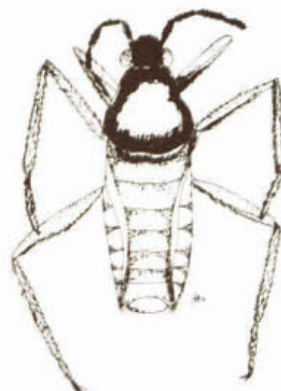
Vlottende waterranonkel; karakteristiek voor stromend water



## Enkele karakteristieke beekdieren



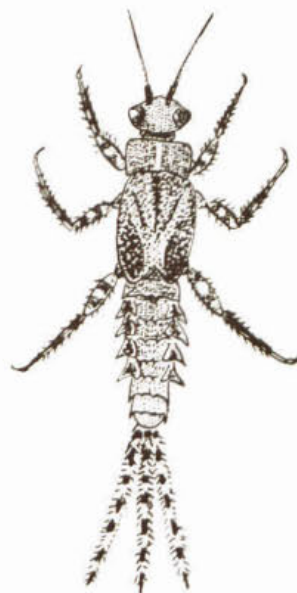
Beekschaaftenrijder



Beekloper



Beekkever



Haft of eendagsvlieg



Beekprik

### 3. BEEKHERSTELMAATREGELLEN

#### 3.1 Inleiding

Ecologisch beekherstel wordt uitgevoerd met als doel het verbeteren van het ecologisch functioneren van het beekstelsysteem. De ene maatregel heeft echter een veel grotere invloed op het ecologisch functioneren van het systeem dan de andere. In dit hoofdstuk worden een aantal groepen van maatregelen, gerangschikt volgens het 5-S-model, besproken. Maatregelen hebben vaak effect op meerdere onderdelen van het systeem. *Per factorcomplex wordt aangegeven op welke onderdelen de maatregelgroep direct effect heeft en welke andere aspecten van het systeem mede beïnvloed worden.*

Maatregelen ten behoeve van systeemvoorwaarden (paragraaf 1.2) liggen merendeels buiten de competentie van water- en terreinbeherende instanties. Toch is het wenselijk dat beheerders het belang van beïnvloeding van bovengenoemde factoren voor de ontwikkeling van beeksystemen (en andere natuurwaarden) naar andere beleidsinstanties onderstrepen. Deze betreffen beïnvloedingen zoals klimaatsveranderingen, broeikas-effect en zure depositie.

Aan alle maatregelen zitten voor- en nadelen, maar de effecten van sommige maatregelen kunnen worden gecompenseerd door de effecten van andere maatregelen. Sommige effecten treden bij meerdere maatregelen op maar versterken elkaar niet, bijvoorbeeld omdat ze op een verschillend niveau aangrijpen. Het is dan ook sterk aan te bevelen maatregelen te combineren. Meestal levert dit niet alleen meer op, maar kunnen ook de nadelen beter worden opgevangen.

Het uitwisselen van praktijkervaringen kan sterk bijdragen aan het optimaliseren van beekherstel. De in hoofdstuk 5 besproken beekherstelenquête van de Werkgroep Ecologisch Waterbeheer geeft een overzicht van de bij verschillende projecten genomen maatregelen. Zodoende kunnen verschillende instanties onderling contact opnemen om nadere informatie en praktische ervaringen uit te wisselen.

#### 3.2 Maatregelen ten behoeve van stroming

##### 3.2.1 Inleiding

In het verleden gold en nog steeds geldt bij het ontwerp en inrichting van beken het devies om wateroverlast zoveel mogelijk te voorkomen. Dit heeft geresulteerd in een te hoge dynamiek in het afvoerpatroon en in verdroging. In veel gevallen is nu de meest belangrijke beekherstelmaatregel het optimaliseren van de waterhuishouding voor de beek- en beekdallevensgemeenschap door het afvlakken van het huidige afvoerpatroon en het voorkomen van verdroging in het stroomgebied. Meestal houdt dit in het vasthouden van water in het stroomgebied en het vertragen van de afvoer uit het gebied.

Kernpunt van veel herstelplannen is dan ook het vinden van een grondwaterhuishouding en afvoerpatroon, waarbij enerzijds wateroverlast in bepaalde gebieden (stedelijk gebied, intensief gebruikt landbouwgebied) zoveel mogelijk wordt voorkomen. Anderzijds moet recht worden gedaan aan de waterbehoefte van gebieden waarin zich natuurwaarden van vochtige en natte milieus bevinden of zouden kunnen ontwikkelen en aan het creëren van een meer constant afvoerpatroon in de stromende aquatische milieus.



Tot de doelstellingen ten behoeve van stroming worden, onderverdeeld naar de drie belangrijkste processen betreffende grondwater, oppervlaktewater hydrologie en oppervlaktewater hydraulica (paragraaf 1.3), de volgende maatregelgroepen gerekend:

#### Doelstelling

Vergroten grondwaterberging/  
benutten kwelwater

Verbeteren oppervlaktewater hydrologie

Verbeteren oppervlaktewater hydraulica

#### Maatregelgroep

- Verwijderen drainage
- Bevorderen infiltratie
- Wijzigen wateronttrekking
- Ontwikkelen bos
- Aanleggen hydrologische buffer
- Gebruiken gezuiverd effluent
- Ontwikkelen inundatiezone
- Vergroten retentie
- \* Herstellen oorspronkelijk stroomgebied
- Verwijderen stuw
- Aanleggen nevengeul

In tabel 3.1 is de relatie tussen de maatregelgroepen gericht op het factorcomplex stroming gekoppeld aan de procesaspecten van de factorcomplexen stroming, structuren en stoffen. Uit de tabel is af te lezen dat maatregelen vaak op meer aspecten effect hebben.

Tabel 3.1. Relatie maatregelgroepen gericht op het factorcomplex stroming en de procesaspecten van de complexen stroming, structuren en stoffen.

procesaspect maatregelgroep	STROMING			STRUCTUREN			STOFFEN			
	grond- water	opp. hydrol.	opp. hydraul.	tracé	bedding	substr. mozaïek	O <sub>2</sub> / org. mat.	voed. stof	macro- ionen	micro- veront.
verwijderen drainage	+	+			+	+			+	
bevorderen infiltratie	+	+			+	+			+	
wijzigen wateronttrekking	+	+			+	+			+	
ontwikkelen bos	+	+				+			+	
aanleggen hydrol. buffer	+	+	+		+	+		+		
hergebruiken gez. effluent	+	+	+				+	+		+
ontwikkelen inundatiezone		+	+	+	+	+	+	+		
vergroten retentie		+	+				+	+		
herstel oorspr. stroomgeb.		+			+	+	+	+	+	+
verwijderen stuw			+	+	+	+	+			
aanleggen nevengeul			+	+	+	+				

legenda: + = positief effect op het beekstelsysteem

### 3.2.2 Verwijderen drainage

#### Principe

Door het verminderen van de drainagegraad of het verwijderen van drainage- of ontwateringssystemen zoals drains, sloten en greppels, wordt de drainagebasis verhoogd en de versnelde afvoer tegengegaan, infiltratie bevordert, grondwatervoorraad vergroot en grondwaterstand verhoogd. Vergelijkbaar maar minder ingrijpend is het verondiepen van drainerende watergangen (vermindering van de drooglegging). In bepaalde gevallen, met name in landbouwgebieden, leidt verhoging van de drainagebasis tot enerzijds vergroting van de grondwatervoorraad en legt anderzijds geen beperking op aan de landbouw.



### Voor- en nadelen

Het belangrijkste voordeel is het afvlakken van het afvoerpatroon van de beek. Neerslag wordt meer vertraagd aan de beek doorgegeven. Uiteraard stijgt het grondwater periodiek in gronden waar drainagesystemen uit zijn verwijderd. De verdroging in het stroomgebied wordt teruggedrongen.

### Toepassing

De mogelijkheden tot het verwijderen van drainagesystemen zijn afhankelijk van de aanwezigheid van gronden met bepaalde grondwaterstandseisen. Bij het actief dempen wordt het beoogde effect op korte termijn gerealiseerd. De meeste sloten en greppels zullen echter, wanneer het normale onderhoud wordt gestaakt, na verloop van enkele jaren verlanden. Bijkomend voordeel hiervan is dat de bodem in verlande sloten afwijkt in structuur en aanleiding geeft tot de ontwikkeling van een afwijkende flora. Verlanden kan worden bevorderd door stuwen of schotten te plaatsen. Als intermediaire oplossing kan voor verondiepen van sloten en greppels worden besloten of tot peilverhoging.

In watergangen die voor het aanwezige grondgebruik nodig zijn, kan het onderhoud worden aangepast. Het gedeeltelijk schonen en/of baggeren van de beek kan een vertraging van het watertransport opleveren. Hierbij dient afstemming tussen grondgebruik en waterbeheer plaats te vinden, bijvoorbeeld in de vorm van een andere gewasteelt of door het sluiten van beheersovereenkomsten.

### *3.2.3 Bevorderen infiltratie*

#### Principe

In de bebouwde omgeving wordt een groot deel (circa 50%) van de neerslag via rioolstelsels direct afgevoerd (overstorten) naar de beek. Deze versnelde waterafvoer leidt tot een vergroting van de wisselingen in het afvoerpatroon en een vermindering van de berging. Deze versnelde en sterk wisselende afvoer kan deels worden voorkomen door het neerslagwater te infiltreren in de bodem.

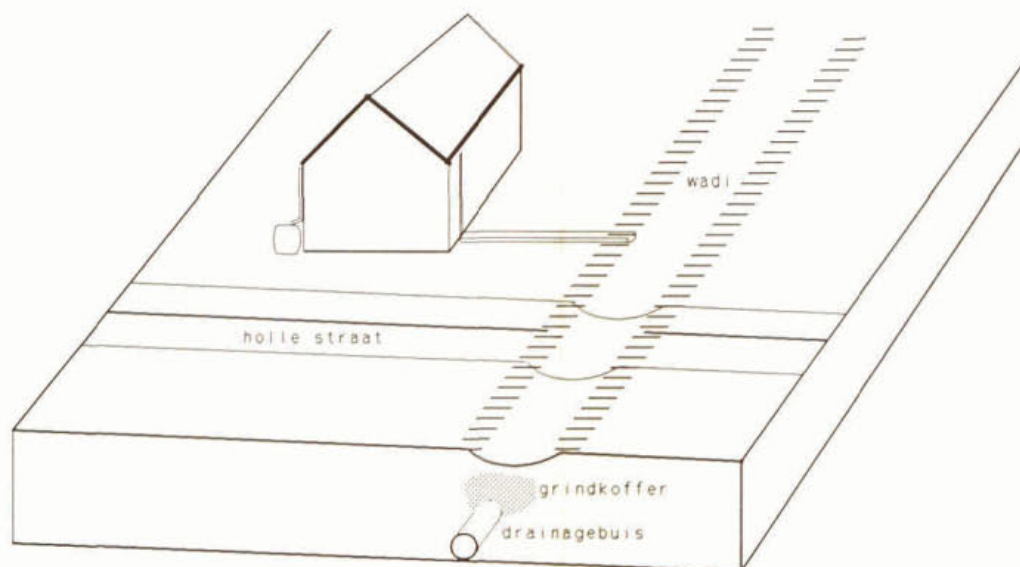
#### Voor- en nadelen

Met de infiltratie wordt de bergingscapaciteit van de bodem in bebouwd gebied beter benut en neemt de wisseling in afvoer in de beek af. Belangrijk ander voordeel is dat de overstortfrequentie van rioolstelsels afneemt. Veelal is het grondwaterpeil onder bebouwd gebied voldoende laag om een stijging probleemloos toe te laten. Soms kan een verhoging van de gemiddelde grondwaterstand op lagere plaatsen leiden tot nattere kruipruimten in de winterperiode. Ook moet rekening worden gehouden met mogelijke vervuiling door het infiltrerende water. Daar waar vroeger kwelwater een rol speelde geeft infiltratie met regenwater schade aan de oorspronkelijke vegetatie.

#### Toepassing

Een (verbeterd) gescheiden rioolstelsel biedt goede mogelijkheden om neerslagwater op te vangen in (stads-)vijvers waar het kan infiltreren. Een dergelijke vijver fungeert eigenlijk als een retentiebekken. Het gebruik van regentonnen, regenreservoirs en het direct infiltreren van dakafvoeren biedt eveneens een belangrijke bijdrage. Om de infiltratiesnelheid te vergroten kunnen speciale infiltratievoorzieningen worden toegepast zoals de aanleg van infiltratiebekkens (eventueel met een grindbodem) en wadi's (droge ondergrondse grindbeddingen) waarin water van een aantal gebouwen, een deel van een wijk en/of verhard oppervlak wordt verzameld en geïnfiltreerd (figuur 3.1). De laatste worden vaak in combinatie met infiltratievijvers toegepast. Op sommige plaatsen kan het toepassen van meer open vormen van bestrating (b.v. grastegels) worden overwogen. Uiteindelijk vormt het uitgangspunt in de toekomst de bebouwing aan het grondwater aan te passen en niet omgekeerd. Voorbeelden van projecten met stedelijke infiltratie zijn te vinden in Swalmen, Breda, Eindhoven (in onderzoek), Venray, Enschede en Amersfoort.





Figuur 3.1 Principe van een wadi.

### 3.2.4 Wijzigen wateronttrekking

#### Principe

Grondwaterwinning en beregening veroorzaken een verlaging van de gemiddelde grond- respectievelijk oppervlaktewaterstand. Dit kan leiden tot het droogvallen van beken en tot verdroging in het beekdal. De effecten van (drink-)waterwinningen zijn vaak regionaal, die van beregening veelal lokaal.

#### Voor- en nadelen

Verminderen, verplaatsen of opheffen van een grondwaterwinning kan de gemiddelde grondwaterstand doen stijgen en leiden tot vergroting van de kwelstromen. Dit komt de afvoer van de beek en de grondwaterstand in het beekdal ten goede. Verplaatsen van winningen dient altijd plaats te vinden van verdrogingsgevoelige gebieden naar locaties waar de effecten geringer zijn (bijvoorbeeld uiterwaarden van grote rivieren). Er kan ook overgegaan worden op oppervlaktewaterwinning of oeverwaterwinning. Bij verticale verplaatsing, verplaatsing naar diepere watervoerende lagen, moeten de effecten vooraf worden onderzocht.

#### Toepassingen

Daar waar waterwinning leidt tot effecten op de beek en het beekdal moeten maatregelen worden overwogen (Awater 1993). Winningen kunnen worden verplaatst of verminderd. Bij industriële winning kan koelwater eventueel opnieuw worden geïnfilteerd. Door water te zuiveren en te hergebruiken kan de grondwateronttrekking sterk worden gereduceerd. Soms is het mogelijk over te gaan van grondwaterwinning op aangevoerd oppervlaktewater of oeverwaterwinning. Een periodiek verbod op beregening, zoals dat in een aantal provincies al gebruikelijk is kan het verlies door verdamping van water beperken. Als beregening uit oppervlaktewater om kwantiteitsredenen wordt beperkt of geheel wordt verboden moet dit ook gelden voor grondwateronttrekkingen uit het freatisch en/of 1<sup>e</sup> watervoerend pakket. Beregening is ook onnodig indien de grondwaterstand sterk wordt verhoogd (tot 30-40 cm onder maaiveld) hetgeen niet overall mogelijk is.

### 3.2.5 Ontwikkelen bos

#### Principe

Een vergroting van het bosoppervlak in een stroomgebied geeft weliswaar vaak een vermindering te zien van de nuttige neerslag door een verhoogde verdamping, echter tegelijkertijd houdt de bosbodem water vast hetgeen een vertraging geeft van de oppervlakkige en ondiepe afstroming naar de beek. Bos vertraagt de infiltratie en vlakt daarmee het afvoerpatroon van de beek af.

De verdamping vormt een belangrijke factor in de waterbalans. Niet alle vegetatietypen hebben een gelijke verdamping (Jansen 1986). Er zijn aanwijzingen dat bepaalde naaldboomsoorten meer verdampen dan loofboomsoorten. Hoog opgaande vegetaties verdampen doorgaans meer dan lage grazige vegetaties. Een en ander is echter afhankelijk van de boomsoortensamenstelling, de bosstructuur (het al dan niet aanwezig zijn van korte en struikvegetaties) en de vochtvoorziening (hangwater - grondwaterprofielen) (mond. med. W. Zeeman). Dit betekent dat de nuttige neerslag en daarmee het afvoerpatroon van de beek, wordt beïnvloed door de vegetatie in het stroomgebied.

#### Voor- en nadelen

Bij omvorming naar loofbos moet met een termijn van tientallen jaren worden gerekend voordat de effecten volledig tot uiting komen. Het afvlakkende effect van de afvoer is gunstig voor de beeklevensgemeenschap. Het bos heeft ook een positieve invloed op de levensgemeenschappen in het beekdal en op de beekdalflank.

#### Toepassing

In beeksystemen met sterk wisselende afvoeren kan door bosontwikkeling het afvoerpatroon worden afgevlakt. De omvorming van korte vegetaties naar opgaand bos verloopt spontaan wanneer het maaibeheer wordt beëindigd. Voordeel is dat de levensgemeenschap zich geleidelijk aan de veranderende situatie kan aanpassen. Bosaanplant versnelt dit proces. Het is van groot belang dat de boomkeuze aansluit bij de natuurlijke begroeiing (zie ook paragraaf 3.3.8). Het (seizoensafhankelijke) verschil in verdamping tussen naald- en loofbos kan mede aanleiding zijn voor omzetting naar loofbos.

### 3.2.6 Aanleggen hydrologische buffer

#### Principe

Menselijke invloeden op de grondwaterstand en op het stromen van grondwater hebben vaak negatieve gevolgen. Er wordt water aan het beekstelsysteem onttrokken of water wordt op een andere dan op natuurlijke wijze, meestal versneld, afgevoerd. Een hydrologische bufferzone is een brede zone langs beide zijden van de beek waar onttrekkingen zijn verboden, drainerende watergangen zijn verwijderd en waar de oppervlakkige afstroming is verminderd. Een bufferzone, mits van voldoende omvang, kan de basisafvoer van de beek verhogen, pieken aftoppen en/of voorkomen dat een traject voor bepaalde tijd droog komt te vallen.

Landbouwkundig grondgebruik kan ook aanleiding geven tot een versnelde oppervlakkige of ondiepe afstroming. In een hydrologische bufferzone kunnen voorzieningen worden aangelegd om de oppervlakkige afstroming te beperken (zie paragraaf 3.4.10). Bufferzones bieden ook de mogelijkheid tot inundatie (zie paragraaf 3.2.8).

In deze bufferzone dienen hoge grondwaterstanden te worden geaccepteerd en mag de beek eventueel inunderen. de ontwikkeling van een natuurlijk beekstelsysteem wordt daarmee bevorderd.



#### Voor- en nadelen

Het verminderen van de grondwateronttrekking en verhogen van de berging voorkomt een te lage afvoer of droogvalling. Het beperken van sterke oppervlakkige afvoer voorkomt te hoge pieken. Beide stabiliseren het afvoerpatroon. Bufferzones hebben ook een positief effect op de beekdallevensgemeenschap (paragraaf 3.3.8) en beschermen tegen de directe toevoer van meststoffen (paragraaf 3.4.10).

#### Toepassingen

Hydrologische bufferzones worden toegepast bij half-natuurlijke en multifunctionele beken. Plaatselijke grondwateronttrekking kan worden voorkomen door de hydrologische bufferzone met een verordening of het niet verlenen van vergunning, te vrijwaren van onttrekking. Vooral in intensief gebruikte landbouwkundige gebieden is een hydrologische bufferzone in de vorm van een aangewezen beschermingszone een effectieve bescherming. In Noord-Brabant wordt getracht hydrologische bufferzones aan te wijzen in het kader van de zogenaamde natte groene hoofdstructuur.

### *3.2.7 Hergebruiken gezuiverd effluent*

#### Principe

In plaats van het effluent van RWZI's door de beek te laten afvoeren kan het worden gezuiverd en geïnfiltreerd. Dit is een hydrologische maatregel om de gemiddelde grondwaterstand te verhogen. Echter het kan de afvoer van de voorheen effluent ontvangende beek verlagen met een verhoogde kans op droogvalling.

#### Voor- en nadelen

Vertraging van de afvoer en betere benutting van de ondergrondse berging zijn naast een verbetering van de waterkwaliteit van de beek, belangrijke voordelen. Het gebruik van effluent stelt hoge eisen aan de kwaliteit en extra zuivering is noodzakelijk maar kostbaar. Er dient rekening te worden gehouden met een vergrote, nadelige kans op droogvallen van de beek (sommige beken zijn in hun afvoer sterk afhankelijk van het effluent) en vervuiling van het freatische grondwatersysteem door voedingsstoffen en microverontreinigingen. Dit laatste is vanuit de gebiedskwaliteit ongewenst en moet worden voorkomen.

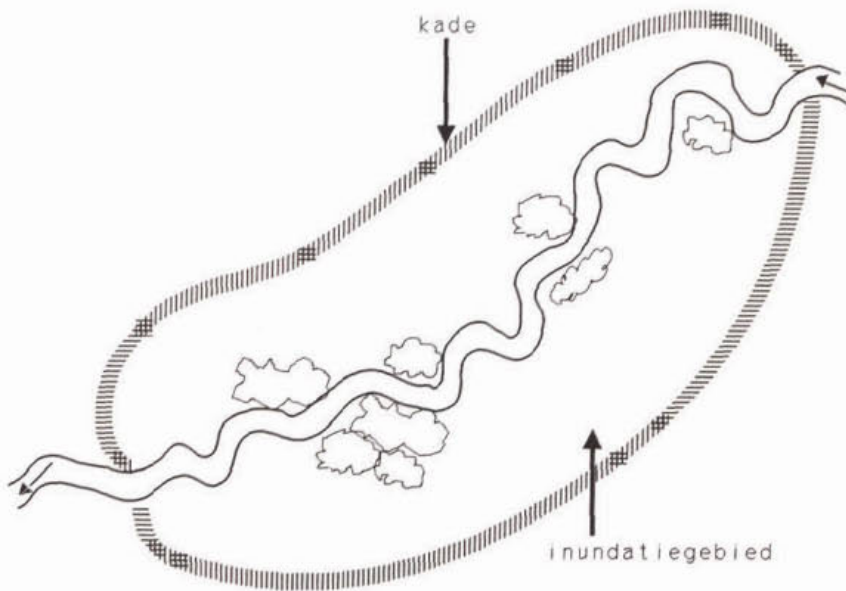
#### Toepassing

Gezien de samenstelling van veel effluent kan benedenstrooms van een voormalig lozingspunt belangrijke waterkwaliteitsverbetering worden verwacht. Met de infiltratie van gezuiverd effluent wordt een deel van de voeding van de beek weggenomen waardoor de beek minder water gaat voeren en mogelijk periodiek droog valt. Daartegenover staat dat het geïnfiltreerde water vertraagd naar de beek wordt geleid. Er ontstaat een betere benutting van de freatische bergingscapaciteit en een afgevlakt afvoerpatroon. Een voorbeeld is het project effluentboeren nabij Ruurlo (Vissers 1994).

### *3.2.8 Ontwikkelen inundatiezone*

#### Principe

Door de beek de gelegenheid te geven om bij hoge afvoeren op bepaalde plaatsen buiten haar oevers te treden kan water langer in het stroomgebied worden vastgehouden. Zo ontstaat een inundatiezone waar een deel van het beekwater tijdelijk wordt geborgen en de kans krijgt opnieuw te infiltreren (met name in poelen en plassen) of vertraagd terugvloeit naar de beek. Inundatie vertraagt het watertransport en verlaagt de piekafvoer. Inundatiezones geven de beek ruimte om een meer gevarieerd profiel te ontwikkelen.



Figuur 3.2 Inundatiezone met kade.

#### Voor- en nadelen

In inundatiezones kan, afhankelijk van het aanwezige reliëf, een grote variatie ontstaan in de vochttoestand van de bodem (van vochtig tot aquatisch (stilstaande poelen)). Dit kan rijke en gevarieerde ecosystemen opleveren. Inundatiezones vormen tijdens hoge afvoeren een belangrijke luwtezone waarin veel organismen kunnen verblijven en ze vlakken benedenstroomse afvoerpieken af. In het inundatiegebied kan meanderontwikkeling de ruimte krijgen. De vorming van inundatiezones kan, indien kades of oeverwallen aanwezig zijn, eenvoudig zijn door het doorsteken hiervan. Bij in het verleden opgeleide beken (beken die niet in de laagstgelegen delen van het stroomdal liggen) bestaat het risico dat de beekloop zich na het doorsteken van de omkading op den duur in z'n geheel verplaatst naar de laagste delen in het landschap. Vaak zal het nodig zijn de inundatiezone zelf te voorzien van een kade of oeverwal (figuur 3.2).

#### Toepassing

In de midden- en benedenloopse beektrajecten kunnen inundatiezones, gelegen in natuurlijke laagten, karakteristiek en oorspronkelijk zijn. Mogelijk moeten hiertoe wallen of dijkjes plaatselijk worden verwijderd. In sommige gevallen is te overwegen laagten te creëren (paragraaf 3.4.7). Bij het realiseren van inundatiezones speelt naast diversiteitsverhoging de dimensionering een belangrijke rol. Bij beekherstelplannen dient allereerst onderzocht te worden of het een natuurlijke dan wel opgeleide beek betreft. Bij een opgeleide beek kunnen de vroegere vloeivelden nu als inundatiezone gaan dienen. Bij het project Tungelroyse beek is voorgesteld een inundatiegebied te creëren door ondiepe ontgronding (maaiveldsverlaging) langs de beek (zie paragraaf 3.4.7).

### 3.2.9 Vergroten retentie

#### Principe

Retentiesystemen in de vorm van retentiebekkens, bergingsbassins, poelen (figuur 3.3) en oude meanders, hebben tot doel gedurende natte perioden een gedeelte van de neerslag tijdelijk op te slaan (meestal vrij bovenstrooms), om in tijden van droogte te kunnen bijdragen aan het in stand houden van stroming in de beek en/of het voorko-



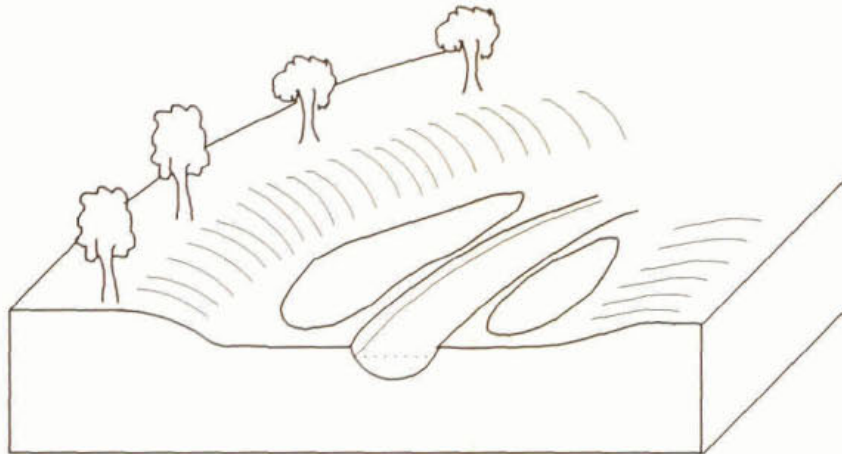
men van droogvallen door nalevering. De naleveringsmogelijkheden zijn, gezien de inhoud van veel bekkens, beperkt. Retentiesystemen worden ook gebruikt om het zandtransport te verminderen. Het water kan eventueel worden gebruikt voor herinfiltratie.

#### Voor- en nadelen

Voordeel van het vergroten van retentie is dat het afvoerpatroon wordt afgevlakt. Nadeel is dat de maatregel slechts het symptoom bestrijdt en dat de chemische en biologische samenstelling van het stilstaande water geleidelijk verandert en beekvreemd is. Verder moet erop gelet worden dat het vaak (te) grote ruimtebeslag past in het kleinschalige karakter van bovenstroomse gebieden.

#### Toepassing

De aanleg van retentiesystemen is een effectgerichte ingreep die alleen wordt toegepast wanneer andere maatregelen om het afvoerverloop van de beek af te vlakken om praktische redenen onvoldoende kunnen worden uitgevoerd. Het gebruik van bestaande poelen en oude meanders is altijd mogelijk (paragraaf 3.3.15 en 3.3.16). Echter om de afvoer sterk af te vlakken zijn zeer grote oppervlakken nodig. Het realiseren van retentie als compensatie van effecten van verharde oppervlakken is haalbaar.



Figuur 3.3 Poelen als retentiesysteem.

#### 3.2.10 Herstellen oorspronkelijk stroomgebied

##### Principe

Van veel beken is een deel van het oorspronkelijke stroomgebied afgekoppeld wat tot een vermindering van de afvoer heeft geleid. Voor de afvoer van het water uit het afgekoppelde deel van het stroomgebied zijn meestal extra watergangen gegraven. Deze extra gegraven watergangen draineren de omgeving en voeren een deel van het oorspronkelijke beekwater af. Hierdoor is de afvoer van de oorspronkelijke beek sterk gereduceerd. Door de afgekoppelde deelstroomgebieden opnieuw aan te sluiten en de extra watergangen te dempen wordt de oorspronkelijke toestand hersteld. Hierdoor zal bij gelijkblijvende beddingdimensies een toename van stroomsnelheden en een verhoging van waterstanden optreden. Tevens neemt de variatie in stroomsnelheden en morfologie toe, met als gevolg een grotere variatie in beddingdimensies en samenstelling van het beddingmateriaal. Afhankelijk van de grootte en de eigenschappen van het opnieuw aangesloten deelstroomgebied (hydrologie, bodemopbouw, begroeiing, verhard oppervlak, drainagedichtheid, etc.) veranderen ook de basisafvoer en de piekafvoeren. De waterstanden in het traject benedenstrooms stijgen doorgaans na aansluiting. Doordat de drainage bovenstrooms vermindert kunnen eveneens de grondwaterstanden daardaar stijgen.



### Voor- en nadelen

De voor- en nadelen zijn geheel afhankelijk van de grootte en de eigenschappen van het opnieuw aangesloten deelstroomgebied. Er moet rekening gehouden worden met de hydrologie en de waterkwaliteit van het bovenstroomse gedeelte.

### Toepassing

Het opnieuw aansluiten van een deelstroomgebied is overal toepasbaar. Indien het deelstroomgebied een groot verhard oppervlak, weinig begroeiing en/of een grote drainagedichtheid heeft, zal de basisafvoer afnemen en zullen de piekafvoeren toenemen. In zulke gevallen is aankoppelen veelal minder gewenst. Onderzoek naar de effecten is zeker nodig. Mogelijk bieden inundatiezones (paragraaf 3.2.8), retentiesystemen (paragraaf 3.2.9) en infiltratie (paragraaf 3.2.2, 3.2.3 en 3.2.6) perspectieven om het bovenstroomse gedeelte te verbeteren en aansluiting dan toch mogelijk te maken.

### *3.2.11 Verwijderen stuw*

#### Principe

Stuwen zijn aangelegd voor het peilbeheer dat wil zeggen om water vast te kunnen houden dan wel af te kunnen laten. Stuwen kunnen echter belangrijke barrières voor de migratie van aquatische organismen vormen. Ook veranderen stuwen het stromende water in een aaneenschakeling van min of meer stilstaande panden, vooral in perioden met lage afvoeren. Het verwijderen van de stuw resulteert in een toename van de stroomsnelheid en een daling van het bovenstroomse peil. Deze toename in verdroging vraagt bijna altijd om aanvullende maatregelen om dit te voorkomen.

#### Voor- en nadelen

Opheffen van stuwen biedt stroming, morfologische processen en de stromingsminnende levensgemeenschap weer kansen. Voorkomen moet echter worden dat de beek leeg loopt. Het verval van de waterstand over een stuw wordt na het verwijderen van de stuw over een grotere beeklengte verdeeld om een gelijkmatiger stromingspatroon te krijgen. Bij het verwijderen van stuwen moet rekening worden gehouden met de veranderde grondwaterstanden en afvoeren in het stroomgebied.

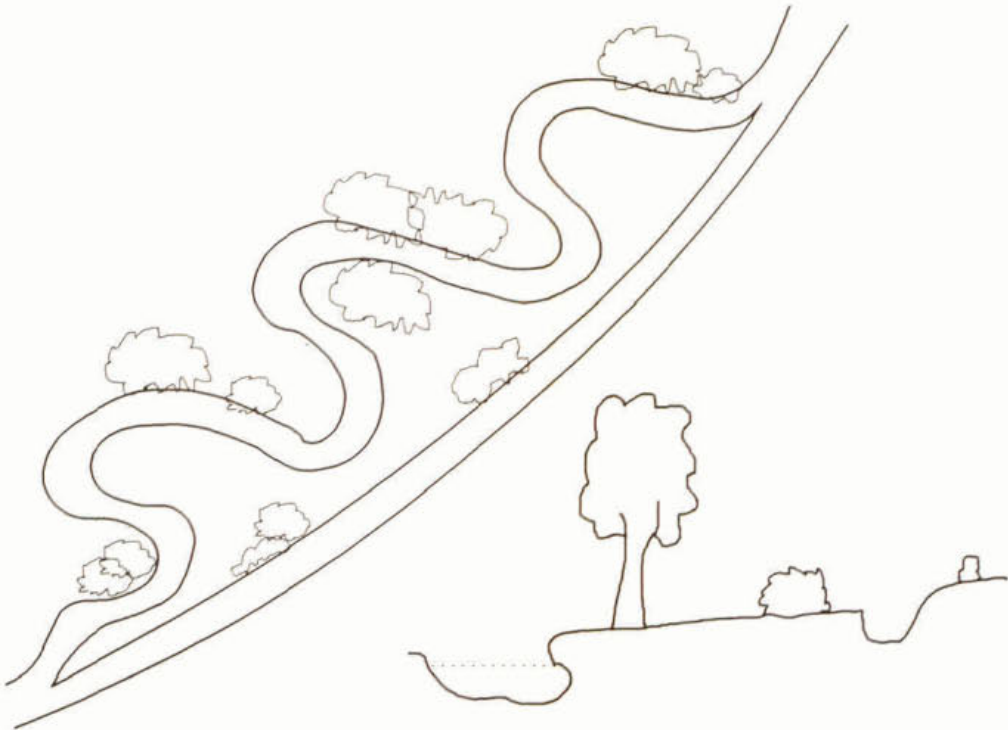
#### Toepassing

In natuurlijke en half-natuurlijke beken horen stuwen niet thuis. Met het verwijderen van een stuw wordt het te overbruggen verval en daarmee de stroming over de beek verdeeld en gelijkmatiger. Het verdwijnen van een stuw maakt ook het zandtransport regelmatig en geeft de beek de gelegenheid een toestand van morfologische stabiliteit te bereiken. Voor het verwijderen van stuwen is een geïntegreerde aanpak nodig. Wanneer men zomaar de stuwen in een beek zou verwijderen, zou de beek in veel gevallen het water versneld afvoeren en droogvallen. Voordat stuwen kunnen worden verwijderd zal er door waterconserverende maatregelen voor moeten worden gezorgd dat het stroomgebied zelfstandig in staat is genoeg water vast te houden. Mogelijkheden zijn het graven van meanders (paragraaf 3.3.3) en uitvoeren van waterconserveringsmaatregelen in het stroomgebied (paragraaf 3.2.2 tot en met 3.2.6). Voor de verwijdering van stuwen is het belangrijk in te zien dat één en ander niet 'op stel en sprong' te realiseren is en dat voor het geheel ontstuwen van een beek een ontwikkelingsperiode van minstens 5 tot 10 jaar nodig is.

Door bij het opheffen van een stuw meanders te graven neemt de beeklengte toe en het bodemverhang af, wat resulteert in een afname van de stroomsnelheid en in een geringe stijging van het bovenstroomse peil. Door het stimuleren of graven van meanders kunnen de nadelige effecten van het verwijderen van de stuw deels worden ondervangen. Als de beddingdimensies kleiner worden gemaakt dan de dimensies van de genormaliseerde loop zal de gemiddelde stroomsnelheid toenemen.



In multifunctionele beken kunnen stuwen voorzien worden van of vervangen worden door een vispassage of een zogenaamde cascadestuw (zie paragraaf 3.3.14). Bij voorkeur wordt een dergelijke passage of stuw ontworpen in kleine trapjes over een aanzienlijk deel van de beek. Het ontwerpen van cascadestuwen over korte afstand leidt slechts tot een geringe verbetering. Passages en cascades moeten worden beschouwd als kunstwerken en de aanleg gaat dikwijls gepaard met de introductie van gebiedsvreemde materialen (bijvoorbeeld grote stenen (zie ook paragraaf 3.3.11)). Stuwen kunnen plaatselijk ook worden vervangen door, eveneens onnatuurlijke, bodemvallen en lage drempels (steen- of grindkorven). Ook bij een gewijzigd onderhoud zoals het (gedeeltelijk) laten staan van de watervegetatie, kan een opstuwing van > 20 cm en daarmee waterconservering worden verkregen.



Figuur 3.4 Droge nevengeul.

### 3.2.12 Aanleggen nevengeul

#### Principe

Onder het aanleggen van een nevengeul, ook wel by-pass, overlaat of omleiding genoemd, wordt verstaan het graven van een waterloop parallel aan de beek, waarbij de beekloop gehandhaafd blijft. Het water van de beek wordt over twee takken verdeeld (in sommige gevallen met behulp van een verdeelwerk), waardoor hoge afvoeren in de beek kunnen worden gereduceerd. Er zijn natte nevengeulen, die het gehele jaar water voeren, en droge nevengeulen, die alleen bij hoge afvoeren water voeren. Deze laatste fungeren als droge overlaten en verdienen de voorkeur.

#### Voor- en nadelen

Het aanleggen van een nevengeul betreft slechts een effectgerichte maatregel. Het is een oplossing om een natuurlijk beektraject van piekafvoeren te vrijwaren en/of ongewenste inundaties te voorkomen. Tijdens piekafvoeren zullen debiet, stroomsnelheid en sedimenttransport in de eigenlijke beek lager zijn, waardoor drift van organis-

men minder wordt. Doordat de piekafvoeren afnemen zal in de beek de morfologische stabiliteit toenemen. Een voordeel is dat het onderhoud van de beek kan worden beperkt door de extra afvoercapaciteit die de nevengeul verschaft. Verder kan een droge nevengeul een nieuw habitat verschaffen voor organismen van vochtige en natte milieus (Figuur 3.4). Een natte nevengeul kan een geschikt habitat vormen voor amfibieën. Zowel een droge als een natte nevengeul hebben enig onderhoud nodig voor het behoud van hun hydrologische functie.

#### Toepassing

Nevengeulen kunnen overal worden toegepast. Het verdient de voorkeur om nevengeulen zo ondiep mogelijk aan te leggen om extra drainage te voorkomen. Een nevengeul wordt vaak in een buitenbocht aangelegd, juist voorbij het midden van de bocht, en met een geringe hoek tussen de as van de nevengeul en de as van de beek. Een nevengeul kan recht of kronkelend (meanderend) worden aangelegd. Als met een toevoerdrempel of verdeelwerk van stenen (hoogte afhankelijk van gewenste afvoer door nevengeul) wordt gewerkt dient dit met natuurvriendelijke materialen te geschieden (zie paragraaf 3.3.11).

Bij de Keersop zijn de oude meanders weer opgegraven en is de genormaliseerde loop (voorzien van drempels en gedeeltelijk gedempt) gehandhaafd als nevengeul. Bij de herstelplannen voor de Tongelreep (Achelse Kluis) en de Groote Molenbeek zijn nevengeulen gepland om inundaties met zeer voedselrijk water tegen te gaan. Overigens is veel ervaring met het aanleggen van een nevengeul opgedaan in Engeland (Lewis & Williams 1984, Ward et al. 1994). Nevengeulen worden ook gebruikt voor het opheffen van migratieknelpunten (bijvoorbeeld project Tungelroyse beek; zie ook paragraaf 3.3.14).

### **3.3 Maatregelen ten behoeve van structuren**

#### *3.3.1 Inleiding*

Maatregelen ten behoeve van de verbetering van de morfologische structuur van beeksystemen hebben primair tot doel het vergroten van de variatie van aanwezige structuren. Vergroting van de variatie aan structuur vergroot de biotische diversiteit. Dit heeft betrekking zowel op structuren in als buiten de beek. De maatregelen in deze paragraaf concentreren zich primair op structuren in de beek zelf. Morfologische maatregelen hebben naast effecten op de structuur dikwijls ook effecten op het stromen van water in het systeem. Sommige worden in de praktijk wel toegepast om zijdelings effecten van waterkwantitatieve aard te bewerkstelligen (bijvoorbeeld het graven van meanders werkt door vergroting van weglengte en stromingsweerstand, vertragend op de afvoer). Detritusdammen in de beek vergroten de retentie.

Tot de doelstellingen ten behoeve van structuren worden, onderverdeeld naar de drie belangrijkste processen betreffende tracé, bedding en substraatmozaïeken (paragraaf 1.4), de volgende maatregelgroepen gerekend:

In tabel 3.2 is de relatie tussen de maatregelgroepen gericht op het factorcomplex structuren gekoppeld aan de procesaspecten van de factorcomplexen stroming, structuren en stoffen. Uit de tabel is af te lezen dat maatregelen vaak op meerdere aspecten effect hebben.



**Doelstelling**

Verbeteren tracé

Optimaliseren beddingstructuren

Vergroten variatie substraatmozaïeken

**Maatregelgroep**

- Passief ontwikkelen meanders/niets doen
- Graven meanders
- Actief ontwikkelen (micro-)meanders
- Verkleinen profiel
- Verwijderen profielverdediging
- Aanleggen asymmetrisch profiel
- Aanplanten houtwal/kade
- Aanleggen twee-fasen bedding (accolade profiel)
- Aanleggen stroomkuilen en zandbanken
- Aanbrengen stoorobjecten
- \* Aanleggen soortgerichte structuur
- Inrichten steile en overhangende oever
- Aanleggen vispassage
- Aanleggen poelen
- Aankoppelen oude meander

Tabel 3.2. Relatie maatregelgroepen gericht op het factorcomplex structuren en de procesaspecten van de complexen stroming, structuren en stoffen.

procesaspect maatregelgroep	STROMING			STRUCTUREN			STOFFEN			
	grond- water	opp. hydrol.	opp. hydraul.	tracé	bedding	substr. mozaïek	O <sub>2</sub> / org. mat.	voed. stof	macro- ionen	micro- veront.
passief ontw. meanders	+	+	+	+	+	+	+			
graven meanders			+	+	+	+	+			
actief ontw. mic.meanders			+		+	+	+			
verkleinen profiel	+	+	+		+	+	+			
verwijderen profielverded.			+	+	+	+				
aanleggen asymm. profiel			+		+	+	+			
aanplanten houtwal			+	+	+	+	+	+		
aanleggen twee-fasen bed.			+		+	+				
aanleggen stroomk. zandb.			+		+	+	+			
aanbrengen stoorobjecten			+		+	+	+			
aanleggen soortger. struct.					+	+				
inrichten steile overh. oever			+		+	+				
aanleggen vispassage			+			+				
aanleggen poelen	+					+				
aankoppelen oude meander						+				

legenda: + = positief effect op het beekstelsel

### 3.3.2 Passief ontwikkelen meanders/niets doen

#### Principe

Bij passieve meanderontwikkeling of niets doen wordt de beek de vrijheid gegeven om zich autonoom morfologisch te ontwikkelen. Door niets te doen ontstaan variaties in stroomsnelheden als gevolg van bijvoorbeeld obstakels (takken), ontwikkeling van waterplanten en oevervegetatie, en lokale variaties in de beddingvorm. Hierdoor treden lokale verschillen in erosie en sedimentatie op, waarbij zandbanken en stroomkuilen ontstaan die op hun beurt weer het stromingspatroon beïnvloeden. Dit leidt tot een grotere variatie in beddingdimensies, bodemreliëf en samenstelling van het beddingmateriaal. Vaak zijn mogelijkheden aanwezig voor inundaties door de vergrote weerstand in het tracé. Als de beekbodem zich geleidelijk verhoogt leidt dit tot verhoging van de grondwaterstanden en vergroting van de grondwaterberging. Het proces van morfologische ontwikkeling verloopt sneller naarmate de stroomsnelheid en daarmee



het sedimenttransporterend vermogen groter zijn. Onder Nederlandse omstandigheden (geringe terreinhelling, geringe stroomsnelheden en betrekkelijk samenhangend beddingmateriaal) verloopt een autonome morfologische ontwikkeling langzaam. Mogelijk blijft deze ontwikkeling op korte termijn uit.

#### Voor- en nadelen

Het voordeel van niets doen zijn de geringe kosten. Er bestaat onzekerheid omtrent de ontwikkelingstermijn en het eindresultaat. Echter bij een langzame ontwikkeling heeft de levensgemeenschap tijd om zich geleidelijk aan te passen.

#### Toepassing

Deze maatregel kan worden overwogen in beken waar voldoende ruimte aanwezig is, bijvoorbeeld in natuurgebieden en beken met brede oeverstroken. Als niet de gehele beek de vrije loop kan worden gelaten, dient rekening te worden gehouden met eventuele boven- en/of benedenstroomse effecten. Vaak worden vanuit andere functies in het stroomgebied eisen aan peilen en sedimentvrachten gesteld. Een voorwaarde voor een zinvolle toepassing is dat er voldoende water aanwezig is om het proces op gang te brengen en de beek te handhaven. Het opheffen van één of meerdere stuwen en, indien aanwezig, het verwijderen van oever- en bodemverdediging geven dit proces een belangrijke impuls (zie paragraaf 3.2.11).

### 3.3.3 Graven meanders

#### Principe

Bij het graven van meanders wordt, in tegenstelling tot de passieve meanderontwikkeling, het tracé meanderend of kronkelend aangelegd. Door de aanleg van meanders zal de beeklengte toenemen en het verhang afnemen. Als de beddingdimensies worden verkleind, waardoor de stroomsnelheid gelijk blijft, treedt geen ongewenste verhoogde sedimentatie op. Bovendien blijft de morfologische dynamiek klein en worden de beddingvariatie en -samenstelling vergroot. Voor het overige wordt naar paragraaf 3.3.2 verwezen.

#### Voor- en nadelen

Het voordeel van het graven van meanders is dat op korte termijn het lengte- en dwarsprofiel verbeteren en dat het resultaat meer voorspelbaar is. De natuurlijke morfologische processen kunnen na uitvoering ongestoord plaatsvinden. Voor het stimuleren en/of graven van meanders is ruimte nodig. Indien sprake is van een stuw benedenstrooms van het meanderende deel dan kan sedimentatie optreden. Deze maatregel leidt tot meer variatie in habitats en kan zinvol zijn in beken (beektrajecten) waar ongewenste erosie optreedt.

Kort na de aanleg zal de beek kaal en erosiegevoelig zijn. Bij hoge afvoeren leidt dit tot sedimentverplaatsing en oevererosie. Dit kan worden beperkt door een gefaseerde uitvoering en/of beperkt door de aanleg van een, mogelijk tijdelijke, nevengeul of zandvang (paragraaf 3.2.12).

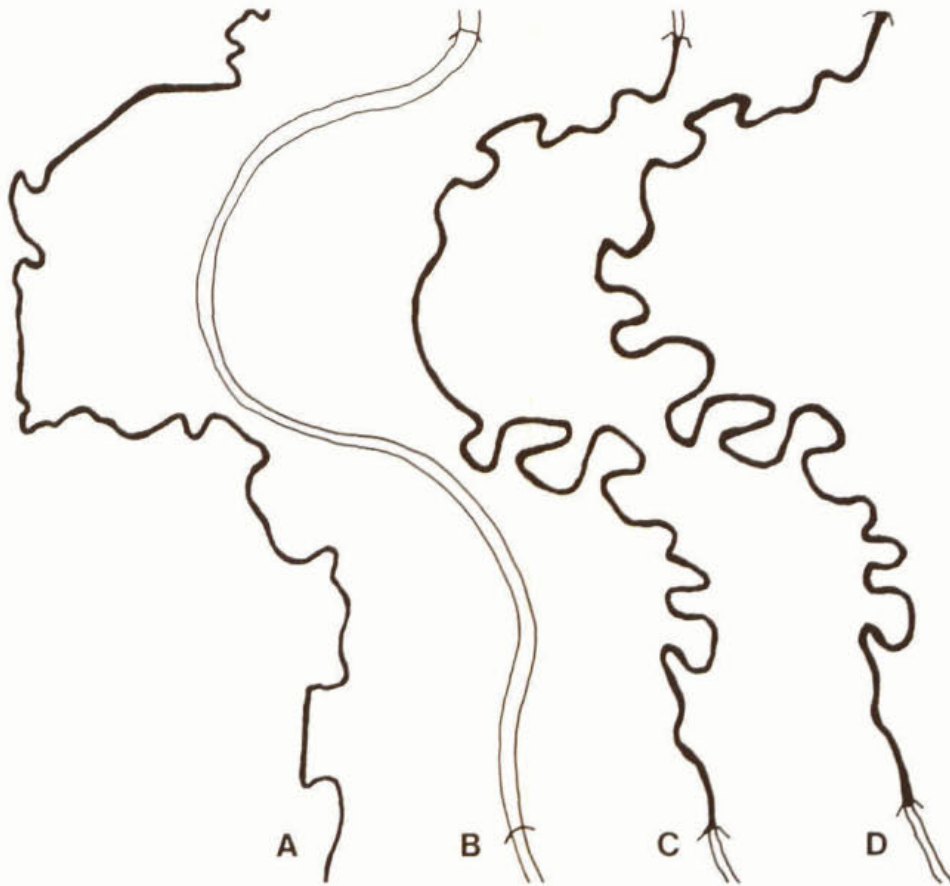
#### Toepassing

Bij het graven van meanders kan in principe elk gewenst tracé worden gekozen. Zowel vanuit waterbeheerstechnisch als ecologisch oogpunt gaat de voorkeur meestal uit naar een ontwerp waarbij de morfologische processen (stabiliteit en morfodynamiek) binnen de natuurlijke marges van het betreffende gebied liggen (stabiel relatief laagdynamisch ontwerp). De keuze van het tracé en de beddingdimensies (met name de breedte/diepte-verhouding) luisteren nauw. Het best kan gebruik worden gemaakt van de karakteristieken van een natuurlijk(er) traject in de beek, een vergelijkbare beek of historische gegevens. In de praktijk wordt vaak gekozen voor het herstel van een voormalige situatie terwijl de hydrologie meestal is gewijzigd. Dit kan tot onevenwichtige hydro-morfologische situaties leiden. Overigens dient het graven van meanders te worden



beschouwd als een eerste aanzet om de natuurlijke morfologische processen te laten plaatsvinden. Door middel van het onderhoud of het achterwege laten daarvan kan worden bijgestuurd.

Als vervanging van een stuw kunnen altijd meanders worden aangelegd. Bij beken die de neiging hebben om te gaan vlechten of een zeer grote afvoerdynamiek hebben zal deze maatregel minder succesvol kunnen zijn.



*Figuur 3.5 Ruiten A. A. Situatie 1852. B. Huidige loop. C. Nieuwe loop zonder aankoop. D. Nieuwe loop met aankoop.*

Deze maatregel is toegepast bij de Esperloop in Noord-Brabant en de Rode Beek/Ruischerbeek in Limburg. Bij de Ruiten A in Groningen (Figuur 3.5) zijn meanders gegraven in een traject dat boven- en benedenstrooms wordt gestuwd. Bij de Keersop zijn de oude meanders weer opgegraven, waarbij de genormaliseerde loop (voorzien van drempels en gedeeltelijk gedempt) gehandhaafd is als nevengeul. Een bijzonder project is de Bakelse Aa in Noord-Brabant. Hier zijn meanders gegraven in een traject dat door middel van een automatische inlaat van water wordt voorzien. In het beekherstelplan voor de Tongelreep (Achelse Kluis) zijn eveneens meanders gegraven (in combinatie met een nevengeul). Bij de Tungelroyse beek (Leubeek) worden oude meanders aangekoppeld. Dit is een variant op het graven van meanders volgens een oorspronkelijk patroon.



Vloedgraaf; gegraven meandering en aanleg poelen

*(foto P. Verdonschot)*



Espelerloop; gegraven meandering

*(foto P. Verdonschot)*





Vloedgraaf; accoladeprofiel

(foto P. Verdonschot)



Aalderstroom; plasberm

(foto R. Pot)



### 3.3.4 Actief ontwikkelen (micro-)meanders

#### Principe

Autonome morfologische processen op microschaal (binnen de beekbedding) kunnen worden gestimuleerd door selectief onderhoud van de bedding. Deze methode is gebaseerd op de invloed van organische structuren (takken, bladpakketten) en water- en oeverplanten op de stroomsnelheid. Door het laten liggen van organische structuren en/of het selectief maaien treedt variatie in de stroomsnelheid op. Waar structuren en/of vegetatie achterblijven ontstaat vertraging van de stroomsnelheid waardoor lokaal fijn materiaal sedimenteert. In geulen tussen organische structuren en gemaaide watervoerende delen van de bedding treden stroomversnellingen en lokale erosie op. Door het zodanig maaien dat het watervoerende deel van de bedding licht slingert ontstaat micromeandering. Organische structuren leiden van nature vaak tot micromeandering. Is voldoende ruimte langs de beek aanwezig dan wordt op termijn op deze wijze meandering van de gehele loop gestimuleerd (zie paragraaf 3.3.2).

Door lokale variatie in de stroomsnelheden en erosie en sedimentatie nemen de morfodynamiek toe en worden de variaties in de beddingvorm en de samenstelling van het beddingmateriaal groter. Doordat zowel erosie als sedimentatie in hetzelfde traject optreden is sprake van een zeker evenwicht en morfologische stabiliteit. Het effect op de gemiddelde stroomsnelheid en de waterpeilen in de beek is sterk afhankelijk van het verhang. Als het verhang groot is veranderen gemiddelde stroomsnelheid en waterpeilen weinig. Bij een gering verhang neemt de gemiddelde stroomsnelheid af en stijgt het bovenstroomse peil wat tot hogere grondwaterstanden leidt. Afhankelijk van de ruimte langs de beek kunnen verdergaande ontwikkelingsprocessen worden toegelaten.

#### Voor- en nadelen

Een voordeel is de vergrote variatie in stromingsprofiel en morfologie. Ook het onderhoud wordt goedkoper omdat het een kleiner oppervlak betreft of achterwege kan worden gelaten. Het resterende onderhoud vraagt wel een meer deskundige, gerichte en soms handmatige aanpak.

#### Toepassing

Selectief onderhoud ten behoeve van micromeandering is vrijwel overal verantwoord toepasbaar en goedkoop. Toepassing van deze maatregel vergt een geringe verandering in de wijze van onderhoud en geeft een grote ecologische winst in met name meer multifunctionele beken. Ruimte op termijn voor profielveranderingen of zelfs vrije meandering is beschreven in paragraaf 3.3.5 en 3.3.2.

Deze maatregel wordt op grote schaal toegepast in Denemarken. Daar betreft het vaak overgedimensioneerde ongestuwde beken met een relatief groot verhang.

### 3.3.5 Verkleinen profiel

#### Principe

Door verkleining van het doorstroomde profiel gaat de gemiddelde stroomsnelheid omhoog en worden de fluctuaties in de stroomsnelheid vergroot. Tevens worden morfologische processen weer in gang gezet. Of erosie optreedt is afhankelijk van het verhang, de korrelgrootteverdeling van het beddingmateriaal en met name van het materiaal waarmee wordt aangevuld. Bij een beek met een gering verhang kan bovenstrooms van het traject waar profielverkleining plaatsvindt de stroomsnelheid afnemen en kan opstuwung optreden. Dit leidt tot waterconservering (toename van de berging in het grondwater).

#### Voor- en nadelen

De maatregel is eenvoudig en relatief goedkoop. Profielverkleining kan geleidelijk worden uitgevoerd. Bij het verondiepen kan de kans op droogvallen van de beek



toenemen. Treedt in het begin erosie op dan betekent dit dat benedenstrooms tijdelijk meer sediment wordt aangevoerd. Tijdelijke zandvangen kunnen dit probleem oplossen. Ook door de ontwikkeling van vegetatie wordt getransporteerd materiaal vastgehouden en treedt stabilisatie op.

#### Toepassing

De effecten van profielverkleining zijn sterk afhankelijk van de mate waarin het doorstroomprofiel wordt verkleind en van het verhang. Verkleining van het doorstroomprofiel is op meerdere manieren te realiseren, door verondiepen of door versmallen van het profiel (aanvulling met grond). Profielverkleining kan vrijwel overal worden toegepast. Bij beken met een gering verhang kan het beste bovenstrooms worden begonnen.

### 3.3.6 Verwijderen profielverdediging

#### Principe

Vastgelegde profielen belemmeren een vrij verloop van morfologische processen en het vrij ontstaan en verdwijnen van microhabitats. Het verwijderen van beschoeiing en bodemverstevigende materialen geeft de beek weer vrijheid. Er kunnen zandbanken ontstaan en het kan aanleiding zijn voor spontane meanderontwikkeling.

#### Voor- en nadelen

Het belangrijkste voordeel van de verwijdering van oever- en bodemverdediging is een positieve impuls aan het verloop van natuurlijke morfologische processen. Hierdoor neemt de variatie van morfologische patronen en daarmee habitatstructuren toe wat ten goede komt aan de levensgemeenschap. Voor eventuele loopverplaatsing en/of afkalving van oevers is ruimte langs de beek nodig (zie paragraaf 3.3.2).

#### Toepassing

Verwijderen van oever- en bodemverdediging veroorzaakt op korte termijn een verstoring van het actuele morfologische evenwicht. Een tijdelijk verhoogd zandtransport is een gevolg van het zoeken van het systeem naar een nieuw morfologisch evenwicht. De mate van erosie en sedimentatie is mede afhankelijk van het verhang, de (in)stabiliteit en structuur van het materiaal waaruit ontmantelde oevers en bodems bestaan en met het sedimenttransporterend vermogen van de beek. Dit 'wilde' gedrag zal zich in de loop der tijd dan ook geleidelijk stabiliseren. Wanneer eerst wordt gezorgd voor een gelijkmatiger afvoerloop, voordat oever- en bodemverdedigingswerken worden verwijderd, is de kans op een minder gewenst neveneffect kleiner. Overmatige oeverafslag kan door toepassing van een tijdelijke vorm van oeverversteving (bijvoorbeeld wiepen) worden voorkomen en dient als overbrugging totdat de oevervegetatie (aangeplant of zich spontaan ontwikkelend) voldoende is ontwikkeld om de functie van de oeververdediging over te nemen. Om de natuurlijke oeververdediging door middel van planten een goede kans te geven verdient het geleidelijk verwijderen van de verdedigingsstructuren verre de voorkeur. Beschoeiing of stenig materiaal kan in gedeelten worden verwijderd of worden verzwakt waardoor het (voorlopig) achterblijvende deel overmatige erosie tegengaat, maar wel plaats voor oeverplanten biedt. Ook kan beschoeiingsmateriaal worden vervangen door materiaal dat gemakkelijk vergaat zoals wilgetakken of niet verduurzaamd hout. Behalve waar vastlegging voor de handhaving van kunstwerken (bruggen, wegen en dergelijke) nodig is, kan overal het verwijderen van de profielverdediging worden overwogen. Een combinatie met hydrologische maatregelen is aan te bevelen (zie paragraaf 3.2.2, 3.2.3, 3.2.8, 3.2.9). De combinatie met het graven van meanders (paragraaf 3.3.3) en het toepassen van beekbegeleidende beplanting (paragraaf 3.3.8) ligt voor de hand. Ook zandverplaatsing en zandafzetting kunnen positief bijdragen aan het ontstaan van zandbanken.



### 3.3.7 Aanleggen asymmetrisch profiel

#### Principe

Door de aanleg van asymmetrische profielen wordt de natuurlijke variatie in de bedding-dimensies hersteld en ontstaat ook meer variatie in stroomsnelheid en samenstelling van het beddingmateriaal. Wanneer de geulcapaciteit wordt gehandhaafd verandert de gemiddelde stroomsnelheid niet veel. Als de breedte/diepte-verhouding sterk toeneemt kan de stroomsnelheid langs de bodem echter wel toenemen. Hierdoor zou het sedimenttransport en daarmee de morfodynamiek plaatselijk kunnen toenemen. Afhankelijk van het (sedimenttransporterend) vermogen van de beek kunnen door de variatie in de stroomsnelheid zandbanken en stroomkuilen ontstaan (zie paragraaf 3.3.10). Dit kan op termijn resulteren in een lichte meandering (Brookes 1988).

#### Voor- en nadelen

De aanleg van asymmetrische profielen leidt tot variatie in oevers en bodem (figuur 3.6). De hierdoor ontstane gradiënten bieden ontwikkelingsmogelijkheden voor diverse organismen. In combinatie met de aanplant van bomen (paragraaf 3.3.8) kan het benodigde onderhoud worden beperkt.



Figuur 3.6 Het asymmetrisch profiel.

Als de breedte bovenin het profiel sterk is vergroot kan bij beken waarin veel sedimenttransport optreedt veel fijn materiaal (slib) worden afgezet op het sedimentatie-talud. Indien de gerealiseerde breedte/diepte-verhouding ( $b/d$ -ratio) sterk afwijkt van de  $b/d$ -ratio die in overeenstemming is met de lokale omstandigheden is de kans groot dat de beek deze gaat aanpassen en de ingreep te niet doet. In beide gevallen is profielverkleining dan sterk aan te raden (paragraaf 3.3.6). Indien de aanleg gepaard gaat met een overdimensionering dan leidt aanleg gelijktijdig tot een negatief effect op de waterconservering en wordt de ingreep afgeraden.

#### Toepassing

Het aanbrengen van asymmetrische profielen is overal toepasbaar. In beken met een grote sedimentlast of waarvan de oevers bestaan uit onsamenhangend materiaal kunnen mogelijk problemen optreden. In West-Duitsland is veel ervaring met het aanbrengen van asymmetrische profielen.

### 3.3.8 Aanplanten houtwal

#### Principe

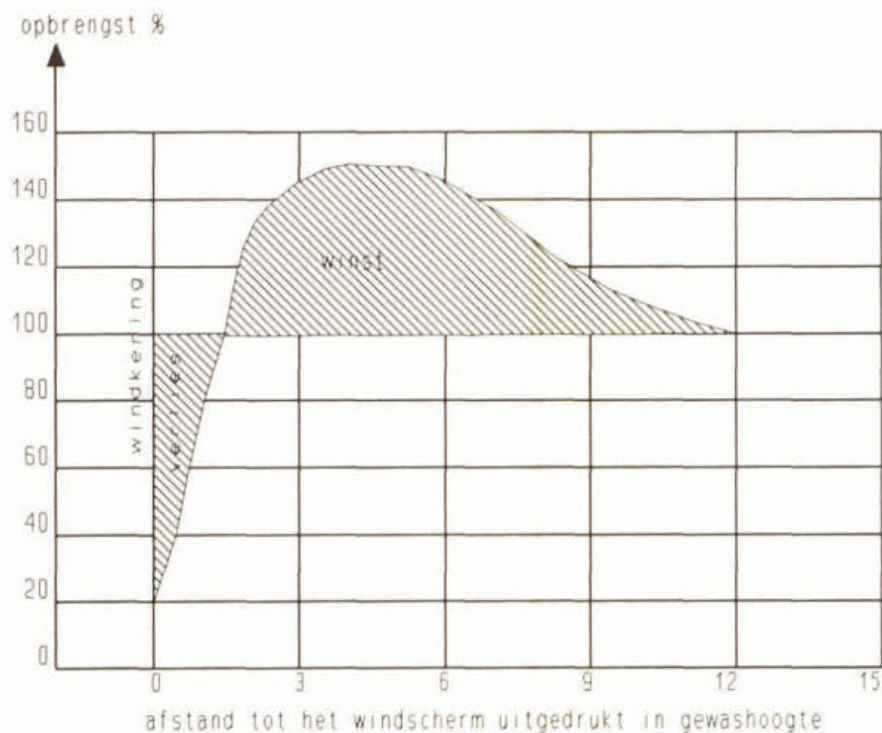
Een natuurlijke beek wordt bijna altijd begeleid door bomen. De beekbegeleidende houtige begroeiing is aangelegd of heeft zich spontaan ontwikkeld direct langs en op de beekoever. De boomkronen en beworteling zijn van directe invloed op het beekecotoop (beïnvloeding van de vorm van en van het klimaat in de beek). Houtige begroeiing stabiliseert de vorm van de beekbedding en de wortels brengen variatie aan in het stromingspatroon. Enerzijds heeft de aanwezigheid van bomen in de taluds een stabili-



serende werking op de morfologie. Anderzijds kunnen bomen als obstakels in de stroom een bron van morfologische microdynamiek zijn, die op termijn het proces van het ontstaan van kronkels bevorderen. De ontwikkelingstijd is afhankelijk van de levensduur van de bomen (60-70 jaar en langer) en de morfodynamiek van de beek. Een beekvorm wordt gedurende zeer lange tijd gestabiliseerd door boomgroei op de oever.

#### Voor- en nadelen

Voor de vaak zandige laaglandbeken in Nederland vormen bomen een belangrijk, natuurlijk, hard substraat. Bomen leggen beek en oevers op een natuurlijke wijze langdurig en duurzaam vast. Ze zijn de enige natuurlijke obstakels waardoor beken van richting kunnen veranderen en een gevarieerde stroming kan ontstaan. Zij geven schaduw en beperken daardoor de groei van macrofyten en algen zowel in het water als op de oevers en vlakken temperatuurschommelingen af. Met andere woorden zij zorgen voor een meer constant microklimaat. Het beekonderhoud wordt aanzienlijk verminderd en goedkoper. Bomen creëren belangrijke bufferzones voor water en stoffen (zie paragraaf 3.2.6 en 3.4.10). Ze voeren organisch materiaal naar de beek, een belangrijk functioneel aspect. De nadelige effecten van beschaduwing van het naast gelegen gebied wegen vaak niet op tegen het voordeel van het verminderen van windeffecten (Harmsen, Pols & Zuurdeeg 1988; figuur 3.7).



*Figuur 3.7 Opbrengstverloop van een landbouwgewas in een transect loodrecht op de beplanting (Harmsen et al. 1988).*

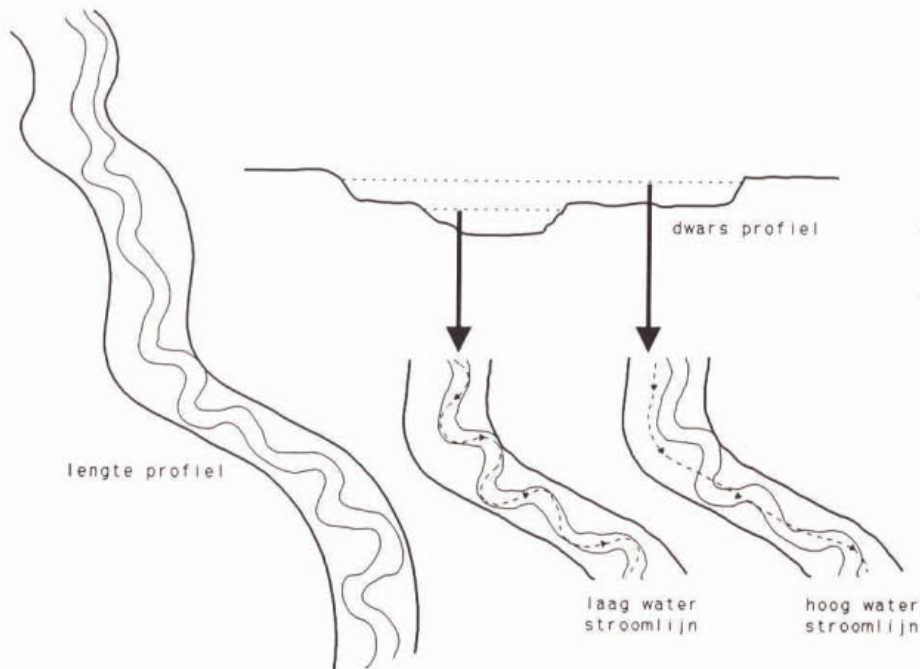
#### Toepassing

Bepanting met of het spontaan laten ontwikkelen van opgaande begroeiing is overal toepasbaar. De voorkeur gaat uit naar het spontaan laten vestigen van soorten, terwijl bijplanten altijd nog kan. Bij aanplant dienen inheemse soorten te worden gebruikt. Doet men niets en zijn er voldoende zaadbronnen dan selecteert de natuur zelf met de juiste boomsoorten op de juiste plaats. Uitgebreide informatie is gebundeld door de Werkgroep Beekbegeleidende Bepanting (1989).

### 3.3.9 Aanleggen twee-fasen bedding (accolade profiel)

#### Principe

In een twee-fasen bedding (accolade profiel) wordt bij normale afvoer het water getransporteerd in een laagwater-bedding en bij piekafvoeren in een hoogwater-bedding. Een eenvoudigere variant is de plasberm die vaak alleen ruimte geeft voor de ontwikkeling van een vochtminnende vegetatie. In de twee-fasen bedding nemen stroomsnelheid en waterdiepte bij lage afvoeren toe ten opzichte van een genormaliseerd profiel. De hoogwater-bedding is te beschouwen als een meestal dubbele plasberm of inundatiezone die water transporteert bij piekafvoeren. Als de laagwaterbedding meandert wordt gesproken van een 'thalweg' (figuur 3.8). Deze laatste vorm geeft de meest positieve ecologische effecten. Omdat het water bij lage afvoer in een kleine bedding geconcentreerd is zal de stroomsnelheid dan hoger zijn wat de beeklevensgemeenschap sterk ten goede komt. Bij hoge afvoeren vindt de afvoer plaats in een verbrede bedding, waardoor de stroomsnelheid lager is. Aangezien lage afvoeren vaker voorkomen dan hoge zal de jaargemiddelde stroomsnelheid doorgaans hoger zijn dan in een genormaliseerde waterloop. Door de verhoogde variatie in beddingdimensies treedt ook meer variatie in stroomsnelheden en samenstelling van het beddingmateriaal op.



Figuur 3.8 Twee-fasen bedding met meanderend laagwaterbed.

#### Voor- en nadelen

Doordat het water bij lage afvoeren geconcentreerd is wordt een minimale stroomsnelheid gehandhaafd en zal minder snel droogvalling optreden. De hoogwater-bedding is een geschikt drassig tot moerassig habitat. Het afvoerpatroon op zich verandert niet. Het onderhoud van de hoogwater-bedding is afhankelijk van het gewenste begroeiings-type. Korte vegetaties hebben nauwelijks invloed op de afvoer en kunnen extensief worden onderhouden. Bomen en struiken verdienen de voorkeur (paragraaf 3.3.8), behoeven geen onderhoud maar hebben effecten op de afvoer (stuwende werking). Bij beken met een grote sedimentlast (zwevend transport, slib) kan in de hoogwaterbedding of op de plasberm sedimentatie plaatsvinden. Hier zijn aanvullende maatregelen gewenst zoals bovenstroomse profielverkleining (paragraaf 3.3.5) en waterkwaliteitsverbetering (paragraaf 3.4).



Indien de laagwaterbedding niet beduidend kleiner wordt aangelegd dan volgens de norm voor een één-fase bedding, of de hoogwaterbedding wordt overgedimensioneerd, heeft deze oplossing vooral negatieve gevolgen voor de waterconservering in het stroomgebied en wordt de ingreep afgeraden.

#### Toepassing

De effecten van het aanleggen van een twee-fasen bedding zijn sterk afhankelijk van het ontwerp van met name de laagwaterbedding en de hoogte van de hoogwaterbedding. Deze maatregel kan worden toegepast in beken waar bij piekafvoeren ongewenste inundaties en/of overmatige erosie optreden. Accolade-profielen bieden vooral in multifunctionele beken mogelijkheden voor natuurontwikkeling in combinatie met behoud van drooglegging (een voorbeeld is de Loobeek). Het alternatief, het graven van meanders en het handhaven van de genormaliseerde loop als ondieper gemaakte nevengeul is echter meestal doeltreffender. Het aanleggen van een twee-fasen bedding kan ook zinvol zijn in beken waar de basisafvoer zeer gering is en de beek regelmatig droogvalt.

Deze maatregel is veel toegepast in Engeland als een alternatief voor normalisatie, bijvoorbeeld in de rivier de Roding (Brookes 1988, 1990). In Nederland is deze maatregel toegepast bij de Vloedgraaf (fase 3) in Limburg en is een meanderende laagwaterbedding in een verbrede hoogwaterbedding aangelegd. In West-Duitsland is veel ervaring met het aanbrengen van plasbermen (Bonnema, Harmsen & Jansens 1988).

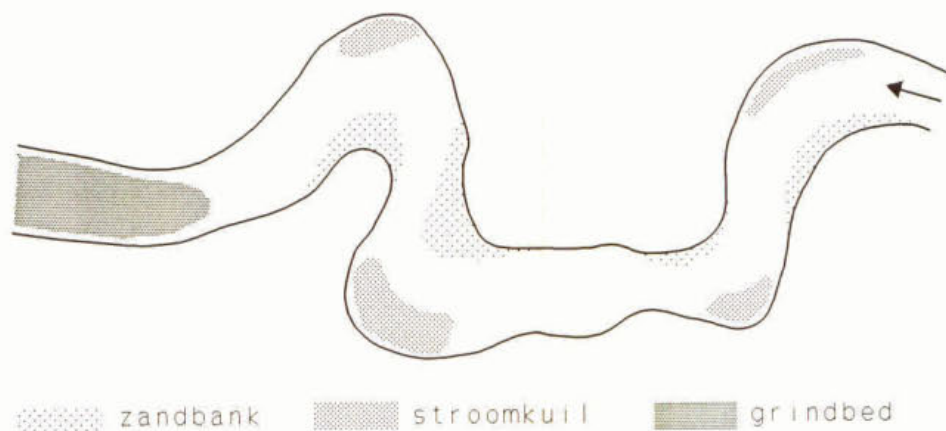
#### 3.3.10 Aanleggen stroomkuilen en zandbanken

##### Principe

Stroomkuilen en zandbanken, ontstaan door sedimentatie en erosie, leiden tot variatie in beddingvorm, bodemreliëf, samenstelling van het beddingmateriaal en stroomsnelheid. Bij hoge afvoeren treedt in de stroomkuil erosie op met als gevolg dat alleen grof materiaal achterblijft, terwijl bij lage afvoeren sedimentatie van fijner materiaal plaatsvindt.

##### Voor- en nadelen

Stroomkuilen en zandbanken leiden tot variatie in de beek wat positief uitwerkt voor met name macrofauna en vissen (Brookes 1988). De aanleg is eenvoudig en relatief goedkoop. De maatregel heeft weinig gevolgen voor de hydrologie en de waterbeheersing.



Figuur 3.9 Aangelegde stroomkuilen en zandbanken.

### Toepassing

Bij voorkeur wordt het ontstaan van stroomkuilen en zandbanken slechts geïnitieerd. In andere gevallen kan aanleg worden overwogen (figuur 3.9). Voorwaarden voor zinvolle toepassing van stroomkuilen en zandbanken zijn de aanwezigheid van grof beddingmateriaal (grof zand en grind), een geringe sedimentlast en voldoende afvoer. In Nederland is de toepassing van deze maatregel interessant voor de sterker hellende gebieden, vooral waar grof materiaal (grind in stuwwallen, plateau-randen, langs oude rivierterrassen en dergelijke) aan het oppervlak komt. De plaats waar stroomkuilen en zandbanken worden gestimuleerd of aangelegd is cruciaal. Doorgaans worden de beste resultaten verkregen door vergelijkbare min of meer natuurlijke beektrajecten te bestuderen. Verder is uit ervaring uit het buitenland gebleken dat stroomkuilen niet te groot moeten worden gemaakt. Als de beek voldoende sedimenttransporterend vermogen heeft zou op den duur in principe een min of meer slingerend tracé kunnen ontstaan.

In met name de VS, Groot-Brittannië en Denemarken is het aanleggen van stroomkuilen en zandbanken vaak toegepast met het oog op de voordelen voor de visstand. Daarbij werd deze maatregel overigens veelal uitgevoerd in combinatie met normalisatie om de nadelen daarvan te beperken. De resultaten waren vaak teleurstellend omdat het vereiste verhang, het afvoerpatroon en de tracévariatie ontbraken. Veelal verdwenen de aangelegde stroomkuilen door sedimentatie voorgoed. In Nederland zijn stroomkuilen en zandbanken aangelegd in de Letteler Leide, de Nieuwe Wetering en de Raalter Wetering.

### *3.3.11 Aanbrengen stoorobjecten*

#### Principe

Doel van het aanbrengen van objecten in de stroom (zoals driehoekskribben, stoorstenen, boomstronken) is het 'verstrooien' van het stroomsnelheidsprofiel. Naast het creëren van een meer gevarieerd stromingsprofiel en daarmee van bodem- en oeverstructuur kunnen deze stromingen ook de oeverlijn vormen en op den duur ervoor zorgen dat in een recht gegraven beekloop zich een meer kronkelig profiel ontwikkelt (paragraaf 3.3.2 en 3.3.7).

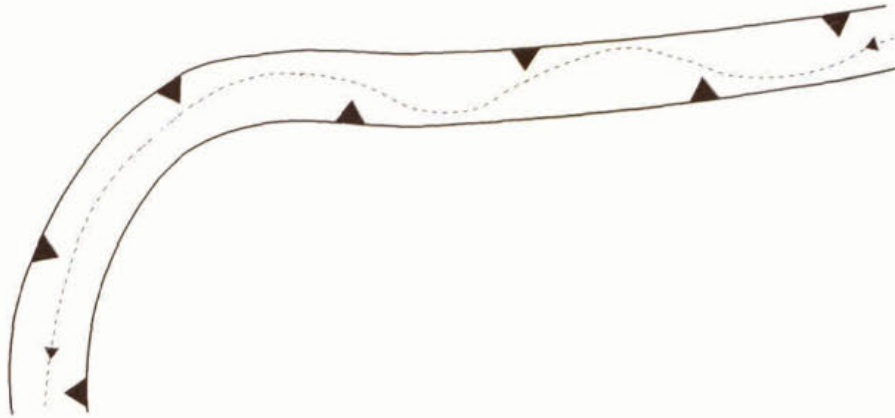
#### Voor- en nadelen

Bij voorkeur worden natuurlijke obstakels zoals omgevallen bomen, blad- en detritusdammen toegepast. Stenen en houten paaltjes zijn vaak gebiedsvreemd. Het is aan te raden obstakels die dienen om andere beekprocessen in gang te zetten (zoals meandering) nadat ze hun functie hebben vervuld, weer te verwijderen. De aanwezigheid van stenig of houtig substraat biedt levenskansen aan typische hard-substraatbewoners. Onder en achter obstakels bevindt zich een stromingsluwe zone die door vele soorten als rustplaats kan worden benut. In de beginfase zou verlies van morfologische oever- en bodemstabiliteit benedenstrooms tijdelijk meer aanzanding kunnen geven. Echter met het creëren van ruimte voor de vorming van zandbanken kan dit worden benut.

#### Toepassing

Driehoekskribben worden op onderlinge afstanden van 5-7 maal de beekbreedte, ter weerszijden van de oevers (om en om), geplaatst (Figuur 3.10). Kribben worden bij voorkeur uitgevoerd in natuurlijke (gebiedseigen) materialen zoals zand, grind en/of hout. Het gebruik van dode bomen als stoorobjecten is het beste en meest natuurlijke alternatief. Een vergelijkbaar effect hebben losse grote stenen die de stromingsrichting als het ware verstrooien. Dergelijke stenen zijn echter vaak gebiedsvreemd. Soms is verstoring van de oeverlijn voldoende om draaikolk-achtige waterbewegingen te verkrijgen, die op termijn leiden tot de ontwikkeling van kronkels in of zelfs van de loop.





Figuur 3.10 Driehoekskribben verstrooien het stromingspatroon.

Voorbeelden van het gebruik van verschillende typen stoorobjecten zijn te vinden in de Kroonbeek en Oude Graaf. Jammer genoeg zijn hier afvoer en stroomsnelheden te gering om de gewenste processen in gang te zetten. Profielverkleining (paragraaf 3.3.5) in combinatie met stoorobjecten bieden dan mogelijkheden.

### 3.3.12 Aanleggen soortgerichte structuur

#### Principe

Met het aanleggen van soortgerichte structuren worden paaiplaatsen, macrofauna- en andere habitats bedoeld. Dit houdt in het aanbrengen van materialen in de beek om de aanwezige variatie in structuren te vergroten en om zo de vestigings- en voortplantingsmogelijkheden van karakteristieke en/of gewenste soorten (bijvoorbeeld beekvissen) te verruimen. Hierbij wordt gedacht aan het plaatselijk aanbrengen van stenen en/of grind (paaiplaatsen voor vissen, hard substraat ten behoeve van stenen-bewonende macrofauna, grind ten behoeve van hygropetrische fauna). Ook het op kunstmatige wijze aanbrengen van houtig substraat (boomstammen, takkenbossen e.d.) is een mogelijk onderdeel van deze ingreep. Het toevoegen van materialen in de waterstroom heeft eveneens variatie in het stromingsprofiel tot gevolg en geeft een geringe afvoervertraging. Dit kan weer leiden tot morfologische ontwikkeling van het beekprofiel (profiel-differentiatie, meandervorming).

#### Voor- en nadelen

Soortgerichte structuren leveren een positieve bijdrage aan de instandhouding en bevordering van de betreffende soort. Vergroting van de variatie aan (habitat-)structuren is belangrijk voor de ontwikkeling van stromingsminnende levensgemeenschappen. Deze ingrepen zijn echter vaak locatie- en soort-gebonden. Ook worden vaak onnatuurlijke en gebiedsvreemde materialen gebruikt.

#### Toepassing

Het toevoegen van materialen zoals stenen en grind aan beken moet zich beperken tot die plaatsen waar deze materialen van nature in de bedding voorkomen. Het aanbrengen van grind bijvoorbeeld geschiedt als de oorspronkelijke grindbedden zijn verwijderd of weggeërodeerd. In zandige beken horen grind en stenen niet thuis. Het aanbrengen van keien en grind op een zandbodem zal vaak leiden tot verlies van het materiaal doordat het grove materiaal geleidelijk wegzakt in de ondergrond. Toepassing van hout en/of takken kan op grote schaal (ook in zandbeken) plaatsvinden. Dit kan ook aan de beekbegeleidende begroeiing worden overgelaten (paragraaf 3.3.8).

### 3.3.13 Inrichten steile en overhangende oever

#### Principe

Steile oevers komen voor in alle natuurlijke beken. De meest voor de hand liggende plaats is de buitenbocht van een meander, waar door erosie een dal-, es- of terrasrand kan ontstaan. Ook op plekken van boomwortels ontstaan steile en vaak zelfs overhangende oevers met een grote erosiebestendigheid. Boven het water vormen steile en overhangende oevers een potentiële vestigingsplaats voor planten zoals mossen en varens, en dieren zoals holenbroedende vogels (ijsvogel) en onder water wordt schuilgelegenheid geboden aan vissen en macrofauna (schaduw; 'uit het zicht' voor predatoren vanuit de lucht en dergelijke).

#### Voor- en nadelen

Steilwanden en overhangende oevers vergroten de variatie aan habitats en de vestigingsmogelijkheden voor een aantal karakteristieke soorten. Het bespoedigen van oevererosie heeft tot gevolg dat in de beginfase de sedimentvracht van de beek toeneemt. Het geërodeerde materiaal sedimenteert stroomafwaarts in een traject met lager verhang. Hierdoor ontstaan zandbanken en andere morfologische patronen die de habitatdifferentiatie verder vergroten.

#### Toepassing

Bij het graven van een steilwand of overhangende oever is de kans op een duurzame situatie klein. De morfologische omstandigheden moeten geschikt zijn. Bij voorkeur worden andere processen zo beïnvloed dat het ontstaan van dergelijk structuurvormen wordt bevorderd. Voor het ontstaan van een steilwand is een bochtstroming nodig op een locatie met een hogere rand, waarbij de stroming over genoeg vermogen beschikt om de oever te eroderen. Overhangende oevers ontstaan op vergelijkbare wijze door onderspoeling (erosie) van de oevervegetatie, vaak bomen. Bomen kunnen overal worden toegepast (paragraaf 3.3.8).

In de Vloedgraaf is een steilwand gecreëerd met behulp van stapeling van grote basaltblokken met holle ruimten ertussen. Deze kunstmatige en onnatuurlijke structuren zijn minder gewenst (zie paragraaf 3.3.11).

### 3.3.14 Aanleggen vispassage

#### Principe

Met het passeerbaar maken van waterhuishoudkundige werken door de bouw van vispassages worden verschillende ruimtelijk gescheiden leefgebieden weer bereikbaar voor de typische rivier(trek)- en beekvissen zoals forel, winde, kopvoorn, barbeel en beekprik (Raat 1994).

#### Voor- en nadelen

Uiteindelijk is de aanleg van vispassages slechts een effectgericht onderdeel in het proces van beekherstel. Vispassages hebben alleen zin wanneer op termijn oorspronkelijke karakteristieken van het beekmilieu, zoals meandering, permanente stroming en een goede waterkwaliteit, kansen krijgen om zich bovenstrooms van de passage in belangrijke mate te herstellen of actief hersteld worden. Belangrijke levensvoorwaarden van rivier- en beekvissen worden slechts gevonden in beken met voldoende natuurlijke karakteristieken en een daarop aangepast onderhoud en beheer. Ondanks bovenstaande overwegingen zijn vispassages tot nu toe vrij veel toegepast (vaak ter vervanging van voormalige vaste stuwen). Het is nog maar de vraag wat het rendement van vistrappen voor andere organismen is.

#### Toepassing

De keuze van het type en de locatie van de passage wordt enerzijds ingegeven vanuit de hydrologie en anderzijds vanuit de ecologie van de vissoorten. Op basis van



onderzoek is bijvoorbeeld vastgesteld dat het bekensysteem Enschede-Zuid vooral geschikt is voor kleine beekvissen zoals het biermpje en de riviergrondel. Het gebied is niet, of in mindere mate geschikt, voor grote(re) rivier- en beekvissoorten als winde en kopvoorn (Schmidt in Raat 1994, Semmekrot 1993).

De belangrijkste in ons land toegepaste vispassages zijn de cascade-stuw of bekken-vistrap, de 'vertical-slot' vistrap (beide gebaseerd op geschakelde bekkens), de natuurtechnische vistrap (gebaseerd op het gebruik van stortsteen) en combinaties. Door een juiste dimensionering moeten geschikte stromingscondities in de vispassage ontstaan. Dit is nog te vaak op alleen de grotere vissoorten gebaseerd. Van essentieel belang voor de vismigratie door een passage in een omleiding is de werking van de 'lokstroom'. Deze moet de vis uit de hoofdstroom de vispassage in leiden. Het meest toegepast is de bekken-vistrap met V-vormige overlaten. Langs de bodem migrerende vissen en andere organismen hebben moeite met de passage van de V-vormige vistrap. Bij de overige twee vistrappen is migratie langs de bodem goed mogelijk. Soms worden vispassages aangelegd als nevengeulen (zie paragraaf 3.2.12).

### *3.3.15 Aanleggen poelen*

#### Principe

Het aanleggen van poelen tijdelijk los van de beek wordt dikwijls toegepast om de abiotische en biotische variatie te vergroten. De poel wordt doorgaans gekoloniseerd door soorten van stilstaand water. Poelen in inundatiezones die gedurende perioden van hoog water worden overstroomd, kunnen een belangrijke refugiumfunctie vervullen voor beekorganismen (paragraaf 3.2.8). Door hun vorm en ligging kunnen ze soms worden opgenomen in stroomgeulen die alleen ten tijde van hoge waterstanden 'meestromen'. Poelen functioneren soms als vervanging van afgesloten meanders of als retentiesystemen.

#### Voor- en nadelen

Voor het vergroten van de biodiversiteit op het niveau van het stroomgebied vormen poelen een goed middel. Veel van de soorten die hiermee worden geholpen behoren tot de karakteristieke soorten van stilstaand water zoals afgesloten meanders of retentiesystemen. Wordt overstrooming van de poel toegestaan dan moet het beekwater van voldoende kwaliteit te zijn. Poelen kunnen gezien worden als alternatief voor, mogelijk inmiddels gedempte, afgesloten meanders.

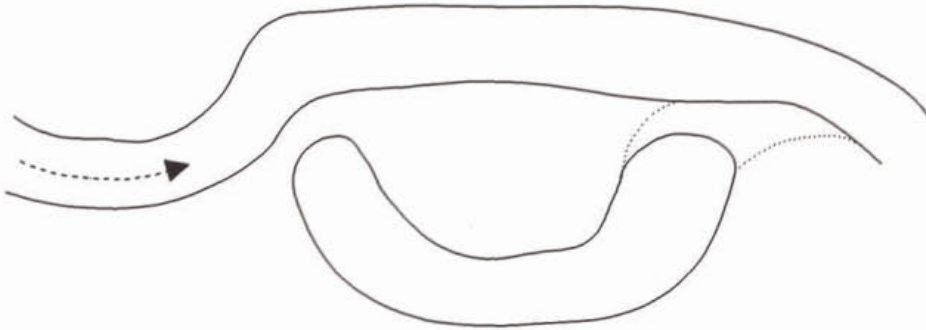
#### Toepassing

De aanleg van poelen los van de beek is van belang voor het beekdal. Met name in gebieden waar weinig stilstaande wateren voorkomen kunnen poelen worden aangelegd voor vooral amfibieën en andere stilstaand water organismen. Poelen kunnen overal worden aangelegd.

### *3.3.16 Aankoppelen oude meander*

#### Principe

Het opschonen en opnieuw éézijdig aansluiten (figuur 3.11) van oude meanders leidt tot het ontstaan van rust- en paaiplassen voor beekorganismen. Als een meander tweezijdig wordt aangesloten ontstaat een nevengeul zoals besproken in paragraaf 3.2.12. Deze meander wordt geleidelijk weer opgevuld en verlandt. Eenzijdig aangekoppelde meanders fungeren eveneens als retentie. De hydrologische gevolgen zijn echter betrekkelijk gering. Oude meanders vertonen veel overeenkomsten met poelen (zie paragraaf 3.3.15).



Figuur 3.11 Aangekoppelde oude meander.

#### Voor- en nadelen

Relevante voordelen van de aansluiting van oude meanders zijn de geringe kosten en de eenvoud. Verder verschaft de aangesloten meander een nieuw habitat voor beekorganismen die de luwte opzoeken. Periodiek onderhoud is nodig om de open meander te handhaven. Bij voorkeur wordt gekozen voor periodiek (per 10-20 jaar) uitbaggeren.

#### Toepassing

Overall waar oude meanders zijn gelegen en de beek een voldoende waterkwaliteit bezit, kan deze maatregel worden toegepast. Daar waar ruimte voorhanden is, kunnen ook nieuwe geulen worden gegraven.

### 3.4 Maatregelen ten behoeve van stoffen

#### 3.4.1 Inleiding

Maatregelen ten behoeve van het factorcomplex stoffen richten zich op enerzijds het versterken van de bekeigen stofstromen en anderzijds het verminderen van de toevoer van stoffen als gevolg van menselijke activiteiten.

Tot de doelstellingen ten behoeve van stoffen worden, onderverdeeld naar de vier belangrijkste processen betreffende zuurstof en organisch materiaal, voedingsstoffen, macro-ionen en microverontreinigingen (paragraaf 1.5), de volgende maatregelgroepen gerekend:

#### Doelstelling

Verminderen toevoer van voedingsstoffen,  
Verminderen organische belasting/  
verbeteren zuurstofhuishouding en  
Terugdringen microverontreinigingen

#### Maatregelgroep

- \* Verminderen meststoffentoevoer
- \* Opheffen huishoudelijke lozing
- \* Opheffen overstort
- \* Verbeteren RWZI in kwalitatieve zin
- \* Scheiden waterstromen
- \* Verlagen maaiveld
- \* Aanleggen helofytenfilter
- \* Aanleggen horse-shoe wetland
- \* Aanleggen bufferzone



Het verbeteren van de spiraalstroom van stoffen door het beekstelsysteem (paragraaf 1.5.1) is in verschillende structuur en stromingsverbeterende maatregelen besloten. Ook de verbetering van de macro-ionenhuishouding, met andere woorden het zoveel mogelijk verkrijgen en vasthouden van gebiedseigen water, is besloten in maatregelen gericht op het factorcomplex stroming.

In tabel 3.3 is de relatie tussen de maatregelgroepen gericht op het factorcomplex stoffen en de procesaspecten van de factorcomplexen stroming, structuren en stoffen aangegeven. Uit de tabel is af te lezen dat maatregelen vaak op meerdere aspecten effect hebben.

**Tabel 3.3. Relatie maatregelgroepen gericht op het factorcomplex stoffen en de procesaspecten van de complexen stroming, structuren en stoffen.**

procesaspect maatregelgroep	STROMING			STRUCTUREN			STOFFEN			
	grond- water	opp. hydrol.	opp. hydraul.	tracé	bedding	substr. mozaiek	O <sub>2</sub> / org. mat.	voed. stof	macro- ionen	micro- veront.
verminderen mest.toevoer						+	+	+		+
opheffen huish. lozing						+	+	+		+
opheffen overstort			+			+	+	+		+
verbeteren RWZI						+	+	+		+
scheiden waterstromen		-				+	+	+	+	+
verlagen maaiveld	-		+					+		+
aanleggen helofytenfilter							+	+	+	+
aanleggen horse-shoe wetl.							+	+	+	+
aanleggen bufferzone							+	+	+	+

legenda: + = positief effect op het beekstelsysteem, - = negatief effect op het beekstelsysteem

### 3.4.2 Verminderen meststoffentoevoer

#### Principe

Bemesting van landbouwgronden in het stroomgebied veroorzaakt voedselverrijking van het grond- en oppervlaktewater. Vermindering van de dosering van meststoffen, tot een niveau waarop nauwelijks meer bemest wordt dan door het gewas kan worden opgenomen, kan dit probleem verminderen. De termijn waarop deze effecten zich zullen manifesteren is afhankelijk van de verblijftijd van het water (van enkele bij oppervlakkige en ondiepe afstroming tot enkele honderden jaren bij diepe grondwaterstromen). Het huidige grondwater is op veel plaatsen inmiddels verrijkt. Deze nalevering kan bij beekherstel een belangrijke bron van storing worden.

#### Voor- en nadelen

Het verlagen van de toevoer van meststoffen komt de beekdallevensgemeenschap ten goede. Uiteraard moet de verlaging in een zo groot mogelijk deel van het stroomgebied of deelstroomgebied plaatsvinden. Daar de wetgeving nog onvoldoende effect heeft, is men in de praktijk afhankelijk van de vrijwillige medewerking van landbouwers.

#### Toepassing

Bij voorkeur wordt de mestgift bij wetgeving of in beheersovereenkomsten geregeld. Plaatselijk bieden beheersovereenkomsten mogelijkheden. Binnen het stroomgebied van een te herstellen beek-(traject) komen gronden die het dichtst bij de beek liggen het eerst in aanmerking voor reductie van de bemesting. Daar zijn de effecten van de oppervlakkige en ondiepe afstroming het meest van invloed.

### 3.4.3 Opheffen huishoudelijke lozing

#### Principe

Circa 5 % van de woningen zijn niet op een rioelstelsel aangesloten. Deze veroorzaken lozingen van huishoudelijk afvalwater op oppervlaktewateren. Ongezuiverde lozingen zijn bezwaarlijk voor de kwaliteit van het ontvangende oppervlaktewater. Voor de samenstelling van huishoudelijk afvalwater wordt verwezen naar Min. VROM (1988) en NVA (1990).

#### Voor- en nadelen

Opheffing van lozingen komt de levensgemeenschap direct ten goede. Een nadeel zijn de vaak hoge kosten, met name bij aansluiting op de riolering. Het zuiveringsrendement van (mini-)helofytenfilters (paragraaf 3.4.8) en van composteertoiletten kan aanzienlijk zijn. Een mogelijk bezwaar is, dat deze oplossingen afhankelijk zijn van de welwillendheid van en de acceptatie door de individuele burger.

#### Toepassing

De aard en de mate van de effecten van ongezuiverde huishoudelijke lozingen zijn afhankelijk van de aard en de omvang van de emissies (in relatie tot overige bronnen) en de kenmerken van het ontvangend water. Hoe kleiner de beek hoe groter de effecten vaak zullen zijn. Uit oogpunt van beheersbaarheid en doelmatigheid verdient algemeen de (verdere) aanleg van riolering in het buitengebied de voorkeur. Alternatieven zijn septic tanks (slechts een laag rendement), individuele afvalwaterbehandelingsystemen (helofytenfilters), composteertoiletten, 'inzamelen per as' (dit is een combinatie van traditionele beerputten en een georganiseerd ophaalsysteem van het restproduct) of een combinatie van deze.

### 3.4.4 Opheffen overstort

#### Principe

Overstorten werken onregelmatig en veroorzaken daardoor een discontinue verstoring van de stroming, de zuurstofhuishouding en de levensgemeenschap. Op langere termijn nemen de hoeveelheid slib en microverontreinigingen toe. De frequentie en grootte van piekmissies bepalen de mate van het ecologisch effect. Voor de aard van de uitworp wordt verwezen naar CUWVO (1992) en voor de overige effecten naar NWRW (1989a,b).

#### Voor- en nadelen

Het verminderen van de overstortfrequentie bijvoorbeeld door de aanleg van een verbeterd gescheiden rioelstelsel of het opheffen van de overstort (onder andere door het creëren van een grotere berging in het stelsel) leidt tot ecologische verbetering. Het opheffen brengt vaak hoge kosten met zich mee.

#### Toepassing

Gedacht kan worden aan het aanbrengen van randvoorzieningen zoals helofytenfilters, groene buffers en bergingsbassins of het verplaatsen dan wel volledig saneren van overstorten. Uit oogpunt van grondwateraanvulling heeft berging en infiltratie van het relatief schone regenwater ter plaatse de voorkeur boven afvoer via het rioelstelsel. Hierbij kan verwezen worden naar de aanleg van verbeterd gescheiden riolering (paragraaf 3.2.3).

### 3.4.5 Verbeteren RWZI in kwalitatieve zin

#### Principe

Lozingen van het afvalwater (effluent) van een RWZI leiden tot verontreiniging van het ontvangende oppervlaktewater. Hierbij moet gedacht worden aan de (rest-)lozing van



zuurstofbindende stoffen en nutriënten, de lozing van bacteriën en andere micro-organismen, en de lozing van restslib en microverontreinigingen. Deze lozingen hebben in de regel belangrijke effecten op de aquatische levensgemeenschappen.

#### Voor- en nadelen

Verminderen van de lozingen leidt in kwalitatieve zin tot verbetering van de omstandigheden voor beekorganismen. Voor het optreden van eventuele hydrologische effecten zoals droogvalling wordt verwezen naar paragraaf 3.4.6. Verdergaande stikstof- en fosfaatverwijdering en nageschakelde technieken om zwevende stof en daarmee microverontreinigingen te beperken zijn kostbaar maar altijd nog goedkoper dan het later saneren van de beekbodem.

#### Toepassing

Bij het formuleren van aanvullende effluenteisen moet de aandacht uitgaan naar die factoren die voor het functioneren van het beekecosysteem het meest kritisch zijn. Daarbij gaat het met name om zuurstofbindende stoffen, ammoniak (toxiciteit), voedingsstoffen, microverontreinigingen en slib. Slibafzettingen hebben een zeer nadelig effect op het substraat in de beek. Daarnaast kan gestreefd worden naar de aanleg van buffervoorzieningen voor de opvang van calamiteiten. Derde- en vierde-traps zuivering, zoals fosfaatverwijdering en/of optimalisatie van nitrificatie-denitrificatie processen en andere oplossingen (STOWA 1991, 1993a, 1993b) moeten zoveel mogelijk worden toegepast. Nazuivering in helofytenfilters is te overwegen (paragraaf 3.4.8). RWZI's moeten zodanig worden geconstrueerd dat ook bij groot onderhoud een ongestoorde procesvoering is gegarandeerd. Verder moet een voldoende lage verhouding tussen regenwater- en droogweeraanvoer zijn gewaarborgd. Mogelijkheden voor een verbeterde procesgang van de RWZI bieden verbeterd gescheiden stelsels en regenwaterinfiltratie (paragraaf 3.2.3).

### *3.4.6 Scheiden waterstromen*

#### Principe

Onder het scheiden van waterstromen wordt verstaan het isoleren van (afval-)waterstromen afkomstig van stedelijk (effluent, overstorten), industrieel en/of landbouwgebied. Met deze scheiding wordt de afvalstroom en daarmee de belasting met voedingsstoffen, toxicanten en andere stoffen van de beek afgeleid. Het scheiden van waterstromen is een effectgerichte maatregel en heft de bron van vervuiling niet op. Andere beken of waterlopen, de zogenaamde opofferingsbeken, worden hierdoor vaak extra belast.

#### Voor- en nadelen

Het scheiden en isoleren van afvalwaterstromen van verschillende herkomst verbetert de kwaliteit van de oorspronkelijke beek. Het wegvallen van de toevoer kan in kleinere beken aanleiding zijn tot vermindering van de stroomsnelheid en tot droogvalling.

#### Toepassingen

Natuurlijke en half-natuurlijke beken moeten zoveel mogelijk worden gevrijwaard van lozingen en van waterstromen die de waterkwaliteit en het gebiedseigen karakter van het water negatief kunnen beïnvloeden. Daarmee kan een belangrijk deel van de aanwezige afvoer wegvallen. In dat geval verdient het aanbeveling te onderzoeken in hoeverre de kwaliteit van de geloosde stromen verder kan worden verbeterd. Ook in multifunctionele beken kan door het scheiden van waterstromen een positieve ontwikkeling in bovengenoemde waterkwaliteitsparameters worden verkregen.

Er bestaan vergevorderde plannen om het principe van het scheiden van waterstromen toe te passen in delen van het stroomgebied van de Regge.



### 3.4.7 Verlagen maaiveld

#### Principe

Veel beekbegeleidende gronden kampen met verdrogingsverschijnselen als gevolg van een te lage gemiddelde grondwaterstand. Hierdoor is de kans op ontwikkeling van karakteristieke vochtminnende beekbegeleidende vegetaties gering. Door voorzichtig afschrapen van de bovenlaag van de bodem (zonder te 'roeren') wordt het maaiveld naar het grondwater toegebracht. Met het verwijderen van de vaak in het verleden ontstane teeltlaag worden oude beekafzettingen weer aan de oppervlakte gebracht. Ook wordt in veel gevallen een belangrijk deel van de in de bodem opgeslagen voedingsstoffen en microverontreinigingen verwijderd. Dit levert een schoner, voedselarm milieu op. Maaiveldsverlaging biedt mogelijkheden voor de aanleg van inundatiezones (paragraaf 3.2.8). Het voorkomt een gestoorde successie van de vegetatie en biedt een versnelling van de gewenste ontwikkeling.

#### Voor- en nadelen

Ondanks dat voor de vegetatie in het beekdal een nattere en schralere uitgangssituatie wordt geschapen, is deze maatregel effectgericht. Het aan de oppervlakte brengen van oorspronkelijke beekafzettingen biedt kansen aan oude zaadvoorraden mits die niet al tientallen jaren begraven zijn geweest. Het verwijderen van de toplaag met alle daarin opgeslagen voedingsstoffen en microverontreiniging geeft een kwaliteitsverbetering. Wel moet daarbij worden aangemerkt dat het risico van overstromen toeneemt. Daarom moeten bijzondere eisen moeten worden gesteld aan de waterkwaliteit in de beek, om te voorkomen dat de bodem opnieuw verrijkt of verontreinigd wordt.

#### Toepassing

Maaiveldsverlaging is een ingrijpende maatregel die zorgvuldige overweging verdient. Voordat maaiveldsverlaging wordt overwogen zal men zich ervan moeten overtuigen dat andere mogelijkheden tot conserveren van water en grondwaterstandsverhoging zijn uitgeput. Vooral in ernstig geëutrofiëerde of anderszins verontreinigde situaties (bodemsaneringslocaties) is, nadat de vervuiliingsbron is opgeheven, deze maatregel te overwegen.

Maaiveldsverlaging is toegepast bij natuurontwikkelingsprojecten langs de grote rivieren (onder andere Blauwe Kamer) en langs de Ruiten Aa. Maaiveldsverlaging leverde hier een natter milieu op. Ook de verwijdering van aanwezige voedingsstoffen en microverontreinigingen (afgezette rivierslib/klei) en het vereenvoudigen van overstromingen was een motief. De kosten van het grondverzet werden deels gecompenseerd door de verkoop van de verwijderde grond.

### 3.4.8 Aanleggen helofytenfilter

#### Principe

Een helofytenfilter is een combinatie van planten (biezen of riet die in de waterbodem wortelen) en aangehechte bacteriën, epifyten en epifauna waartussen zwevende stof kan bezinken. De voedingsstoffen worden zo uit het passerende water opgenomen (met name in zomerhalfjaar). Voor het zuiveringsrendement is zowel de verblijftijd als de nutriëntenbelasting per oppervlakte-eenheid van belang. Over het rendement van helofytenfilters lopen de meningen en ervaringen sterk uiteen (Gleichman-Verheijen et al. 1992, Wiggers 1992).

#### Voor- en nadelen

Helofytenfilters nemen ruimte in, de zuiverende werking vindt met name plaats in het zomerhalfjaar en door wegzijging kan grondwaterverontreiniging optreden. Dit kan worden voorkomen door het filter van het grondwater af te sluiten (kostbaar). In bepaalde perioden van het jaar kan nalevering van nutriënten optreden. Als gevolg van oplading van de bodem moet mogelijk al na enkele jaren de bagger worden verwijderd.



Uiteraard moet de vegetatie regelmatig worden geoogst. Helofytenfilters zijn minimoerasjes die levensmogelijkheden aan allerlei moerasorganismen bieden.

#### Toepassing

Een helofytenfilter moet afgestemd zijn op de hoeveelheid toegevoerd water, de belasting met nutriënten en op het na te streven zuiveringsrendement. Het beheer moet gewaarborgd zijn. Helofytenfilters zijn met name inzetbaar bij puntbronnen van niet te grote omvang, vooral als de belasting is geconcentreerd in het zomerhalfjaar. Daarnaast wordt het in beginsel mogelijk geacht helofytenfilters in te zetten bij het zuiveren van landbouwwater (hiermee wordt bedoeld water dat uit landbouwgebied afkomstig is en dat sterk belast is met nutriënten) en voorbezonden huishoudelijk afvalwater van individuele woningen (zie paragraaf 3.4.3, 3.4.4 en 3.4.5). Praktijkervaringen tot nu toe met helofytenfilters op kleine schaal lijken overwegend gunstig, maar goede studies naar het rendement, de eventuele relaties met grondwaterkwaliteit en de duurzaamheid van de werking ontbreken vrijwel geheel. de zuivering van beekwater door helofyten in de beek zelf wordt in het algemeen als minder kansrijk beschouwd (RPD 1991).

#### 3.4.9 Aanleggen horse-shoe wetland

##### Principe

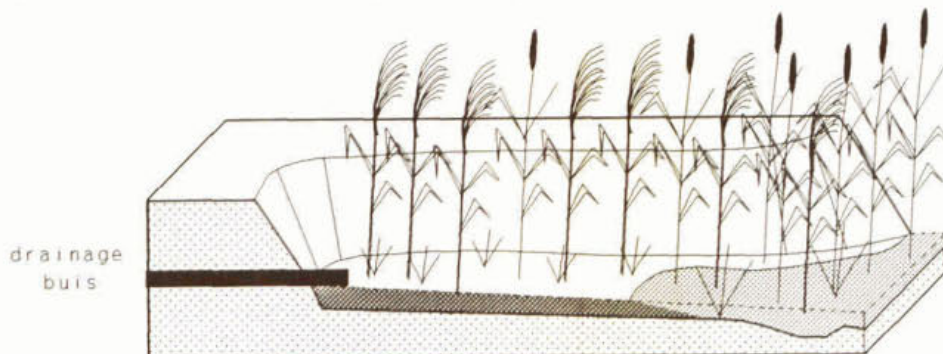
Veel ondiep geïnfilterd water inclusief opgeloste stoffen wordt via drainagesystemen afgevoerd naar het oppervlaktewater. Deze drainagesystemen vormen (talrijke) puntbronnen van voedingsstoffen. Door het aanleggen van horse-shoe wetlands (Petersen et al. 1992) tussen de uitmonding van de drainagesystemen en de beek kan de nutriëntenbelasting worden verminderd. Ook kunnen greppels en kleine sloten in een horse-shoe wetland uitmonden of zelf als zodanig functioneren. Omdat drainagewater doorgaans arm is aan zwevende stoffen, is het bezinkingseffect bij horse-shoe wetlands verwaarloosbaar. Wel worden voedingsstoffengehalten verlaagd. De mate van reductie is van het (groei-)seizoen afhankelijk (zie paragraaf 3.4.8). Daarnaast hebben horse-shoe wetlands een gering vertragend effect op de afvoer van water naar de beek.

##### Voor- en nadelen

Horse-shoe wetlands nemen slechts weinig ruimte in. De vegetatie moet regelmatig worden geoogst.

##### Toepassingen

Horse-shoe wetlands kunnen als onbeschaduwde delen worden ingepast in beekbegeleidende bufferstroken (Petersen et al. 1992). Elk horse-shoe wetland heeft een oppervlakte van minimaal 10 bij 8 meter (figuur 3.12).



Figuur 3.12 Doorsnede van een horse-shoe wetland.

Een voorbeeld is een proefproject in Denemarken waarbij met een horse-shoe-wetland, in combinatie met een beekbegeleidende bufferstrook, een reductie van de nitraatconcentratie tussen 68 en 100% werd bereikt. Het Zuiveringschap Limburg en het Waterschap Peel & Maasvallei bereiden 3 proefontwerpen voor.



### 3.4.10 Aanleggen bufferzone

#### Principe

Het inrichten (en beheren) van beekbegeleidende bufferzones is een effectgerichte maatregel om de belasting van beken met nutriënten te reduceren. De werking van dergelijke bufferzones berust enerzijds op processen zoals de opname van fosfor (P) en stikstof (N) door planten, denitrificatie (N), adsorptie aan ijzer- en aluminium-hydroxiden (P) en precipitatie van calcium- en magnesiumfosfaten (P), waardoor stoffen permanent of tijdelijk in het buffersysteem worden gebonden (Osborne & Kovacic 1993). Daarnaast vormen bufferzones fysieke barrières voor de aanvoer van sediment en voedingsstoffen door wind en afstroming (Petersen et al. 1992). Een minder vergaande inrichting is het toewijzen of aanleggen van een braakliggende akkerrand of extensief beheerde oeverstrook.

#### Voor- en nadelen

Bufferzones oefenen een positief effect uit op de ontwikkeling van alle typen beken. In natuurlijke en half-natuurlijke beken is de noodzaak oppervlakkig en ondiep afspoelende voedingsstoffen, voordat deze de beek bereiken, af te vangen groter.

#### Toepassing

De waargenomen reductie is onder andere afhankelijk van de breedte van de bufferzone en de aard van de vegetatie (paragraaf 1.5.3). Stroken van 10 meter breedte kunnen al zeer effectief zijn. Petersen et al. (1992) merken op dat de inrichting van beekbegeleidende bufferstroken, ter grootte van 10 meter aan weerszijden van de beek, de eerste en belangrijkste maatregel is in het totale proces van beekherstel. Hierbij wordt ook naar de hydrologische (paragraaf 3.2.6) en vegetatiekundige (paragraaf 3.3.8) voordelen verwezen. Maar zelfs schouwpaden kunnen in deze al een effect hebben.

De provincie Overijssel, het waterschap Regge en Dinkel en het RIZA zijn in 1993 een onderzoek gestart naar de effecten van beekbegeleidende bufferstroken op het transport van voedingsstoffen naar de Mosbeek (Twente).

### 3.5 Toepassen van beekherstelmaatregelen

Het beoordelen of een bepaalde maatregel of combinatie van maatregelen in een stroomgebied leidt tot de gewenste verbetering van het ecologisch functioneren van het beekstelsel is niet eenvoudig. Allereerst is een analyse van de problemen noodzakelijk. Een goede probleemanalyse maakt duidelijk welke factoren problemen veroorzaken. Vervolgens moet worden uitgezocht welke maatregelen mogelijk zijn om te sturen in de gewenste richting en hoe deze maatregelen in ruimte en tijd moeten worden toegepast. Modelberekeningen zoals grond- en oppervlaktewatermodellen en zandtransportmodellen kunnen hierbij behulpzaam zijn. Scenario's kunnen worden doorgerekend en oplossingen kunnen worden geëvalueerd. De effecten van maatregelen zijn sterk afhankelijk van lokale omstandigheden.

In tabel 3.4 staan verticaal de besproken maatregelgroepen. Horizontaal zijn de belangrijkste ontwikkelingskarakteristieken vermeld. De volgende ontwikkelingskarakteristieken worden aangegeven:

- **Ontwikkelingstijd;** een indicatie van de tijd die nodig is voordat het effect van een maatregel volledig tot uiting komt. Dit is een belangrijk gegeven voor de afstemming van het monitoringsprogramma en de evaluatiemomenten.
- \* **Ontwikkelingsrichting;** is de maatregel vooral gericht op het wegnemen van de bron of oorzaak van het probleem of op het effect of een symptoom.
- **Ontwikkelingsdoel;** is de maatregel vooral gericht op het beïnvloeden van processen (het functioneren van het systeem) of op het creëren van structuren,



- \* Ontwikkelingskenmerk; past de maatregel vooral in het natuurlijk karakter van het beekstelsysteem of worden gebieds- of systeemvreemde toestanden of structuren nagestreefd.
- Ontwikkelingstype; in welk beektype, onderverdeeld naar natuurlijk, half-natuurlijk en multifunctioneel, is de maatregel vooral toepasbaar.

Tabel 3.4. De relatie tussen maatregelgroepen en ontwikkelingskarakteristieken.

ontwikkeling maatregelgroep	tijd (jaar)			richting		doel		kenmerk		type		
	0-10	10-30	> 30	bron	effect	proces	structuur	natuur	vreemd	natuur	half nat.	multi.
verwijderen drainage	•	•		•		•		•		•	•	
bevorderen infiltratie	•	•		•		•		•		•	•	•
wijzigen wateronttrekking	•	•		•		•		•		•	•	
ontwikkelen bos			•	•		•		•		•	•	
aanleggen hydrol. buffer	•				•	•	•	•			•	•
hergebruiken gez. effluent	•	•			•	•			•		•	•
ontwikkelen inundatiezone	•	•		•	•	•		•		•	•	
vergroten retentie	•	•			•	•			•		•	•
herstel oorspr. stroomgeb.	•	•		•		•		•		•	•	
verwijderen stuw	•	•		•		•		•		•	•	•
aanleggen nevengeul	•				•	•	•		•		•	•
passief ontw. meanders			•	•		•		•		•	•	
graven meanders	•	•		•	•	•	•	•		•	•	
actief ontw. mic.meanders	•				•	•	•		•		•	•
verkleinen profiel	•	•		•		•		•		•	•	
verwijderen profielverded.		•	•	•		•		•		•	•	
aanleggen asymm. profiel	•	•			•	•	•	•		•	•	
aanplanten houtwal		•	•		•	•	•	•		•	•	•
aanleggen twee-fasen bed.	•				•		•		•		•	•
aanleggen stroomk. zandb.	•	•			•	•	•	•		•	•	
aanbrengen stoorobjecten	•				•		•		•			•
aanleggen soortger. struc.	•				•		•	•	•		•	•
inrichten steile overh. oever	•	•		•	•		•	•	•		•	•
aanleggen vispassage	•				•		•		•		•	•
aanleggen poelen	•				•		•	•	•		•	•
aankoppelen oude meander	•			•	•	•	•	•		•	•	•
vermindere mest.toevoer		•	•	•		•		•		•	•	
opheffen huish. lozing	•			•		•		•		•	•	•
opheffen overstort	•			•		•		•		•	•	
verbeteren RWZI	•			•		•		•		•	•	
scheiden waterstromen	•				•	•			•	•	•	•
verlagen maaiveld	•				•		•		•		•	•
aanleggen helofytenfilter	•				•	•			•		•	•
aanleggen horse-shoe wetl.	•				•	•			•		•	•
aanleggen bufferzone	•	•			•	•	•	•		•	•	•

legenda: • = ontwikkelingskarakteristiek van toepassing



### 3.6 Overige beekherstelmaatregelen

#### 3.6.1 Herintroduceren van soorten

Alle soorten stellen eisen aan hun habitat. Maatregelen kunnen gericht zijn op het habitat van meerdere soorten (levensgemeenschappen) of op de organismen van één soort. De maatregelen worden bij voorkeur gericht op het scheppen van randvoorwaarden voor het voorkomen van levensgemeenschappen. Al deze maatregelen zijn reeds onder de paragraaf structuren (3.3) behandeld. Alleen het herintroduceren van soorten is direct gericht op de organismen zelf.

##### Principe

Overweging tot herintroductie komt voort uit het inzicht dat een oorspronkelijk voorkomende soort nooit zelfstandig het te ontwikkelen gebied zal bereiken, bijvoorbeeld door fysieke barrières, het ontbreken van populaties op een overbrugbare afstand of de tijd die dat zal vragen. Voorwaarde voor een geslaagde herintroductie is dat het gebied voldoet aan alle of een belangrijk aantal levensvoorwaarden van de soort. De gevolgen van herintroductie zijn soortafhankelijk. Herintroductie komt pas in beeld als de herinrichting van de beek voltooid is en het systeem voldoende tijd heeft gehad zich te ontwikkelen. Introductie van vreemde soorten is bijna altijd ongewenst. Ook het overmatig uitzetten van soorten moet worden voorkomen. De natuurlijke biomassa's gelden als richtlijn.

##### Voor- en nadelen

Het is moeilijk te voorspellen welke effecten herintroductie teweeg zal brengen. Beseft moet worden dat het eenterugbrengen van een oorspronkelijk voorkomende soort is. Zijn ontbreken heeft de levensgemeenschap een andere samenstelling gegeven. Er zal rekening gehouden moeten worden met de draagkracht. Diversiteitsverhoging is een onvoldoende argument. Van veel soorten is vaak weinig bekend over de levensvoorwaarden. Grotere dieren hebben meestal een groot leefgebied nodig. Herintroductie is zinloos als de soort al na één of enkele jaren weer is verdwenen. Een uitzondering zou gemaakt kunnen worden voor migrerende soorten die door fysieke barrières niet terug kunnen keren. In dergelijke gevallen is het jaarlijks herintroduceren van eieren of jongbroed een mogelijkheid mits er zicht op is dat de barrières op termijn zullen verdwijnen.

##### Toepassing

Het aanplanten van bomen wordt bij de maatregelen ten behoeve van beekbegeleidende gronden besproken. Het planten van boomsoorten zoals zwarte els (*Alnus glutinosa*) en es (*Fraxinus excelsior*) is gangbaar. Het gebruik van zaad of pootgoed moet steeds zorgvuldig worden afgewogen.

Het is te overwegen bepaalde macrofauna te herintroduceren in beeksystemen. Van sommige soorten is bekend dat ze beperkte verspreidingsmogelijkheden bezitten. Voor kwetsbare groepen die alleen aquatische stadia bezitten is verspreiding over grotere afstanden moeilijk. Maar ook van sommige soorten met een terrestrisch stadium (vliegend) is bekend dat de range beperkt is tot enkele honderden meters. Bij geïsoleerde populaties van bijvoorbeeld de kokerjuffer *Agapetus fuscipes* kan na uitvoering van herstel herintroductie gewenst zijn.

De rivierkreeft (*Astacus astacus*) is bijna uit Nederland verdwenen. De restpopulaties zijn bedreigd en kwetsbaar. Het beekmilieu moet optimaal geschikt zijn voordat herintroductie wordt overwogen.

Bij herintroductie van soorten in beken en beekdallandschappen zijn het uitzetten van (beek-)vissen zoals beekforel (*Salmo trutta fario*) en vlagzalm (*Thymallus thymallus*) gangbaar (NVVS 1989). Het uitzetten van vis, met name de niet van nature voorko-



mende soorten, geschiedt meestal op basis van andere dan ecologische argumenten. Het uitzetten van systeemvreemde soorten en overtallige aantallen moet in natuurlijke en half-natuurlijke beken worden voorkomen. Het uitzetten van vreemde soorten (bijvoorbeeld regenboogforel, graskarper) is ongewenst.

Bevers zijn knagers, vellen bomen en bouwen soms dammen (Boere & Van der Ouderaa 1983). Ze creëren hierdoor variatie in en langs de beek. Beverdammen hebben een opstuwende werking, leiden tot morfologische veranderingen en dragen bij aan de retentie van water. In sommige gevallen leidt opstuwung tot inundatie van beekbegeleidende gronden bovenstrooms. Bevers hebben een home-range van 2,8 km. Het uitzetten van bevers verdient zorgvuldige aandacht.

De otter (*Lutra lutra*) is een viseter (Min. LNV 1989). De soort is karakteristiek langs kleine en grote rivieren. De otter heeft als jachtgebied visrijk water van voldoende diepte en dichte, lage oevervegetatie nodig. De home-range is 10-15 km oeverlengte. Beekherstel levert een positieve bijdrage voor de hernieuwde verspreiding (Veen 1987).

Bij het overbrengen van dieren of planten moet ook bekend zijn welke predatoren respectievelijk soorts-specifieke herbivoren en welke concurrenten, ziekten en mogelijk plaagorganismen in het gebied aanwezig zijn. Het kan nodig zijn deze eerste te onderdrukken om de herintroductie een kans te geven of juist mee te herintroduceren om een ongebreidelde vermenigvuldiging van de ge-herintroduceerde soorten te voorkomen.

### 3.6.2 Reguleren recreatief medegebruik

#### Principe

Recreatief medegebruik van het beekdalsysteem kan meer of minder invloed hebben op de ecologie. Dit is afhankelijk van de aard en intensiteit van het medegebruik. Onderscheid wordt gemaakt tussen plaatselijk gebruik zoals sportvissen en zwemmen en gebruik over grotere lengten zoals kanoën en gemotoriseerd varen. Daarnaast kunnen invloeden uitgaan naar het beekdal (paardrijden, jagen, wandelen, fietsen) of de beek zelf (zwemmen, kanoën, sportvissen, cross-fietsen).

#### Voor- en nadelen

De belangrijkste nadelige beïnvloedingen betreffen betreding (oeveraantasting), kap van bomen (aanleg infrastructuur), vergroten van verhard oppervlak, vervuiling (grof vuil) en verstoring. Voordelen van recreatief medegebruik zijn de educatieve waarde, scheppen van draagvlak voor verbetering.

#### Toepassing

Door het uitvoeren van specifieke inrichtingsmaatregelen kan het recreatief medegebruik worden gestuurd (Unie van Waterschappen 1991, Waterschap Regge & Dinkel 1994). Gedacht wordt aan het concentreren van recreatie op aangewezen plaatsen en het ontmoedigen op andere locaties. Voorwaarden zijn dat geen beschadiging van waterstaatkundige werken mag optreden, geen verlies van natuurwaarden mag optreden en dat geen ontoelaatbare verontreiniging en fysische verstoring plaatsvindt. Het verstoren van de beekbodem zoals bijvoorbeeld optreedt bij het cross-fietsen door de beek, dient te worden verboden.



### 3.7 Ecologische richtlijnen voor ontwerp en onderhoud

#### 3.7.1 Inleiding

In deze paragraaf wordt ingegaan op de vraag; "aan welke normering moet een ontwerp van een watergang voldoen gezien vanuit de ecologie van het stroomgebied?". Tot op heden stellen aanwezige belangen zoals landbouw, bosbouw en bebouwd gebied, randvoorwaarden die het natuurlijke systeem verstoren (bijvoorbeeld door drooglegging en versnelde afvoer). Deze belangen bepalen de ont- en afwateringsnormen. Beekherstel maar ook duurzame landbouw vragen om bijstelling van deze normen. Het natuurlijke hydrologische systeem van een stroomgebied heeft een maximaal bergend vermogen en een minimaal afwateringsstelsel. Bij ecologisch beekherstel wordt getracht dit natuurlijke hydrologische systeem zoveel mogelijk te herstellen. Echter buiten deze natuurlijke (deel-)stroomgebieden stellen ook andere belangen en gebruiksfuncties eisen aan de waterhuishouding en zijn tussenoplossingen nodig.

Op dit moment wordt op verschillende plaatsen gewerkt aan een verbeterde grondslag voor de waterhuishouding. Dit gebeurt bijvoorbeeld landelijk in het project WATERNOOD (Unie van Waterschappen en Landinrichtingsdienst) en het NUBL-verband (landbouw en gemeenten), en op regionaal niveau in het GEBEVE-project Groote Molenbeek (Waterschap Peel en Maasvallei).

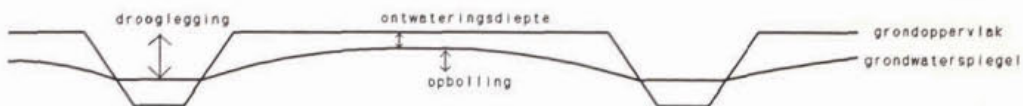
In deze paragraaf wordt een aanzet te geven voor een ecologische richtlijn voor herstel van de natuurlijke waterhuishouding in zandgronden met een vrije afstroming.

#### 3.7.2 Grondwater

De waterbeheersing is tot op heden nog teveel gericht op het realiseren en handhaven van peilen. Impliciet werd en wordt aangenomen dat als de peilen in orde zijn, dat ook de grondwaterstand in orde is. In de praktijk blijkt dit lang niet altijd het geval. Daarom is een meer grondwaterstandsgerichte benadering van waterbeheersingsplannen en het waterbeheer gewenst. Bij de huidige normen voor drooglegging wordt onvoldoende onderscheid gemaakt naar aard van het stroomgebied en verschillen in functies. De bestaande normen hebben een sterk landbouwkundige achtergrond en de onderbouwing is vooral empirisch. Een betere onderbouwing is gewenst, alsmede meer kennis over de huidige normwaarden en hun effecten en de samenhang tussen overschrijdingsfrequenties en grondwaterstandsverloop (Bouwmans 1994).

Herstel van de natuurlijke hydrologie van een stroomgebied begint op de hoogste delen. Dit zijn de infiltratie- of inzijg- en intermediaire gebieden (paragraaf 1.3.2). De inzijggebieden zijn, ondanks de aanwezige lage grondwaterstand (grondwatertrap VI, VII en VII\*), in het verleden voorzien van afwateringssystemen (minimale afmetingen van bodembreedte 0.50 m, diepte 1.00-1.20 m min. maaiveld). Om de maximale waterconservering te herstellen moeten deze afwateringssystemen geheel of gedeeltelijk worden gedempt. In de intermediaire gebieden, eveneens met een redelijk lage grondwaterstand (grondwatertrap IV, V en VI), moet het afwateringssysteem eveneens worden aangepast en gericht op maximale conservering en minimale directe afvoer.

Indien ander grondgebruik dan natuur in het gebied aanwezig geldt tot op heden een zodanige drooglegging (figuur 3.13) dat nauwelijks (nat-)schade optreedt. Met andere



Figuur 3.13 Drooglegging, opbolling en ontwateringsdiepte.



woorden het feitelijk grondgebruik is maatgevend waarbij de landbouw prioriteit heeft. Dit doet geen recht aan de overige aanwezige functies en moet dan ook als criterium worden verlaten.

Vanuit ecologisch beekherstel is de strengste eis dat een nieuw evenwichtsprofiel wordt nagestreefd zonder verdere ontwateringsnormen. Indien andere functies dat niet toelaten dan gelden, als richtlijn voor de maximaal toelaatbare ondergrenzen voor drooglegging, de volgende waarden;

*Hoogwaterpeil op zandgronden (HW-lijn)*

grondgebruik	huidige norm	ecologisch gewenst	
	1 x per jaar	120 dagen per jaar	
* bouwland	0.50-0.80	< = 0.50	m min maaiveld
* grasland	0.30-0.60	< = 0.30 tot inundaties tot 0.30 m boven maaiveld	m min maaiveld
• stedelijk	0.50-0.75	< = 0.50	m min maaiveld
* natuur	-	geen normen	

*Normaal waterpeil op zandgronden (NW-lijn)*

grondgebruik	huidige norm	ecologisch gewenst	
	15 x per jaar	350 dagen per jaar	
• bouwland	0.70-0.90	< = 0.70	m min maaiveld
• grasland	0.50-0.70	< = 0.50	m min maaiveld
• stedelijk	1.00-1.30	< = 0.75	m min maaiveld
* natuur	-	geen normen	

De huidige normen zijn gebaseerd op gegevens van de Cultuurtechnische Vereniging (1988). Deze waarden zijn van toepassing voor de berekening van de capaciteit van de watergang. Soms is het gewenst of noodzakelijk watergangen, waar voldoende water aanwezig is, in de zomerperioden kunstmatig te stuwen waarmee dan een maximale conservering wordt beoogd. Als richtlijn wordt hierbij aangehouden;

- \* bouwland 0.50 m min maaiveld
- grasland 0.30 m min maaiveld

Maatgevend is het relatief laagst gelegen grondgebruik en/of het belang van het grondgebruik dat onder invloed van stuwung staat.

Er moet in de toekomst gestreefd worden naar afstemming van grondgebruik en gewaskeuze op een meer natuurlijke hydrologie. Hiermee wordt bedoeld dat vooral de relatief lager gelegen gronden, vaak direct aan de beek grenzend, regelmatig moeten kunnen overstromen (zie paragraaf 3.7.3). De piekafvoeren waarbij dit voorkomt komen hoofdzakelijk voor in de winterperiode. Bij gebruik van dergelijke inundatiegebieden als grasland heeft overstroming in winter- en zomerperiode weinig schade tot gevolg. Bij gebruik als bouwland, wat overigens gezien de na te streven grondwaterstand meestal niet aan de orde is, is de te verwachten schade in de zomerperiode groter. Verder heeft het grondgebruik en de gewaskeuze op de hoger gelegen gronden (inzijg- en intermediaire gebieden) invloed op de waterhuishouding (versnelde afvoer, verdamping en dergelijke). Bij herstel van de natuurlijke hydrologie dient ook hier aandacht voor te zijn.

Vanuit de ecologie is het dus gewenst dat er een fijnafstemming gaat plaatsvinden gericht op elke specifieke situatie binnen het stroomgebied. Niet de huidige situatie voor wat betreft het grondgebruik moet bepalend zijn bij het begrip natschade maar het realistisch en/of verantwoord grondgebruik. Hierbij dient de van oorsprong of van nature aanwezige grondwatertrap mede bepalend te zijn voor de mogelijkheden van het grondgebruik. Vaak zijn hiertoe functiewijzigingen in de ruimtelijke ordeningsplannen nodig. Zelfs de uitwerking van het NBP is nog te vaak gericht op de droge natuur. Natuurontwikkelingsgebieden zouden, veel meer dan tot op heden het geval is, in beekdalen moeten worden gesitueerd.

Voor de landbouw is de volgende stelregel van toepassing; "duurzame landbouw is geen maximale landbouw". Met duurzame landbouw wordt hier bedoeld een vorm van landbouwkundig gebruik van de bodem en het water die past binnen het ecologisch en



hydrologisch functioneren van een stroomgebied. De toepassing van de HELP/TCGB-tabellen en de modellen BODEP en GROWIN kunnen hierbij een belangrijke rol vervullen om de maximale toelaatbare grondwaterstanden bij diverse grondsoorten en vormen van grondgebruik te bepalen. De vaak onnodig diep gelegen detailont- en afwatering kan met behulp van genoemde tabellen worden geoptimaliseerd. Binnen dit kader zijn voor de landbouw realistische mogelijkheden om het grondgebruik met technische middelen te optimaliseren bij een minimale drooglegging. Een voorbeeld is horizontale drainage op minimale diepte (tot maximaal 0.60 m min maaiveld). Hiermee wordt meer grondwaterberging en dus conservering verkregen. Andere voorbeelden zijn bewerkingen afstemmen op de mogelijkheden van de bodem, het bol leggen van percelen en de aanleg van zaksloten.

Binnen inundatiegebieden kan de landbouw indien gewenst blijven functioneren, zij het extensief. Het grondgebruik dient, mede als gevolg van hogere grondwaterstanden, in deze gebieden beperkt te zijn tot extensief gebruikte graslanden. Dit betekent een verminderde gewasproductie, ten opzichte van de huidige situatie (anno 1995), van meer dan 50 % tot een opbrengst van circa 5 tot 6 ton gras per hectare.

Feitelijk behoeft het detailont- en afwateringsstelsel alleen aanwezig te zijn om bij (extreme) natte perioden en in het vroege voorjaar eventueel ongewenste effecten (in relatie tot draagkracht, gewasontwikkeling (bodemtemperatuur, luchthuishouding)) te beperken. Fijnregeling draagt bij aan de maximale conservering van water. Het betekent een beïnvloeding van de GHG en GVG. In het algemeen wordt gesteld dat de GHG en GVG mogen variëren tussen 0.35 m en 0.50 m, afhankelijk van de bodem, het grondgebruik en de duur van een bepaalde grondwaterstand. Dit wordt geïllustreerd met zogenaamde duurlijnenverloop. Kavel- en perceelsloten, die alleen een functie hebben als perceelsscheiding, dienen bij voorkeur alle te worden gedempt. Andere sloten behoeven meestal niet dieper dan 0.60 tot 0.80 m te zijn. Het draineren van percelen behoeft geen belemmering te zijn om te komen tot een natuurlijk watersysteem. Echter drainage dient niet dieper te worden aangebracht dan 0.60 m. De drainagedichtheid wordt vaak echter hoger (met als nadeel een versnelde afvoer in natte tijden). De diepte van 0.60 m is voldoende om bodembewerkingen, bijvoorbeeld ploegen tot 0.50 m, ongestoord uit te kunnen voeren. Ook hier heeft drainage alleen de functie om natschade in (extreme) natte perioden te voorkomen. Deze aanpak vereist mede de inzet van grondgebruikers en -eigenaren.

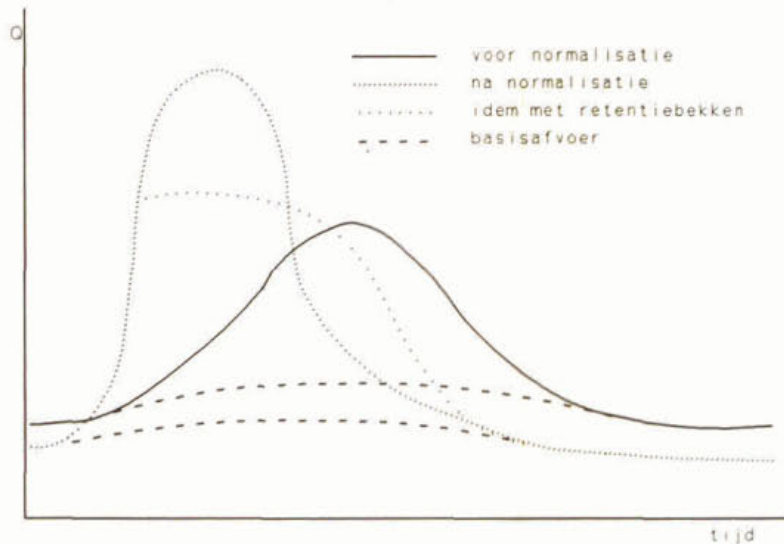
Naast landbouw hebben stedelijke gebieden en verharde terreinen nadelige effecten op de hydrologie (met name een versnelde afvoer van de neerslag). Gestreefd wordt deze nadelige effecten volledig te voorkomen. Mogelijkheden voor infiltratie van neerslag moeten overal waar mogelijk worden toegepast (paragraaf 3.2.3). Ook moet gedacht worden aan andere manieren van bouwen waarbij een minder diepe drooglegging dan bij de huidige cultuur- en bouwtechnische normen, vereist is.

Concluderend moet het waterbeheer gericht zijn op een maximale remming van de afvoer van regen- en grondwater. Hiervoor moet per grondsoort, bodemklasse en grondgebruik het optimale grondwaterniveau worden bepaald. De oorspronkelijk natuurlijke toestand is hiervoor maatgevend. Ook de positie in het oorspronkelijk hydrologische systeem kan mede bepalend zijn. In het algemeen kunnen ingrepen aan het 'eind' van het systeem hydrologisch gezien als minder schadelijk worden beschouwd dan ingrepen boven in een stroomgebied mits de eerste geen invloed uitoefenen bovenin.



### 3.7.3 Oppervlaktewater hydrologie

Voor de bepaling van de capaciteit van een watergang wordt altijd begonnen met het vaststellen van de maatgevende afvoer. Deze is vaak empirisch bepaald, gerelateerd aan de grondwatertrappen zoals aangegeven op de Bodemkaart van Nederland (1:50.000). Over het algemeen in landinrichtings- en waterbeheersingsprojecten wordt daarbij de indeling gehanteerd volgens de Cultuurtechnische Vereniging (1988). Deze normering blijkt vaak aan de hoge en veilige kant met als gevolg dat beken zijn of worden overgedimensioneerd. Een betere methode is de analyse van langjarige meetreeksen. Helaas ontbreken die nog te vaak.



Figuur 3.14 Beïnvloeding van de afvoer door wijzigingen van het hydrologisch systeem.

Aanpassing van het hydrologisch systeem heeft ook een wijziging in het afvoerpatroon tot gevolg (figuur 3.14). Waterconservering in de bodem en remming van de afvoer leiden tot een verhoging van de basisafvoer en een demping van de afvoerpieken en -dalen. Dit heeft belangrijke positieve gevolgen voor de toestand (al of niet droogvallen) en het hydraulisch functioneren (minimum waterdiepte, minimale en maximale stroomsnelheid, en dergelijke) van een beek.

Bij beekherstel dient de dimensionering zodanig te zijn dat bij afvoeren hoger dan 80 % tot 100 % (= maatgevende afvoer) inundatie optreedt. Deze inrichting heeft meerdere positieve effecten op het beekstelsysteem. Enerzijds wordt de afvoer afgevlakt en verminderen debiet en stroomsnelheden in het benedenstroomse deel. Anderzijds wordt de drooglegging geminimaliseerd (een minder diep ingesneden beek met een minimaal profiel alleen noodzakelijk voor de hydraulische capaciteit) en de grondwaterconservering geoptimaliseerd. Het tot op heden gebruikelijke minimaal standaardprofiel (minimale standaard afmetingen), vooral ten behoeve van het onderhoud zo omschreven, moet worden verlaten. De beekdimensies moeten zo klein mogelijk worden gehouden.

Voor stedelijke afvoer en afvoeren van grote verharde oppervlakten in het landelijke gebied gelden afwijkende normeringen. De belasting van het watersysteem vanuit deze oppervlakten is kort en intensief. Infiltratie (paragraaf 3.2.3) is hiervoor de oplossing.

### 3.7.4 Oppervlaktewater hydraulica

Indien een ontwerp van een beek moet worden opgesteld, dient een minimale en maximale stroomsnelheid te worden gehanteerd. In het algemeen geldt in een laaglandbeek een minimale gemiddelde stroomsnelheid van 0.15 m/s (bij gemiddelde jaarafvoer) en een maximale gemiddelde stroomsnelheid van 0.50 m/s in ondiepe beken (< 0.50 m) en tot 0.80 m/s in diepe beken (> 1 m) bij maatgevende afvoer (100 %-afvoer; Petersen et al. 1992; mond. med. R. Laseroms). Voor een heuvellandbeek geldt een stroomsnelheid van 0.50 m/s bij de gemiddelde jaarafvoer tot 0.80 m/s bij de maatgevende afvoer. De waterdiepte is vooral belangrijk in perioden met lage afvoeren. In het algemeen wordt gesteld dat bij een gemiddelde jaarafvoer een minimale waterdiepte van ongeveer 0.20 m aanwezig moet zijn. Het aanbrengen van verdiepingen in tracés zoals stroomkuilen (zie paragraaf 3.3.10) met wel voldoende aanvoer van water (in drogere perioden) is een mogelijkheid om plaatselijk voldoende diepte en daarmee overlevingsmogelijkheden voor beekorganismen te verkrijgen. Bij het ontwerp van watergangen dient aandacht uit te gaan naar het creëren van zoveel mogelijk stromingsdynamiek (in lengte- en dwarsrichting). Mogelijkheden hiervoor worden besproken in paragraaf 3.3. Naast stroomsnelheidsvariatie is het van belang in de beek zoveel mogelijk structuurvariatie te laten ontstaan of in tweede instantie aan te brengen. Structuren, luwtezones, boomwortels, natuurlijke dammen, en dergelijke zijn onmisbaar voor de beeklevensgemeenschap. Het zoveel mogelijk achterwege laten van onderhoud draagt hier sterk aan bij. De watertemperatuur kan worden gedempt door het aanbrengen van beplanting.

### 3.7.5 Tracé en bedding

Wil een beek vrij kunnen meanderen (voldoende ruimte heeft en er geen droogleggings-eisen zijn) dan moet de beek volgens de huidige normen rekentechnisch te klein en te ondiep worden gedimensioneerd. De beek zal zich dan verder op een natuurlijke wijze verder vormen en positioneren.

Daar waar beken niet op natuurlijke wijze kunnen functioneren, doordat vrije meandering niet mogelijk is en andere belangen eisen stellen aan waterstand, drooglegging en veiligheid, zijn intermediaire oplossingen nodig. Bij een twee-fasen bedding wordt het zomerprofiel gedimensioneerd op de 50 %-afvoer oftewel de halve maatgevende afvoer. Bij de halve maatgevende afvoer is het zomerprofiel volledig gevuld. Daarbij kan het zomerprofiel een meanderend karakter met bij voorkeur een sinuositeit groter dan 1,5 (zie paragraaf 1.4.1), krijgen. Het verhang wordt dan op 0,75 maal het terreinverhang gesteld. Deze meandering of zomerbedding is binnen een zogenaamd inundatieprofiel gelegen. Bij hogere afvoeren overstroomt het zomerprofiel en wordt het inundatieprofiel mede maatgevend. Het inundatieprofiel meandert niet. Vaak voldoet hiertoe een stationaire rekenmethode bij een normaal neerslag-afvoer patroon.

### 3.7.6 Ecologisch onderhoud en beheer

Met het uitvoeren van beekherstelmaatregelen wordt getracht een ontwikkelingsproces op gang te brengen of een bepaalde Ausgangssituatie te creëren voor de beeklevensgemeenschappen. Het initiëren van bepaalde processen en/of het scheppen van patronen die een gewenste ontwikkeling van beeksystemen voorstaan alléén, is vaak onvoldoende. Er moet ook aandacht worden geschonken aan de wijze waarop de betreffende beek en het beekdal in de toekomst worden beheerd en onderhouden. Het beheer en onderhoud na een herstellingreep is erop gericht de doelen van het herstelproces te ondersteunen en te bevorderen.



Natuurlijke beken hebben in het algemeen geen onderhoud nodig. Ze zijn zeer goed in staat zichzelf te onderhouden. Echter bij half-natuurlijke en multifunctionele beken is niet altijd voldoende ruimte om inundatie of meandering te laten plaatsvinden. Dan is onderhoud nodig. Uitgangspunt is steeds onderhoud zo minimaal mogelijk te houden. Wanneer beken niet beschaduwd zijn, kan het regelmatig verwijderen van de waterplanten noodzakelijk zijn.

Het onderhoud van watergangen is tot op heden gericht op het veilig stellen van de watervoerende en/of waterbergende functies van die watergangen. Daarbij speelt de functietoekenning aan die wateren een belangrijke rol. Het gebruiksbelang en de aanwezige of potentiële ecologische- en landschapswaarden zijn bepalend voor de funktietoekenning, die daarmee richting geeft aan het beheer en onderhoud. In de huidige situatie zijn de rationaliteit van toe te passen methoden en kosten-baten afwegingen echter vaak nog van doorslaggevende betekenis.

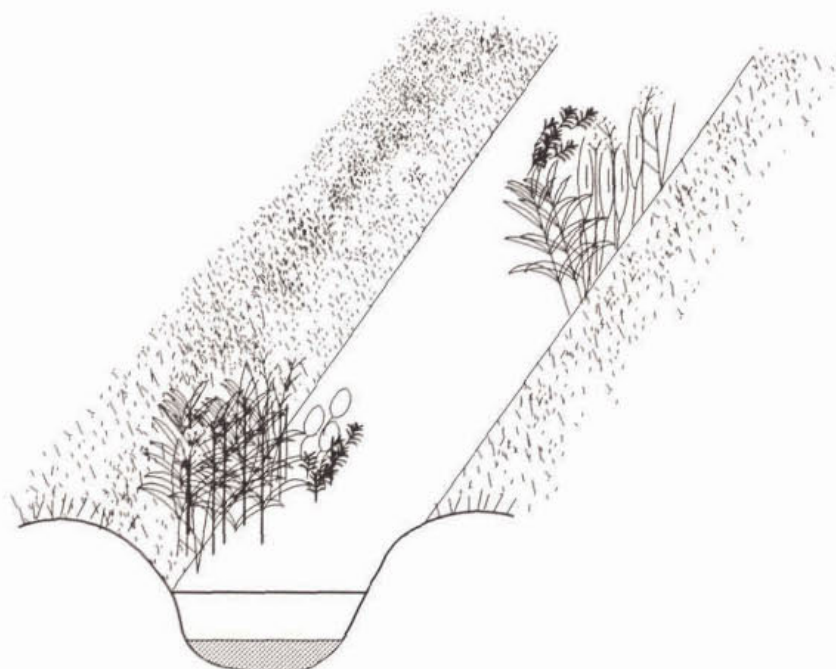
Organisch materiaal speelt een belangrijke rol voor de verscheidenheid aan organismen in het aquatisch ecosysteem, en vormt een belangrijke factor bij beekherstel en het daaruit voortvloeiende onderhoud. Een deel van de organische structuren hebben een nauwe relatie met de hydrologie van het beeksysteem en de hydraulica ter plaatse. Organische structuren bergen het merendeel van de levensgemeenschap en juist deze structuren worden vooral bij piekafvoeren losgeslagen en verplaatst met alle gevolgen voor de beekbewoners. Een vermindering van de afvoerdynamiek door vooral aftopping van de piekafvoeren komt de verblijftijd van organische structuren ter plaatse met de daarop verblijvende levensgemeenschap, sterk ten goede. De organische structuren zijn een integraal onderdeel van het beeksysteem en het beheer en onderhoud moeten hierop worden afgestemd. Het voornaamste kenmerk in het beheer en onderhoud is het, waar mogelijk, ongemoeid laten van alle organische structuren.

Het onderhoud heeft grote gevolgen voor het aquatische ecosysteem. Intensief onderhoud vermindert de stabiliteit. Het verwijderen van blad en takken, hogere waterplanten en mospakketten uit de beek tast het ecosysteem ernstig aan en moet zoveel mogelijk vermeden worden. Deze directe en indirecte woonplaatsen van vissen en vele ongewervelde dieren zijn van levensbelang. Daarnaast zorgen deze structuren voor een variatie in het beekmilieu (stroomversnellingen, watervalletjes, turbulentie, stilstaand water zones, detrituspoeltjes, en dergelijke) en aeratie van het beekwater. Als richtlijn kan worden aangehouden dat bij een ongestoorde beek met begroeide oevers de beekbodem voor circa 25 % bestaat uit detritus en voor circa 25 % uit blad en takken. Het overige deel heeft een minerale samenstelling. Dit geldt voornamelijk in bovenlopen.

Meer naar benedenstreams wordt de rol van takken en blad overgenomen door hogere waterplanten. Bij elke maaibeurt neemt de biomassa van hogere waterplanten af. Het aantal plantensoorten neemt na het maaien waarschijnlijk eerst slechts licht af, gevolgd door een periode waarin het aantal soorten aanzienlijk afneemt omdat dominante soorten gaan overheersen. Na verloop van tijd neemt de ter plekke thuishorende successie z'n loop en herstelt de gemeenschap zich (Lewis & Williams 1984). Een maaibeurt heeft niet alleen gevolgen voor de plantengemeenschap maar ook voor de macrofauna. Als gevolg van maaien neemt de diversiteit binnen de macrofaunagemeenschap af in de daarop volgende periode. Bij weteringen in de Liemers is vastgesteld dat het aantal soorten haftelarven, waterkevers, wantsen, slakken en bloedzuigers daardoor aanzienlijk daalde (Paarlberg & Torenbeek 1985).

Bij multifunctionele, vaak onbeschaduwde, beken is vaak een hoger bedekkingspercentage aan hogere waterplanten aanwezig. Aangepast onderhoud kan hier bestaan uit het verwijderen van niet alle vegetatie (bijvoorbeeld aan één zijde of pleksgewijs; figuur 3.15), het verminderen van de maaifrequentie, en dergelijke). Dit heeft een verminderde afvoercapaciteit tot gevolg waardoor het in de praktijk vaak alleen wordt toegepast indien van enige overdimensionering sprake is. Noodzakelijk is dit echter niet omdat de





**Figuur 3.15** Aangepast onderhoud waarbij plukken vegetatie worden gespaard en een micro-meandering wordt geïntroduceerd.

afvoer in de zomerperiode, wanneer de vegetatie voor weerstand zorgt, toch lager is. Door een minder intensieve schoning kan een stuwend effect optreden ten aanzien van de basisafvoer in de zomer waardoor de kans op te lage waterstanden wordt vermindert. Bij incidentele topafvoeren daarentegen zal de vegetatie door het water worden weggedrukt waardoor de weerstand aanzienlijk kan afnemen en het gevaar voor wateroverlast meestal niet groter is dan in onbegroeide wateren (Pitlo & Dawson 1990). Bij lokaal optredende problemen in de waterafvoer kunnen door selectief maaien

dan alsnog de vegetatiepakketten die de afvoer belemmeren, worden verwijderd. Om ongewenste effecten te voorkomen kan verwijdering ook plaatselijk, bijvoorbeeld bij bruggen, bebouwing en leidingen, noodzakelijk zijn. Dit dient met zorg, liefst in handkracht en selectief, te gebeuren. Kleinere ophopingen van organisch materiaal en plaatselijke macrofyten en mosbegroeiingen dienen te worden gespaard. Hierdoor worden de functies van het organisch materiaal ten dele behouden. Dit vereist een beheer met "Fingerspitzengefühl".

De onderhoudsfrequentie is van groot belang voor de vegetatie en de fauna in de beek. Hier is het gewenst te zoeken naar een optimum. Het instandhouden van de beoogde doorvoercapaciteit dient te worden gerelateerd aan ecologische maar ook aan bedrijfs-economische belangen. Een lage onderhoudsfrequentie dient beide belangen. Toch zijn er beken waar drie tot zes maal per jaar wordt gemaaid. Er bestaan aanwijzingen dat het te vaak maaien van wortelende waterplanten de snel groeiende waterplanten bevordert, hetgeen weer stimuleert dat vaker wordt gemaaid (Moss 1988, Bloemendaal et al. 1988). Daarnaast blijkt de vegetatie bij herhaald maaien een steeds hogere stromingsweerstand te ontwikkelen (Querner 1993, Fisher 1993). Een te vroege maaibeurt kan ook tot gevolg hebben dat snel groeiende waterplanten worden gestimuleerd (waterpest (*Elodea spp.*), hoornblad (*Ceratophyllum spp.*)) waardoor soorten als waterranonkel (*Ranunculus spp.*) en fonteinkruiden (*Potamogeton spp.*) worden benadeeld (Hoogers 1966, De Lange & Van Zon 1978).



Uit berekeningen voor het stroomgebied van de Poelsbeek en Bolscherbeek in Twente bleek dat voor de meeste jaren één keer onderhoud per jaar voldoende is (Querner 1993). Een schema met één beurt gedurende het groeiseizoen en één voor de winter is een alternatief. Het onderhoud wordt bij voorkeur gefaseerd uitgevoerd waarbij steeds slechts één talud wordt meegenomen. Bij het onderhoud van een talud wordt de vegetatie direct nabij de waterlijn zo mogelijk niet verwijderd. Het onderhoud van de bodem geschiedt zo mogelijk ook gefaseerd, zowel in de lengte als in de breedte van het profiel. Hiermee wordt voldoende afvoercapaciteit gegarandeerd en blijft een deel van de vegetatie gespaard om als schuilplaats te dienen voor de fauna. Het maaisel moet direct uit het profiel worden verwijderd en eventueel verder worden afgevoerd om secundaire voedselverrijking te voorkomen.

Het tijdstip van maaien dient te worden afgestemd op de aanwezige belangen en de functie van de beek. Hierbij spelen de volgende elementen een rol;

- voortplantingsseizoen amfibieën,
- \* paaitijd vissen,
- bloeitijd en zaadsetting van planten.

Het behoeft geen betoog dat het onderhoud voor elke beek specifiek moet worden vastgesteld en afgestemd op de ecologische functie en andere aanwezige belangen.

Een aantal methoden voor aangepast onderhoud wordt in beperkte mate reeds toegepast, zoals eenzijdige maaibeurten, selectief maaien van de oever en selectief opschonen van de bodem. Het onderhoud kan op verschillende manieren geschieden, hetgeen vaak afhankelijk is van de situatie, zoals de te overbruggen breedte en de aanwezige ruimte. Veelal wordt het machinaal uitgevoerd. Handmatig maaien heeft echter de voorkeur. Hierbij wordt minder gelijkmatig gewerkt en hebben organismen de tijd om tijdelijk te vluchten. Om financieel-economische redenen zullen vooral in multifunctionele beken machinale onderhoudsmethoden de voorkeur hebben. Eenzijdig en selectief maaien kan dan beperkt bijdragen aan behoud en ontwikkeling van ecologische waarden. Indien de waterbreedte slechts enkele meters is, is een werkp pad maar aan één zijde noodzakelijk, en kan de andere zijde natuurvriendelijk worden ingericht. Onderhoudsmachines die helemaal geen werkp ad behoeven lijken nog perspectief voller. Deze machines gaan echter amfibisch op rupsbanden door de beek of rijden op hydraulisch verplaatsbare wielen op de oevers aan weerszijden van de beek. Het blijkt dat de mechanische verstoring van de bodem en oever die deze machines veroorzaken zo groot is, dat het gebruik ervan moet worden afgeraden. Daarnaast is voor dergelijke machines vaak ook een zekere vorm van normalisatie van het profiel noodzakelijk. Praktijkproeven hebben uitgewezen dat het openhouden van een relatief smalle baan in een watergang voldoende doorstromingsmogelijkheden biedt.

Bij het beperken van de waterplantengroei kan gebruik worden gemaakt van de schaduwwerking van oevervegetatie. Bij natuurlijke en half-natuurlijke beken behoren beekbegeleidende houtopstanden. Bij multifunctionele beken zijn die veelal afwezig. Beschaduwning vanaf de noordzijde leidt tot 20 % minder biomassa waterplanten, en vanaf de zuidzijde tot aanzienlijk meer dan 20 % biomassa afname (Moss 1988). In de praktijk blijken deze cijfers echter per situatie sterk te kunnen verschillen. Beplanting van een gedeelte, bijvoorbeeld 20 meter per 100 m beeklengte, kan al een aanzienlijke verbetering betekenen.

Chemisch onderhoud wordt nauwelijks nog toegepast. In incidentele gevallen, indien in de directe omgeving overlast of schade ondervindt, worden distels en brandnetels met bestrijdingsmiddelen behandeld. Soms worden ook in (droogvallende) watergangen herbiciden gebruikt (zoals Dalapon, Dichlobenil). In de meeste gevallen kan dit met ecologische gerichte herinrichting worden voorkomen.

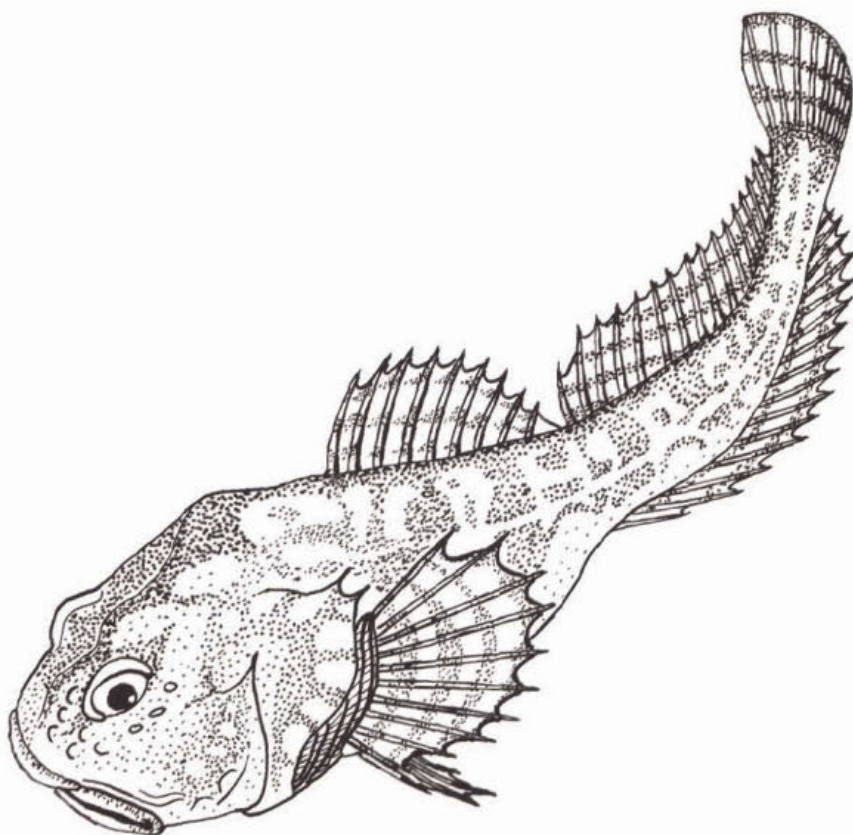


Er bestaan veel misverstanden over de kosten van ecologisch beheer en onderhoud. De kosten worden veelal uitgedrukt in munteenheid per strekkende meter beek. De kosten zijn in ieder geval afhankelijk van de dichtheid van het net aan watergangen en van het aantal onderhoudsbeurten per seizoen. Op basis van praktijkgegevens in Duitsland concluderen Lange & Lecher (1993) dat de onderhoudskosten voor beken met houtopstanden op de oevers van natuurlijke en half-natuurlijke beken bij benadering even groot zijn als die voor multifunctionele beken zonder houtopstanden. Moss (1988) concludeert daarentegen op basis van ervaringen in Engeland dat de kosten voor natuurvriendelijk onderhoud soms tweemaal hoger zijn dan bij traditioneel onderhoud.

Een vaak vergeten factor is de kundigheid van personeel dat zich bezig houdt met het dagelijks onderhoud aan watergangen. Ook op dat vlak is opleiding noodzakelijk. Het kunnen waarnemen van ecologische waarden draagt bij om in het veld een gedifferentieerde kijk op het onderhoud te ontwikkelen en die te kunnen toepassen. In Denemarken is een opleidingsprogramma op ecologische grondslag gestart voor personeel dat onderhoudswerkzaamheden uitvoert.

Uitgangspunten voor onderhoud zijn;

- \* onderhoud beperken (bij natuurlijke beken géén onderhoud),
- \* onderhoud meer gericht op het instandhouden van organische structuren in de beek en op het handhaven van beekbegeleidende houtopstanden en structuurrijke oeverbegroeiing,
- \* meer onderhoud in handkracht uitvoeren vooral bij natuurlijke en half-natuurlijke beken,
- \* bij multifunctionele beken is een eenzijdig werkpad voldoende, de andere zijde natuurvriendelijk inrichten,
- \* planten nooit volledig verwijderen en indien mogelijk onderhoud richten op de soorten die de snelste groei vertonen.



Rivierdonderpad; een onopvallende beekbewoner





De laatste waardevolle beken in Nederland

## 4. MONITORING

### 4.1 Inleiding

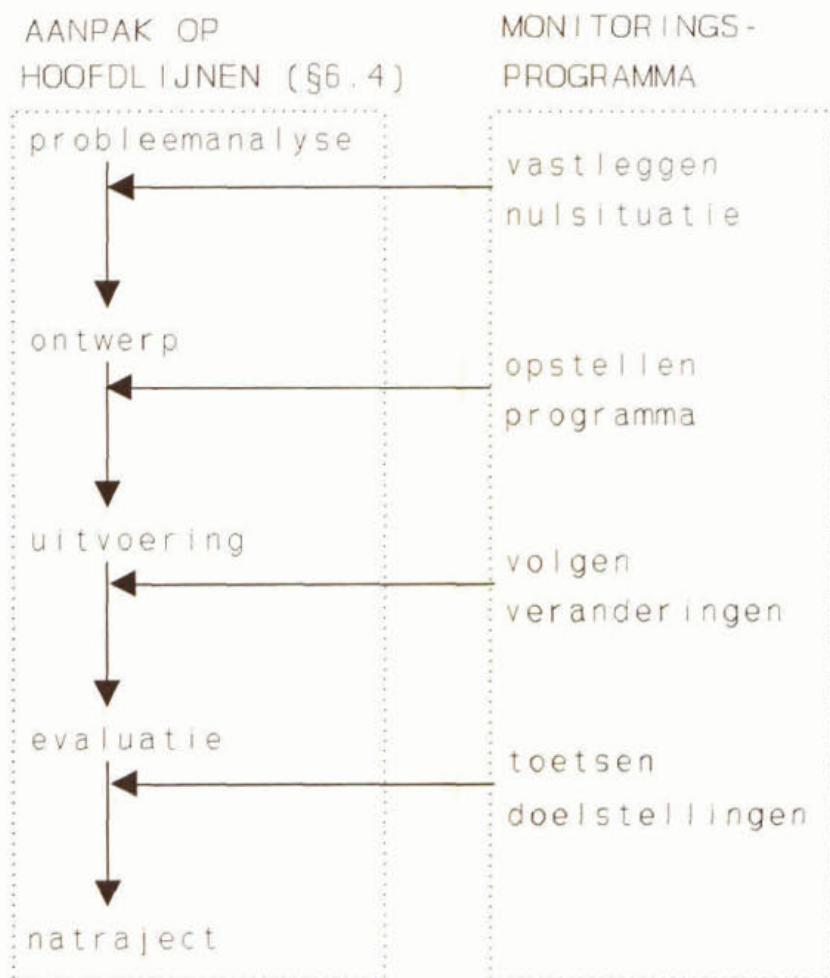
Monitoring kan omschreven worden als het volgen in de tijd van één of meer fysische, chemische en/of biotische kenmerken van een watersysteem volgens vooraf vastgestelde methoden. Het volgen van het beekstelsysteem na de ingreep oftewel het monitoren is een uiterst belangrijk aspect van een beekherstelproject. Monitoring biedt de mogelijkheid om vast te stellen of een beekherstelproject al dan niet succesvol is. Blijkt dat niet zo te zijn dan bieden de monitoringsgegevens aanknopingspunten voor bijstelling. Bij een ecologisch beekherstelproject staat het verbeteren van de levensgemeenschap en het ecosysteem voorop en zal monitoring altijd biotische kenmerken bevatten.

In dit hoofdstuk worden geen nieuwe monitoringssystemen gepresenteerd. Er wordt verwezen naar bestaande methoden en technieken. Aandacht wordt onder andere besteed aan te kiezen factoren, monitoringsmethoden en -frequenties. De weergegeven informatie is een hulpmiddel om een afgewogen monitoringsprogramma samen te stellen. De nadruk ligt op die biotische en abiotische factoren van het beekecosysteem waarin veranderingen kunnen worden verwacht. Hierbij krijgen de biotische factoren als volgvariabelen van deze veranderingen extra nadruk. Doordat de reactie van de biotische factoren op de maatregelen verschilt van de reactie van de abiotische factoren zal het monitoringsprogramma daarop afgestemd worden. Vooral de meetfrequentie in de tijd, maar ook de meetdichtheid in de ruimte zal verschillend zijn. Met de meetfrequentie wordt het aantal metingen of opnamen per meetjaar en het aantal herhalingen over de jaren (de planperiode) bedoeld. De per project te kiezen frequentie hangt nauw samen met de aard van de doelstellingen en de te nemen maatregelen. Het totale herstelproces neemt vaak minstens 30 jaar in beslag. In het monitoringsprogramma zal de frequentie vaak afgestemd worden op de doelen van korte, middellange en lange termijn. De in het vervolg gegeven getallen voor de meetfrequentie zijn indicatief en opgenomen als grootste gemene deler. Naast de spreiding in de tijd bevat een meetprogramma ook een spreiding in de ruimte. Deze ruimtelijke dichtheid van meetpunten is sterk afhankelijk van de te onderzoeken factoren en de ruimtelijke aard en omvang van het project.

Een totaal monitoringsprogramma bevat de beschrijving van de nulsituatie, het eigenlijke meetprogramma na de ingreep en de evaluatie van de resultaten. Het is onmogelijk één algemeen geldend en overal bruikbaar monitoringsprogramma op te zetten. Het monitoringsprogramma moet altijd opgesteld worden in het licht van de knelpunten, de doelstellingen en de te nemen maatregelen van het herstelproject (Osborne et al. 1993). De keuze van de te monitoren cq. te meten variabelen is direct afhankelijk van de doelstellingen en is in een ecologisch beekherstelproject altijd in belangrijke mate gericht op biotische factoren. Voor elk herstelproject moet een eigen monitoringsprogramma opgesteld worden. Op welke wijze en op welk moment de effecten van het beekherstelproject gevolgd zouden moeten of kunnen worden is vaak nog onduidelijk. Praktische ervaringen voor de Nederlandse situaties ontbreken voorsnog. Verder mogen in het monitoringsprogramma de evaluatietechnieken niet ontbreken. Onder evaluatie wordt verstaan het toetsen van de monitoringsresultaten aan de doelstellingen. Het evalueren van effecten van maatregelen in het licht van de doelstellingen is van belang voor het vaststellen van het succes van een project en voor het verkrijgen van inzicht in de effectiviteit van betreffende maatregelen voor toekomstige projecten.

Al bij de probleemanalyse (zie ook hoofdstuk 6) komen elementen aan de orde die van belang zijn voor het opstellen van het monitoringsprogramma (figuur 4.1). Bij het





*Figuur 4.1 De relatie tussen het monitoringsprogramma en de aanpak op hoofdlijnen van een beekherstelproject (zie hoofdstuk 6).*

opstellen van een herstelplan moeten de doelstellingen op een zodanige wijze geformuleerd worden dat bij de evaluatie deze doelstellingen getoetst kunnen worden. Het ontbreken van een expliciete omschrijving van doelstelling en verwacht eindresultaat kan er toe leiden dat met het voorgestelde monitoringsprogramma de vraagstelling niet beantwoord kan worden (Meijers & Van Selm 1982). Voor beekherstelprojecten is het noodzakelijk aan te geven in welke richting het beekecosysteem zich moet gaan ontwikkelen (Herricks & Osborne 1985). Hiertoe moeten zowel de processen die werken in de richting van het eindresultaat, de variabelen die zich gedurende de ontwikkeling wijzigen (voor een eventuele bijsturing tussentijds) en het eindresultaat zelf in de vorm van referentie en/of streefbeelden, worden beschreven. Tevens moet worden aangegeven welke monitorings- en evaluatiemethoden gebruikt gaan worden. Uiteraard moeten de variabelen zoveel mogelijk worden gekwantificeerd.

De te nemen maatregelen zijn afhankelijk van de uitgangssituatie en de doelstellingen, en kunnen per project zeer verschillend zijn. Uit de maatregelen en de doelstellingen worden de variabelen afgeleid die gemeten gaan worden. Doelstellingen en variabelen bepalen samen de meetfrequentie. Is de doelstelling gericht op het verbeteren van de levensomstandigheden van één of enkele vissoorten door de aanleg van een vispassage, dan kan volstaan worden met het monitoren van deze soort of soorten vóór, en tot enkele jaren na de aanleg. Is de doelstelling echter gericht op het herstellen van de aquatische levensgemeenschap door het graven van meanders, dan moeten variabelen uit de factorcomplexen stroming en structuren en de relevante aquatische levensgemeenschap over een langere periode onderzocht worden.



Genormaliseerde bovenloop in Overijssel; aanplant houtwal

(foto P. Verdonschot)



Verticale beworteling van els

(foto P. Verdonschot)





**Kroonbeek (Limburg); driehoekskrib**

*(foto P. Verdonschot)*



**Swalm; vistrap**

*(foto P. Verdonschot)*



## 4.2 Het monitoringsprogramma

### 4.2.1 Keuze van te monitoren factoren

De wijze waarop het monitoringsprogramma van het herstelproject wordt opgezet, uitgevoerd en geëvalueerd, is afhankelijk van de gestelde doelstellingen en daarmee van de genomen maatregelen. Daarnaast bepalen praktische en financiële grenzen mede de omvang van het monitoringsprogramma. Voor het volgen en beoordelen van effecten van maatregelen wordt gebruik gemaakt van die factoren die het beste reageren op de genomen maatregelen onder de gegeven omstandigheden. Maar ook de doelstellingen bepalen mede de uiteindelijke keuzen van de te monitoren factoren.

Het uiteindelijke doel van ecologisch beekherstel is gericht op de levensgemeenschappen en aan deze levensgemeenschappen zal bij de evaluatie altijd getoetst moeten worden. Alleen aan het herstel van de levensgemeenschappen kan worden afgelezen of alle beperkende factoren zijn opgeheven. De uiteindelijke effecten van genomen maatregelen kunnen worden afgelezen aan de ontwikkeling van de biotische factoren, met andere woorden getoetst aan de doelstellingen. Dit vormt het belangrijkste onderdeel van het monitoringsprogramma. De relaties tussen doelstellingen (zie hoofdstuk 3) en indicatieve waarden van proces- én patroonaspecten worden in tabel 4.1 aangegeven. Door middel van verschillende symbolen is de grootte-orde van de verwachte indicatiewaarden aangeduid.

Naast de doelstellingen wordt het monitoringsprogramma mede bepaald door de gekozen maatregelen. Behalve het herintroduceren van soorten zijn alle maatregelen gericht op het verbeteren van de levensomstandigheden van soorten en levensgemeenschappen. Met andere woorden gericht op het verbeteren van abiotische en soms biotische omstandigheden. De effecten van de genomen maatregelen zijn dan ook goed af te lezen aan deze abiotische factoren. De keuze van de te meten factoren hangt af van de doelstelling-maatregel-effect relaties. In hoofdstuk 3 zijn tabellen gepresenteerd waarin de respons van de procesaspecten per maatregelgroep is aangegeven. Maar daarmee is dat beïnvloede procesaspect nog geen goede factor om te monitoren. In het licht van de maatregelen moeten de meest indicatieve, meetbare factoren worden geselecteerd. Dit geldt niet alleen voor de volg- of patroonaspecten van soorten (zie tabel 4.1) maar ook voor de stuur- of procesaspecten van stroming, structuren en stoffen. De tabellen 4.2, 4.3 en 4.4 geven voor elk van de factorcomplexen stroming, structuren en stoffen de indicatiewaarde per maatregelgroep aan. Door middel van verschillende symbolen is de grootte-orde van de verwachte indicatiewaarde en daarmee de monitoringswaarde aangeduid.

Het herstel van soorten en levensgemeenschappen vraagt vaak meer tijd dan het herstel van abiotische factoren maar is niet minder belangrijk. Ook tussen maatregelen en soorten bestaan allerlei relaties. Wanneer bijvoorbeeld de maatregel gericht is op het terugdringen van de organische verontreiniging van het beekwater, en de doelstelling is het verbeteren van de beeklevensgemeenschap, dan kan het effect hiervan het best gevolgd worden met factoren waarvan de respons aansluit bij de te verwachten effecten. Aan abiotische variabelen, in dit geval gericht op de zuurstofhuishouding en het organisch stofgehalte, kunnen dan al snel na het nemen van de maatregelen effecten worden afgelezen. De biotische variabelen reageren trager. Het zijn de volgvariabelen van veranderingen in abiotische omstandigheden waardoor effecten hierop pas na verloop van tijd worden waargenomen en kunnen worden getoetst. Hiertoe worden de meest indicatieve biotische factoren (groepen van organismen) gekozen. De ontwikkelingen in de gekozen te monitoren biotische variabelen laten uiteindelijk zien of de maatregel ook werkelijk leidt tot verbetering van de levensgemeenschap. In het voorbeeld een toename van het aantal zuurstofminnende soorten en een afname van het aantal slibbewoners.



Tabel 4.1 Relatie doelstelling - abiotische en biotische aspecten.

procesaspect doelstelling	STROMING			STRUCTUREN			STOFFEN			
	grond- water	opp. hydrol.	opp. hydraul.	tracé	bedding	substr. mozaiek	O <sub>2</sub> / org. mat.	voed. stof	macro- ionen	micro- veront.
vergroten grondwaterberg.	■	□	□	□	•	•	•	○	■	○
verbeteren opp. hydrologie	□	■	□	□	■	□	•	○	•	○
verbeteren opp. hydraulica	•	□	■	•	□	■	•	○	○	○
verbeteren tracé	○	□	■	■	■	■	•	○	○	○
optimaliseren beddingstr.	○	□	□	•	■	■	○	○	○	○
vergroten var. substr.moz.	○	•	□	○	•	■	○	○	○	○
verbeteren zuurstof/ verminderen org. belast.	○	○	○	○	○	□	■	□	•	•
verminderen toev. voed.	○	○	○	○	○	•	□	■	□	•
terugdringen micro-veront.	○	○	○	○	○	○	•	•	•	■
optimaliseren onderhoud	○	•	□	•	□	■	•	•	○	○

legenda: indicatieve waarde; ○ = laag, • = matig, □ = redelijk, ■ = hoog

patroonaspect doelstelling	SOORTEN					
	oeverplanten	waterplanten	diatomeeën	macrofauna	vissen	overige organ.
vergroten grondwaterberg.	■	•	•	□	•	□
verbeteren opp. hydrologie	•	•	•	■	■	•
verbeteren opp. hydraulica	○	•	□	■	□	○
verbeteren tracé	□	•	□	■	□	□
optimaliseren beddingstr.	□	□	•	■	□	•
vergroten var. substr.moz.	○	•	□	■	•	○
verbeteren zuurstof/ verminderen org. belast.	•	□	■	■	□	•
verminderen toev. voed.	□	■	■	□	•	□
terugdringen micro-veront.	○	•	•	■	■	■
optimaliseren onderhoud	■	■	•	•	•	•

legenda: indicatieve waarde; ○ = laag, • = matig, □ = redelijk, ■ = hoog

De tabellen 4.1 tot en met 4.4 zijn niet gedetailleerd genoeg om een op lokatie gericht, definitief monitoringsprogramma op te stellen. Ze zijn bedoeld als leidraad voor de invulling van een monitoringsprogramma. Het feitelijke programma wordt ingevuld aan de hand van specifieke kenmerken, eisen en randvoorwaarden van het herstelproject.

#### 4.2.2 Keuze van meetfrequentie en verwerkingstechnieken

Om inzicht te krijgen in veranderingen die optreden na de uitvoering van maatregelen is het nodig de uitgangs- of nulsituatie, de toestand voor de uitvoering, te beschrijven. Wordt de nulsituatie niet vastgelegd dan wordt het moeilijk het effect van de maatregelen vast te stellen. Bij de beschrijving van de nulsituatie moet ook de natuurlijke variatie meegenomen worden. Hierbij moet, afhankelijk van de omstandigheden, gedacht worden aan het beschrijven van seizoensvariaties en/of jaarfluctuaties en ruimtelijke variatie (bijvoorbeeld in diatomeeëngemeenschappen en substraatmozaïeken).

Na uitvoering van de maatregelen wordt op verschillende tijdstippen de toestand, volgens het vastgestelde monitoringsprogramma zonodig op meerdere plaatsen, in beeld gebracht. De meetfrequentie hangt af van de doelstellingen en de responstijd van de te meten variabelen. Bij het uitvoeren van een herstelmaatregel wordt vaak ingegrepen in processen in het beekstelsysteem. Na uitvoering is het proces gewijzigd. Vrij snel na



uitvoering kunnen relevante abiotische factoren die het gewijzigde proces weergeven, worden gemeten en gevolgd. Waar nodig kan worden bijgestuurd. Indien biotische factoren snel wijzigen worden ook deze gevolgd. Dit is belangrijk om eventueel tijdig te kunnen bijsturen. De te kiezen frequentie is afhankelijk van de gekozen te monitoren variabelen, de snelheid waarmee het proces verloopt en de tijd die nodig is tot zich een nieuw dynamisch evenwicht heeft ingesteld. In tabel 3.4 (hoofdstuk 3) is een indicatie van de ontwikkelingstijd van het beekstelsysteem na uitvoering van een bepaalde maatregel aangegeven. Dit is een hulpmiddel bij het bepalen van de meetfrequentie. De biotische factoren zijn in meer of mindere mate volgvariabelen die zich vaak pas na verloop van tijd instellen. Microfyten en microfauna hebben een kortere (weken tot maanden), macrofauna een langere (maanden tot jaren) en macrofyten een lange responstijd (meerdere jaren). De te kiezen biotische meetfrequentie vraagt om een combinatie van de tijdsindicatie van ontwikkelingsprocessen aangegeven in tabel 3.4 en de aard van de te meten biotische factor. Beide zijn onderling sterk gerelateerd. Ook sommige fysische en chemische processen zullen pas na langere tijd stabiel worden, bijvoorbeeld lengte en dwarsprofielvorming. De meetfrequentie moet hierop worden aangepast.

De biotische factoren hebben een langere responstijd dan veel fysische of chemische. Wanneer een langdurig proces in ontwikkeling is kunnen sommige organismengroepen indicatief zijn voor het stadium waarin het ontwikkelingsproces verkeert. Voor de evaluatie of het inzicht in de toestand van het moment of stadium van het proces kan het zinvol zijn om ook op die momenten biologisch te monitoren. In sommige gevallen kan het eenvoudiger of goedkoper zijn om met biologische factoren een verandering van een complex van abiotische factoren weer te geven dan het meten van alle abiotische factoren in tijdreeksen afzonderlijk. Het tussentijds meten van biotische factoren draagt ook bij aan de kennis over ontwikkelingsprocessen en monitoring zelf. Gezien het ontbreken van kennis en ervaring is dit de komende jaren een belangrijk extra argument voor het verrichten van tussentijdse metingen van biotische factoren.

Bij het opstellen van het monitoringsprogramma moet ook de techniek voor het verwerken van de verzamelde gegevens gekozen worden. Verwerkingstechnieken stellen ieder eigen randvoorwaarden. Om de techniek toe te mogen passen moet hieraan zijn voldaan. Dit heeft gevolgen voor de wijze van het verzamelen van gegevens in de tijd. Gedurende de tijd dat het herstelplan gevolgd wordt, moeten de gegevens op vergelijkbare wijze verzameld worden.

#### 4.3 Monitoring van systeemvoorwaarden

Bij beekherstelprojecten worden niet vaak maatregelen ingezet gericht op het factor-complex systeemvoorwaarden. Monitoring is dan ook niet direct nodig. De effecten van bijvoorbeeld klimaatsveranderingen op de resultaten van herstelprojecten mogen echter niet worden onderschat. Hier kan bij monitoring rekening mee worden gehouden. Ook is kennis nodig van een aantal variabelen voor de uitvoer van het gehele project. Deze variabelen worden, meestal éénmalig, bij de nulsituatie beschreven en voor het vervolg als vrij constant beschouwd. Het betreft de volgende variabelen:

<u>procesaspect</u>	<u>variabele</u>
neerslag	neerslag <sup>1,3</sup> (P mm/dag), verdamping <sup>2</sup> (E mm/dag), neerslagkwaliteit <sup>1</sup> (zie stoffen), neerslagoverschot <sup>3</sup> (P-E mm/dag), temperatuur <sup>1</sup> (T °C)
bodem	terreinhelling <sup>1</sup> (TH m/km), bodemopbouw en -samenstelling <sup>3</sup> , doorlatend vermogen <sup>3</sup> (kD m <sup>2</sup> /dag), stromingsweerstand <sup>3</sup> (c dag), berging <sup>3</sup> (V m <sup>3</sup> ), bodemtype <sup>3</sup>

<sup>1</sup> = te meten, <sup>2</sup> = moeilijk meetbaar, <sup>3</sup> = af te leiden



Vaak zijn gegevens hierover te verkrijgen uit andere meetnetten of van andere diensten. Voorbeelden zijn de KNMI-weerstations en staf- en bodemkaarten (hoogtelijnen respectievelijk bodemopbouw en -samenstelling).

#### 4.4 Monitoring van stroming

##### 4.4.1 Inleiding

Onder het factorcomplex stroming vallen alle variabelen die te maken hebben met grondwater en oppervlaktewater hydrologie en hydraulica. De belangrijkste mogelijk te meten variabelen zijn:

<u>procesaspect</u>	<u>variabele</u>
grondwater	infiltratieintensiteit <sup>3</sup> ( $f$ , m/dag), oppervlakkige afstroming <sup>2</sup> (mm/dag), kwelintensiteit <sup>3</sup> ( $U_k$ , m/dag), volume stroom <sup>2</sup> ( $Q/q$ , m <sup>3</sup> /dag), instroming grondwater <sup>3</sup> ( $I_g$ mm/dag), uitstroming grondwater <sup>3</sup> ( $U_o$ , mm/dag), grondwatersnelheid <sup>3</sup> ( $v_o$ , m/d), grondwaterberging <sup>3</sup> ( $S$ m <sup>3</sup> ), grondwaterstijghoogte <sup>1</sup> ( $h$ m + NAP), grondwaterstandsfluctuatie <sup>3</sup> ( $\delta h$ m), grondwaterkwaliteit <sup>1</sup> (zie stoffen)
opp. hydrologie	afvoer <sup>1</sup> ( $Q$ m <sup>3</sup> /s), beddingverhang <sup>1</sup> ( $S_b$ , m/km), waterpeil <sup>1</sup> ( $h$ m + NAP), verval <sup>1</sup> ( $\delta h$ cm), open waterberging <sup>3</sup> ( $V$ m <sup>3</sup> ), waterbalans <sup>3</sup> , waterspiegelverhang (m/km) <sup>1</sup>
opp. hydraulica	stroomsnelheid <sup>1</sup> ( $v$ m/s), stroomsnelheidsprofiel <sup>1</sup> , 'shear stress' <sup>2</sup>

<sup>1</sup> = te meten, <sup>2</sup> = moeilijk meetbaar, <sup>3</sup> = af te leiden

Om in de praktijk aan factoren uit het factorcomplex stroming te kunnen rekenen bestaan diverse computerprogramma's zoals MODFLOW en MICROFEM voor regionale grondwaterstroming, SIMGRO en DEMGEN voor processen in het freatische grondwater, DUFLOW, RUBICON en HYDRA voor niet-stationaire waterbeweging, en DIWA en ISIS voor peilen, debieten en stroomsnelheden van oppervlaktewater in afwateringsstelsels. Afhankelijk van de vragen die beantwoord moeten worden beantwoorden komen verschillende programma's in aanmerking. Een overzicht wordt gegeven door Heikens, Van Leeuwen & Bol (1991), STOWA (1992b) en Geldof & Wentholt (1993).

In tabel 4.2 is de relatie tussen de maatregelgroepen gericht op het factorcomplex stroming en de te verwachten indicatieve waarde van proces- en patroonaspecten van de factorcomplexen stroming, structuren, stoffen en soorten aangeduid.

##### 4.4.2 Grondwater

Beek- en beekdallevensgemeenschappen worden mede door de grondwaterstroming gestuurd. Voor een goed begrip van de hydrologie van het stroomgebied is kennis van de grondwaterstroming en -kwaliteit van groot belang (zie paragraaf 1.3.3).

Het monitoringsprogramma van het grondwater moet worden afgestemd op de lokale en/of regionale hydrologische patronen. Over het algemeen worden raaien van peilbuizen in het meetnet loodrecht op de hoogtelijnen geplaatst (figuur 4.2). De raaien lopen in principe tot de waterscheiding door. Grondwaterstroming wordt gemeten aan de hand van stijghoogten in peilbuizen, eventueel in de verschillende watervoerende lagen. Voorgesteld wordt peilbuizen met een frequentie van 24 maal per jaar op te nemen en dit jaarlijks in de eerste 3-5 jaar te herhalen. Meerdere monitoringsreeksen van verschillende raaien geven een beeld van het gedrag in de tijd (afhankelijk van het neerslagpatroon). Hieruit kunnen per lokatie gemiddelde grondwaterstanden (op jaarbasis of per seizoen) worden berekend. Ook kan een indruk worden verkregen van

de variatie in de grondwaterstand. Dit soort gegevens biedt een goed uitgangspunt voor het bepalen van effecten van bijvoorbeeld waterconserverende maatregelen zoals het verwijderen van drainage.

**Tabel 4.2** Relatie van de maatregelgroepen gericht op het factorcomplex stroming en de proces- en patroonaspecten van de 5 "S-en".

procesaspect maatregelgroep	STROMING			STRUCTUREN			STOFFEN			
	grond- water	opp. hydrol.	opp. hydraul.	tracé	bedding	substr. mozaiek	O <sub>2</sub> / org. mat.	voed. stof	macro- ionen	micro- veront.
verwijderen drainage	■	●								
bevorderen infiltratie	■	●								
wijzigen wateronttrekking	■	●								
ontwikkelen bos	■	○								
aanleggen hydrol. buffer		■	○			○				
hergebruiken gez. effluent		■						■		○
ontwikkelen inundatiezone		■	○							
vergroten retentie		■	○							
herstel oorspr. stroomgeb.		■			●		○	○	○	○
verwijderen stuw		○	■		●					
aanleggen nevengeul		○	■		●					

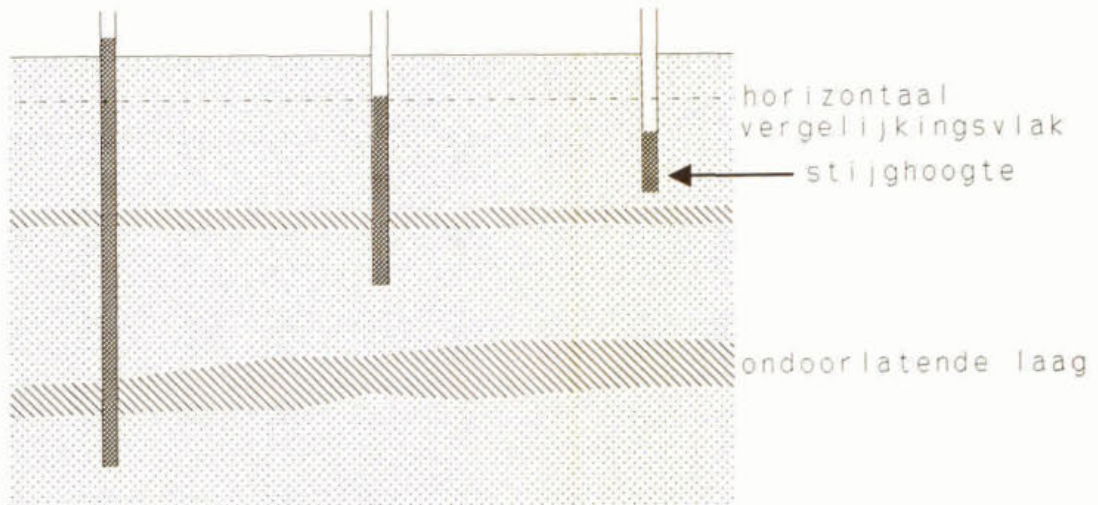
legenda: indicatieve waarde; ○ = laag, ● = matig, ■ = hoog

patroonaspect maatregelgroep	SOORTEN					
	oeverplanten	waterplanten	diatomeeën	macrofauna	vissen	overige organ.
verwijderen drainage	■			●		
bevorderen infiltratie	■			●		
wijzigen wateronttrekking	●			●		
ontwikkelen bos	■			●		●
aanleggen hydrol. buffer	●			●		●
gebruiken effluent	●	●	●	●		
ontwikkelen inundatiezone	●	●		○	○	●
vergroten retentie		○		■	●	
herstel oorspr. stroomgeb.		○		■	●	
verwijderen stuw	●	○		■	●	
aanleggen nevengeul		●	●	■	●	

indicatieve waarde organismengroep; ○ = laag, ● = matig, ■ = hoog

De grondwaterkwaliteit wordt gemeten met watermonsters genomen in peilbuizen. Bij deze metingen moeten vooral de macro-ionen en de voedingsstoffen worden geanalyseerd (zie paragraaf 1.3.3). De bemonstering wordt met een frequentie van 2 maal per jaar en 1 maal per 3-5 jaar herhaald, uitgevoerd. Uiteraard is dit sterk doel- en gebiedsafhankelijk. De herkomst en ouderdom van het grondwater kan op basis van macro-ionen worden gekarakteriseerd met behulp van indelingen naar onder andere Stuyfzand (1986), Van Wirdum (1991) en met behulp van Stiff- en Piperdiagrammen (Piper 1944). De Derde Nota Waterhuishouding (1989) geeft normen voor nutriënteniveaus in grondwater.



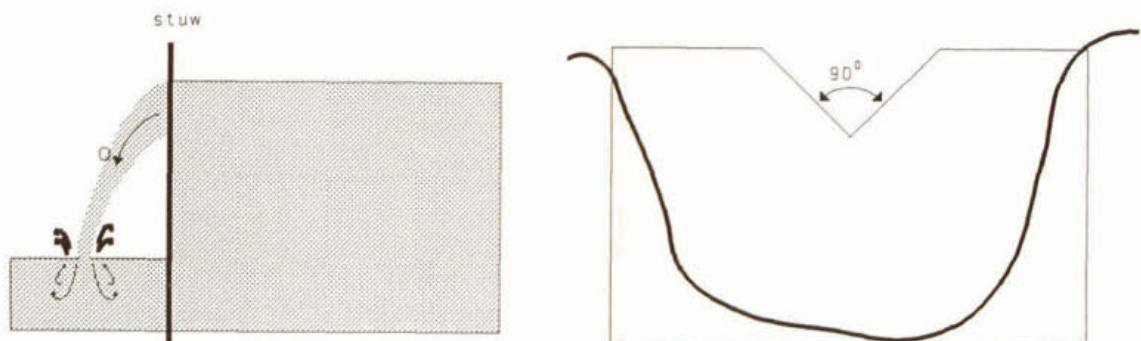


Figuur 4.2 Meting van grondwaterstijghoogten in verschillende watervoerende pakketten (Notier & Van der Velde 1961).

#### 4.4.3 Oppervlaktewater hydrologie

De afvoer en afvoervariatie zijn de belangrijkste hydrologische factoren in de beek (zie paragraaf 1.3.3). Bij het permanent of over lange tijd ontbreken van afvoer kan niet meer worden gesproken van een beek. Om een indruk van de afvoer te krijgen kan volstaan worden met incidentele metingen tijdens extreem hoge en lage afvoeren en onder gemiddelde omstandigheden. Vaak is een nauwkeuriger beeld gewenst waarbij ook variaties in de tijd en de frequenties van afvoerpieken goed in beeld worden gebracht. Hiervoor zijn continue metingen over minstens 1 jaar noodzakelijk.

Voor het meten van de afvoer zijn verscheidene methoden geschikt. Het berekenen van de afvoer kan geschieden op basis van de stroomsnelheid en het natte dwarsprofiel. Vaak zijn hierbij meerdere stroomsnelheidsmetingen noodzakelijk. Het aantal is afhankelijk van de beekdimensies, de uniformiteit van het profiel en de gewenste nauwkeurigheid. Uiteraard moet het natte dwarsprofiel goed ingemeten worden. Het uitvoeren van deze metingen bij een bestaande stuw of duiker verhogen de nauwkeurigheid sterk. Het meten van de afvoer met behulp van stroomsnelheidsmetingen is arbeidsintensief en momentaan. Een voordeel is dat de meting geen extra voorzieningen behoeft.



Figuur 4.3 Meting afvoer over een V-vormige stuw (Notier & Van der Velde 1961).

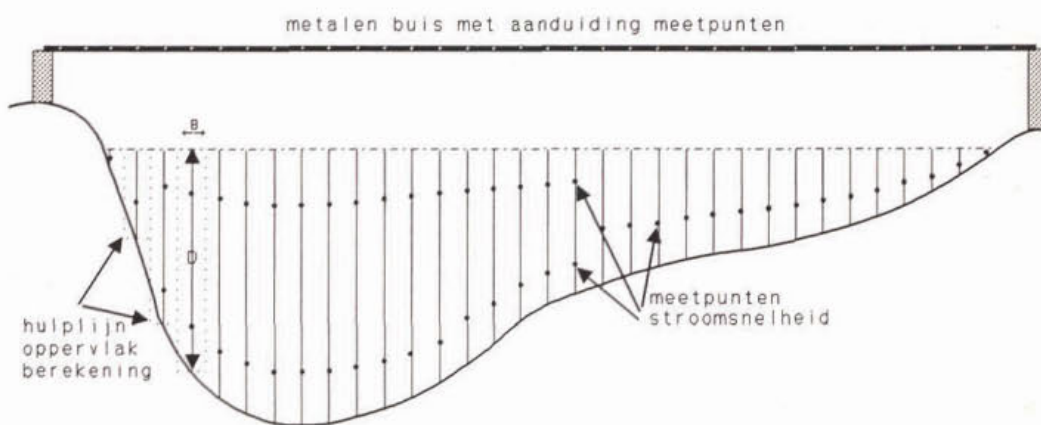
Indien water in vrij verval over een standaard meetstuw zoals bijvoorbeeld een V-vormige stuw (peilstuw; figuur 4.3) stroomt kan op basis van het peil en de afmetingen van de stuw, de afvoer worden bepaald. Met een peilstuw wordt de afvoer nauwkeurig gemeten. Andere voordelen van de peilstuw zijn de eenvoud, de mogelijkheid van continue registratie en de arbeidsextensiviteit. Voor een volledig overzicht van debietmetingen wordt verwezen naar STOWA (1994). Bij het plaatsen van een peilstuw moet worden bedacht dat dit een inbreuk is op het (natuurlijke) karakter van de beek. Bovendien kan het een migratie-barrière voor vis opleveren.

#### 4.4.4 Oppervlaktewater hydraulica

Voor de beeklevensgemeenschap is de variatie in ruimte en tijd van de stroomsnelheid van grote betekenis. Optimalisering van stromingspatronen heeft in veel beekherstelprojecten hoge prioriteit.

De stroomsnelheid kan met een mechanische of een electro-magnetische stroomsnelheidsmeter gemeten worden. De electromagnetische stroomsnelheidsmeter heeft als voordeel dat de stroomsnelheid direct afleesbaar is. Een ander voordeel is dat ook gemeten kan worden bij lage stroomsnelheden, in vegetaties, in beken waar veel materiaal transport plaatsvindt en op ondiepe plaatsen.

Door de stroomsnelheid op verschillende diepten en posities in het natte dwarsprofiel te meten kan een stromingsprofiel worden verkregen (figuur 4.4). Het aantal benodigde metingen is afhankelijk van de diepte, de variatie in het stroombed en in het afvoerpatroon, en de gewenste nauwkeurigheid. In ondiepe beken ( $< 0.5$  m) kan worden volstaan met één meting per 0.25-0.50 m breedte. De meting wordt op een diepte van  $0.4 \times$  diepte uitgevoerd (Gordon et al. 1992). Bij diepere beken wordt aanbevolen op meerdere dieptes (bijv. 0.2 en 0.8  $\times$  diepte of 0.2, 0.4 en 0.8  $\times$  de diepte) te meten waarbij per 0.50-1.00 m breedte wordt gemeten. De metingen van stroomsnelheid dienen bij voorkeur op dezelfde locaties plaats te vinden als de metingen van het dwarsprofiel. Indien de metingen van de stroomsnelheid eveneens dienen voor afvoerberekeningen is dit zelfs noodzakelijk.



Figuur 4.4 Meting stroomsnelheidsprofiel (naar Gordon et al. 1992).



## 4.5 Monitoring van structuren

### 4.5.1 Inleiding

Onder het factorcomplex structuren vallen alle variabelen die te maken hebben met tracé, bedding en substraatmozaïeken. De belangrijkste mogelijk te meten variabelen zijn:

<u>procesaspect</u>	<u>variabele</u>
tracé	tracévorm <sup>1</sup> , dimensies <sup>1</sup> (sinuositeit (lengte beek/lengte dal); meanderlengte en -breedte, bochtstraal), beddingverhang <sup>1</sup> , zandtransport <sup>2</sup> ( $T$ m <sup>3</sup> /dag; bodemtransport ( $T_b$ m <sup>3</sup> /dag), zwevend transport ( $T_v$ m <sup>3</sup> /dag)), sedimenttransporterend vermogen <sup>3</sup> (TV), aanvoer sediment <sup>2</sup> ( $T_m$ ), afvoer sediment <sup>2</sup> ( $T_{uit}$ )
bedding	vorm <sup>1</sup> , dimensies <sup>1</sup> (breedte (b m), diepte (d m), natte doorsnede (A m <sup>2</sup> ), natte omtrek (P m), hydraulische straal ( $R = A/P$ m), hydraulische diepte (D m), samenstelling bodem ( $D_b$ ) en oever <sup>1</sup> ( $D_o$ ) (korrelgrootte verdeling, organische stof (%)), beddingweerstand <sup>3</sup> ( $k_M$ )
substraatmozaïeken	visuele minerale en organische structuren <sup>1</sup> (bijvoorbeeld mossen, hogere planten, zandbanken, detritusophopingen, erosie/sedimentatiezones, dammen)

<sup>1</sup> = te meten, <sup>2</sup> = moeilijk meetbaar, <sup>3</sup> = af te leiden

Om inzicht te krijgen in de morfologische effecten (stabiliteit en morfodynamiek) van een bepaalde maatregel zijn verschillende computerprogramma's beschikbaar. Dit is onder meer mogelijk met behulp van modelberekeningen met sommige HYDRA-applicaties, MIKE, SOBEK en DIWA voor het ontwerp van waterlopen, sedimenttransport en meandering. Voor sedimenttransport- en bochtberekeningen zijn gegevens voor waterbeheersplannen, debietmetingen, korrelgrootte-analyses van het beddingmateriaal en afmetingen van de aanwezige bochten nodig (Bouwknegt & Gelok 1992). Een overzicht van beschikbare modelprogrammatuur wordt gegeven door Heikens, Van Leeuwen & Bol (1991), STOWA (1992b) en Geldof & Wentholt (1993).

In tabel 4.3 is de relatie tussen de maatregelgroepen gericht op het factorcomplex structuren en de te verwachten indicatieve waarde van proces- en patroonaspecten van de factorcomplexen stroming, structuren, stoffen en soorten aangeduid.

### 4.5.2 Tracé

Voor het inmeten van vooral de horizontale positie van het tracé en de tracé-ontwikkeling zijn luchtfoto's een geschikt hulpmiddel. Meer gedetailleerd kan de verticale positie het tracé worden ingemeten met een waterpasinstrument.

Aan de beddingvorm en -dimensies is het transport van materiaal gekoppeld (zie paragraaf 1.4.1). Het transport van gesuspendeerd materiaal (waaronder zand; figuur 4.5) kan vooraf worden berekend, direct worden gemeten of afgelezen worden aan de profielafmetingen. Voor het vooraf berekenen van het te verwachten zandtransport is een aantal formules beschikbaar. Bouwknegt en Gelok (1992) geven hier een goed overzicht van. Voor het gebruik van deze formules is in elk geval inzicht nodig in de te verwachten stroomsnelheden en de korrelgrootteverdeling van beekbodem en taluds.

Tabel 4.3 Relatie van de maatregelgroepen gericht op het factorcomplex structuren en de proces- en patroonaspecten van de 5 "S-en".

procesaspect maatregelgroep	STROMING			STRUCTUREN			STOFFEN			
	grond- water	opp. hydrol.	opp. hydraul.	tracé	bedding	substr. mozaïek	O <sub>2</sub> / org. mat.	voed. stof	macro- ionen	micro- veront.
passief ontw. meanders		○	●	■	●	●				
graven meanders			●	■	■	●				
actief ontw. mic.meanders			●		●	■				
verkleinen profiel			●		■	●				
verwijderen profielverded.			●		■	●				
aanleggen asymm. profiel			●		●	■				
aanplanten houtwal			○		●	■	○			
aanleggen twee-fasen bed.			●		■	●				
aanleggen stroomk. zandb.			○		●	■				
aanbrengen stoorobjecten			●			■	○			
aanleggen soortger. struct.					○	■				
inrichten steile overh. oever			○		●	■				
aanleggen vispassage						■				
aanleggen poelen						■	●	○		
aankoppelen oude meander						■	●	○		

legenda: indicatieve waarde; ○ = laag, ● = matig, ■ = hoog

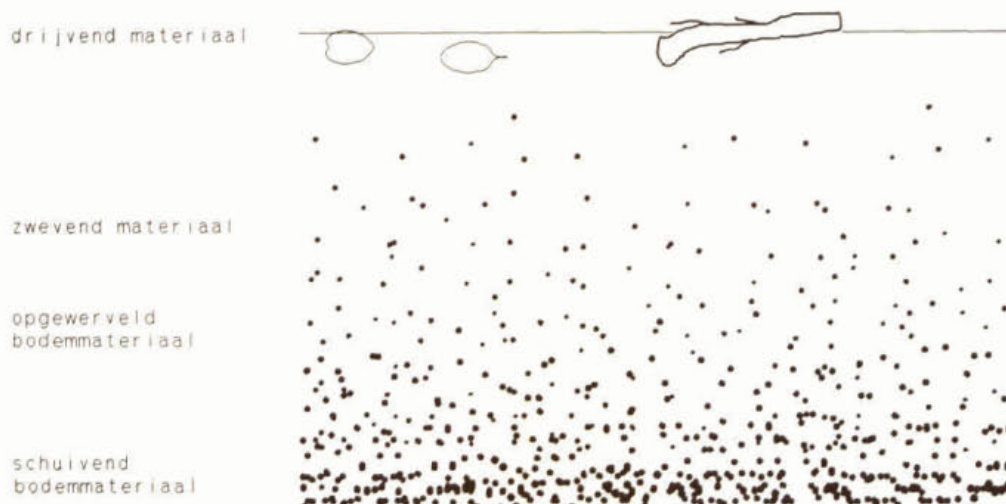
patroonaspect maatregelgroep	SOORTEN					
	oeverplanten	waterplanten	diatomeeën	macrofauna	vissen	overige organ.
passief ontwikkelen meanders	●	●	●	■	●	○
graven meanders	●	●	●	■	●	●
actief ontwikkelen (micro-)meanders	●	●	●	■	●	●
verkleinen profiel	●	●	●	■	●	
verwijderen profielverdediging	●			■	●	●
aanleggen asymmetrisch profiel	○			■	●	●
aanplanten houtwal	■	■		■	●	●
aanleggen twee-fasen bedding	■	●		●	○	○
aanleggen stroomkuilen zandbanken		○	●	●	●	
aanbrengen stoorobjecten		○	●	●	●	
aanleggen soortgerichte structuren	●	●	●	●	●	●
inrichten steile overhangende oever	■	●	●	●	●	●
aanleggen vispassage					●	
aanleggen poelen		●		●		●
aankoppelen oude meander		●		●	●	●

indicatieve waarde organismengroep; ○ = laag, ● = matig, ■ = hoog

Voor het direct meten van het zandtransport zijn verschillende technieken beschikbaar. Tijdens verschillende afvoeren kunnen watermonsters worden genomen waarvan het zwevend-stofgehalte wordt bepaald. Doordat er grote verschillen in stroming binnen het beekprofiel optreden is het extrapoleren van deze metingen naar vrachten in de hele



beek erg onbetrouwbaar. Wel kan de korrelgrootteverdeling van het zwevend materiaal, de berekeningen in deze ondersteunen. Het continu meten van het zandtransport kan met zwevend materiaal verzamelaars zoals de MOC (Mineral and Organic matter Collector) en andere (Gordon et al. 1992).



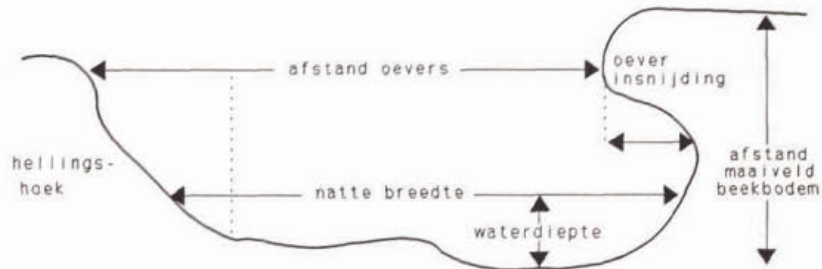
Figuur 4.5 Componenten van het materiaaltransport.

Door afwisseling van erosie en sedimentatie zullen de profielafmetingen van de beek veranderen. Door het regelmatig inmeten van de dwarsprofielen (zie paragraaf 4.4.4) aangevuld met het meten van vultijd en afmetingen van zandvangen kan ook het zandtransport gevolgd worden. Hieruit kan bijvoorbeeld afgeleid worden wanneer zich een evenwicht heeft ingesteld. De meting van zandtransport is altijd gekoppeld aan de meting van de afvoer (zie paragraaf 4.4.3).

#### 4.5.3 Bedding

Belangrijke factoren in beekherstel zijn de vorm en de dimensies van het dwarsprofiel (zie paragraaf 1.4). Op geselecteerde meettraaien wordt het dwarsprofiel in beeld gebracht (figuur 4.4). Het aantal meettraaien is afhankelijk van de te verwachten ruimtelijke variatie van de beek. Meestal kan met 1 tot 3 meettraaien per traject (enkele kilometers) worden volstaan. Van de beek wordt een bovenaanzicht geschetst waarop ook de in te meten dwarsprofielen worden aangegeven. Bij de meting van het dwarsprofiel worden het droge en natte deel van maaiveld tot beekbodem nauwkeurig in beeld gebracht, in het bijzonder breedte van het stroombed, watervoerend deel van het stroombed, waterdiepten, maaiveldhoogte, taludhoeken, vorm van het talud (figuur 4.6). Hieruit kunnen nat oppervlak, natte omtrek en hydraulische straal worden berekend. Eventueel wordt in een tekening een globale sedimentsamenstelling aangegeven. Voor de meting van het profiel wordt verwezen naar paragraaf 4.4.4. De meetfrequentie is afhankelijk van de mate en snelheid van stabilisering van het profiel. Vaak kan de frequentie hierop worden afgestemd. Het meten met een frequentie van 2-6 maal per jaar en in de eerste jaren jaarlijks herhaald, en een frequentie van 1 maal per jaar en 1 maal per 3-5 jaar daarna herhaald, geven een goed beeld.

Vaak wordt het dwarsprofiel gelijktijdig ingemeten met de opname van visueel aanwezige habitats (paragraaf 4.5.4) en het stromingsprofiel (paragraaf 4.4.4).

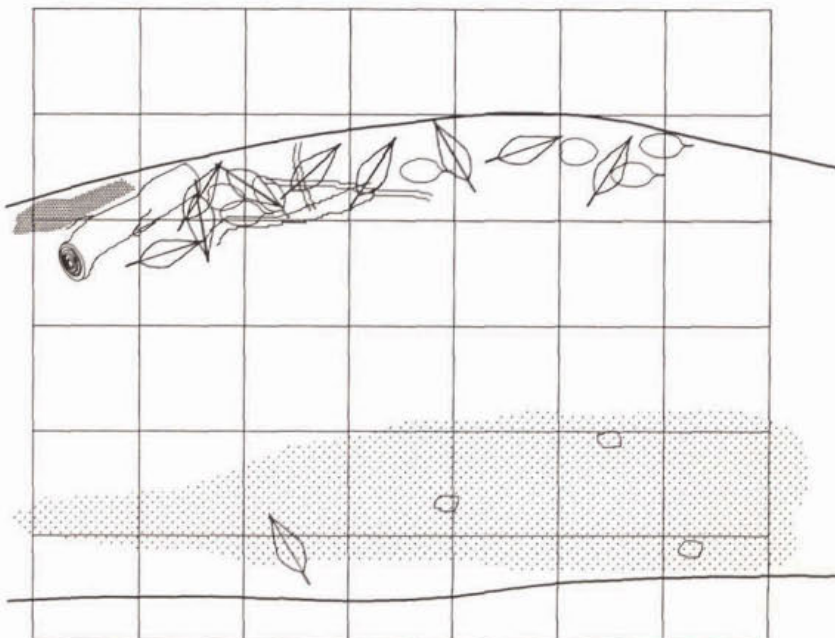


Figuur 4.6 Dwarsprofielmetingen.

#### 4.5.4 Substraatmozaïeken

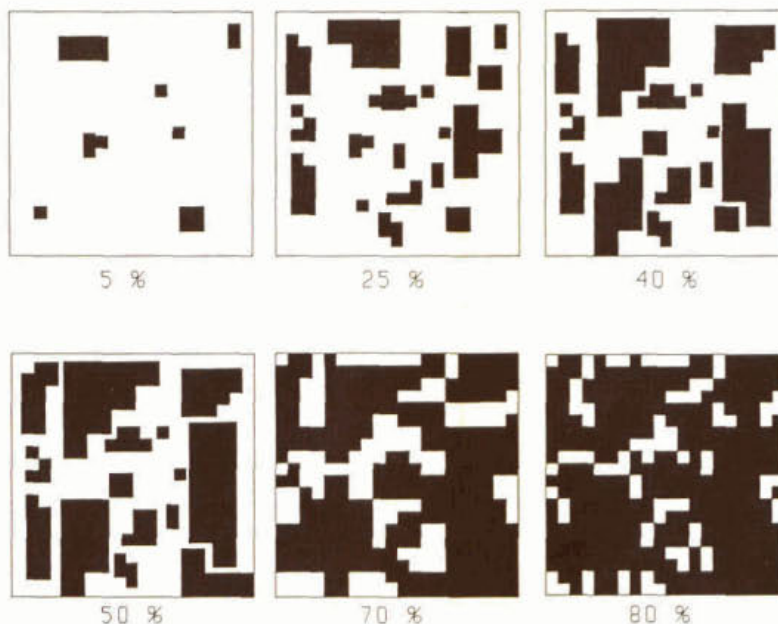
De in beken aanwezige habitats of substraatstructuren bepalen in hoge mate het voorkomen van allerlei soorten (zie paragraaf 1.6.4). Habitats worden beschreven door het schatten en/of karteren van visueel aanwezige structuren (figuur 4.7 en 4.8). Hiertoe wordt meestal een representatief deel van het lengteprofiel opgetekend. Op de tekening worden daarbij aard en verdeling van de habitats/substraten aangegeven. Een meer nauwkeurige methode is het aanbrengen van een raster over een klein traject van de beek en het per rasterhok inschatten of intekenen van de habitatverdeling van bodem en oevers. In dynamische beken wijzigen habitatpatronen zich snel. In stabiele beken is de habitatdynamiek veel kleiner. De meetfrequentie wordt hierop aangepast. De meetfrequentie komt overeen met die voor de beddingmetingen.

Vaak wordt de verdeling van habitats gekoppeld aan metingen van het dwarsprofiel (paragraaf 4.5.2 en 4.5.3) en de stroming (paragraaf 4.4.4).



Figuur 4.7 Opname van substraatmozaïeken.





Figuur 4.8 Voorbeeld schatting bedekkingspercentages (naar Gordon et al. 1992).

## 4.6 Monitoring van stoffen

### 4.6.1 Inleiding

Onder het factorcomplex stoffen vallen alle variabelen die te maken hebben met zuurstofhuishouding en organisch materiaal, voedingsstoffenhuishouding, macro-ionen en microverontreinigingen. Belangrijke, mogelijk te meten variabelen zijn:

<u>procesaspect</u>	<u>variabele</u>
algemeen <sup>1</sup>	pH (NEN 3235 3.2), doorzicht (cm NEN 6606), watertemperatuur (°C)
zuurstof/organisch materiaal <sup>1</sup>	O <sub>2</sub> (% en mg/l NEN 6490), BZV-5 (mgO <sub>2</sub> /l NEN 6632), CZV (mgO <sub>2</sub> /l NEN 3235 6.2), t-N* (mg/l), kj-N* (mgN/l NEN 6481), NH <sub>4</sub> <sup>+</sup> * (mgN/l NEN 6472), NH <sub>3</sub> (mgN/l NEN 6644)
voedingsstoffen <sup>1</sup>	NO <sub>3</sub> <sup>-</sup> (mgN/l NEN 6440), NO <sub>2</sub> <sup>-</sup> (mgN/l NEN 6474), t-P (mgP/l NEN 6479), o-P (mgP/l NEN 6479), chlorofyl-a (mg/m <sup>3</sup> NEN 6520)
macro-ionen <sup>1</sup>	EGV (mS/m NEN 6412), Cl <sup>-</sup> (mg/l NEN 6470), SO <sub>4</sub> <sup>-</sup> (mg/l NEN 6665), Ca <sup>++</sup> (mg/l NEN 6446), K <sup>+</sup> (mg/l NEN 6442), Mg <sup>++</sup> (mg/l NEN 6455), Na <sup>+</sup> (mg/l NEN 6442), HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup> (mg/l NEN 6531/6532), alkaliniteit (NEN 6497), HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup> (NEN 1056) en CO <sub>2</sub> (NEN 6532), aciditeit (NEN 6497)
microverontreinigingen <sup>2</sup>	sterk bronafhankelijk (bv. Cd, Cr, Cu, Ni, Pb, Zn, Hg, As, Al (allen in µg/l NEN 6458, 6444, 6454, 6430, 6429, 6443, 6445, 6432, 6437) en verschillende groepen organische microverontreinigingen (bijvoorbeeld PAK's NEN 6498, PCB's, organochloor, -stikstof en -fosfor bestrijdingsmiddelen)

\* = tevens voedingsstof, <sup>1</sup> = te meten, <sup>2</sup> = moeilijk meetbaar, <sup>3</sup> = af te leiden

In tabel 4.4 is de relatie tussen de maatregelgroepen gericht op het factorcomplex stoffen en de te verwachten indicatieve waarde van proces- en patroonaspecten van de factorcomplexen stroming, structuren, stoffen en soorten aangeduid.

Tabel 4.4 Relatie van de maatregelgroepen gericht op het factorcomplex stoffen en de proces- en patroonaspecten van de 5 "S-en".

procesaspect maatregelgroep	STROMING			STRUCTUREN			STOFFEN			
	grond- water	opp. hydrol.	opp. hydraul.	tracé	bedding	subatr. mozaiek	O <sub>2</sub> / org. mat.	voed. stof	macro- ionen	micro- veront.
verminderen mest.toevoer							●	■	○	○
opheffen huish. lozing							■	●	○	●
opheffen overstort							■	●	○	●
verbeteren RWZI							■	■	○	●
scheiden waterstromen							●	●	○	●
verlagen maaiveld								■		●
aanleggen helofytenfilter							●	■	○	○
aanleggen horse-shoe wetl.							●	■	○	○
aanleggen bufferzone							●	■	○	○

legenda: indicatieve waarde; ○ = laag, ● = matig, ■ = hoog

patroonaspect maatregelgroep	SOORTEN					
	oeverplanten	waterplanten	diatomeeën	macrofauna	vissen	overige organ.
verminderen meststoffen- toevoer	●	●	■	●		
opheffen huishoudelijke lozing	●	■	■	●	●	
opheffen overstort		■	■	●	●	
verbeteren RWZI	●	●	■	●		
scheiden waterstromen	●	■	■	●	●	
verlagen maaiveld	■					
aanleggen helofytenfilter	■	●	●	●		●
aanleggen horse-shoe wet- land	■	●	●	○		
aanleggen bufferzone	■	●	●	●		●

indicatieve waarde organismengroep; ○ = laag, ● = matig, ■ = hoog

Concentraties van stoffen in een beek op een bepaald moment geven maar zeer beperkte informatie over de stofhuishouding, omdat ze vrij sterk variëren in tijd en in ruimte. Toch is de concentratie in de tijd ('blootstelling') voor de organismen de direct bepalende factor. Om inzicht te krijgen in de hoeveelheden stoffen die zich in een stroomgebied verplaatsen moet de concentratie worden gekoppeld aan het debiet. Door vermenigvuldiging van concentratie en debiet wordt de vracht berekend en uitgedrukt in gewicht/tijdseenheid.

Een stoffenbalans van een stroomgebied kan bijdragen aan de planvorming en de evaluatie. Bij het opstellen van een stoffenbalans is het beschikken over absolute getallen geen strikte voorwaarde. Een schatting van de orde van grootte (in termen van verhoudingen tussen stofstromen) is vaak al voldoende om het inzicht in de stofhuishouding belangrijk te vergroten. Een goed onderhouden 'stoffenboekhouding' levert op den duur ook inzicht in temporele variaties van stofstromen door het jaar heen of over perioden van meerdere jaren. Hiermee is het mogelijk het beheer af te stemmen op gesignaleerde tendenzen. Hiermee wordt de effectiviteit van beheersmaatregelen



vergroot. In eerste instantie komen nutriënten en macroïonen in aanmerking. Maar ook een overzicht van het gebruik van milieuvreemde stoffen kan bijdragen aan het inzicht in de te nemen maatregelen.

Er zijn inmiddels verschillende computerprogramma's ontwikkeld die de stofstromen beschrijven. Vaak zijn stromingsmodellen de basis voor stofmodellen. De meeste modellen geven een beschrijving van stoftransporten (bijvoorbeeld HYDRA, DUFLOW), de voedingsstoffencyclus (bijvoorbeeld DYNAMO; zie ook Rijdsijk 1994) of de lotgevallen van micro-verontreinigingen.

#### 4.6.2 Zuurstof en organisch materiaal

Effecten van maatregelen ter vermindering van organische belasting of (secundaire) eutrofiëring komen onder andere tot uiting in de zuurstofhuishouding (zie paragraaf 1.5.2). Een voor organismen belangrijke variabele van de zuurstofhuishouding is het absolute zuurstofgehalte. Zowel wisselingen in het gehalte als extreme waarden zijn van belang. Om hier een goed inzicht in te krijgen is het eigenlijk nodig gedurende langere tijd (enkele dagen tot weken afhankelijk van de wisselingen) in verschillende seizoenen continu te meten. Metingen van de overige aan zuurstof gerelateerde variabelen dienen zowel verspreid als brongericht plaats te vinden het Handboek Biologische Waterbeoordeling (Werkgroep Biologische Waterbeoordeling 1977). Vooral macrofauna en diatomeeën zijn geschikte indicatoren voor de zuurstofhuishouding op respectievelijk middellange en kortere termijn.

In natuurlijke beken is het ammoniumgehalte vaak erg laag omdat meestal voldoende zuurstof aanwezig is. Nitrificatie van ammonium naar nitraat vraagt zuurstof. Meting van het ammoniumgehalte is daarom nuttig in verband met de zuurstofhuishouding. Ammoniak is toxisch voor veel organismen. Het gehalte is afhankelijk van de ammoniumconcentratie en de zuurgraad, en komt daarom in beken alleen in extreme gevallen voor. Het organisch gebonden- (bijvoorbeeld eiwitten, aminozuren, ureum) en ammonium-stikstof samen geeft het Kjeldahlstikstof-gehalte. Opgelost organisch stikstof duidt vaak op menselijke beïnvloeding. Vaak wordt een meetfrequentie van 12 maal per jaar en 1 maal per 5 jaar herhaald, gehanteerd.

#### 4.6.3 Voedingsstoffen

De rol van voedingsstoffen in het beekstelsel is beschreven in paragraaf 1.5.3. Voor de bepaling van stikstof- en fosforcomponenten in oppervlaktewater en waterbodems zijn nauwkeurige analysemethoden beschikbaar (NEN-voorschriften).

De stikstof- en fosforgehalten verschillen nauwelijks in de lengterichting van de beek, tenzij er een directe beïnvloedingsbron aanwezig is zoals een puntlozing, een intensief landbouwgebied of een zijtak. Het aantal bemonsteringslocaties is sterk afhankelijk van de aard en het aantal beïnvloedingsbronnen. In de tijd gezien kunnen wel aanzienlijke wisselingen optreden in voedingsstoffengehalten vooral als er in het stroomgebied landbouwkundige activiteit is. De meetfrequentie dient daarop te worden afgestemd (Werkgroep Biologische Waterbeoordeling 1977). Vaak wordt een meetfrequentie van 12 maal per jaar en 1 maal per 5 jaar herhaald, gehanteerd. Voor een beeld van gehalten van meer natuurlijke beken wordt verwezen naar paragraaf 1.5.3.

Indien vrachten worden bepaald zoals voor beleidsonderbouwing in verband met emissiereductie of vergroting van het inzicht in het mestgebruik, zal afvoer-afhankelijk (debietsproportioneel) gemeten moeten worden.

Het regelmatig meten van stikstof- en fosforgehalten in de waterbodem is minder zinvol omdat deze weinig fluctueren. Deze bepaling kan bij de aanvang van het herstel en



vervolgens met een frequentie van 1 tot 2 maal per jaar en 1 maal per 3-5 jaar herhaald, plaatsvinden. Wel is het belangrijk jaarlijks aard, structuur, lokatie en dikte van de sliblaag vast te stellen (zie ook paragraaf 4.5.4). Bij de uitvoering van maatregelen dient rekening te worden gehouden met nalevering uit de bodem van met name fosfaat.

#### 4.6.4 Macro-ionen

Gezien de nauwe relatie tussen de macro-ionengehalten en de verblijftijd van het water in de bodem of de regenwaterafhankelijkheid fluctueren deze nauwelijks (zie paragraaf 1.5.5). Een meetfrequentie van 1-4 maal per jaar en 1 maal in de 3-5 jaar herhaald, is vaak voldoende. Menselijke activiteiten, zoals het grondgebruik, zijn mede van invloed op de samenstelling van toestromend (grond-)water. Kalium is bijvoorbeeld een goede indicator voor bemesting. In deze situaties dient de meetfrequentie hierop te worden afgestemd. Enkele monsterlocaties per beek zijn voldoende om een representatief beeld te schetsen van de macro-ionensamenstelling. Voor de bepaling van de macro-ionen gelden, zoals ook voor andere bepalingen, NEN-voorschriften.

Het gebruik van macro-ionengehalten is beschreven in paragraaf 1.5.4 en in het Handboek Biologische Waterbeoordeling (Werkgroep Biologische Waterbeoordeling 1977).

Voor de macrofyten en de vochtminnende beekdalvegetaties (kwelindicatoren) zijn geschikte lange termijn indicatoren voor de macro-ionensamenstelling.

#### 4.6.5 Microverontreinigingen

Het meenemen van microverontreinigingen in monitoringsprogramma's verdient in verband met de kosten een uiterst zorgvuldige afweging. Een gerichte keuze is noodzakelijk in verband met de veelheid aan verbindingen en er wordt, indien mogelijk, van bekende aanwezige bronnen uitgegaan. Veel microverontreinigingen zijn opgeslagen in slib. Voor dit onderzoek worden dan ook meestal bodemmonsters genomen. Een andere mogelijkheid is het meten van microverontreinigingen in het getransporteerde materiaal (zwevende stof).

Zware metalen worden meestal als totaal-gehalte in de bodem (slibmonster) bepaald. Dit zegt echter weinig over de hoeveelheid die daadwerkelijk beschikbaar is voor organismen. Een scheiding van totaal-gehalte naar gehalte gebonden aan lutum- en organische stoffractie is daarom nodig (Derde Nota Waterhuishouding 1989). De analyse van concentraties van zware metalen is kostbaar en vergt een zekere graad van specialisme. De bepaling wordt gedaan met de zeer specifieke atoomabsorptiespectrofotometrie (AAS).

Organische microverontreinigingen worden meestal verdeeld in som- en groepsparameters. Somparameters zijn samenvoelingen van gehalten van stoffen met bepaalde gelijkenissen in chemische structuur en kenmerken, zoals PAK's, pesticiden en PCB's. De groepsparameters zijn samenvoelingen van gehalten van stoffen die wat structuur niet op elkaar behoeven te lijken maar overeenkomen in fysische eigenschappen. Gehalten van organische microverontreinigingen worden gemeten met massaspectrofotometrie en NMR (neutron magnetic resonance). Soms wordt volstaan met GLC (gas liquid chromatography) of HPLC (high performance liquid chromatography).



## 4.7 Monitoring van soorten

### 4.7.1 Macrofyten

Op bepaalde plaatsen in de beek en langs de beek zijn macrofyten een structuur-bepalende factor. Vaak geven ze ook het effect van langere-termijn-processen weer (zie paragraaf 1.6). Vegetatie-onderzoek maakt gebruik van steekproeven in de vorm van vegetatie-opnamen. Voor vegetatie-opnamen in en langs beken kunnen een tweetal opnametechnieken gebruikt worden, namelijk de Tansley en de Braun-Blanquet opnametechniek. De Braun-Blanquet techniek is ontwikkeld voor het analyseren van plantengemeenschappen en stelt daarom striktere eisen aan het proefvlak dan de Tansley methode die ontwikkeld is voor het vastleggen van de soortendiversiteit (zie ook Den Held & Den Held 1973). Voor monitoring is echter primair van belang dat de verandering in samenstelling van de vegetatie kan worden beoordeeld. Als het primaire doel verhogen van de diversiteit is, kan worden volstaan met een Tansley opname voor het gehele beektraject. Voor het beoordelen en verklaren van de ontwikkelingen is het vooral van belang dat de verschillende vegetatiezones; oeverplanten en waterplanten, maar ook de overgangszones daartussen, mits die ruimtelijk te onderscheiden zijn, apart worden beschreven. Het verschil tussen beide opnametechnieken is hiermee gereduceerd tot de vraag welke presentieschaal wordt gebruikt en dus hoe nauwkeurig de gegevens worden vastgelegd. Naast de soortensamenstelling moet de breedte en de positie op het profiel van de zone worden beschreven om de ontwikkeling van de verschillende zones te kunnen volgen.

Een methode die gebruikt kan worden wanneer zich grote mozaïeken in de vegetaties voordoen en het opnemen van zeer grote proefvlakken een bezwaar is, is het schatten van de bedekking per soort, waar de soort optimaal is ontwikkeld. Per soort ligt het proefvlak, waarop de bedekking wordt geschat, op een andere plek. Op deze wijze is steeds de maximale bedekking van iedere soort afzonderlijk te bepalen. Deze methode heeft beperkte mogelijkheden voor monitoring maar kan in potentie goed kwantificeerbare gegevens opleveren wanneer verandering van water- en/of bodemkwaliteit mag worden verwacht (Van Katwijk & Roelofs 1988). Daarbij moet wel het areaal waarop elke afzonderlijke soort (in de maximale dichtheid) voorkomt worden bepaald, om veranderingen te kunnen waarnemen.

Daarnaast kan gekozen worden voor het enkel opnemen van indicator- of aandachtssoorten met behulp van de Londo-schaal of aantalsklassen. Dit houdt wel het risico in dat belangrijke nevenontwikkelingen worden gemist.

Opnamen van watervegetaties dienen bij voorkeur tussen mei en september te worden gemaakt. Eén en ander is ook afhankelijk van het vegetatietype. De eerste keer zal zowel in mei als in de zomer moeten worden opgenomen om te beoordelen of er specifiek vroege soorten (bijvoorbeeld waterviolier *Hottonia palustris*) aanwezig zijn. In voedselrijke milieus kan vrijwel altijd met een zomer-opname worden volstaan. Op oevers komen altijd vroege soorten voor, waarvan vele een indicatieve waarde hebben. Daarom moeten oevers beslist vóór begin juni worden opgenomen, eventueel aangevuld met een tweede veldbezoek in de zomer.

De meetfrequentie is gekoppeld aan het stadium van dynamiek waarin de vegetatie zich bevindt. Na uitvoering van beekherstelmaatregelen waarbij de beekbodem is geroerd en/of nieuwe tracés zijn aangelegd, is een opname-frequentie van 1 maal per jaar herhaald in de eerste 2-3 jaar, voldoende. Daarna wordt een herhaling van 1 maal per 3-5 jaar voorgesteld. Voor situaties waarbij de bodem niet of nauwelijks geroerd is kan volstaan worden met een frequentie van eenmaal per circa 3 jaar gedurende de eerste 10 jaar. Vervolgens zijn herhalingen van eenmaal per 5-10 jaar voldoende.



Meting van macrofaunadrift (links) en van zandtransport (midden onder) (foto J. van Osch)



Meting van de stroomsnelheid

(foto P. Verdonchot)







Onderhoud in handkracht  
*(foto H. Tolkamp)*



én de bladdammen worden gespaard *(foto P. Verdonschot)*



In het Botanisch basisregister (C.B.S. 1993) zijn alle inheemse plantensoorten voorzien van indicatie-getallen, waaronder de freatofytenlijst van Londo, de zuurgraad, de voedselrijkdom en de indeling in ecotopen (deze laatste vooral van belang voor de (grazige) beekdalvegetaties). De Lyon & Roelofs (1986) en Bloemendaal & Roelofs (1988) geven uitgebreide fysische en chemische indicatiegetallen voor hydro- en helofyten. Deze indicaties zijn gebaseerd op een landelijke bemonstering van allerlei typen wateren behalve stromende wateren. Daarom dienen voor beken deze indicaties met de nodige voorzichtigheid en kennis te worden gehanteerd. Haslam (1978, 1987) geeft wel specifieke informatie over beekplanten. Hoewel gebaseerd op onderzoeken in Groot-Brittannië (beken die stromen door kalkrijke of juist zure gesteenten) bevatten beide werken bruikbare elementen die echter met de nodige voorzichtigheid moeten worden gehanteerd zoals Haslam zelf al in haar boek aanduidt. Andere regionaal bruikbare indicatiewaarden zijn gegeven door Vegter (1991) en Jalink & Jansen (1989). Pot (1992) en Schaminée et al. (1995) geven syntaxonomisch overzichtswerken.

Om de relaties tussen abiotische standplaatsfactoren en veranderingen in de waterhuishouding te voorspellen zijn verschillende modellen ontwikkeld. Voorbeelden voor toepassing in het Pleistocene gebied zijn CML-ecotopensysteem (alleen natte en vochtige ecotopen), MOVE, WAFLO, Natuurtechnisch model, ECAM en Abioflor. Vooreen overzicht wordt verwezen naar Wassen & Schot (1992), Garritsen (1993) en Van der Veen & Garritsen (1994).

#### 4.7.2 Macrofauna

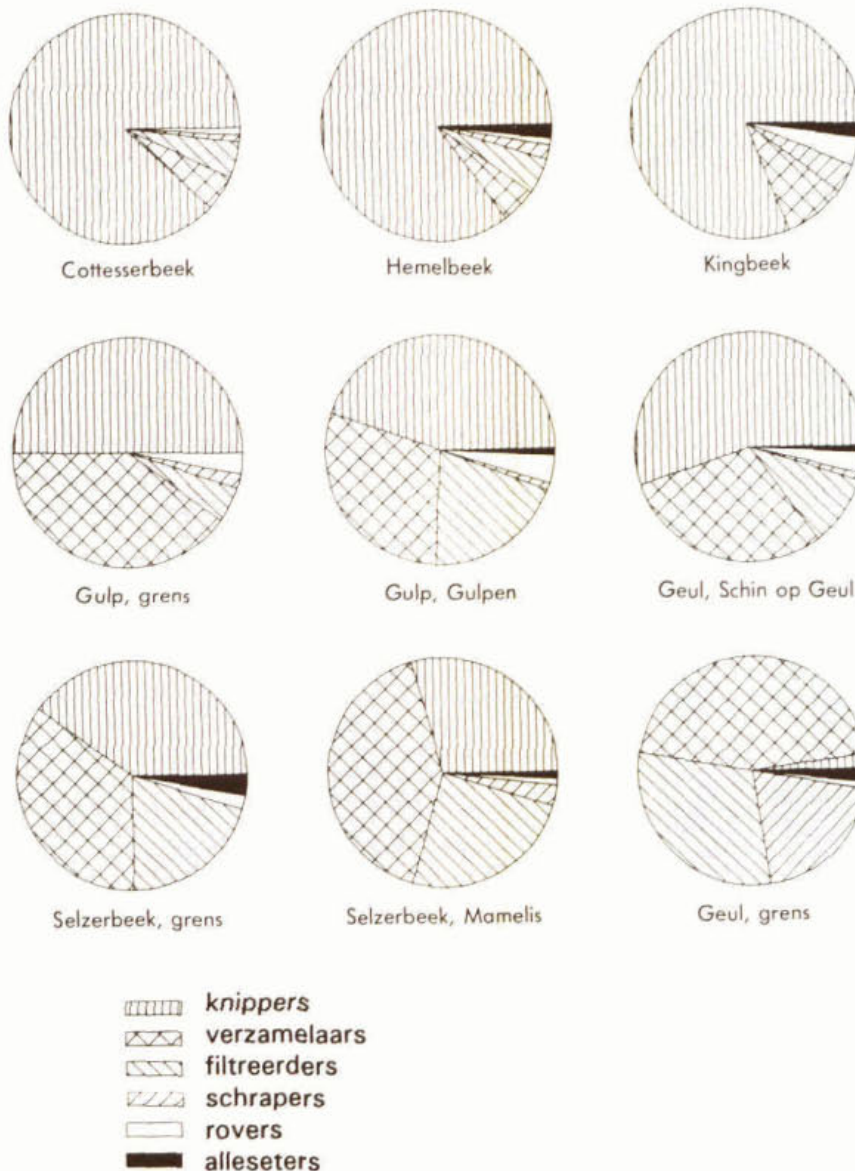
In veel beken vormt de macrofauna een belangrijk onderdeel van het aquatisch ecosysteem (zie paragraaf 1.6). De macrofauna kan bemonsterd worden met verschillende apparaten. In sommige gevallen kan het omkeren van enkele stenen en/of het opnemen van enkele kenmerkende soorten/groepen voldoende zijn, soms is extensieve netbemonstering en soms een intensieve habitatbemonstering vereist. De te kiezen benadering is afhankelijk van de doelstellingen en de maatregelen. Het standaard macrofaunanet (Van der Hammen et al. 1984) is het meest gebruikte apparaat. Een standaard macrofaunanetmonster is geschikt om een beeld te vormen van de macrofauna in een beektraject. Voor informatie op habitatniveau zoals van substraatmozaïeken in relatie tot macrofauna, zijn monsters genomen met een klein net, een steekbuis of een micromacrofaunashovel geschikt. Diepere plekken kunnen met een bodemhapper worden bemonsterd. De te kiezen bemonsteringsapparaten hangen ook af van het beektype. Binnen de Werkgroep Ecologisch Waterbeheer subgroep standaardisatie wordt gewerkt aan standaardvoorschriften voor het verzamelen van macrofauna. Voor meer gedetailleerde informatie wordt onder andere verwezen naar Hellowell (1978) en Merrit & Cummins (1984).

Herstel van de fauna na een ingreep duurt enige tijd (van enkele maanden tot jaren) en is afhankelijk van de aard van de ingreep. Zo zal vermindering van de organische vracht eerder een herstel te zien geven dan het opnieuw inrichten van het profiel. De meetfrequentie dient hierop afgestemd te zijn. Een meetfrequentie in de vorm van een voor- en een najaarsbemonstering geeft over het algemeen een goed beeld van de aanwezige macrofauna. Bij grootschalige ingrepen kan na vaststelling van de nulsituatie, in de eerste jaren met een lage frequentie worden volstaan. Bijvoorbeeld een frequentie van 2 maal per jaar (voor- en najaarsbemonstering) en 1 maal per 3 tot 5 jaar herhaald. Later kan de herhalingsfrequentie verder worden verlaagd.

In de Limnofauna Neerlandica (Mol 1984) wordt voor de verschillende soorten een indicatie gegeven voor het watertype waarin ze voorkomen. Verdonschot (1990) en STOWA (1992a) geven voor een groot aantal soorten autecologische informatie, onder andere bruikbaar om tot een indeling in beektypen te komen. Verder wordt informatie gegeven over belangrijke abiotische factoren die de toestand over langere tijd, bijvoorbeeld ten aanzien van trofiegraad, zuurgraad, chloride-gehalte, droogvalling, zuurstofge-



halte, organische belasting en stabiliteit/constantie van het milieu, aangeven. Merrit & Cummins (1984) geven vooral informatie over habitat, functionele kenmerken (zie ook figuur 4.9) en substraatvoorkeuren voor een groot aantal (amerikaanse) soorten. De macrofauna kan gebruikt worden om een indruk van de fysische structuren in de beek te krijgen. Met deze informatie kan de structuurvariatie van een locatie worden bepaald (zie paragraaf 1.4 en Van der Hoek & Verdonschot 1994). Voor het in beeld brengen van stroomsnelheden over een langere periode op basis van de (sub-)rheofiele macrofauna kan gebruik gemaakt worden van de beekarakterindex (Gardeniers & Tolkamp 1976).



*Figuur 4.9* Voorbeeld van het gebruik van indicatieve kenmerken van organismen. Het relatieve voorkomen van functionele groepen in enkele representatieve Zuid-limburgse beken (Paarlberg & Tolkamp 1990).

Van oudsher wordt macrofauna gebruikt om inzicht te krijgen in de waterkwaliteit (Hellawell 1978). Organische verontreiniging in natuurlijke laaglandbeken kan gevolgd worden met het systeem van Moller-Pillot (1971). Deze is gekwantificeerd door Tol-

kamp & Gardeniers (1975). Voor genormaliseerde laaglandbeken kan het door Peters & Gijlstra (1984) ontwikkelde systeem BINORMA gebruikt worden. Voor een bredere kwaliteitsbeoordeling van het beekstelsel kan het STOWA ecologisch beoordelingsstelsel voor stromende wateren (STOWA 1992a) toegepast worden. In dit stelsel worden de factoren stroming, saprobie, trofie, substraat en functionele opbouw in beeld gebracht, uitgesplitst naar een zestal beektypen. Voor inzichten in voedingsstoffenniveaus kan gebruik worden gemaakt van autecologische informatie over trofische niveaus en functionele voedingsgroepen (Merritt & Cummins 1984, Verdonschot 1990 en Van der Hoek & Verdonschot 1994).

Naast voornoemde indices en beoordelingssystemen bieden typologieën zoals de cenotypologie van Verdonschot (1990), het aquatisch ecotooptypensysteem van Verdonschot et al. (1992) aanknopingspunten. Uit vergelijking van een monster met een typologie kan afgeleid worden waar dat monster zich bevindt in het netwerk van typen en kunnen streefbeeld en referentie bepaald worden. Hiervoor kan ook het STOWA beoordelingssysteem voor stromende wateren (STOWA 1992a) worden gebruikt.

#### 4.7.3 Diatomeeën

Diatomeeën zijn met name gevoelig voor veranderingen in zuurgraad, macro-ionengehalten, nutriëntensamenstelling en zuurstofhuishouding van het water (zie ook paragraaf 1.6). Voor ingrepen in beeksystemen waardoor een of meerdere van deze factoren wijzigen zijn diatomeeën in potentie geschikt voor monitoring. Soms kunnen veranderingen in stoffen eenvoudiger en effectiever gevolgd worden door directe meting. Diatomeeën hebben het voordeel dat ze, in vergelijking met bijvoorbeeld hogere planten, vrij snel (enkele weken tot enkele maanden) reageren op veranderingen.

Diatomeeënmonsters worden in het algemeen genomen door het schrapen van diatomeeën van harde of plantaardige substraten of met behulp van kunstmatig substraat (bijvoorbeeld glasplaatjes). Het gebruikte substraat en de incubatietijd hebben invloed op de soortensamenstelling van de diatomeeënlévensgemeenschap, de mate waarin is echter nog onduidelijk. Binnen een project is het dan ook noodzakelijk om de schraapmonsters steeds van hetzelfde substraat te nemen. Van deze monsters worden minimaal 200 schaaldeeltjes gedetermineerd.

Gezien de relatief korte reactietijd van diatomeeën kan de bemonstering binnen enkele maanden na uitvoering van de maatregelen starten. Een minimale bemonsteringsfrequentie van 2 maal per jaar (voorjaar en najaar) en 1 maal per 3-5 jaar herhaald, zijn aan te bevelen.

Met het systeem van Lange-Bertalot (1979) en het hierop gebaseerde systeem van de GTD Oost-Brabant (Van der Aalst 1988) kan met de aangetroffen diatomeeën de verontreinigingsgraad van een water worden beoordeeld. Van Dam et al. (1994) geven voor de Nederlandse diatomeeën een overzicht van relaties tussen diverse taxa en zuurgraad, nutriënten, chloride, saprobie, stikstof en zuurstof. Smit (1990) geeft voor de kleinere wateren in Zuid-Holland indicatie-getallen van diverse diatomeeënsoorten voor macro-ionen, chloride en voedselrijkdom van het water. Aangezien beide laatstgenoemde lijsten voornamelijk stilstaand water betreffen moeten deze indicaties met voorzichtigheid worden gebruikt. Genoemde systemen kunnen gebruikt worden om het effect van beekherstel op de diatomeeëngemeenschap te beschrijven.



#### 4.7.4 Vissen

Vissen zijn vooral gerelateerd aan hoofdfactoren en grotere morfologische structuren in het beekstelsel zoals hydrologie en hydraulica, fysische barrières, grindbedden, waterplanten en dergelijke. Afhankelijk van de grootte van het beekstelsel zijn de volgende methoden aanwezig voor het bepalen van de visstand. Het elektro-visapparaat is geschikt om vis te vangen op plaatsen met veel obstakels. Door het opwekken van een elektrisch veld in de waterfase raakt de vis verdoofd en kan vervolgens uit het water worden geschept. De effectiviteit van de elektro-visserij wordt sterk beïnvloed door de watertemperatuur en de elektrische geleidbaarheid van het water. Een nadeel is dat kleine vissoorten meestal niet gevangen worden, terwijl het meestal de meer typische beekvissen betreft zoals rivierdonderpad (*Cottus gobio*), beekprik (*Lampetra planeri*), grondel (*Gobio gobio*), bermpje (*Noemacheilus barbatulus*), kleine modderkruiper (*Cobitis taenia*) en grote modderkruiper (*Misgurnus fossilis*). In grotere beken kan voor bemonstering gebruik worden gemaakt van de zegen en/of kuil. Beide zijn actieve vangstmethoden, waarbij een net door de waterkolom wordt getrokken. De mazen in het net bepalen de minimumgrootte van de vis die men wil/kan vangen. In het algemeen geldt dat de overleving van de met de kuil gevangen vis geringer is dan die met de zegen gevangen vis. Ook kunnen juist de kleinere vissoorten worden verzameld met behulp van een visnet. Bemonstering met fuiken is in tegenstelling tot de voornoemde methoden passief van aard. Twee typen worden gebruikt: de gewone fuik met vleugels en de schietfuik. Schietfuiken zijn vaak wat kleiner dan gewone fuiken en worden in de regel per stel of met meerdere stellen achter elkaar geplaatst.

De meetfrequentie is afhankelijk van de karakteristieken van de omgeving en het levensstadium van de vissoort. De verspreiding van vissoorten langs de lengte- en breedte-as van de beek is uitermate dynamisch. Na een globale inventarisatie van de habitats kan een vismonitoringsprogramma worden opgesteld. De meetfrequentie bedraagt eenmaal per 3 tot 5 jaar en dient bij voorkeur in oktober plaats te vinden.

Een overzicht van de autecologie van vissen wordt gegeven door Nijssen & De Groot (1987) en Alabaster & Lloyd (1982). Een "dekkende" typering van visgemeenschappen in beken is nog niet voorhanden. Leemten in kennis betreffende de variatie in de soortgebonden levenskarakteristieken (verschil in habitats gedurende verschillende levensstadia en samenhang met dynamiek van stromende watersystemen) is hier debet aan (Quak 1994). Wel wordt door de OVB gewerkt aan een indeling waarbij uitgegaan wordt van een visgerichte en een watergerichte typering. Op basis van een visgerichte typering worden voorspellingen gedaan over aard en samenstelling van de visgemeenschap aan de hand van een aantal karakteristieken/kenmerken van het water. De watergerichte typering betreft een ecologische typering van een water aan de hand van een aantal karakteristieken/kenmerken van de visgemeenschap en/of enkele soorten. Momenteel worden de visstandgegevens beoordeeld op basis van soort, aantal, ouderdom, gewicht en lengte.

De Habitat Evaluatie Procedure (HEP) is een in de Verenigde Staten ontwikkelde methode, waarmee voor één of meer gekozen (doel)soorten en een gekozen onderzoeksgebied, de geschiktheid van het gebied voor 'bewoning' door de betreffende vissoort wordt bepaald (Anonymus 1980a, b, c, Anonymus 1990, Quak 1991, Quak & Van der Spiegel 1992).

#### 4.7.5 Overige organismengroepen

Naast bovenbeschreven diergroepen zijn er andere organismengroepen die in een beek(dal)stelsel aangetroffen kunnen worden. Vooral maatregelen die leiden tot veranderingen van de grondwaterstand oefenen veelal invloed uit op deze organismengroepen in het gehele stroomgebied. Maar ook andere maatregelen zoals aanleg van bufferzones en aanplant van houtwallen hebben effecten op andere organismengroe-



pen. Deze groepen kunnen mede van belang zijn om de ontwikkeling van het beekdal-systeem in kaart te brengen. Vaak is ook hun aaibaarheidswaarde en daarmee aantrekkelijkheid voor een breed publiek, hoog. Een nadeel is de vaak minder directe relatie met de waterkwantiteit en -kwaliteit. Het betreft de volgende groepen (Provincie Utrecht 1993, Bijen 1992);

- vogels (grote gele kwikstaart, ijsvogel, waterspreeuw),
- amfibieën (rugstreeppad, kamsalamander),
- \* zoogdieren (otter, aardmuis, noordse woelmuis, waterspitsmuis),
- insecten (div. vlinders, libellen, kevers, hommels)
- stroomdal- en overige vegetaties

De inventarisatie van bovengenoemde organismegroepen vraagt, evenals bij de al beschreven groepen, veelal om specifieke kennis. De waterbeheerders kunnen onder andere gebruik maken van inventarisaties en informatie van lokale natuurwerkgroepen, terreinbeheerders, natuurbeschermingsorganisaties en provinciale inventarisaties.

Voorbeelden van monitoringsmethoden van deze overige organismegroepen zijn voor water- en oevervogels broedvogelkarteringen (koloniegrootte oeverzwaluwen, aantal ijsvogelnesten en dergelijke) of lijntransecttellingen (zoals aantal rietgorzen), dit eenmaal per 3-5 jaar worden uitgevoerd. Voor amfibieën kan gedacht worden aan het tellen van het aantal eiklompjes per poel of transect, het verzamelen met behulp van een net of het inventariseren op geluid, dit 1-2 maal per jaar en om de 3-5 jaar herhaald. Voor zoogdieren kan de aandacht uitgaan naar specifieke aandachtsoorten die met behulp van waarnemingen, vallen of sporen worden geïnventariseerd.

#### 4.8 Evaluatie

Bij de evaluatie worden de verzamelde gegevens uit het monitoringsprogramma vergeleken met uitgangssituatie en getoetst aan de doelstellingen ondermeer in de vorm van (tussentijdse) streefbeeldjes. Hieraan wordt afgelezen of het systeem zich in de gewenste richting ontwikkelt. Als bijvoorbeeld de doelstelling luidt dat de grondwaterstand met zoveel centimeters in een bepaald gebied omhoog moet gaan ten bate van de afvlakking van het afvoerpatroon in de beek dan geldt voor de evaluatie de volgende vraag: 'Hebben de maatregelen voor grondwaterstandsverhoging geleid tot die verhoging én tot de aanzet van een ontwikkeling van de levensgemeenschap behorende bij die betreffende grondwaterstand én bij een meer afgevlakt afvoerpatroon?' en zo ja, 'Hoever is deze ontwikkeling ten opzichte van de uitgangssituatie en de tussendoelen?'.

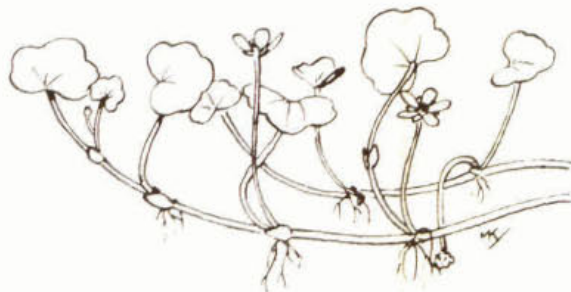
Er zijn veel technieken beschikbaar om gegevens met elkaar te vergelijken. Naast het vergelijken van waarden of aantallen van de afzonderlijke variabelen of soorten kan onder andere gebruik gemaakt worden van ordinatietechnieken zoals principale componenten analyse en discriminant analyse voor abiotische variabelen en similariteitsindices voor biotische gegevens. Similariteitsindices zijn rekenformules waarmee de mate van overeenkomst bepaald kan worden (Hellawell 1978, Washington 1984). Of de geconstateerde veranderingen significant zijn, kan (statistisch) getoetst worden. Elliot (1977), Hellawell (1978) en Sokal & Rohlf (1981) geven een overzicht van een groot aantal (statistische) methoden die gebruikt kunnen worden. Wanneer in de loop der tijd grote hoeveelheden gegevens verzameld zijn geven de resultaten van multivariate analyse technieken (Jongman et al. 1987) eveneens inzicht in mogelijke veranderingen.



Biologische gegevens kunnen vergeleken worden op soortsniveau (autecologie en indicator-organismen) en op levensgemeenschapsniveau (synecologie en beoordelings-systemen). Bij de beschrijving van de individuele groepen (paragraaf 4.7) is hier al dieper op ingegaan. Diversiteitsindices (bijvoorbeeld Shannon-index, reciproke Simpson-index ; zie onder andere Southwood 1966, Winget 1985) combineren het aantal soorten met het aantal individuen per soort en de verdeling hiervan. Deze maten worden vooral gebruikt bij het beoordelen van veranderingen op een locatie in de tijd. Deze maten zijn minder geschikt om verschillende beektrajecten of -typen onderling te vergelijken.

Voor soorten en/of levensgemeenschappen is de mate van zeldzaamheid te bepalen naar frequentie van voorkomen in betreffend gebied. De mate van zeldzaamheid hangt af van de geografische verspreiding van soorten en van de verspreiding van geschikte milieus. Afhankelijk van de grootte van het verspreidingsgebied en het aantal vindplaatsen wordt een soort als zeldzaam of algemeen beschouwd. Dit kenmerk wordt gebruikt voor het behoud van diversiteit op internationale, nationale en/of regionale schaal. Daarnaast kan gekeken worden naar de trend van de soort of gemeenschap in betreffend gebied. Met trend wordt de voor- of achteruitgang van het aantal individuen of vindplaatsen van een soort in de tijd bedoeld (zie bijvoorbeeld Jansen et al. 1993).

Afhankelijk van de wijze waarop het monitoringsprogramma is samengesteld kunnen abiotische en/of biotische factoren en processen worden geëvalueerd. Dit kan beschrijvend of met behulp van geformaliseerde evaluatie- en toetstechnieken gebeuren. Vaak zijn hiervoor tussenstappen beschreven en evaluatiemomenten vastgelegd. Als bij evaluatie blijkt dat abiotische en biotische factoren en processen zich wijzigen in de richting van de doelstelling kan geconcludeerd worden dat de gewenste ontwikkelingen in gang gezet/bereikt zijn. Blijken echter afwijkende ontwikkelingen op te treden dan moet de vraag naar de mogelijke oorzaak worden gesteld en kan aanvullende informatie noodzakelijk zijn. Zijn de juiste maatregelen genomen, zijn verstoringsbronnen over het hoofd gezien, zijn maatregelen ver genoeg doorgevoerd, zijn er andere beperkende factoren, en zo meer. Voor de beantwoording van deze vragen zijn vaak in eerste instantie de abiotische factoren belangrijk. Ook kunnen abiotische factoren de gewenste richting laten zien, maar volgen de biotische niet of nog niet. Ook dan is een grondige analyse gewenst. Is de oorzaak opgespoord dan kan het zijn dat aanvullende maatregelen nodig zijn. Aangezien het voorspellen van het eindresultaat altijd moeilijk is, dient deze bij evaluatie niet alleen vergeleken te worden met beschreven streefbeelden maar dienen ook andere waargenomen ontwikkelingen te worden beoordeeld naar waarde en rol in het ontwikkelingsproces. Dit kan leiden tot het aanpassen van het streefbeeld.



Klimopwaterranonkel; te vinden in heldere ondiepe beekjes

## 5. INVENTARISATIE EN EVALUATIE VAN BEEKHERSTELPLANNEN IN NEDERLAND

### 5.1 Inleiding

De laatste jaren is de belangstelling voor beekherstel in Nederland sterk gegroeid. Diverse herstelprojecten zijn in uitvoering genomen of reeds afgesloten. Om een beeld te verkrijgen van de huidige stand van zaken, is een enquête van beekherstelprojecten uitgevoerd. De resultaten van deze inventarisatie zijn, uitgaande van ecologische denkbeelden (hoofdstuk 1), in paragraaf 5.2 geëvalueerd.

Ecologische uitgangspunten bij beekherstelplannen moeten gericht zijn op het behoud, het herstel of de ontwikkeling van beekecosystemen. In paragraaf 5.3 is onderzocht in hoeverre ecologische uitgangspunten zoals beschreven in hoofdstuk 1 en 6, een rol gespeeld hebben in een 18-tal bestaande beekherstelprojecten. Het doel was niet de geanalyseerde plannen te beoordelen, maar om aan te geven bij welke aspecten ecologische uitgangspunten in het verleden aan bod zijn gekomen.

Tenslotte zijn in paragraaf 5.4 monitorings- en evaluatieprogramma's van lopende beekherstelprojecten geëvalueerd en is de effectiviteit en het rendement van 'oudere' beekherstelprojecten in beeld gebracht.

Uit deze analyses blijken de ervaringen met en de leemten in kennis, inzicht en in praktische mogelijkheden bij ecologisch beekherstel. Het zichtbaar maken van ervaringen en leemten levert een bijdrage aan het oplossen van vragen en knelpunten. Deze ervaringen kunnen bij nieuwe planvorming worden meegenomen.

### 5.2 Enquête van beekherstelplannen

#### 5.2.1 Doel van de enquête

Het doel van de enquête was:

- \* Het samenstellen van een lijst van beekherstelprojecten in Nederland, teneinde inzicht te verkrijgen in de stand van zaken op 1 april 1993.
- Het inventariseren van de aard en het kader van de beekherstelprojecten.

#### 5.2.2 Werkwijze van de enquête

##### Aanwezige gegevens

In 1990/91 is door de Vakgroep Ruimtelijke Planvorming van de Landbouw Universiteit te Wageningen (LUW) onder diverse instanties in Nederland een enquête gehouden gericht op de natuur-technische kant van beekherstel (Hermens & Wassink 1992). In overleg met de LUW is dit bestand overgenomen en als uitgangspunt voor deze enquête gebruikt.

##### Opbouw enquête

Begin 1993 is een nieuwe enquête samengesteld om de gegevens uit 1991 te actualiseren en aan te vullen met ecologische informatie. De enquête is opgebouwd uit een aantal rubrieken. De eerste rubriek bevat gegevens omtrent de persoon die het formulier heeft ingevuld. Deze gegevens zijn hier niet verwerkt. De andere rubrieken hebben betrekking op;



- algemene informatie over het beekherstelproject,
- het traject waarover beekherstel plaatsvindt,
- inhoudelijke documentatie over het project,
- uitgevoerde of geplande herstelmaatregelen,
- problemen bij het project.

#### Uitvoering enquête

De reeds aanwezige informatie uit de enquête van 1991 is op de nieuwe enquêteformulieren van tevoren ingevuld. Blanco en tevoren ingevulde enquêteformulieren zijn voor aanvulling en correctie gezonden naar de instanties die in 1991 informatie hadden verstrekt. Tevens zijn formulieren gestuurd naar alle overige waterkwantiteits- en waterkwaliteitsbeheerders, provincies en de regionale consulentschappen NBLF in het pleistocene deel van Nederland.

#### Opslag gegevens

Oude en nieuwe enquêtegegevens zijn in een gegevensbestand (in Cardbox Plus) ingevoerd. Uit dit gegevensbestand zijn dubbel vermelde projecten en projecten in stilstaande wateren geschrapt. Ook zijn projecten verwijderd waarvan te weinig gegevens waren vermeld, zoals het ontbreken van beeknaam of herstelmaatregelen. Vervolgens zijn de overblijvende gegevens verwerkt.

#### Verwerking gegevens

Bij de verwerking is voor iedere rubriek eerst het aantal projecten bepaald waarbij een gegeven is ingevuld. In een aantal gevallen zijn percentages berekend. De percentages zijn steeds berekend op basis van het aantal projecten waarbij het betreffende gegeven is ingevuld.

### 5.2.3 Resultaten van de enquête

#### Inleiding

Van de in totaal 85 aangeschreven instanties hebben er 50 gereageerd (59 %). Na opschoning resulteert een bestand met 170 projecten. De ligging van de projecten is weergegeven in figuur 5.1. Een lijst van deze projecten is op aanvraag verkrijgbaar bij de Werkgroep Ecologisch Waterbeheer (p/a IBN-DLO, afdeling Aquatische Ecologie, Postbus 23, 6700 AA Wageningen). De resultaten zijn weergegeven conform de opbouw van het enquêteformulier. Bij elke rubriek zijn eerst, in kleine letters, de vragen vermeld.

#### Algemene informatie over het beekherstelproject

Deze rubriek bevat de niet-inhoudelijke informatie over beekherstelprojecten. De vragen zijn gesteld om inzicht te verkrijgen in de geografische verspreiding, de financiering en het stadium van uitvoering.

---

#### Project:

Naam project:

Naam watergang/systeem:

Provincie:

Financier(s):

(Geschatte) kosten:

Periode uitvoering:

Huidige status:  gepland,  in ontwikkeling,  in uitvoering,  afgesloten

Andere betrokken instanties/personen:

---



*Figuur 5.1 De ligging van de beekherstelprojecten uit de enquête.*



Geografische spreiding

De 170 projecten zijn op een kaart aangegeven (figuur 5.1). Daarnaast is het aantal projecten per provincie bepaald.

provincie	aantal projecten
Friesland	2
Groningen	11
Drenthe	23
Overijssel	39
Gelderland	30
Utrecht	1
Noord-Brabant	34
Limburg	30

In Drenthe, Overijssel, Gelderland, Noord-Brabant en Limburg liggen verreweg de meeste projecten. Dit komt overeen met de verspreiding van beeksystemen in Nederland. De 11 projecten in Groningen hebben betrekking op twee beeksystemen, de Westerwoldse/Ruiten Aa en de Drentse Aa.

Financiering

Bij 107 projecten zijn de financiers aangegeven. De financiering van de projecten wordt doorgaans door meerdere instanties gedragen. Het aantal projecten waaraan de diverse instanties financieel deelnemen is in onderstaande tabel aangegeven.

financier	aantal projecten
Rijk: niet nader aangeduid	30
LNV/NBLF/NBP	22
LD/RVK	17
RWS/REGIWA*	29
RWS (Ov.Vecht)	10
VROM	1
Provincies	34
Gemeenten	5
Waterkwantiteitbeheerders	51
Waterkwaliteitbeheerders	13
Kwaliteit- + kwantiteitbeheerders	24
Instanties in Duitsland	6
SBB	8
Waterleiding Mij.	1
Adviesgroep Vegetatie Beheer	1
Visfederatie	1
Particuliere Nat. Besch. Org.	6
GWG	1

\*REGIWA-gelden waren voor 60 % afkomstig van V&W, voor 20 % van VROM en voor 20 % van LNV en bedroegen 50 % van de inrichtingskosten.

Bij 80 % van deze 107 projecten neemt de waterkwantiteitsbeheerder (een deel van) de kosten voor zijn rekening. Opvallend is dat rijk en/of provincie in bijna alle projecten bijdragen aan de financiering.

Hoewel de enquête beoogde inzicht te verkrijgen in de kosten van beekherstel zijn slechts bij 74 projecten de globale kosten vermeld. Bij deze projecten lopen de kosten uiteen van f 1.500,- tot f 30.000.000,-. In totaal is bij de 74 projecten een bedrag gemoeid van f 126.936.000,-. De gemiddelde kosten van een project bedragen f 1.715.351,-. Uitgaande van dit gemiddelde wordt naar schatting voor de 170 projecten in totaal een bedrag van bijna 300 miljoen gulden uitgegeven over een termijn van ongeveer 15 jaar. Voor de goede orde moet erop worden gewezen dat het

merendeel van dit geld in eerste instantie niet op basis van ecologisch herstel beschikbaar is gesteld, maar meestal vanuit bestaand beleid en vanuit bestaande projecten met andere doelen beschikbaar was. De ecologie kon hier 'meeliften'.

#### Stadium van uitvoering

Van 122 projecten is aangegeven in welk stadium of stadia van uitvoering het project zich bevindt.

uitvoeringsstadium	aantal projecten
gepland	17
in ontwikkeling	40
in uitvoering	53
afgesloten	40

Een relatief groot aantal projecten is inmiddels afgesloten. Een evaluatie van de huidige toestand van deze projecten zou in belangrijke mate bijdragen aan het vergroten van het inzicht in de effecten van de uitgevoerde maatregelen.

#### Het traject waarover beekherstel plaatvindt

De vragen in deze rubriek zijn gesteld om een beeld te vormen van het beektraject waarop het herstelplan betrekking heeft.

---

#### Type traject:

- bron, gebied waar grondwater op natuurlijke wijze over een klein of groot oppervlak uitteedt, dat samenvloeit tot een stroompje.
- bovenloop, deel van een watergang vanaf de bron tot waar een breedte van 3 meter wordt bereikt.
- middenloop, deel van een watergang met een breedte tussen 3 en 5 meter.
- benedenloop, deel van een watergang breder dan 5 meter.

Lengte te herstellen traject:            km  
Oppervlakte beekdalsysteem in herstel:    ha  
Staat van beek(traject) vooraf:

- genormaliseerd, onder normprofiel gebracht
  - gekanaliseerd, bochten recht getrokken
  - gereguleerd, gestuwd
  - oorspronkelijk, geen ingrepen
- 

#### Type en lengte traject

Bij 117 projecten is aangegeven in welk traject de herstelmaatregelen plaatsvinden. Bij 79 van deze projecten is ook de lengte van het te herstellen traject aangegeven. Het oppervlak van het te herstellen beekdalsysteem is slechts incidenteel ingevuld.

type traject	aantal projecten	(%)	aantal projecten (+ lengte)	lengte traject
Bron	4	3%		
Bovenloop (Bov)	21	18%	(15)	40,7 km
Middenloop (Mid)	32	27%	(22)	69,9 km
Benedenloop (Ben)	28	24%	(19)	96,5 km
Bron + Bov	2	2%	(2)	12,0 km
Bron + Bov + Mid	4	3%	(3)	30,0 km
Bron + Bov + Mid + Ben	4	3%	(2)	41,0 km
Bov + Mid	7	6%	(1)	1,0 km
Bov + Mid + Ben	9	8%	(9)	± 235,0 km
Mid + Ben	6	5%	(6)	62,1 km
<i>Totaal</i>	<i>117</i>		<i>(79)</i>	<i>± 588,2 km</i>



Op basis van deze cijfers bedraagt de gemiddelde lengte per project 7,4 km. Hierbij dient te worden opgemerkt dat over genoemde trajecten vaak slechts één of enkele maatregelen worden uitgevoerd. Dit betekent niet dat daarmee het beektraject in de natuurlijke staat is teruggebracht. Opvallend is de verhouding tussen het aantal projecten in bovenlopen ten opzichte van midden- en benedenlopen. In bovenlopen worden procentueel minder projecten uitgevoerd.

#### Toestand van het beektraject vooraf

Bij 115 projecten is aangegeven hoe de toestand van het beektraject voor de uitvoering van maatregelen was. Bij veel projecten is de toestand van het te herstellen traject niet over de gehele lengte gelijk.

toestand vooraf	(%)
genormaliseerd	63 %
gekanaliseerd	43 %
gereguleerd (gestuwd)	65 %
oorspronkelijk	21 %

Het bovenstaande betekent niet dat bij alle projecten in het te herstellen traject normalisatie, kanalisatie en regulatie zijn opgeheven.

#### Inhoudelijke documentatie over het project

Deze rubriek beoogde inzicht te verschaffen in de diepgang van het vooronderzoek. Vastlegging van de planning, uitvoering en evaluatie biedt mogelijkheden om bij nieuwe projecten kennis te nemen van reeds opgedane ervaringen. Daartoe is dan ook de volgende vraag gesteld:

---

Is er m.b.t. dit project documentatie aanwezig omtrent ?:

Vooronderzoek naar:

- hydrologie
- morfologie
- waterkwaliteit
- levensgemeenschappen, soorten
- Kaartmateriaal
- Effectvoorspelling
- De wijze van uitvoering van het project
- Onderhouds- en beheersaspecten na uitvoering
- Monitoring
- Evaluatie

Titel(s):

---

In onderstaande tabel is procentueel weergegeven welke documentatie omtrent de projecten aanwezig is. De percentages zijn berekend op basis van alle 170 projecten.

<b>aard documentatie:</b>	<b>(%)</b>
Enige vorm van vooronderzoek	40%
waarvan:	
hydrologisch vooronderzoek	29%
morfologisch vooronderzoek	26%
vooronderzoek waterkwaliteit	29%
biologisch vooronderzoek	29%
Kaartmateriaal	69%
Effectvoorspelling	17%
Uitvoering	63%
Beheer	38%
Monitoring	19%
Evaluatie	11%

Bij 17% van de projecten omvat het vooronderzoek zowel hydrologie (stroming), morfologie (structuren), waterkwaliteit (stoffen) en levensgemeenschap (soorten). Bij 5% van de projecten vindt naast een volledig vooronderzoek ook effectvoorspelling, monitoring en evaluatie plaats.

#### Uitgevoerde of geplande herstelmaatregelen

In de enquête was de vraag naar herstelmaatregelen onderverdeeld naar hydrologie (stroming), morfologie (structuren), waterkwaliteit (stoffen) en soorten.

---

#### Herstelwerkzaamheden:

Hydrologie: vermindering van ontwatering d.m.v.:

- verwijderen drainage (sloten, greppels)
- verminderen ontwateringsdiepte door peilbeheer
- verminderen ontwateringsdiepte door verondiepen
- aanleggen waterretentie bovenstrooms
- anders, nl.....

Morfologie: vergroten van de morfologische variatie/dynamiek

- verwijderen oeverbeschoeiing
- verwijderen stuwen
- meanderontwikkeling
  - creëren  overstromingsvlakten
  - natte milieus
  - "natuurvriendelijke" oevers
  - plasbermen
- ontwikkelen pool-riffle systemen
- objecten in de stroom (variatie stroomsnelheid en -richting)
- anders, nl.....

Waterkwaliteit: verminderen van belasting met organische en chemische vervuiling

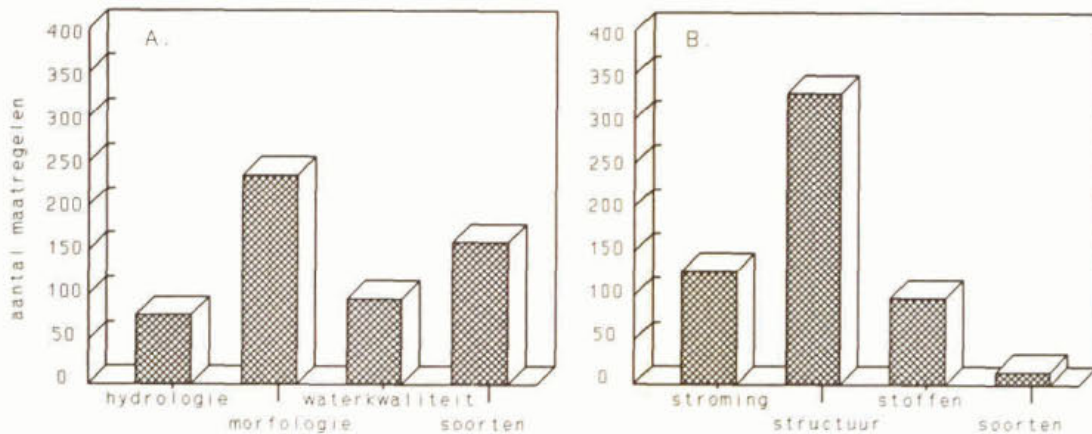
- vermindering bemesting beekdal
  - afleiden  lozingen
  - riooloverstorten
  - saneren  lozingen
  - riooloverstorten
- aanleggen bufferzones
- aanleggen helofytenfilters e.d.
- saneren gebruik van bestrijdingsmiddelen
- saneren verontreinigde waterbodems
- saneren bodems beekdal (b.v. bij fosfaatverzadiging)
- anders, nl.....

Levensgemeenschappen/soorten: verhogen van de aanwezigheid van structurelementen en diversiteit

- beplanten oevers met houtige gewassen
  - natuurvriendelijk beheer oevers
  - natuurvriendelijk beheer watervegetaties (schonen)
  - aanplanten van bos
  - aanplanten van houtwallen
  - introductie van begrazers
  - (her-)introductie van vissoorten
  - aanleg vispassages (natuurtechnische stuwen)
  - specifieke maatregelen t.b.v. behoud van aanwezige soorten
  - anders, nl.....
- 

Bij de verwerking van de herstelmaatregelen zijn percentages berekend op basis van 165 projecten. De resterende vijf projecten verkeren nog in een dermate prematuur stadium dat nog niet bekend is welke van de voorgestelde herstelwerkzaamheden zullen worden uitgevoerd. De enquête was niet ingedeeld naar de 5 "S-en" stroming, structuren, stoffen en soorten. Uitgaande van de oorspronkelijke indeling blijken in 14% van de maatregelen gericht op hydrologie, 41% gericht op morfologie, 17% gericht op waterkwaliteit en 28% gericht op soorten te worden uitgevoerd of gepland (figuur 5.2A).





Figuur 5.2 Indeling van geplande en uitgevoerde maatregelen. A. Ingedeeld volgens enquête opzet. B. Volgens het 5-S-model.

Worden de maatregelen uit de enquête ingedeeld overeenkomstig de maatregelgroepen uit hoofdstuk drie, de 5 "S-en" (figuur 5.2B), dan blijken voor de geanalyseerde 165 projecten de 570 maatregelen als volgt te zijn verdeeld:

	aantal projecten	%
<b>stroming</b>		
verwijderen drainage	35	6%
bevorderen infiltratie	0	0%
wijzigen wateronttrekking	1	< 1%
ontwikkelen bos	20	4%
aanleggen hydrologische buffer	0	0%
hergebruiken gezuiverd effluent	0	0%
ontwikkelen inundatiezone	30	5%
vergroten retentie	20	4%
herstellen oorspronkelijk stroomgebied	0	0%
verwijderen stuw	21	4%
aanleggen nevengeul	1	< 1%
<i>totaal aantal uitgevoerde/geplande op stroming gerichte maatregelen</i>	<i>128</i>	<i>22%</i>
<b>structuren</b>		
passief ontwikkelen meanders	0	0%
graven meanders	63	11%
actief ontwikkelen micromeanders	0	0%
verkleinen profiel	14	2%
verwijderen profielverdediging	27	5%
aanleggen asymmetrisch profiel	0	0%
aanplanten houtwal	72	13%
aanleggen twee-fasen bedding	64	11%
aanleggen stroomkuilen en zandbanken	4	1%
aanbrengen stoorobjecten	28	5%
aanleggen soortgerichte structuren	0	0%
inrichten steile overhangende oever	1	< 1%
aanleggen vispassage	52	9%
aanleggen poelen	0	0%
aankoppelen oude meander	4	1%
<i>totaal aantal uitgevoerde/geplande op structuren gerichte maatregelen</i>	<i>329</i>	<i>58%</i>

**stoffen**

vermindere meststoffentoevoer	17	3%
opheffen huishoudelijke lozingen	9	2%
opheffen overstort	20	4%
verbeteren RWZI	0	0%
scheiden waterstromen	14	2%
verlagen maaiveld	2	< 1%
aanleggen helofytenfilter	10	2%
aanleggen horse-shoe wetland	0	0%
aanleggen bufferzone	13	2%
terugdringen microverontreiniging	13	2%
<i>totaal aantal uitgevoerde/geplande op stoffen gerichte maatregelen</i>	<i>98</i>	<i>17%</i>

**soorten**

herintroductie soorten	15	3%
<i>totaal aantal uitgevoerde/geplande maatregelen</i>	<i>570</i>	<i>100%</i>

Uit de resultaten blijkt dat van de totaal 570 uitgevoerde of geplande maatregelen er 128 zijn gericht op verbetering van de factor stroming, 329 maatregelen zijn gericht op verbetering van de structuren en 98 op de factor stoffen. Daarnaast is 15 maal herintroductie van soorten gepland of uitgevoerd. Het verschil in aantal maatregelen gericht op soorten ten opzichte van de oorspronkelijke enquête ontstaat doordat veel maatregelen wel als doel soorten hebben maar als maatregelen meestal structuren betreffen.

Problemen met het project

In de enquête is de vraag gesteld:

---

"Kunt u in het kort aangeven welke praktische problemen zich tijdens de ontwikkeling/uitvoering van het herstelplan hebben voorgedaan?"

---

Bij 48 projecten zijn één of meerdere problemen vermeld. Deze problemen zijn in te delen in de volgende categorieën:

<b>probleem:</b>	<b>aantal projecten</b>
Overeenstemming tussen betrokkenen op bestuurlijk niveau	18
Grondverwerving of overeenstemming met grondeigenaren	21
Tekort technische/ecologische kennis over maatregelen	20
Financiën	3
Verontreinigde beekbodem	4

Genoemde problemen zijn sterk verweven. Het zoeken naar een ecologisch verantwoord compromis tussen de natuurfunctie en andere functies geeft dikwijls problemen. Het ontbreken van juridische mogelijkheden om op onvrijwillige basis grond te verwerven vormt hier een goed voorbeeld van. In de praktijk blijkt ook het ontbreken van kennis van het ecologisch rendement van herstelmaatregelen een probleem. Hetzelfde geldt voor de technische uitvoering van maatregelen.



#### 5.2.4 Evaluatie van de enquête

Uit het grote aantal reacties op de enquête kan worden afgeleid dat er veel belangstelling bestaat voor beekherstel in Nederland. Het aantal projecten neemt nog steeds toe waardoor deze enquête inmiddels gedateerd is. De verspreiding van de projecten komt overeen met de ligging van beeksystemen.

Veel projecten bleken op het moment van de enquête in uitvoering of te zijn uitgevoerd. Het betrof veelal behoorlijke lengten van beektrajecten van, in driekwart van de projecten, niet natuurlijke beken. Gezien het beperkt aantal uitgevoerde maatregelen per traject is meestal sprake van een lichte verbetering van het beekstelsel, zeker niet van een volledig herstel.

De kosten van beekherstel zijn hoog en worden voornamelijk gedragen door de waterbeheerders en de rijks- en provinciale overheid. Zeker in verband met deze hoge kosten is het opvallend dat er zowel over de knelpunten (vooronderzoek) als over de effectiviteit van de maatregelen (monitoring, evaluatie) relatief weinig documentatie bestaat.

Zoals in hoofdstuk 1 is uiteengezet stroomt in een natuurlijk beekecosysteem continu, schoon, gebiedseigen water in een vrije loop van hoog naar laag. De waterstroom creëert een variatie aan habitats die mogelijkheden bieden aan de beeklevensgemeenschap. Maatregelen voor ecologisch beekherstel sorteren daarom het meeste effect als deze in eerste instantie gericht zijn op de factor stroming. Daarnaast vormen maatregelen genomen ter verbetering van de waterkwaliteit, op stoffen gerichte maatregelen, een belangrijke ondersteuning van beekherstel. Uit het voorgaande blijkt dat relatief weinig maatregelen zijn gericht op de factoren stroming en stoffen. Gezien het feit dat deze maatregelen de activiteiten in het gehele stroomgebied beïnvloeden, zijn ze vaak strijdig met de overige belangen in het stroomgebied en worden daarom weinig toegepast. Bij twee projecten wordt het vergroten van de ontwatering genoemd als hydrologische herstelmaatregel, een ecologisch onjuiste opvatting.

De meeste maatregelen worden in de beek zelf genomen en zijn gericht op het creëren van structuren. Structuur-gerichte maatregelen kunnen bijdragen aan versnelling van het proces van ecologische ontwikkeling. Als echter aan de randvoorwaarden voor stroming en stoffen niet is voldaan, creëren ze op zichzelf geen natuurlijk beekecosysteem.

Onderhoud en beheer blijven in een aantal omstandigheden noodzakelijk. Voor natuurlijke, zelfstandig functionerende beeksystemen is dit niet wenselijk. In multifunctionele systemen bieden structuur-gerichte maatregelen vaak de enige mogelijkheden voor verbetering. Uit de enquête blijkt echter niet welke maatregelen in welk type beek zijn/worden genomen.

Een ander aspect van het functioneren van het beekecosysteem is de samenhang tussen bron, boven-, midden- en benedenloop. Een beektraject dat bovenstrooms ernstig is aangetast kan niet optimaal functioneren. Beekherstel vanaf de bron zal dan ook het meeste effect sorteren. Door verlaging van grondwaterstand en/of overbemesting in het stroomgebied zijn veel bronnen en bovenlopen drooggevallen en/of geëutrofiëerd. Daar elk beekstelsel meer bovenlopen dan middenlopen en benedenlopen heeft, mag verwacht worden dat de meeste projecten plaatsvinden in bovenlopen. Dit blijkt echter niet zo te zijn. Wel blijken projecten in bovenlopen vaker maatregelen ter verbetering van stroming en stoffen te bevatten dan die in midden- en benedenlopen. De meeste beekherstelprojecten omvatten een aantal maatregelen voor de verbetering van een bepaald beektraject. Uit de enquête komen geen projecten naar voren waarbij wordt gestreefd naar volledig herstel van een geheel (deel-)stroomgebied.



### 5.3 Evaluatie van ecologische uitgangspunten in bestaande beekherstelplannen

#### 5.3.1 Aanpak van de evaluatie

Een geselecteerd aantal plannen is aan de hand van de volgende vragen geanalyseerd:

- *Beleidsvoorbereiding*; welke ecologisch relevante criteria speelden bij de keuze van de te herstellen beek of beekdelen?
- *Doelstellingen*; welke ecologisch relevante criteria speelden bij de keuze van de doelstellingen in het herstelproces?
- *Onderzoek vooraf*; welke ecologisch relevante onderdelen zijn vooraf onderzocht?
- *Maatregelen*; welke ecologisch relevante criteria speelden bij de keuze van specifieke maatregelen?
- \* *Evaluatie*; hoe is de monitoring opgenomen in de plannen?

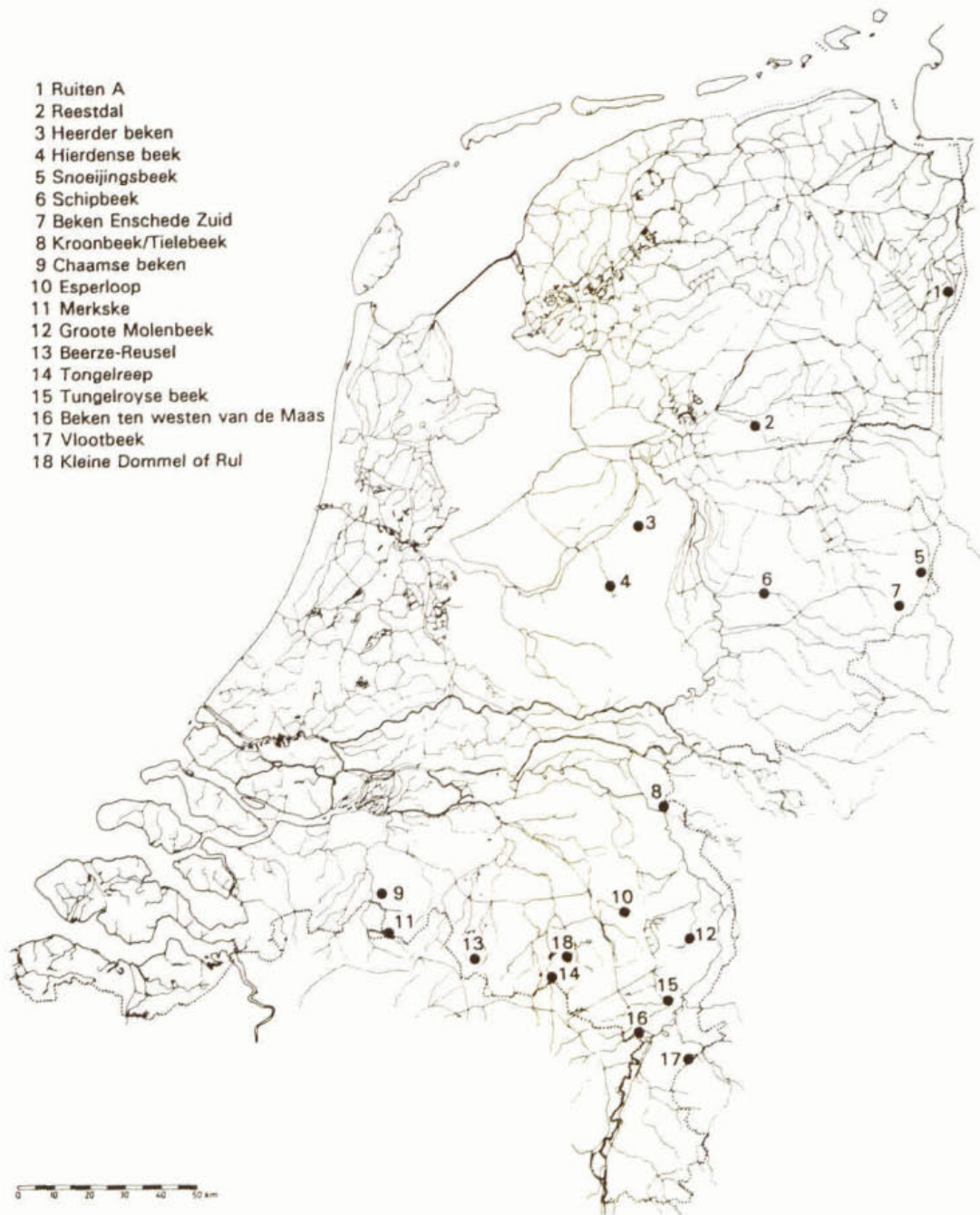
In paragraaf 5.3.2 zijn de gebruikte rapporten vermeld. In paragraaf 5.3.3 is het toetsingskader van bovengenoemde vijf punten gegeven. In paragraaf 5.3.4 zijn de geanalyseerde beekherstelplannen beschreven, waarbij van elk van de vijf genoemde punten een overzicht wordt gegeven. Beschrijvingen van de afzonderlijk plannen zijn op te vragen bij de Werkgroep Ecologisch Waterbeheer p/a IBN-DLO, afdeling Aquatische Ecologie, Postbus 23, Wageningen. In paragraaf 5.3.5 zijn de resultaten van de beschrijving uit paragraaf 5.3.4 gelegd naast het toetsingskader uit paragraaf 5.3.3 en zijn algemene conclusies opgenomen.

De leden van de WEW subgroep Beekherstel leverden de rapporten met plannen voor beekherstel. Gezien de samenstelling van de subgroep mag verondersteld worden dat dit materiaal representatief is en de stand van zaken anno 1993 weergeeft. Op voorhand zijn plannen geselecteerd, waarvan bekend was dat ecologisch herstel of ontwikkeling het uitgangspunt was. In totaal gaat het om 20 beken verspreid over het pleistocene deel van Nederland. Een lijst van de ingebrachte plannen is gegeven in paragraaf 5.3.2. De ligging van de beken is in figuur 5.3 globaal aangegeven.

De geanalyseerde rapporten verschillen inhoudelijk. Het betreft soms op uitvoering gerichte plannen zoals 'Schipbeek', soms vooronderzoek zoals 'Kroonbeek/Tielebeek' en 'Reest' en soms voorstellen voor REGIWA-projecten zoals 'Kroonbeek/Tielebeek', 'Tungelroyse beek', 'Ruiten A', 'Merkske' en 'Strijbeekse Beek'. De rapporten zijn elk een weerslag van een afzonderlijke stap of hooguit van enkele stappen in het beekherstelproces (zie hoofdstuk 6). Geen enkel rapport omvat het volledige planproces.

Als gevolg van de verscheidenheid van het materiaal (tabel 5.1) is het moeilijk algemene conclusies te trekken. Bovendien geven de rapporten niet noodzakelijkerwijs een volledige, schriftelijke weerslag van alle gehanteerde uitgangspunten of het volledige planproces. Het is de vraag in hoeverre aan de hand van de stukken te achterhalen was op welke momenten met welke informatie bepaalde keuzen zijn gemaakt. Sommige belangrijke inhoudelijke argumenten die wel op tafel zijn gekomen, behoeven niet opgenomen te zijn in het rapport. Voorts is de gang van zaken voorafgaand aan het rapport vaak slechts kort samengevat, zodat hiervan geen gedetailleerd en/of volledig beeld kan worden gevormd. Gebrek aan informatie leidde er dan ook toe dat inhoudelijke analyse van genoemde punten vaak niet mogelijk was. Hierdoor kon alleen worden aangegeven of het genoemde punt wel of niet aan de orde kwam. Tenslotte is het niet ondenkbaar dat een keuze voor een beek of een doelstelling op grond van secundaire motieven is gemaakt en vervolgens een eigen leven is gaan leiden waarbij gaandeweg de legitimerende argumenten zijn aangedragen. De uitspraken in deze paragraaf moeten dan ook met deze beperkingen in het achterhoofd gelezen worden.





Figuur 5.3 Ligging van de geanalyseerde projecten.

Tabel 5.1 Aard van de onderzochte rapporten.

Aard van het rapport	aantal rapporten	rapportnummers (paragraaf 5.2.2)
Planvorming, formulering doelstelling, visie, aanpak of haalbaarheidsonderzoek	14	2 4 5 7 8 9 10 12 13 14 15 16 17
Beheers- of uitvoeringsplan	4	1 3 6 11
REGIWA-project	4	1 8 11 16
Systeemonderzoek	1	2

### 5.3.2 Gebruikte rapporten

1. Waterschap Reiderzijlvest, 1991. Ruiten A - natuurvriendelijke inrichting. Projectbeschrijving.
2. Vegter, U., 1992. Systeemonderzoek Reestdal, aanbevelingen voor water- en natuurbeheer, eindrapportage. NBLF Drenthe.
3. Oranjewoud, 1992. Beheers- en onderhoudsplan Noordelijke en Zuidelijke Heerderbeek. Waterschap Oost Veluwe.
4. DHV Raadgevend Ingenieursbureau bv, 1990. Het Stroomgebied van de Hierdense Beek. Een voorbeeldstudie naar integrale planvorming op de noord-west Veluwe.
5. Waterschap Regge en Dinkel, consulentschap natuur, Milieu en Faunabeheer in Overijssel, 1991. Integraal waterbeheersplan Snoeiijksbeek. Heidemij Adviesbureau.
6. Waterschap De Schipbeek, 1992. Proefproject Milieuvriendelijke Oevers.
7. Waterschap Regge en Dinkel, 1991. Herstel beken Enschede-Zuid. Heidemij Adviesbureau, 1991.
8. Waterschap Het Maasterras, 1991. Watersysteem Kroonbeek/Tielebeek, proefproject.
- 9a. Latour, P.J.M., J.P. Witte, R.H. Aalderink, J.J.P. Gardeniers & D. van der Hoek, 1988. Haalbaarheidsstudie Ecologische Doelstelling Chaamse Beken, samenvattend eindrapport. Landbouwuniversiteit Wageningen, vakgroep Natuurbeheer.
- 9b. Anoniem, 1991. Integraal waterbeheer Chaamse bekengebied, bestuursakkoord 1991-1995, Beleidsplan Breda.
- 9c. Anoniem, 1991. Intentieprogramma integraal waterbeleid Chaamse bekengebied 1991-1995. Breda.
- 9d. Anoniem, 1991. Beleidsplan integraal waterbeheer Chaamse bekengebied. Breda.
10. Oosterwegel, J.L.V. 1988. De Esperloop. Een integrale studie naar de haalbaarheid van de specifiek ecologische doelstelling voor de Esperloop. Waterschap de Aa.
- 11a. Anoniem, 1992. Merkske en Strijbeekse Beek, integraal projekt in Noord-Brabant. Subsidie aanvraag REGIWA.
- 11b. Duel, H. & B. Specken, 1992. Haalbaarheidsstudie proefproject helofytenfilters in het Nederlandse stroomgebied van het Merkske. TNO(INRO), Delft.
12. Provincie Limburg, Ministerie van Landbouw, Natuurbeheer en Visserij, 1992. Groote Molenbeek. Scenario's voor herinrichting.
13. Provincie Noord-Brabant. Raamplan Beerze-Reusel. Een gebiedsgerichte benadering. DHV Water B.V., 1991.
- 14a. Heidemij Adviesbureau, 1991. Onderzoek en planvorming Beekdal Tongelreep. Den Bosch.



- 14b. Provincie Noord-Brabant, Waterschap De Dommel, Waterschap De Aa, Staringcentrum. Projectbeschrijving - Monitoring van de ontwikkeling van de beekmorfologie en het aquatisch-ecologisch herstel in de beekprojecten Tongelreep - Achelse Kluis, Keersop - Gagelvelden en Bakelse beek.
15. Provincie Limburg, 1990. Aanpassing waterhuishouding in Noord- en Midden Limburg ten westen van de Maas. DHV Raadgevend Ingenieursbureau bv.
16. Prov. Limburg, hfdgr. Verkeer, Waterstaat & Milieu, 1992. Brief: REGIWA-project Tungelroyse beek.
- 17a. Ministerie van Landbouw, Natuurbeheer en Visserij, Natuur-, Milieu- en Faunabeheer Roermond, 1989. Biologisch en/of geomorfologisch waardevolle beken. Deel 2: De Vlootbeek. Stageverslag M. Neven.
- 17b. Min. LNV, cons. NBLF Limburg, 1992. Startnotitie natuurontwikkelingsproject Vlootbeek.
18. Waterschap De Dommel, Gemeente Geldrop, 1993. Raamplan Kleine Dommel of Rul. Groene as door Geldrop.

### 5.3.3 Toetsingskader

Het toetsingskader omvat de ecologische criteria die bij de keuze-momenten spelen, de aard van het onderzoek vooraf en het te hanteren monitoringsprogramma. Voor de onderbouwing van dit toetsingskader wordt verwezen naar hoofdstuk 1.

#### Beleidsvoorbereiding

Bij het selecteren van een beek of beekdeel voor herstel spelen verschillende criteria een rol. Om een hoog ecologisch rendement te behalen is het van belang uit te gaan van;

- \* de ecologische potentie en
- \* de volledigheid van het beekstelsel (het ruimtelijke geheel van het stroomgebied).

Als het gaat om kleinere trajecten dan moet de prioriteit gelegd worden bij de meest bovenstrooms gelegen delen.

#### Doelstelling

Beekherstelplannen moeten een ecologische doelstelling hebben. In korte algemene bewoordingen luidt die doelstelling; "een levensgemeenschap die hoort bij de ecologische potenties van het onderhavig beekstelsel". Als referentie wordt een zo optimaal mogelijk functionerend systeem onder de gegeven ecologische randvoorwaarden genomen. In streefbeeld worden de haalbare doelen beschreven (zie paragraaf 1.7). Bij de beschrijving van het beekstelsel worden zowel abiotische en biotische processen (sturende variabelen) en toestanden (volgende variabelen) opgenomen. De gehanteerde criteria zijn;

- Een zo concreet mogelijke beschrijving van de gewenste (abiotische) structuur en processen, die de omstandigheden geschikt maken voor ontwikkeling van de na te streven beek(dal)levensgemeenschappen.
- Een zo concreet mogelijke beschrijving van de gewenste beek(dal)levensgemeenschap (waarvan soorten of soortgroepen een essentieel onderdeel zijn). Voor de levensgemeenschap van de beek zelf komt als eerste de macrofauna in aanmerking, voor het beekdal de vegetatie.

#### Onderzoek vooraf

Tegelijk met het formuleren van doelstellingen dient de huidige situatie onderzocht te worden. De volgende twee criteria maken dit noodzakelijk;

- de afstand tussen de huidige toestand en het doel (het streefbeeld) en
- kennis van het systeem.

Eenzijds moeten de onderzochte kenmerken aansluiten op de geformuleerde doelstelling, anderzijds moet daarmee voldoende inzicht in het systeem en kennis van de knelpunten verkregen worden. In concreto komt het neer op onderzoek naar de 5 "S-en" (zie paragraaf 6.4).

### Maatregelen

Uit een vergelijking van de huidige met de gewenste toestand volgen knelpunten. Uit deze knelpuntenanalyse volgt de keuze van, in veel gevallen, meerdere maatregelen. Om de juiste maatregelen te kiezen gelden de volgende criteria:

- \* Effectiviteit; wat is het ecologisch rendement van de maatregel.
- Randvoorwaarden en haalbaarheid; vaak worden vanuit andere belangen randvoorwaarden gesteld waarbinnen het beekherstel zich moet afspelen. Dit kunnen abiotische randvoorwaarden zijn zoals te handhaven peilen, waterafvoer en onderhoudspaden, en ook financiële en beleidsmatige randvoorwaarden zoals hoeveelheid beschikbaar oppervlak relatienotagebied.

### Evaluatie

Monitoring en evaluatie van het beekherstelproces is nodig om te onderzoeken of de doelstelling gerealiseerd is en om eventueel tijdig te kunnen bijsturen (zie hoofdstuk 4). Evaluatie kan ook nodig zijn om doelstellingen aan te passen aan veranderde inzichten. Gekeken is of monitoring is opgenomen.

### *5.3.4 Analyse van rapporten*

#### Beleidsvoorbereiding

De beleidsargumenten voor de keuze van de te herstellen beek of beektrajecten komen in de meeste rapporten sterk overeen (tabel 5.2). In vrijwel alle rapporten wordt voor deze keuze verwezen naar de aanwijzing van de specifiek ecologische functie in het (provinciaal) waterhuishoudkundig beleid (14x) en/of het beleid op het gebied van de ruimtelijke ordening (14x). Wat dit laatste betreft wordt met name de Ecologische Hoofdstructuur uit het Natuurbeleidsplan als uitgangspunt aangehaald.

Vanuit de praktijk blijkt een gunstige eigendomssituatie (4x) de keuze mede te bepalen. Beekherstel betekent vaak dat de beek in letterlijke zin meer ruimte nodig heeft. Grondaankoop is een kostbare zaak en vormt dan ook een belangrijke financiële factor. Grondverwerving is verder alleen mogelijk op basis van vrijwilligheid hetgeen eveneens een belangrijke rol speelt. Het is daarom aantrekkelijk daar te beginnen waar grond al in eigendom is of van de beheerder zelf of van terreinbeherende instanties (Natuurmonumenten, Staatsbosbeheer) die ecologische verbetering wensen.

Een tweede praktisch argument is dat toch al ingrijpend onderhoud uitgevoerd zou gaan worden (3x). Een combinatie van argumenten die vooral gericht zijn op de structuren. Omdat het onderhoud vaak bepaalde trajecten van de beek betreft zijn de plannen ook daartoe beperkt.

In bijna 50% van de projecten worden de reeds aanwezige waarden als (mede-)argument aangevoerd. Overigens zonder deze te relateren aan hun regionale, nationale of internationale betekenis. Dat de beek representatief is voor het betreffende beheersgebied wordt driemaal aangegeven. De ecologische potentie als argument komt nauwelijks (2x) aan bod.



Tabel 5.2 Beleidsargumenten voor keuze van te herstellen beek.

Beleidsargumenten voor keuze beek	aantal rapporten	rapportnummers (paragraaf 5.2.2)
Ruimtelijk beleid rijk en provincies; NBP, EHS	14	1 2 3 4 8 10 11 12 13 14 15 16 17 18
NBP	4	4 13 15 18
NW-3	5	1 4 15 17 18
Provinciaal waterh. beleid; natuurfunctie	12	1 3 6 8 9 10 11 13 15 16 17 18
Prioriteit in provinciaal beleid	1	16
Hoge natuurwaarden	10	2 7 8 10 11 12 15 16 17 18
Hoge cultuur / historische waarden	2	2 18
Potentiële natuurwaarden	2	7 8
Achteruitgang geconstateerd	4	2 15 16 18
Representatief	3	1 11 17
Gunstige eigendomssituatie	4	1 4 6 14
Onderhoud / bestaand probleem	4	1 5 6 18
Financieel / praktisch haalbaar	3	1 9 12

Het merendeel van de geanalyseerde rapporten betreft een volledig beekstelsel (tabel 5.3). Uit de rapporten wordt niet duidelijk of de volledigheid een rol heeft gespeeld bij de keuze.

Tabel 5.3 Volledigheid beekstelsel.

Volledigheid beekstelsel	aantal rapporten	rapportnummers (paragraaf 5.2.2)
volledig beekstelsel	13	2 3 4 5 7 9 10 (11) 12 13 (15) 16 17
één of enkele trajecten, bovenstrooms	0	
één of enkele trajecten, niet bovenstrooms	5	1 6 8 14 18

#### Doelstelling

Bij de doelstelling lopen de invalshoeken sterk uiteen (tabel 5.4). Het betreft bijvoorbeeld een aanvraagnotitie voor REGIWA-subsidie, een haalbaarheidsonderzoek voor de aanwijzing van ecologische doelstellingen, een systeemonderzoek of een inrichtingsplan (tabel 5.1). De doelstelling van het rapport kan het formuleren van doelstellingen voor het herstelproces of juist het operationaliseren van al gestelde doelstellingen zijn.

In vrijwel alle rapporten is het behoud of herstel van ecologische waarden het hoofddoel. Geconstateerd wordt dat het opgetreden habitatverlies en de daarmee gepaard gaande afname van karakteristieke soorten moet worden tegengegaan.

Gezien dit algemene doel mag verwacht worden dat de gewenste natuurwaarden gedetailleerd in de doelstellingen zijn opgenomen. Hier gaat het immers om. Dit blijkt echter niet het geval. Wat door de ingrepen aan natuurwaarden zal ontstaan, wordt slechts in globale termen aangeduid (6x). In die gevallen waar indicaties worden gegeven van bijvoorbeeld vegetatietypen, wordt altijd een slag om de arm gehouden.

Twee rapporten maken melding van herstel van cultuurhistorische waarden. In twee rapporten mogen geen beheerstechnische problemen (extra kosten) ontstaan. Dit hangt deels samen met de doelstelling dat het beekstelsysteem zo moet worden ingericht dat alleen extensief beheer nodig is of dat het binnen de gegeven randvoorwaarden zelfs geheel zelfregulerend wordt.

Tabel 5.4 Doelstellingen in geanalyseerde rapporten.

Doelstelling	aantal rapporten	rapportnummers (paragraaf 5.2.2)
Verhogen ecologische waarden	17	1 2 4 5 6 7 8 9 10 11 12 13 14 15 16 17 18
Specifieke soorten	6	2 7 8 9 12 16
Verbetering stroming (kwel, inundaties, gradiënt nat-droog, dynamiek afstroming, buffering, watervoering, consevering e.d.)	16	1 2 3 4 5 6 7 8 10 11 13 14 16 17
Verbetering structuren (profiel, meandering e.d.)	8	1 7 8 10 14 16 17 18
Verbetering stoffen	10	1 2 4 5 7 10 11 16 17 18
Beter oever(vegetatie)beheer	10	2 3 4 6 7 8 11 16 17 18
Zelfregulerend / extensief beheersbaar	4	4 14 17 18
Beheerstechnisch (onderhoud)	2	1 18
Samengaan met andere functies	10	1 4 5 7 10 12 13 15 16
Planvorming / voorbereiding	6	6 13 15 16 17 18
Herstel cultuurhistorische waarden	2	3 18

#### Onderzoek vooraf

Zoals in paragraaf 5.3.1 is opgemerkt, kon niet altijd beschikt worden over alle rapporten van een beekherstelplan. Soms is in de geanalyseerde rapporten in het kort aangegeven dat er onderzoek vooraf is uitgevoerd en wordt vervolgens verwezen naar andere rapporten. Het blijkt dat altijd wel een zeker onderzoek vooraf is uitgevoerd. In veel gevallen betreft het zelfs vrij uitgebreid onderzoek. Getracht is de mate van diepgang in tabel 5.5 aan te geven.

Meestal zijn naast abiotische (bodem, kwaliteit en kwantiteit van grond- en oppervlaktewater) ook de biotische kenmerken onderzocht. Bij de biotische kenmerken zijn vooral vegetatie en macrofauna vaak onderzocht (beide 15 x). Andere biotische variabelen zoals diatomeeën, vogels, zoogdieren, reptielen en amfibieën komen veel minder aan bod. Een beschrijving van landschap, ruimtelijke ordening en/of gebruiksfuncties komt in ongeveer de helft van de rapporten aan de orde.

#### Maatregelen

Welke criteria of motivaties zijn gehanteerd om tot bepaalde maatregelen te komen en welke maatregelen zijn in de rapporten voorgesteld? Het meest logische is om op basis van een knelpuntenanalyse te komen tot een keuze van maatregelen. Door de gewenste en de huidige situatie met elkaar te vergelijken, wordt duidelijk welke aspecten



Tabel 5.5 Vooraf onderzochte kenmerken in de geanalyseerde rapporten.

Onderzocht kenmerk	aantal rapporten	rapportnummers (paragraaf 5.2.2)	
		intensief onderzocht	globaal onderzocht
geologie/bodem	13	4 7 10 12 17	1 4 6 8 11 13 14 16
geohydrologie (grondwater)	13	2 4 9 10 12 17	1 5 6 7 8 11 16
hydrologie / hydraulica (opp. water)	18	2 9 10 11 12 14	1 3 4 5 6 7 8 13 15 16 17 18
waterkwaliteit	16	2 3 7 9 10 11 12 14 17	5 6 8 13 15 16 18
bodemkwaliteit	4		3 7 15 18
vegetatie	16	1 2 3 5 10 12 16 17	4 6 8 11 13 14 15 18
macrofauna	17	2 3 9 10 12 14 17	1 4 5 6 7 8 11 13 15 18
overige biotische variabelen	7	12	6 8 10 11 15 18
cultuurhistorie	6		2 3 10 12 16 18
landschap/R.O./gebruiksfuncties	11	5 9 17	4 6 7 12 13 14 16 18

Tabel 5.6 Criteria voor de keuze van maatregelen.

Criteria voor de keuze	aantal rappor- ten	rapportnummers (paragraaf 5.2.2)
Knelpuntenanalyse	14	1 2 4 5 6 9 10 11 12 13 15 16 17 18
Ecologische uitgangspunten	12	2 3 4 5 6 8 9 13 14 15 16 17
Abiotische uitgangspunten	6	1 3 6 10 14 17
Randvoorwaarden vanuit de landbouw	4	1 6 9 15
Onderhoud als randvoorwaarde (maaipad)	2	1 6
Overige randvoorwaarden (recreatie en andere functies, cultuurhistorie, e.d.)	7	3 5 6 10 13 16 18
Achterstallig onderhoud	3	1 3 9
Kosten/baten-analyse, maatschappelijke haalbaar- heid, e.d.	6	5 7 9 12 15 16

verbeterd moeten worden. Een dergelijke knelpuntenanalyse heeft meestal wel plaatsgevonden (tabel 5.6). Omdat op basis van een knelpuntenanalyse wellicht meerdere oplossingen (maatregelen) mogelijk zijn, zijn criteria nodig om een keuze te maken. Dit kunnen wensen of uitgangspunten vanuit het beekherstel zelf zijn (biotisch of abiotisch), maar ook randvoorwaarden gesteld vanuit andere sectoren. Uit tabel 5.6 blijkt dat beide criteria gehanteerd zijn. Een geheel ander criterium is een analyse van maatregelen op basis van ecologisch rendement, kosten, maatschappelijke haalbaarheid, en dergelijke. Een dergelijke afweging is zes maal genoemd. Bij de planvorming rond de Noordelijke en Zuidelijke Heerderbeek is sprake van motivaties vanuit het achterstallig onderhoud (sprengen).

De uiteindelijk gekozen maatregelen vertonen een grote verscheidenheid. In tabel 5.7 zijn de maatregelen gegroepeerd naar de maatregelgroepen zoals beschreven in hoofdstuk 3.

Tabel 5.7 Overzicht van maatregelgroepen in de geanalyseerde rapporten.

maatregelgroep	aantal rapporten	rapportnummers (paragraaf 5.2.2)
verwijderen drainage	5	2 4 9 16 18
bevorderen infiltratie	5	2 9 12 16 17
wijzigen wateronttrekking	5	4 5 9 12 15
ontwikkelen bos	3	4 7 9
aanleggen hydrologische buffer	2	2 15
hergebruiken gezuiverd effluent	0	
ontwikkelen inundatiezone	1	15
vergroten retentie	4	1 7 9 15
herstel oorspr. stroomgeb.	1	2
verwijderen stuw	1	15
aanleggen nevengeul	1	17
passief ontwikkelen meanders	4	4 5 7 17
graven meanders	8	1 4 7 9 10 14 15 16
actief ontwikkelen (micro-)meanders	0	
verkleinen profiel	1	7
verwijderen profielverdediging	1	7
aanleggen asymmetrisch profiel	7	1 6 10 11 12 15 16
aanplanten houtwal	10	1 3 4 6 7 9 11 14 16 17
aanleggen twee-fasen bedding	0	
aanleggen stroomkuilen zandbanken	0	
aanbrengen stoorobjecten	1	9
aanleggen soortgerichte structuren	6	1 6 8 9 11 16
inrichten steile overhangende oever	2	1 6
aanleggen vispassage	5	1 3 7 16 18
aanleggen poelen	0	
aankoppelen oude meander	1	17
verminderen meststoffentoevoer	8	5 7 9 10 11 12 16 18
opheffen huishoudelijke lozing	3	9 14 15
opheffen overstort	5	7 9 10 14 15
verbeteren RWZI	2	9 15
scheiden waterstromen	3	1 7 15
verlagen maaiveld	2	2 4
aanleggen helofytenfilter	3	7 11 15
aanleggen horse-shoe wetland	0	
aanleggen bufferzone	5	2 5 9 15 17

Het blijkt dat veruit de meeste maatregelen gericht zijn op het factorcomplex structuren, met name het graven van meanders en het aanplanten van houtwallen. Opmerkelijk is de lage frequentie van het passief ontwikkelen van meanders en de spontane vestiging van beekbegeleidende begroeiing. Het aantal maatregelen gericht op de factorcomplexen stroming en stoffen is geringer en vergelijkbaar. Hier springen de hydrologische maatregelen (verwijderen drainage, bevorderen infiltratie en wijzigen wateronttrekking) en het verminderen van meststoffentoevoer eruit.



Naast de ecologisch-technische maatregelen zijn in tabel 5.8 nog een aantal in de geanalyseerde rapporten genoemde bestuurlijk-juridische, financiële en onderhoudsmaatregelen genoemd.

**Tabel 5.8** Overzicht van overige niet ecologisch-technische maatregelen in de geanalyseerde rapporten.

maatregel	aantal rapporten	rapportnummers (paragraaf 5.2.2)
aankopen gronden	5	1 2 7 8 18
aanpassen onderhoud	6	1 2 3 6 9 10
saneren verontreinigde waterbodem (baggeren)	2	9 15
uitvoeren achterstallig onderhoud	2	3 7
aanpassen beleid	1	9
inschakelen juridisch instrumentarium	1	9

#### Evaluatie

Een voorstel voor monitoring wordt in meer dan de helft van de plannen genoemd. Dit heeft soms te maken met het stadium of de aard van het onderzochte rapport. In de plannen waar wel over monitoring wordt gesproken is deze vaak niet nader gespecificeerd.

**Tabel 5.9** Monitoring in de geanalyseerde rapporten.

Monitoring	aantal rapporten	rapportnummers (paragraaf 5.2.2)
genoemd	10	1 2 6 8 9 10 11 14 16 18
niet genoemd	8	3 4 5 7 12 13 15 17

#### 5.3.5 Vergelijking analyse van rapporten met toetsingskader

##### Beleidsvoorbereiding

De in de rapporten gehanteerde criteria voor de keuze van de te herstellen beek of beektrajecten zijn onder te verdelen in drie categorieën;

- ecologische,
- passend in bestaand beleid en
- overige zoals hoge cultuur- of historische waarden, gunstige eigendomssituatie, onderhoud en financiële of maatschappelijke haalbaarheid

Volgens het toetsingskader (paragraaf 5.3.3) zouden de criteria van ecologische aard moeten zijn gericht op ecologische potentie en volledigheid van het beekstelsel. Het blijkt dat een van beide of beide in 10 van de 18 projecten genoemd wordt. Het is echter de vraag in hoeverre het criterium "passend in bestaand beleid" (dat in 15 van de 18 projecten wordt genoemd) impliciet mede een ecologisch criterium is. Verwacht mag worden dat huidige of potentiële natuurwaarden een rol hebben gespeeld bij bijvoorbeeld streekplannen of functietoekenning in provinciale waterhuishoudingsplannen en in het Natuurbeleidsplan. In het beleid is het resultaat opgenomen van een in de tijd gegroeide consensus over wat waardevolle beken zijn. Daarbij zijn ook afwegingen met andere belangen en keuzen gemaakt. Dit houdt in dat het praktisch veel moeilijker is beken voor herstel te kiezen die niet in het beleid zijn genoemd.



Het zou daarom zo moeten zijn, dat de selectie van actueel of potentieel waardevolle beken in een vroegtijdig stadium plaatsvindt. Zodat deze selectie meegenomen kan worden in de beleidsformulering. Bij het kiezen van beken voor het uitvoeren van maatregelen hoeft die selectie dan niet te worden herhaald. Bovendien is het veel praktischer om aan te sluiten bij bestaand beleid, omdat de kans op uitvoering dan veel groter is. Vaak zijn veel terreinen al in bezit van natuurbeschermingsorganisaties of zijn gronden aangewezen als relatienotagebied. De landbouw krijgt dan een lagere prioriteit in het streekplan en betrokken partijen zijn sneller bereid mee te werken en/of gelden beschikbaar te stellen.

Doorgaans beargumenteren de opstellers de noodzaak om de gekozen beek te herstellen. Wat niet blijkt, is of en hoe deze keuze voortvloeit uit een prioriteitstelling. Een indicatie van de kans van slagen ontbreekt evenals de beoordeling van het verwachte ecologische rendement ten opzichte van de (financiële) inspanning. Wel worden verwachtingen uitgesproken (doorgaans in algemene zin), maar waarom juist bij die beek de grootste effectiviteit van de inspanning is te verwachten wordt niet duidelijk.

De conclusie is dat bestaand beleid vaak een belangrijker motief lijkt voor de keuze van de te herstellen beek dan de ecologische potentie. De ecologische potentie is echter wel een reden waarom de beken genoemd worden in het beleid. In de rapporten komt dit vaak minder naar voren. Op dit punt wordt impliciet wel voldaan aan het toetsingskader.

Een groot aantal rapporten omvatten volledige beeksystemen. Echter de maatregelen betreffen vaak trajecten en geen stroomgebieden. Bij rapporten die gaan over onvolledige beeksystemen, is telkens sprake van één of meer projecten die niet bovenstrooms liggen. Onduidelijk blijft of de volledigheid van het beekstelsel van invloed is geweest op de keuze van de beek.

#### Doelstellingen

De meeste rapporten voldoen aan het algemene criterium dat de doelstelling van het herstelproces in ecologische termen moet zijn omschreven. Bij de uitwerking van de gewenste ecosystemen blijkt de nadruk sterk te liggen op de abiotische variabelen. De abiotische doelstellingen zijn dan ook meestal verder uitgewerkt. Gewenste levensgemeenschappen met soortsnamen worden niet vaak genoemd. Dit voldoet niet aan het toetsingscriterium uit paragraaf 5.3.3. Een verklaring hiervoor kan zijn dat nog onvoldoende bekend is hoe soorten reageren op herstelmaatregelen. Er is al wel vrij veel bekend over de reactie van soorten op negatief beïnvloedende factoren zoals organische verontreiniging en normalisatie maar onderzoek naar de reacties op herstelprocessen ontbreekt vooralsnog. Om het ecologisch effect te kunnen meten, is het echter noodzakelijk de doelstellingen ook voor de biotische aspecten zo concreet mogelijk uit te werken. Een voordeel voor het formuleren van doelstellingen in abiotische termen, is dat hier makkelijker maatregelen aan te verbinden zijn.

#### Onderzoek vooraf

De belangrijkste abiotische (met name geohydrologie, waterkwaliteit) en biotische (flora en fauna) factoren lijken bij de meeste rapporten ook vooraf te zijn onderzocht. De detaillering varieert echter wel sterk tussen de rapporten. Daarnaast varieert de diepgang waarmee verschillende factoren binnen één rapport zijn onderzocht. Bij iedere factor geldt dat globaal bij de helft van de rapporten een iets meer gedetailleerd onderzoek heeft plaatsgevonden. De detaillering is vaak onvoldoende om te kunnen fungeren als basis voor het formuleren van geschikte maatregelen. Aan de afstand tussen de huidige toestand en het doel of het streefbeeld is nauwelijks onderzoek verricht.



### Maatregelen

Vooraf aan de keuze van maatregelen vindt meestal wel een knelpunten-analyse plaats en wordt afgewogen met welke maatregelen de doelstellingen gehaald kunnen worden. Effectiviteit (ecologisch rendement), kosten/baten-analyse, maatschappelijke haalbaarheid en dergelijke komen niet aan de orde. De randvoorwaarden en haalbaarheid die vanuit andere belangen worden gesteld, zijn meestal wel bij de afweging betrokken.

### Evaluatie

De vereiste monitoring voor een evenwichtige evaluatie van het project is weinig genoemd. De noodzaak van monitoring wordt in ongeveer de helft van de geanalyseerde rapporten onderschreven. Een uitwerking van een monitoringsprogramma wordt meestal niet gegeven. Mogelijk bestaat die uitwerking wel maar is op basis van het beschikbare materiaal niet te achterhalen.

## 5.4 Evaluatie van bestaande monitoringsprogramma's

### 5.4.1 Inleiding

De discussie over hoe te monitoren wordt momenteel op veel plaatsen in het land gevoerd. Uit paragraaf 5.2 en 5.3 blijkt dat monitoren en evalueren in veel projecten sluitposten zijn. Daarom is in het kader van deze STOWA opdracht getracht een overzicht samen te stellen van de inhoudelijke aspecten van toegepaste monitorings- en evaluatiemethoden in beekherstelprojecten. Het doel van dit overzicht is een beeld te geven van hoe momenteel omgegaan wordt met monitoring en evaluatie van beekherstelprojecten.

Er zijn inmiddels verschillende beekherstelprojecten voltooid. Op een aantal plaatsen vindt monitoring van het herstelproces plaats. Uit paragraaf 5.2 en 5.3 blijkt dat er soms beperkingen zijn in beschikbare gegevens (een aantal projecten bevat (nog) geen monitorings- en evaluatieprogramma), dat gegevens soms minder toegesneden zijn op de doelstelling of dat het beschikbare beoordelings- en evaluatie-instrumentarium soms ontoereikend is om de gegevens adequaat te gebruiken. Vragen zoals; 'hoe te monitoren en evalueren?', 'welke gegevens moeten worden verzameld?', 'hoe moeten de verzamelde gegevensbestanden eruit gaan zien?' en 'welke beoordelings- of evaluatiemethoden kunnen op deze bestanden worden losgelaten?', worden meer dan eens gesteld. Het beantwoorden van deze vragen is uiterst waardevol is voor de uitvoering van toekomstige plannen.

Om een bijdrage te leveren aan het antwoord zijn een aantal gerichte vragen gesteld aan enkele aquatisch ecologen werkzaam bij waterbeheerders. De gevraagden is verzocht om voor nieuwe, lopende en afgesloten beekherstelprojecten een vragenlijst in te vullen. De antwoorden zijn bewerkt en opnieuw voorgelegd aan de respondenten. De navolgende resultaten geven de stand van zaken anno januari 1995 weer.

De resultaten worden gepresenteerd verdeeld naar de pleistocene regio's. Beekherstelprojecten worden namelijk meestal 'regionaal' als samenwerkingsproject tussen regionale waterkwantiteits-, waterkwaliteitsbeheerders en natuurbeherende instanties uitgevoerd. Deze regionale presentatie geeft een beeld van de verschillen en overeenkomsten die tussen de regio's bestaan en de keuzen die worden gemaakt. Mogelijk zetten de keuzen van collega's aan tot denken over toekomstige invullingen.

Er wordt niet nader op de inhoudelijke aspecten van het monitoren ingegaan. Hiervoor wordt verwezen naar hoofdstuk 4.



### 5.4.2 Resultaten

Om inzicht te krijgen in de aard van monitorings- en evaluatie-gegevens en de wijze waarop deze zijn verzameld, is een aantal gerichte vragen gesteld. De vragen zijn in vijf categoriën onderverdeeld. De vragen zijn steeds vet gedrukt.

#### 1. Algemeen

- 1.1** Hoeveel nieuwe, lopende en afgesloten beekherstelprojecten bevinden zich in uw beheersgebied?
- 1.2** Hoeveel van deze projecten bevatten een monitorings- en/of evaluatieprocedure/-plan?

regio vraag	Gro-nin-gen	Dren-the	West-Over-ijs-sel	Twen-te	Velu-we	Oos-telijk Geld-erland	West-Bra-bant	Oost-Bra-bant	Lim-burg	Totaal
1.1	1	6	2	> 10	13	17	6	18	18	91
1.2	1	3	1	3	6	8	5	9	9	46 (51%)

In deze inventarisatie werden slechts 91 projecten als ecologisch beekherstelproject gekenmerkt terwijl in de beekherstelenquête (paragraaf 5.2) 170 projecten genoemd zijn. In de helft van de gevallen vindt monitoring plaats. Hierbij moet worden opgemerkt dat een deel van de projecten zonder monitoringsprogramma zich nog in een vroege (soms visie-vormende) fase bevinden.

#### 2. Monitoring en evaluatie in de planvorming

- 2.1** Is een monitorings- en/of evaluatieprogramma direct in het plan/de project-beschrijving opgenomen (waarom niet) of is dit later opgesteld en waarom?
- 2.2** Zijn de te monitoren factoren gerelateerd aan de doelstelling/het streefbeeld/de tussendoelen van het herstelproject en, zo ja, welke en hoe?
- 2.3** Is een koppeling tussen monitoringsresultaten en eventuele bijstelling van de planuitvoering geregeld en, zo ja, hoe?

regio vraag	Gro-nin-gen	Dren-the	West-Over-ijs-sel	Twente	Veluwe	Ooste-lijk Geld-erland	West-Bra-bant	Oost-Bra-bant	Lim-burg
2.1	-	+	+/-	+	+	+/-	+	+	+/-
2.2	n.v.t.	+	beperkt	+/-	beperkt	+	+	+/-	+/-
2.3	n.v.t.	-	-	+/-	overleg	+	+	-	+/-

legenda: + = ja, - = nee, n.v.t. = niet van toepassing

Gezien het prille stadium waarin veel projecten nog verkeren blijkt dat niet alle project-plannen al volledig zijn ingevuld. Wel is een duidelijke ontwikkeling over de laatste jaren zichtbaar waarin projectplannen meer volledig worden ingevuld. Een monitorings-programma wordt steeds vaker direct opgenomen. Evaluatieprogramma's verkeren daarentegen nog in een onduidelijke positie. In een aantal gevallen is monitoring verplicht (Regiwa, Landinrichting).

De koppeling tussen te monitoren factoren en doelstellingen (zie paragraaf 4.1), streef-beelden en tussendoelen zijn meestal slechts beperkt beschreven. Kenmerkend hiervoor zijn omschrijvingen van doelstellingen zoals; 'poel voor amfibieën', 'opheffen migratie-



barrières', 'hoogste ecologische niveau' en 'meanderende beek'. De belangrijkste reden is dat de meestal in globale termen geformuleerde beleidsdoelstelling niet is vertaald in concrete ecologische streef- en referentiebeelden met bijbehorende parameters. Soms worden enkele voor de betreffende beek bijzondere soorten genoemd, maar vaak te willekeurig om deze voor een toetsing te kunnen gebruiken.

In een aantal gevallen vindt overleg tussen betrokkenen plaats over de verkregen monitoringsresultaten. Voor conclusies omtrent bijstelling verkeren de projecten nog in te prille stadia van ontwikkeling. In de meeste gevallen ontbreekt een formele regeling omtrent tussentijdse resultaten en eventuele bijstelling van de plannen. Uiteraard kan bijstelling alsnog later geregeld worden.

Ten aanzien van monitoring en evaluatie in de planvorming kan worden geconcludeerd dat er positieve ontwikkelingen gaande zijn. Maar toch kan, meer nog dan voorheen, gewerkt worden aan de inpassing van monitorings- én evaluatieprogramma's in de planvorming. Hiervoor dienen doelstellingen te worden vertaald in concrete min of meer gekwantificeerde streef- en referentiebeelden. Tevens kan gewerkt worden met alternatieve scenario's voor andere mogelijk optredende ontwikkelingen. Hiermee wordt bijsturing beter mogelijk.

### 3. Technische invulling van het monitoringsprogramma

#### 3.1 Welke organismengroepen en/of fysische en/of chemische factoren zijn in het monitoringsprogramma opgenomen en waarom?

regio groep- /fac- tor	Gro- ningen	Dren- the	West- Overijs- sel	Twente	Veluwe	Ooste- lijk Gelder- land	West- Bra- bant	Oost- Bra- bant	Lim- burg
<b>STOFFEN</b>									
fys.- chem	+	+	+	+	+	+	+	+/-	+
<b>SOORTEN</b>									
oe- ver- plan- ten	+	+	+	+	+	+	+	+	+
wa- ter- plan- ten	+	+	+	+	+	+	+	+	+
diato- me- eën				+/-		+/-		-	+
ma- cro- fauna	+	+	+	+	+	+	+	+	+
vis- sen	+		+/-	+/-		+/-	+/-	+/-	+
overi- ge fauna	+ her.- zgd.		+/- vogel	+/- amf.vli.		+/- amf.	+/- amf.vli.	-	+ comb.

legenda: + = meegenomen, +/- = in sommige gevallen, her. = herpetofauna, zgd. = zoogdieren, amf. = amfibieën, vlin. = vlinders, comb. = sprinkhanen, vlinders, libellen, amfibieën, vogels, zoogdieren

In paragraaf 4.2 is de keuze van te monitoren factoren beschreven. Uit de vragenlijst blijkt dat in de praktijk de algemene veldgegevens overal im- of expliciet worden meegenomen. De keuze van de organismengroepen en abiotische factoren is steeds gekoppeld aan de doelstellingen en de verwachting dat (positieve) effecten zullen gaan optreden. Incidenteel worden duidelijkere verbanden aangegeven tussen te monitoren factoren en te verwachten effecten. Voorbeeld zijn visstandsonderzoek in verband met het opheffen van migratie-barrières, amfibieën-onderzoek in verband met de vestigingsverwachting (poelaanleg), nutriënten in verband met de verbetering van een RWZI, waterkwantiteitsingrepen in verband met de effectiviteit van het vergroten van de retentie en vegetatie-ontwikkeling door de aanleg van plas-dras bermen. Opvallend is de nog beperkte monitoring van de hydrologische factoren (altijd door de waterkwantiteitsbeheerder) en het beperkt monitoren van diatomeeën. Het monitoren van de waterkwaliteit vindt, genuanceerd naar voedingsstoffen, zuurstof, macro-ionen, zware metalen en organische microverontreinigingen, overal plaats. Het monitoren van morfologische structuren zoals substraatmozaïeken en profielveranderingen vinden slechts zeer beperkt plaats. Vaak hangt de keuze van de te monitoren variabelen samen met de binnen de organisatie(s) beschikbare expertise en de betaalbaarheid.

### 3.2 Is de uitgangssituatie vastgelegd en heeft monitoring plaatsgevonden tijdens en na de uitvoering van het plan?

regio moment	Gro-ningen	Dren-the	West-Overijs-sel	Twente	Veluwe	Ooste-lijk Gelder-land	West-Bra-bant	Oost-Bra-bant	Lim-burg
nulsi-tuatie	+	+	+*	+	+	+	+	+	+
tij-dens uitv.	+/-	-	-	-	-	-	-	+	-
na uitv.	+	+	+*	+	+	+	+	+	+

legenda: + = ja, +/- = ten dele, \* = niet aangepast beekgedeelte als referentie

Bij het vastleggen van de nulsituatie (zie ook paragraaf 4.1) worden vaak dezelfde factoren gemeten als die in het monitoringsprogramma aan bod komen (zie vraag 2.1). Slechts in een enkel geval is sprake van een uitgebreide systeemanalyse. Mogelijk dat die reeds in een eerder stadium is uitgevoerd. Vaak is monitoring tijdens de uitvoering minder goed of geheel niet mogelijk. In West-Overijssel wordt een niet aangepast deel van de beek als uitgangssituatie gelijktijdig in het monitoringsprogramma meegenomen. Dit bevordert de mogelijkheden voor interpretatie van veranderingen aanzienlijk.

Ook belangrijk is de opmerking dat er vaak veel tijd zit tussen het opnemen van de biologische toestand en het uitwerken en gebruiken van de resultaten. Dit vertraagt het zinvol en adequaat benutten van informatie en bemoeilijkt het bijstellen tijdens en na de uitvoering.

### 3.3 Hoe lang was/is de periode waarover monitoring heeft plaats gevonden/vindt en waarom deze periode?

In paragraaf 1.1.2 is ingegaan op het temporele schaalniveau van een beekherstelproject. Het blijkt dat de huidige monitoringsprogramma's nauwelijks concrete aanduidingen van de totale looptijd bevatten. Een en ander is direct afhankelijk van de ontwikkelingen



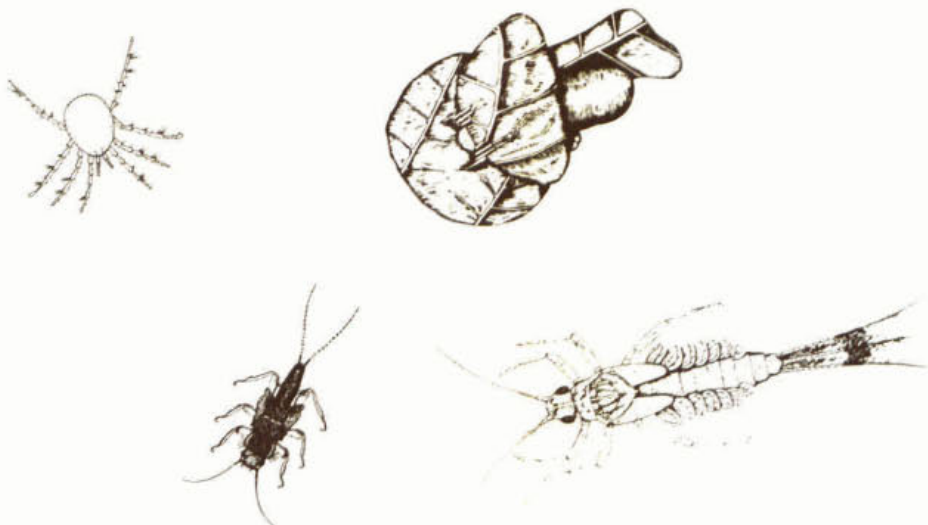
regio vraag	Gro- ningen	Dren- the	West- Overijs- sel	Twente	Veluwe	Ooste- lijk Gelder- land	West- Bra- bant	Oost- Bra- bant	Lim- burg
3.3	?	min. 2- 4 jr.	min. 4 jr.	min. 3- 10 jr.	min. 4 jr.	min. 5- 6 jr.	min. 3- 10 jr.	min. 2 (10) jr.	min. 5- 10 jr.

die gaan optreden. Ook spelen argumenten van organisatorische en financiële aard. Opvallend is dat de termijn waarop een stabiele ecologische toestand verwacht wordt slechts één keer is genoemd (Vloedgraaf; Limburg).

#### 3.4 Met welke frequentie wordt/is er bemonsterd (per organismengroep) en waarom deze frequentie?

Het valt op dat de factoren uit het factorcomplex soorten en stoffen altijd gemeten worden. Alleen macro-ionen en milieuvreemde stoffen worden bij minder projecten meegenomen. De stroming en structuren komen slechts in een beperkt aantal projecten aan bod terwijl daar vaak toch de ingrepen liggen.

Binnen het complex stroming wordt de afvoer continu gemeten terwijl de grondwaterstanden tweewekelijks worden opgenomen. Stromingsprofielen, dwarsprofielen, substraatmozaïeken en dergelijke worden meestal slechts een of enkele malen per jaar opgenomen. In het algemeen blijken de meetfrequenties nog al eens af te wijken van die per factorgroep voorgesteld in hoofdstuk 4 (zie ook paragraaf 4.2.2). Zowel het aantal opnamen per jaar als de herhalingsfrequentie verschillen per regio en soms per project. Soms wordt opgemerkt dat ook het ontwikkelingsproces in beeld wordt gebracht hetgeen inhoudt dat dan de frequentie tijdelijk hoger ligt. De argumentatie voor de gekozen frequentie is veelal 'best practical judgement'. Soms wordt opgemerkt dat de opgegeven frequentie wordt nagestreefd maar dat onder tijdsdruk het werkelijk aantal monsternames lager ligt. Opvallend is dat geen relatie wordt aangegeven tussen meetfrequentie en verwachte ontwikkelingstijd van het systeem na de ingreep. Mogelijk dat dit impliciet in de keuze verwerkt is.



Stromend water macrofauna (watermijt, steenvlieg, kokerjuffer, haft)



Hierdense beek; micromeandering

(foto J. Schot)



Vloedgraaf; stoorstenen

(foto P. Verdonschot)





Ruiten Aa; gegraven meanders en poelen

(foto KLM Luchtfotografie)



Baakse beek; oude meander met explosie waterviolier

(foto R. Pot)

regio groep- /factor	Gronin- gen	Drenthe	West- Overijs- sel	Twente	Veluwe	Oostelijk Gelder- land	West- Brabant	Oost- Brabant	Limburg
<b>STROMING</b>									
grond- water peil	2-weke- lijks					2x/jr. per jr.			2-weke- lijks
opp. peil	weke- lijks					+	cont.	cont./- niet	
debiet	cont.					+			cont.
str.sni- eih.				6x/jr. per 4 jr.		2x/jr. per 2 jr.	cont.	incid.	1-2x/jr. per 1-3 jr.
<b>STRUCTUREN</b>									
tracé				1x per 5 jr.		+		3x per jr.	1x per 5 jr.
profiel	na hoge afvoer			1x per 3 jr.		+	1x jr.	3x per jr.	
subs. moz.				2x/jr. per 4 jr.				3x per jr.	1-2x/jr. per 1-3 jr.
<b>STOFFEN</b>									
zuur- stof/- org.	12x/jr. per 4 jr.	9x/jr. per 4 jr.?	6x/jr. per 1 jr.	12x per jr.	4x/jr. per 4 jr.	12x/jr. per 2 jr.	12x/jr. per 1 jr.	12x per jr.	6-12x/j- r. per 1- 3 jr. per
voe- dings- stof- fen	12x/jr. per 4 jr.	9x/jr. per 4 jr.?	6x/jr. per 1 jr.	12x per jr.	4x/jr. per 4 jr.	12x/jr. per 2 jr.	12x/jr. per 1 jr.	12x per jr.	6-12x/j- r. per 1- 3 jr.
ma- cro- ionen	4x/jr. per 4 jr.	7x/jr. per 4 jr.?	-	12x per jr.	2x/jr. per 4 jr.	4x/jr. per 2 jr.		1x per 5 jr.	4x/jr. per 1-3 jr.
micro- ver- ontr.				1x per 3 jr.		4x/jr. per 2 jr.	2x/jr. per 1 jr.		0-4x/jr. per 1-3 jr.
<b>SOORTEN</b>									
oever- plan- ten	1x per 4 jr.	1x per 4 jr.?	1x per 1-2 jr.	1x per 1-2 jr.	?	2x/jr. per 2 jr.	2x/jr. per 1-4 jr.	2-3 per jr.	1x per 3 jr.
water- plan- ten	1x per 4 jr.	1x per 4 jr.?	1x per 1-2 jr.	1x per 1-2 jr.	?	2x/jr. per 2 jr.	2x/jr. per 1-5 jr.	2-3x per jr.	1x per 3 jr.
diato- meeën									2x/jr. per 2-3 jr.
ma- cro- fauna	1x per 4 jr.	2x/ jr. per 4 jr.?	1x per 1-2 jr.	2x/jr. per 4 jr.	2x/jr. per 4 jr.	2x/jr. per 2 jr.	2x/jr. per 1-4 jr.	2x per jr.	1-2x/jr. per 1-3 jr.
vissen	1x per 4 jr.		1x per 1-2 jr.	1x per 5 jr.		2x/jr. per 2 jr.		1x per 2 jr.	1-2x/jr.
overi- ge fauna	1x per 4 jr.		1x per 1-2 jr.	1x per 5 jr. amf.		2x/jr. per 2 jr.	1x per 3-4 jr.		1-8x/jr.



**3.5 Welke bemonsteringsmethoden worden/zijn per organismengroep toegepast (methode, materialen, monsterlengte/oppervlak, deelmonsters, etc.) en waarom deze keuzen?**

regio groep	Groningen	Drenthe	West-Overijssel	Twente	Veluwe	Oostelijk Gelderland	West-Brabant	Oost-Brabant	Limburg
oeverplanten	Tansley	Tansley	Tansley	Br.Bl.	?	Tansley	Tansley	Tansley	veg.typ. Tansley Br.Bl.
waterplanten	Tansley	Tansley	Tansley	Br.Bl.	?	Tansley	Tansley	Tansley	veg.typ. Tansley Br.Bl.
diatomeeën									schraap
macrofauna	zeef, steekbuis	stand.-net 10 m	stand.-net 5 m	stand.-net 1,5-5 m (hab.)	stand.-net 5 m (hab.)	stand.-net 5 m	stand.-net	stand.-net 10-20 m (hab.)	stand.-net 10 m (hab.)
vissen	elec. kuil		elec.	net elec.		bestandsopn.		elec. kuil zegen	elec. net fuik
overige fauna	net val visueel sporen		visueel	net visueel		visueel	visueel		visueel

legenda: veg.typ. = vegetatietypering naar aandachtssorten, Tansley en Braun-Blanquet (Br.Bl.) methoden, stand.net = standaard-macrofaunanet, hab. = habitatbemonstering

Als argumentatie voor de gekozen technieken wordt de bestaande ervaring met de techniek en de vertaalbaarheid, aangegeven. Er is nauwelijks sprake van doelgericht gekozen technieken die mogelijk direct samenhangen met te verwachten effecten. Een uitzondering hierop is de gerichte habitatbemonstering van de macrofauna. Opvallend is het verschil in lengte van bemonstering (1,5 tot 20) genomen met het standaard-macrofaunanet.

De monsternamen en bepaling van fysisch-chemische factoren geschiedt meestal volgens NEN-normen. Ook het opnemen van hydrologische factoren geschiedt gestandaardiseerd.

**3.6 Hoe worden/zijn de monsters verwerkt (methoden, determinatieniveau) en waarom deze technieken?**

Bijna overal wordt alles tot op soortsniveau gedetermineerd. Veluwe merkt op dat de determinaties zich beter tot doelsoorten zouden kunnen beperken maar deze zijn voornamelijk niet voorhanden.

regio groep	Groningen	Drenthe	West-Overijssel	Twente	Veluwe	Oostelijk Gelderland	West-Brabant	Oost-Brabant	Limburg
oeverplanten	soort	soort	soort	soort	?	soort	soort	soort	soort
waterplanten	soort	soort	soort	soort	?	soort	soort	soort	soort
diatomeeën									soort
macrofauna	soort	soort	soort	soort	soort	soort	soort	soort	soort
vissen	soort		soort	soort		soort		soort	soort
overige fauna	soort		soort	soort		soort	soort		soort

### 3.7 Hoe worden/zijn de monitoringsgegevens geïnterpreteerd (met welke beoordelings-, verwerkings- en/of bewerkingstechnieken) en waarom op deze wijze?

regio groep	Groningen	Drenthe	West-Overijssel	Twente	Veluwe	Oostelijk Gelderland	West-Brabant	Oost-Brabant	Limburg
oeverplanten	ind.sp.	ind.sp.	ind.sp.	ind.sp.	?	ind.sp.	ind.sp.	ind.sp., abund.	ind.sp. veg.typ. mva
waterplanten	ind.sp.	ind.sp.	ind.sp.	ind.sp.	?	ind.sp.	ind.sp.	ind.sp., abund.	ind.sp. veg.typ. mva
diatomeeën									ind.sp. vDam
macrofauna	sp.lijst, ind.sp.	ind.sp.	EBEOS-WA, EKOO, mva, ind.sp.	EKOO, EBEOS-WA, K-ind., bin-ind., ind.sp., div.	meetlat Geld., E-BEOS-WA, ind.sp., s-p.lijst	sp.lijst, ind.s., -BINOR-MA, K <sub>136</sub> , B, DIN, E-BEOS-WA	EBEOS-WA	ind.sp., GTD systeem	ind.sp. EBEOS-WA sp.lijst K <sub>136</sub> , S, DIN, BI
vissen	sp.lijst, l-f, biom., div., IBI		ind.sp.	HEP, HGI, ind.sp.				m-t, l-f, biom., div., IBI	ind.sp.
overige fauna	sp.lijst, ind.sp.		ind.sp.	ind.sp.					ind.sp.
fys.-chem.		graf., Piper		grafisch, AMK	CUW-VO, AMK, Stiff	CUW-VO, AMK, Stiff.	AMK, streefbeeld	Milbowa	Milbowa, ind.par. Stiff

legenda: ind.sp. = indicatiewaarde soorten, sp.lijst = soortenlijst, mva = multivariate analyse, l-f = lengte-frequentie verdeling, div. = diversiteit, IBI = Index Biotische Integriteit, abund. = soortsabundantie, m-t = merk en terugvang, S = saprobie-index, DIN = norm Duitse saprobie-index, BI = beekindex, ind.par. = indicatiewaarde parameters, vDam = indicatielijst H. v. Dam



Opvallend is de sterke nadruk die ligt op de indicatieve waarde van soorten ofwel het gebruik van autecologische informatie van individuele soorten. Dit indiceert het ontbreken van geschikte, doelgerichte technieken. De rol van 'zogenaamde 'overall' parameters zoals diversiteit, totaal aantal soorten en dergelijke is zeer beperkt.

#### 4. Evaluatiesystematiek

- 4.1 Is de monitoring achteraf gezien volgens plan uitgevoerd of heeft tussentijds bijstelling plaatsgevonden?
- 4.2 Is de uitvoering van het plan tussentijds op basis van de monitoringsresultaten bijgesteld of zijn aanvullende maatregelen genomen en waarom?
- 4.3 Blijken de gekozen factoren de juiste informatie op te leveren?
- 4.4 Zijn er voldoende, teveel/te weinig gegevens verzameld en hoe zou technische optimalisering mogelijk zijn?
- 4.5 Blijkt uit de evaluatie dat de genomen maatregelen het gewenste ecologische effect hebben gehad?
- 4.6 Is er bij de evaluatie ook aandacht besteed aan al dan niet gewenste neveneffecten van de ingrepen?

regio vraag	Gro- ningen	Dren- the	West- Overijs- sel	Twente	Veluwe	Ooste- lijk Gelder- land	West- Bra- bant	Oost- Bra- bant	Lim- burg
4.1	ja/nee	n.o.	ja/nee	ja/nee	ja/ja	n.o.	ja/ja	ja/nee	ja/nee
4.2	nee	n.o.	n.o.	ja	nee	n.o.	n.o.	nee	n.o.
4.3	n.o.	n.o.	n.o.	ja	t.d.	n.o.	n.o.	n.o./ja	t.d.
4.4	meer detail	n.o.	n.o.	n.o.	t.d.	n.o.	n.o.	n.o.	n.o.
4.5	n.o.	n.o.	n.o.	t.d.	t.d.	n.o.	n.o./ja	n.o.	n.o.
4.6	?	n.o.	n.o.	ja/nee	t.d.	n.o.	ja	n.o./- t.d.	n.o./- t.d.

legenda: n.o. = nog onbekend, t.d. = ten dele

Evaluatie is nog een nauwelijks ontwikkeld terrein bij beekherstelprojecten (zie ook paragraaf 4.8). Door de vage formulering van de doelstellingen blijkt het vaak moeilijk de effecten te beoordelen. Sommige effecten blijken ook niet door de monitoring te worden gedekt. Vaak kunnen wel globale uitspraken worden gedaan.

#### 5. 'Oude' beekherstelprojecten; projecten > 5 jaar geleden uitgevoerd

- 5.1 Zijn er oude beekherstelprojecten in uw beheersgebied uitgevoerd?

regio vraag	Gro- ningen	Dren- the	West- Overijs- sel	Twente	Veluwe	Ooste- lijk Gelder- land	West- Bra- bant	Oost- Bra- bant	Lim- burg
5.1	nee	nee	nee	ja	nee	nee	nee	nee	nee

Aangezien alleen in Twente sprake is van gemonitorde 'oudere' projecten zijn de hierover gestelde vragen komen te vervallen. Er kan worden geconstateerd dat ecologisch beekherstel nog in een pril stadium verkeert.



### 5.4.3 Ecologische effectiviteit en rendement

Naast inzicht in de monitoringsprogramma's beoogde de vragenlijst inzicht te krijgen in de effectiviteit en het ecologisch rendement van reeds genomen beekherstelmaatregelen van bij voorkeur 'oude' (> 5 jaar) projecten. Uit de vorige paragraaf bleek al dat tot op heden slechts weinig plannen zijn afgerond. Het is daarom voor de meeste projecten te vroeg om conclusies over effectiviteit te trekken. Hier en daar worden positieve effecten gesignaleerd en ook wordt parktische ervaring opgedaan. Nieuw gecreëerde milieus laten in de eerste jaren na aanleg bijna altijd een verhoging van het soortenaantal zien. Het zal echter nog moeten blijken of het om blijvende toestanden gaat. Slechts voor een drietal maatregelgroepen is enige ervaring beschikbaar.

#### Aanplanten houtwal

Oudere projecten die mede de natuurfuncties dienden beperken zich veelal tot het aanplanten van bomen en houtwallen. Uit een inventarisatie van de Werkgroep Beekbegeleidende Bepantingen (1989) blijkt dat het accent op het visuele aspect van het landschap lag en niet is gekeken naar het ecologisch rendement. Naast de theoretische argumenten genoemd in paragraaf 1.4 is weinig praktijkervaring beschreven.

#### Aanleggen twee-fasen bedding (plasberm)

Bij een tweetal projecten is meerjarige ervaring opgedaan met de effecten van zogenaamde plas-dras bermen.

Een aantal voorlopige conclusies ten aanzien van ervaring met plasbermen langs de Midden-Regge volgen uit het Midden-Regge-project na 5 jaar monitoren (Zonderwijk 1994). Dit project beoogt de natuurfuncties van de oevers van de Regge te versterken. Daar waar de bovengrond van de droge taluds is afgevoerd blijkt het aantal plantesoorten te zijn verdubbeld. Echter een lichte afname in het laatste jaar duidt op een nieuwe bodemverrijking. De langs de Midden-Regge aangelegde plasbermen en open nevengeulen gaven slechts korte tijd (enkele jaren) een hoger natuurrendement voor zowel planten als dieren. Daarna trad verslibbing/verrijking. De Midden-Regge is een zeer voedselrijk beekstelsysteem. De aangelegde plasbermen en open nevengeulen hebben na verslibbing een slechte zuurstofhuishouding. Overdimensionering onder zeer voedselrijke omstandigheden resulteert in algenbloei als gevolg van de langere verblijftijden van het water. Overdimensionering leidde ook tot een versterkte zand- en slibafzetting waardoor het profiel zich weer verkleinde. De afzetting van slib introduceerde ook microverontreinigingen. Zonderwijk concludeert voor de Midden-Regge dat alleen hydrologisch geïsoleerde landschapselementen een duurzaam rendement opleveren.

Ook langs de Overijsselse Vecht blijken de plasbermen na circa vijf jaar gekenmerkt te worden door een ruigtebegroeiing (Bakker 1993). Ondanks de geëutrofiëerde omstandigheden wordt de verhoging van het aantal soorten (met name macrofauna en visbroed) ten opzichte van het aantal soorten tussen de steenbestorting (met liesgras begroeiing) positief gewaardeerd. Stroomminnende macrofaunasoorten zijn niet in de plasbermen aangetroffen. Lokaal werd een slechte zuurstofhuishouding als gevolg van de afbraak van afgestorven plantenmateriaal waargenomen.

Uit beide projecten blijkt dat onder voedselrijke omstandigheden na enkele jaren verruiging en verslibbing van de plasberm optreedt. Afhankelijk van het gestelde doel kan dit positief dan wel negatief worden gewaardeerd. Is het doel het verhogen van het aantal soorten in verhouding tot een kort, grazig talud dan heeft de plasberm onder voedselrijke omstandigheden een positief effect. Wordt echter een karakteristieke gradiëntvegetatie van droog - nat nagestreeft dan blijken de resultaten onder voedselrijke omstandigheden tegen te vallen. Met andere woorden het doel bepaald de waardering. Het is belangrijke deze ervaringen mee te nemen bij het bepalen van de doelstelling voor een nieuw project.



#### Ecologisch onderhoud en beheer

Specifiek voor sprengen wordt geconcludeerd dat bij herstel ten behoeve van macrofauna meer ingrijpende herstelmaatregelen met het geheel verwijderen van het organisch materiaal de voorkeur hebben boven maatregelen met achterlaten van organisch materiaal. Met het achterlaten van slib en dood organisch materiaal blijft het habitat minder geschikt voor de echte beekbewoners.

In de Keersop is een experiment uitgevoerd met het twee maal per jaar alternerend (slechts de helft van het profiel) schonen van de beek (Pot 1994). Het aangepaste onderhoud heeft na vier jaar bijna nergens geleid tot een sterke verandering van de soortensamenstelling in de watervegetatie. Op de overgang water-land kon zich door het aangepaste onderhoud een smalle vegetatieband ontwikkelen die van plaats tot plaats verschilde en ofwel typisch voor overstromingsgraslanden danwel typisch voor gestoorde beekoevers kan worden beschouwd. Het aangepaste onderhoud leverde geen extra stremming in de waterafvoer op.

Het is belangrijk dat ervaring met het uitvoeren van beekherstelmaatregelen toegankelijk zijn voor anderen. Mondelinge rapportering, interne notities en vertragingen in rapportage zijn soms onvermijdelijk maar dragen niet bij aan een effectiviteit informatie-uitwisseling. Gezocht moet worden naar centrale informatiesystemen zoals de STOWA Hydrotheek en overlegorganen zoals de Werkgroep Ecologisch Waterbeheer subgroep beekherstel waarin informatie wordt uitgewisseld.

#### *5.4.4 Conclusies en aanbevelingen*

Beekherstelprojecten dateren bijna allemaal van recente datum. Oudere projecten hadden geen ecologische doelstelling noch een monitoringsprogramma. Ook bij de nieuwe projecten vindt slechts in de helft van de gevallen monitoring plaats. De doelstellingen beperken zich vaak tot algemene aanduidingen of bewoordingen. Dit is de oorzaak van de vaak te algemene invulling van het monitoringsprogramma. Er wordt een duidelijke behoefte aan een meer gekwantificeerde invulling van streef- en referentiebeelden, gesignaleerd. Pas dan kan ook het monitoringsprogramma en de evaluatie gericht plaats vinden. Waarschijnlijk daarom is tot op heden nog nauwelijks aandacht gegeven aan het optimaliseren van de keuze van de te monitoren variabelen, het aantal meetpunten en de meetfrequentie. De monitoring weerspiegelt vaak het gangbare routinematige waterkwaliteitsonderzoek. In de meest recente projecten zijn echter ook hier positieve ontwikkelingen waarneembaar.

Het is desalniettemin gewenst om projecten te selecteren waarbij onderzoek wordt gedaan naar meer efficiënte monitorings methoden. Een dergelijk onderzoek moet resulteren in een methodisch kader voor monitoring waarbij inspanningen en kosten steeds zijn geminimaliseerd en waarbij rendement en relatie kennis-doel zijn gemaximaliseerd. Een verhoogde meetfrequentie om processen te leren kennen is voor genoemde projecten zinvol.

Er blijken weinig verschillen tussen de verschillende regio's onderling evenals met het routinematige waterkwaliteitsonderzoek van genoemde bemonsteringsmethoden en beoordelings-, verwerkings- en/of bewerkingstechnieken. De 'nieuwe' beekherstelprojecten worden met de klassieke technieken gevolgd. Wel valt op dat gekozen wordt voor het gehele scala aan technieken. Blijkbaar ontbreekt een goed over-all systeem om effecten van beekherstelmaatregelen te toetsen. Mogelijk is dit een gevolg van het ontbreken van informatie over en ervaringen met doelgerichte alternatieven. Een grondige literatuurstudie kan een belangrijke bijdrage aan de oplossing geven. Ook een systematisch overzicht van de mogelijkheden en onmogelijkheden van bestaande systemen wordt aanbevolen.



Alle organismen worden tot op soortsniveau uitgewerkt. Terwijl bij de interpretatie van de gegevens lang niet altijd gebruik gemaakt wordt van de mate van detail. Ook hier dient een evaluatie van inspanning versus resultaat plaats te vinden.

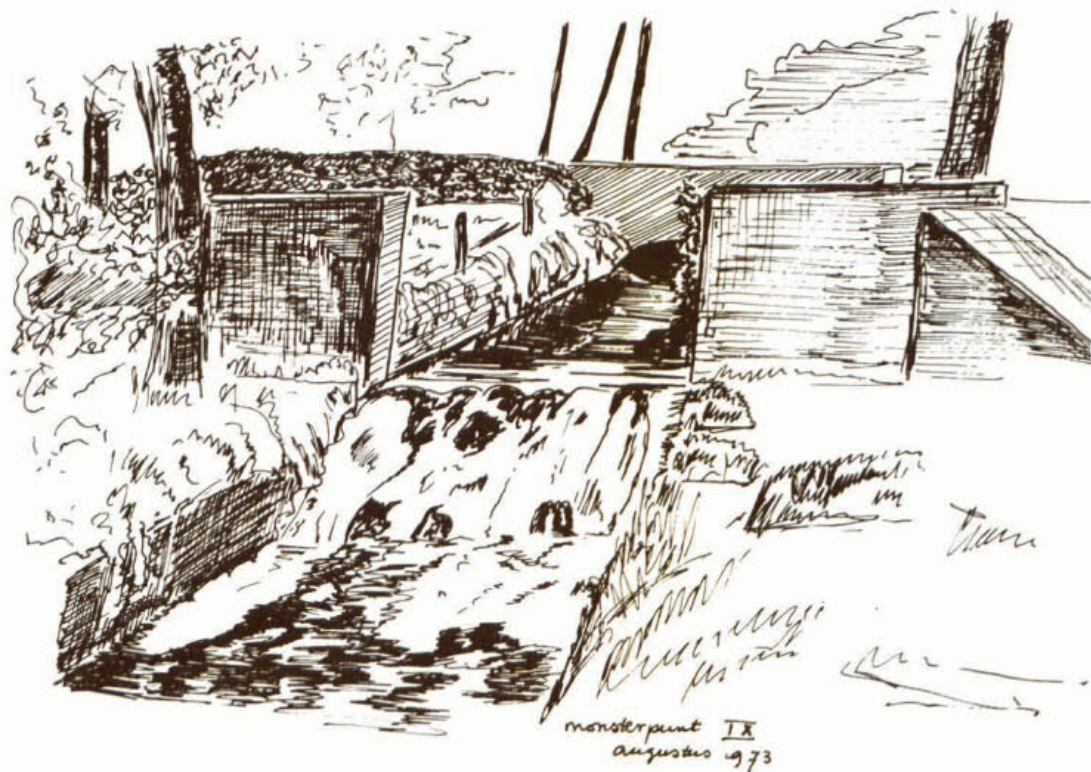
De meeste monitoringsprogramma's hebben een korte looptijd in verhouding tot de ontwikkelingstijd van ecosystemen en levensgemeenschappen. Mogelijk dat in de toekomst deze projecten incidenteel gevolgd blijven worden. De evaluatiesystematiek blijkt nog volledig in de kinderschoenen te staan.

Ten aanzien van monitoring en evaluatie in de planvorming worden veel positieve ontwikkelingen gesignaleerd. Om bijsturing echter beter mogelijk te maken verdienen de volgende drie punten extra aandacht. Ten eerste verdient de inpassing van monitorings- én evaluatieprogramma's in de planvorming extra aandacht. Ten tweede dienen doelstellingen te worden vertaald in concrete streef- en referentiebeelden. Ten derde dienen alternatieve senario's te worden beschreven.



Plantengemeenschap van een afgesloten meander





Impressies van de Hierdense beek

(tek. B. Higler)



## 6. LEIDRAAD VOOR BEEKHERSTELPROJECTEN

### 6.1 Inleiding

Dit hoofdstuk bundelt op korte en krachtige wijze de voorgaande hoofdstukken tot een daadwerkelijk praktische aanpak van beekherstelprojecten. Het hoofdstuk bestaat uit een checklist van onderwerpen die in een herstelplan aan bod behoren te komen. De opbouw vormt de leidraad om een beekherstelproject grondig en vanuit een ecologische optiek op te zetten en uit te voeren. Er wordt veelvuldig gebruik gemaakt van verwijzingen naar voorgaande inhoudelijke achtergronden en is geschreven in telegramstijl in de vorm van stellingen en schematiseringen.

In paragraaf 6.2 wordt allereerst ingegaan op de fase die vooraf gaat aan het opstellen van het beekherstelplan; de beleidsvoorbereiding. In paragraaf 6.3 komen algemene ecologische uitgangspunten aan de orde. Paragraaf 6.4 bevat de aanpak op hoofdlijnen van een beekherstelproject. In de daarop volgende subparagrafen wordt deze aanpak stap voor stap nader uitgewerkt. In deze inleidende paragraaf komen enkele algemene overwegingen aan bod die, voordat de aanpak van een beek vorm krijgt, moeten worden overwogen.

\* **Beken stromen.**

De kern van het beekproces is de natuurlijke afvoer van het stroomgebied waarbij de neerslag geleidelijk, gespreid over het gehele jaar, wordt afgevoerd. Dit continue proces van stroming is de natuurlijke levensgarantie voor de beeklevensgemeenschap (zie hoofdstuk 1).

\* **Behoud van wat reeds systeemeigen en waardevol is gaat voor herstel, en herstel gaat voor nieuw ontwikkelen.**

Behoud van reeds aanwezige systeemeigen ecologische waarden geeft meer zekerheid op succes en vergt vaak minder inspanning. Herstel van beeksystemen biedt minder zekerheden, maar nog altijd meer dan nieuw te ontwikkelen systemen. Het nieuw ontwikkelen is het minst voorspelbaar, de doelen zijn moeilijker te formuleren en de inspanning is meestal het grootst. Herstel bij voorkeur de aangestaste onderdelen van kansrijke en/of waardevolle systemen en systemen die waardevolle delen verbinden.

\* **Maak de argumenten voor de keuze van de te herstellen beek duidelijk.**

Alvorens met een plan van aanpak voor beekherstel te beginnen, moet duidelijkheid bestaan over de argumenten voor de keuze van de te herstellen beek of beektraject. Hierbij zijn de volgende overwegingen van belang:

- de ecologische potenties en de haalbaarheid daarvan
- het ecologisch rendement
- de praktische mogelijkheden
- het beleidsmatige draagvlak
- het maatschappelijk draagvlak
- de beperkingen voor andere functies
- een kosten - baten analyse

\* **Pak bij voorkeur oorzaken aan, niet of in veel mindere mate effecten.**

Zoek altijd naar de oorzaken van het onvoldoende functioneren van het beekstelsel. De aanpak van de oorzaken leidt tot een duurzame oplossing van het probleem. De aanpak van effecten leidt vaak tot een tijdelijke oplossing en dient derhalve telkens herhaald te worden. Ook kunnen door effect-gerichte oplossingen nieuwe knelpunten ontstaan. Wel kunnen effectgerichte oplossingen als tussenschakel dienen naar toekomstige brongerichte maatregelen om te voorkomen dat



ecologische waarden tussentijds verloren gaan. Effectgerichte maatregelen kunnen ook onvermijdelijk zijn bij een blijvende inwerking van een bepaalde menselijke activiteit. Echter er dient dan wel uitzicht te zijn op de haalbaarheid van de bronge-richte maatregelen in de toekomst.

- \* **Zoek altijd naar gebiedseigen én duurzame oplossingen.**  
Geen enkel beekstelsysteem is gelijk aan een ander. Oplossingen moeten altijd aansluiten op de kenmerken van de lokatie, vooral op de hydrologische samenhang (zie paragraaf 1.3). Daarom is een analyse op stroomgebiedsniveau (met name kennis van de hydrologie) bijna altijd vereist. Oplossingen zijn onder de betreffende omstandigheden definitief (oorzakelijk en duurzaam) en leiden nooit tot nieuwe ecologische knelpunten.
- \* **Zorg voor goed overleg en kom met één ecologische visie.**  
Plannen worden niet alleen door ecologen geschreven. Goed overleg met alle betrokkenen is in ieder geval bij elk project noodzakelijk om het juiste draagvlak te verkrijgen en om de uitvoer te bespoedigen. Betrek in een zo vroeg mogelijk stadium alle betrokken partijen (beheerders, eigenaren, gebruikers). Voorkom dat vanuit de ecologie verschillende referenties (zie paragraaf 1.7) worden ingebracht, met andere woorden hanteer dezelfde ecologische uitgangspunten en probeer zelfs overeenstemming in streefbeelden te bereiken.
- \* **Gebruik de hiërarchie in factoren bij prioritering en keuze van maatregelen.**  
Uiteraard zijn niet alle punten die opgenomen zijn in de navolgende paragrafen even belangrijk. Er zijn meerdere oplossingen en deeloplossingen denkbaar. Er is een hiërarchie in werkingsfactoren (zie paragraaf 1.1) en daarmee ook in effectiviteit en rendement van maatregelen. Deze hiërarchie wordt niet expliciet aangegeven maar telkens wordt verwezen naar de achtergronden beschreven in voorgaande hoofdstukken en waarop verantwoorde afwegingen kunnen worden gebaseerd (zie figuur 1.2). Daarnaast is het onmogelijk om tot op detailniveau alle aspecten op te nemen. Vaak zal de situatie van lokatie tot lokatie enigszins verschillen. Hier worden de belangrijkste principes aangereikt die door deskundigen per lokatie moeten worden vertaald in de juiste handeling.
- \* **Beekherstel is niet terug gaan naar het verleden maar vooruit denken in de toekomst.**  
Beekherstel richt zich niet op de restauratie van een vroegere situatie, maar op het optimaliseren van ecologische beek- en beekdalprocessen in de toekomst. Bij beekherstelprojecten kunnen historisch ecologische gegevens worden gebruikt voor een betere begripsvorming. Hiermee kunnen tesamen met informatie over veranderingen in de tijd, de huidige toestand en de huidig voorkomende processen en het ecologisch functioneren van het beekstelsysteem, toekomstige potenties voor de ontwikkeling van een bepaald beekstelsysteem worden aangegeven.

## 6.2 Beleidsvoorbereiding

- **Neem doelen voor beekherstel op in het beleid.**  
Naar schatting heeft slechts 4 % van de Nederlandse beken een min of meer natuurlijk karakter, waarbij hoofdzakelijk gerefereerd wordt aan de "oorspronkelijke" verschijningsvorm (morfologie) van de beken. Voor de lange termijn wordt een percentage 'beken en beektrajecten met een natuurlijk karakter' voorgestaan dat ligt in de ordegrrootte van 10-15 % op nationale schaal. Regionaal kunnen hierin verschillen optreden. Echter de overige 85 tot 90 % minder natuurlijke beken dient hierbij niet vergeten te worden maar eveneens, zij het minder vergaand, ecologisch verbeterd. Ten dele kan dit door een nadere differentiatie van de specifieke en



algemeen ecologische functie in genoemde plannen en door het aangeven van minder vergaande streefbeelden voor al deze andere beken. Om dit te bereiken dienen de doelen voor beekherstel in relevante beleidsnota's zoals Provinciale Waterhuishoudingsplannen en Integrale Waterbeheersplannen te worden opgenomen. Het betreft ondermeer de toekenning van de specifiek ecologische functie aan (potentieel) ecologisch waardevolle beken, het aangeven van gewenste einddoelen in de vorm van lange termijn streefbeelden en de daarvoor noodzakelijke (inrichtings-)maatregelen.

\* **Ga uit van een integrale benadering.**

Voor het realiseren van beekherstel blijkt dat een groot scala aan maatregelen moet worden genomen waarbij vele verantwoordelijke overheden en andere organisaties, waaronder particuliere instellingen zoals terreinbeheerders, een rol spelen. Voor de regionale wateren zijn de waterbeheerders voortrekker voor de verschillende te treffen waterhuishoudkundige maatregelen, uiteraard in samenwerking met alle betrokkenen. Hierbij is een integrale benadering een vereiste om een optimaal resultaat te behalen. Dit geldt niet alleen voor de oppervlaktewaterkwaliteit in relatie tot de oppervlaktewaterkwantiteit, maar ook voor de relatie tussen het oppervlaktewaterbeheer en het grondwaterbeheer (voor herstel van het hydrologische systeem) en voor de relatie tussen het oppervlaktewaterbeheer en de ruimtelijke ordening (met name het grondgebruik en het terreinbeheer). De integrale benadering vereist een gedegen gezamenlijke voorbereiding bij beekherstelprojecten.

● **Prioritering tussen systemen vraagt om een indeling.**

Vaak is het nodig om tussen stroomgebieden, beken en beektrajecten te prioriteren. Aangezien het geld maar één keer kan worden uitgegeven, is de beekkeuze en de prioriteitsstelling essentieel. Voor een evenwichtige ecologische afweging is kennis van alle aanwezige beken noodzakelijk. Een indeling van de beken in typen is hierbij een hulpmiddel (zie onder andere beekindelingen op basis van soorten in paragraaf 4.7). Wanneer kennis ontbreekt, kan de typologie gekoppeld aan een actuele bemonstering uitkomst bieden (hoofdstuk 4). Kennis van de ecologische potenties van het beeksysteem biedt een uitstekend kader voor een afweging tegen maatschappelijke haalbaarheid en ecologisch rendement.

● **Voer de prioritering uit op basis van een degelijke analyse.**

Bij een grondige afweging zouden de volgende aspecten aan de orde moeten komen.

- Een beschrijving van de historische en actuele biotische en abiotische karakteristieken van de stroom- en deelstroomgebieden (zie hoofdstuk 2 en 4).
- De ligging en de functies van de beek (bijvoorbeeld in de ecologische (hoofd)structuur, gebruiksfuncties en dergelijke) en het gebruik van de gronden in het gehele stroom- en deelstroomgebied.
- Een beschrijving van de ecologische ontwikkelingstoestanden in de vorm van een netwerk van ecologische groepen en het hierin aangeven van ontwikkelingsrichtingen (potenties) en sturende milieufactoren (zie paragraaf 1.7).
- Een beschrijving van de mogelijke inrichtings- en beheersmaatregelen (zie hoofdstuk 3) gerelateerd aan ecologische ontwikkelingsrichtingen per stroom- of deelstroomgebied.
- De beperkingen die herstelmaatregelen aan andere belangen opleggen.
- De termijn waarop gronden kunnen worden verworven en maatregelen kunnen worden uitgevoerd.

Een analyse kan uiteraard niet altijd zo volledig zijn. De diepgang van elke analyse om te komen tot planvorming en uitvoering is afhankelijk van tijd, geld en kennis. Op basis van de hiërarchie van factoren (zie paragraaf 1.1) kan wel gewogen worden welke van de meest relevante informatie minimaal beschikbaar moet zijn.



- **Vergeet de lager geprioriteerde beken niet.**

Wanneer bij de boven beschreven prioriteitsstelling aan bepaalde beken geen hoge prioriteit voor herstel wordt toegekend, betekent dit niet dat geen maatregelen behoeven te worden genomen. Ook daar is het van belang dat ecologische waarden worden ontwikkeld. Veelal bepaalt de beschikbaarheid van aanliggende gronden de mate waarin die ontwikkeling kan plaatsvinden. Met de nodige creativiteit en met beperkte maatregelen kan in veel gevallen ecologische winst worden behaald. Een pragmatische aanpak kan worden verkregen door de uitvoering van de noodzakelijk maatregelen te faseren of door de uitvoering van de noodzakelijke onderhoudswerken te combineren met de beoogde herstelmaatregelen (zie onder andere paragraaf 3.5 en 3.7).

### 6.3 Algemeen ecologische uitgangspunten voor beeksystemen

Voor herstel van beeksystemen vanuit ecologische invalshoek is het noodzakelijk het ecologisch functioneren van een beekstelsysteem te begrijpen. In hoofdstuk 1 is uitgebreid ingegaan op het 5-S-model, de ecologische grondslag voor het beekecosysteem. In deze paragraaf wordt aan de hand van dit model en op basis van algemene ecologische kennis een aantal uitgangspunten geformuleerd en worden hierbij direct praktische aanbevelingen gedaan.

#### SYSTEEMVOORWAARDEN (paragraaf 1.2)

- **Het stroomgebied van een beek is één groot, samenhangend systeem.**

Houd bij elke handeling steeds de samenhang van (hoofd-)factoren in het oog (paragraaf 1.1) en kijk naar gehele systemen ook bij problemen op delen. Het beheer van beeksystemen is het beheer van gehele stroomgebieden.



- **Elk beekstelsysteem is uniek.**

Streef altijd naar gebiedseigen structuren en processen en speel in op regionale en lokale ecologische factoren, gedifferentieerd in ruimte en tijd.

- **Een natuurlijk beekstelsysteem is zelfregulerend.**

Geef het systeem zoveel mogelijk ontwikkelingsvrijheid en -tijd. Creëer alleen de noodzakelijke (abiotische) randvoorwaarden (een casco) zodanig, dat voldoende garanties zijn geboden voor een vrije natuurlijke ontwikkeling (de gewenste abiotische en biotische processen).

- **Kenmerken van beeksystemen zijn gradiënten in het stroomgebied en mozaïeken in de beek zelf.**

Richt herstel dan ook op het herstel van deze patronen door in te grijpen op het functioneren van processen die deze patronen tot gevolg hebben (zie onder andere paragraaf 1.3, 1.5 en 1.6).

- **Bovenstrooms is van invloed stroomafwaarts.**

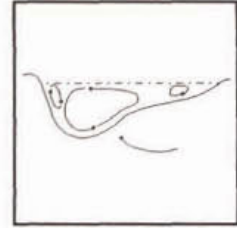
Begin bij voorkeur bovenstrooms (zie paragraaf 1.3) of neem bovenstroomse beïnvloedingen op een benedenstrooms traject mee in het herstel.

- **De natuurlijke beek is grotendeels beschaduwd.**

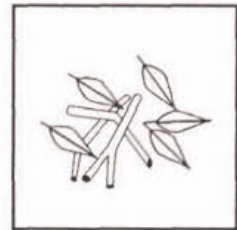
Richt herstel op het herstel van het zelfregulerend functioneren (processen) waar beschaduwing en toevoer van blad en takken essentiële onderdelen van uitmaken (zie paragraaf 1.4 voor natuurlijke en 3.7.5 voor multifunctionele beken).

**STROMING (paragraaf 1.3)**

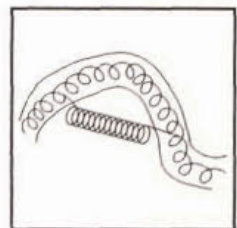
- \* **Beken stromen en stroming is sturend voor structuren (met name mozaïeken) in de beek.**  
Het continue proces van stroming is de natuurlijke levensgarantie voor de beeklevensgemeenschap. Voorkom stagnatie en droogvallen en streef naar variatie in stroomsnelheid op kleine schaal (paragraaf 1.3.4).
- \* **De hydrologie is sturend voor het beekstelsel, waarbij bodem en vegetatie in het stroomgebied als een spons werken; ze zuigen water op en geven het langzaam af.**  
Zorg voor voldoende afvoer in droge perioden (zomer) en voorkom extreme pieken in natte tijden (winter, voorjaar en zomerbuien). Zorg dat de sponswerking wordt hersteld (paragraaf 1.3.2 en 1.3.3).
- \* **De hydrologie is een samenhangend geheel in het stroomgebied en staat in open verbinding met andere stroomgebieden.**  
Oplossingen dienen aan te sluiten op de hydrologische samenhang van het systeem. De beek met haar vertakkingen verzorgt als enige ader de oppervlakkige afvoer van het stroomgebied (geen by-passes, omleidingskanalen en dergelijke). Voorkom of minimaliseer wateraanvoer.
- \* **Een natuurlijk beekstelsel heeft een beperkte hydrologische dynamiek.**  
Behoud of herstel deze natuurlijke interne variatie.

**STRUCTUREN (paragraaf 1.4)**

- \* **Variatie in structuur van oever en bodem biedt habitats aan beekorganismen.**  
Streef naar variatie in structuur door meandering, stroming en aangepast beheer.
- \* **Beken kronkelen en meanderen. Bodemeigenschappen samen met bomen en struiken zorgen voor wegverlenging / verplaatsing.**  
Laat natuurlijke variatie in de oeverbegroeiing ontstaan (incl. geen begroeiing). Geef sedimentatie en erosie de vrijheid, maar let op het interne dynamische evenwicht en de gewenste kleine schaal.
- \* **Natuurlijke obstakels, zoals bladpakketten, takken en bomen in en langs de beek zijn de vormende onderdelen van het systeem.**  
Pas het onderhoud daarop aan, laat onderhoud weg of extensiveer.
- \* **Onnatuurlijke structuren mogen geen barrières vormen.**  
Zorg voor de mogelijkheid van vrije migratie en drift door de beek en op het grensvlak tussen de beek en de oever.

**STOFFEN (paragraaf 1.5)**

- **Veel beekorganismen zijn afhankelijk van een goede zuurstofhuishouding.**  
Zorg voor een natuurlijke continue optimale zuurstofvoorziening. Voorkom lozing van zuurstofbindende stoffen (paragraaf 1.5.2).





- \* **Voedingsstoffen zijn in belangrijke mate sturend voor planten. Nederlandse beken zijn van nature soms oligo-, meestal meso- tot eutroof (type-afhankelijk), maar nooit hypertroof.**  
Voorkom onnatuurlijke toevoer van voedingsstoffen (paragraaf 1.5.3).
- **De macro-ionensamenstelling bepaalt in belangrijke mate de vegetatie. Het macro-ionentype varieert afhankelijk van het beektype en de lokatie binnen het beeksysteem (diepe of ondiepe kwel).**  
Streef naar een gebiedseigen macro-ionensamenstellingen en -gradiënten (paragraaf 1.5.4).
- \* **Milieuvreemde stoffen zijn vaak giftig voor planten en/of dieren en horen niet thuis in het milieu.**  
Voorkom of stop toevoer van toxische milieuvreemde stoffen (paragraaf 1.5.5).
- **Het transport van stoffen naar de beek verloopt langzaam. Oeverbegroeiingen (m.n. houtwallen en bossages) voorkomen inwaaien en nemen via wortels stoffen op.**  
Zorg voor een vertraging van of voorkom het transport van stoffen door het aanbrengen van natuurlijke obstakels en houtopslag (met name houtwallen onttrekken de ondiepe toevoer van stoffen), haal stoffen tijdelijk uit het systeem door natuurlijke inundatie, voorkom versneld transport naar de beek door verwijderen drainage, greppels, sloten en dergelijke.

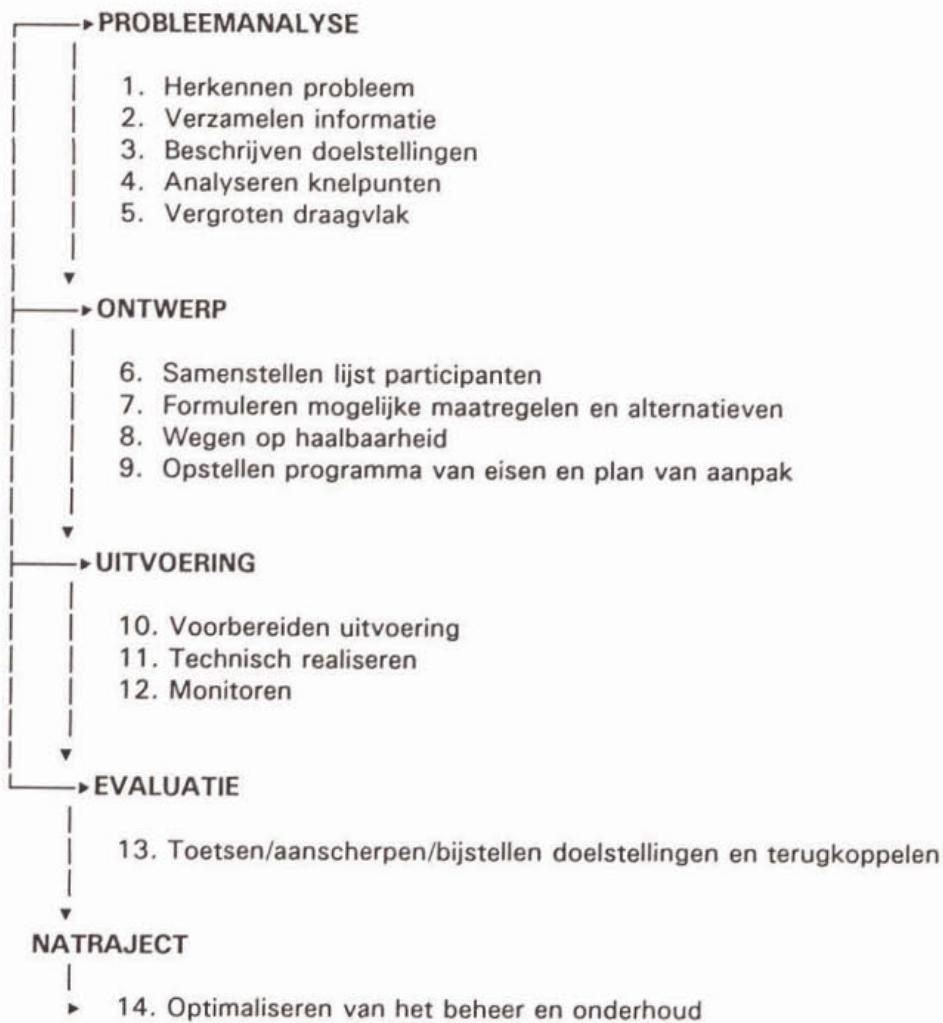
#### SOORTEN (paragraaf 1.6)

- **De soortensamenstelling van de levensgemeenschap is het resultaat van alle heersende milieufactoren op die lokatie.**  
Aan de levensgemeenschap en haar omgeving (de milieufactoren) kan het ecologisch functioneren worden afgelezen waarbij rekening moet worden gehouden met ontwikkelings-tijd (paragraaf 1.6.6).
- \* **Elke beek is uniek in haar biota en elke soort heeft waarde.**  
Het eigenlijke doel van herstel is gericht op de biota. Referenties en streefbeelden in de zin van soortensamenstellingen moeten per beek gedifferentieerd worden. Bij het opstellen van referenties en streefbeelden is het eveneens essentieel om de ecologisch relevante processen te beschrijven om aan de hand daarvan tussentijds de abiotische omstandigheden te kunnen volgen (zie ook paragraaf 1.7).
- \* **Soortenrijkdom hangt sterk samen met stabiliteit en diversiteit aan omstandigheden.**  
Vergroting van de diversiteit aan habitats vergroot het aantal soorten wanneer op hoger schaalniveau het systeem in een dynamisch evenwicht verkeert.
- **Levensgemeenschappen hebben ruimte nodig en bezitten onderlinge samenhang.**  
Voorkom een lappendeken van te kleinschalige en onevenwichtige (herinrichtings)-maatregelen. Zorg voor samenhang van systemen en voorkom onnodige isolatie.



#### 6.4 Aanpak op hoofdlijnen (checklist)

Beekherstel bestaat uit een aantal stappen. Hier wordt de aanpak schematisch op hoofdlijnen weergegeven. In de volgende paragrafen wordt elke stap verder uitgewerkt. Bij deze aanpak moet worden bedacht dat de planaanpak vaak bestaat uit een iteratief proces. Het plan kan op basis van nieuwe informatie en inzichten worden bijgesteld. De verbindingspijlen tussen de hoofdonderdelen indiceren deze terugkoppelingsmogelijkheid. Daarnaast hoeft niet elk plan of project deze volledige procedure te doorlopen. Indien het geval kan op elk onderdeel worden ingestoken waarbij aan de hand van de voorgaande onderdelen gecontroleerd kan worden of deze inderdaad uitgevoerd dan wel overbodig zijn.



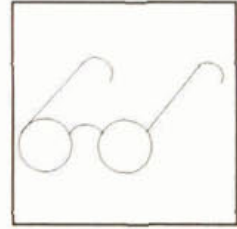


## 1. Herkennen probleem

- **Breng het probleem in een ecologische context in beeld! (welke relaties tussen beekstelsysteem en omgeving worden als probleem ervaren voor het ecologisch functioneren).**

Een nationale en/of regionale (provinciale) beleidsvoorbereiding (paragraaf 6.2) zou de problemen vanuit de ecologie moeten aandragen en zou de beleidsmatige doelmatigheid inzake herstel sterk kunnen vergroten. Vaak is het startpunt echter veel pragmatischer en komt het probleem voort uit wijzigingen in andere gebruiksfuncties (bijvoorbeeld gewijzigd grondgebruik, landinrichting en dergelijke) dan wel worden de effecten van andere gebruiksfuncties als probleem herkend.

- formuleer een algemene probleemstelling.



## 2. Verzamelen informatie

- **Begrens het plangebied en kies hiervoor ecologisch relevante grenzen in ruimte en tijd.**

Het plangebied en het probleem bepalen in hoge mate de te kiezen schaalniveaus. De grenzen van het ecologisch relevante plangebied liggen vaak ruimer dan die waarop het uiteindelijke plan gestalte krijgt. Definieer en begrens (hoofdcomponenten van 5-S-model; paragraaf 1.1) het beekstelsysteem.

- Op welke ruimtelijke schaal (stroomgebied -> beekdal -> beek -> traject) speelt het probleem? Het ruimtelijk herkennen van het probleem en differentiëren naar stroomgebied, beek en traject is nodig omdat eigenschappen en waarden per niveau kunnen verschillen en de niveaus op elkaar inwerken. Ook de geografische randvoorwaarden komen hier aan bod.
- Over welke temporele schaal (jaar -> 10 jaar -> 30 jaar) speelt het probleem? Het in de tijd differentiëren van het probleem vooral ten aanzien van extreme omstandigheden zoals afvoerpieken, incidentele lozingen, droogvalling en dergelijke. Maar ook het zoeken van flexibele, duurzame oplossingen inzake bijvoorbeeld beperkte onttrekking voor beregening en onttrekking in perioden van extreme droogte en dergelijke.
- Daarnaast worden deze aspecten zowel in ruimte als in tijd gedifferentieerd benaderd.

- **Beschrijf de uitgangssituatie (de actuele en historische toestand) van stroomgebied, beekdal en beek in termen van biota en abiota.**

Gebruik gegevens uit het 5-S-model voor de beschrijving van de actuele en historische omstandigheden (verloop, grootte-orde, range). Welke biotische en abiotische gegevens zijn bekend, welke zijn nodig en verzamel missende informatie (hoofdstuk 4) over:

- **Systeemparemeters:** neerslag (patroon, overschot), geologie, bodem, verhang
- **Stroming:** waterbalans stroomgebied, afvoerverlopen, neerslag-afvoer relatie, grondwaterstromen (kwel, wegzijging), stroomsnelheden in ruimte en tijd
- **Structuren:** erosie-sedimentatie (lokatie en hoeveelheid), substraatdiversiteit, morfologie, organische structuren
- **Stoffen:** nutriënten, macro-ionen, zuurstofhuishouding, microverontreinigingen, kwaliteit waterbodem, transport van stoffen, stoffenbalans
- **Soorten:** aquatische macrofauna, epifytische diatomeën, macrofyten, terrestrische vegetatie







Goudveil; een bronindicator

*(foto H. Mosterdijk)*



Rivierdonderpad

*(foto P. Verdonshot)*





Schellekensbeek (Limburg); natuurlijke meander

*(foto J. Schot)*



Beekpunge

*(foto P. Verdonschot)*



\* **Voer een hydrologische systeemanalyse uit.**

Onderdeel van een hydrologische systeemanalyse is een vergelijking en interpretatie van topografische, geologische, geomorfologische, bodem-, grondwatertrappen-, isohypsen-, waterstaats-, rivier-, legger- of verbeteringskaarten, satelietbeelden en kaarten met verspreidingsgegevens van relevante planten- en diersoorten of gemeenschappen daarvan. De analyse kan eventueel kwantitatief worden onderbouwd door middel van modelonderzoek. Het resultaat is een kaartbeeld van min of meer begrensde kwel-, intermediaire- en infiltratiegebieden met een aanduiding van grondwater- en oppervlaktestromingsrichtingen en -peilen.

\* **Beschrijf ecologische uitgangspunten; de referentie.**

Beschrijf de natuurlijke abiotische uitgangssituatie en de werking van het natuurlijke systeem; de ecologische referentie (paragraaf 1.7). Met andere woorden karakteriseer je stroomgebied op basis van de relevante ecologische factoren zonder rekening te houden met menselijke beïnvloedingen behalve als deze menselijke factor inherent is aan het bestaan van het systeem, bijvoorbeeld het noodzakelijk regelmatig schonen van sprengbecken. Benoem de menselijke beïnvloedingen die bij de uitgangssituatie als randvoorwaarde moeten worden meegenomen (beperkingen vanuit andere functies).

- Combineer natuurlijke abiotische en biotische factoren uit actuele en historische toestanden, bepaal de toekomstige randvoorwaarden en leid hieruit de referentie af. De ecologische uitgangspunten worden door de lokatie bepaald en zijn visie-onafhankelijk. Wees zo concreet mogelijk.

\* **Bepaal de menselijke beïnvloedingen.**

Breng de huidige menselijke gebruiksfuncties en de gerelateerde variabelen in beeld om de feitelijke probleemveroorzakende factoren en daarmee de belangrijkste effecten op het beekstelsel te herkennen.

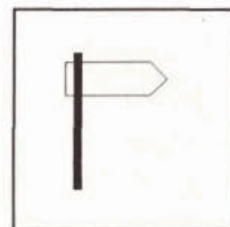
- Wat is er mis met het beekstelsel? Herken de problemen in detail.
- Welke abiotische omstandigheden zijn (irreversibel) gewijzigd? Kennis van de historische ontwikkeling van de gebruiksfuncties en hun effecten op de biota levert inzicht in de oorzaken van veranderingen in de beek (hoofdstuk 2). Leer uit het verleden; hoe is het mis gegaan. Wat is onherstelbaar gewijzigd (bijvoorbeeld afgraven veen)?
- Welke gegevens over welke menselijke beïnvloedingen zijn bekend en op welke abiotische en biotische componenten werken die in? Verzamel missende informatie. Denk hierbij aan bijvoorbeeld invloed op het waterregiem (drainage, peilbeheer, stuwning), invloed op het zandtransport (normalisatie, oeververdediging) en invloed op het stoffentransport (bemesting, lozingen, overstorten).
- Wat is het huidig gebruik van het plangebied? Hoe is het landgebruik, ruimtelijke ordening en dergelijke.
- Wat is het huidige beheer en onderhoud?
- Probeer zoveel mogelijk factoren te kwantificeren.

### 3. Beschrijven doelstellingen

• **Stel de ecologische doelstellingen vast.**

Hulpmiddelen bij het bepalen van ecologische doelstellingen zijn:

- Typeer het beekstelsel.
- Vergelijk het beekstelsel met systemen elders of in het verleden.
- Bepaal de mogelijke ontwikkelingsreeksen tussen actuele toestand en referentie en leidt de ecologische afstand in termen van hoofd-factoren hieruit af. Door ontwikkelingsreeksen en actuele toestand te koppe-





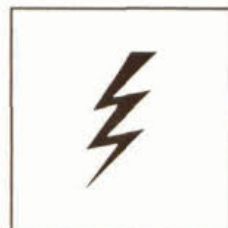
len worden knelpunten en kansen voor herstel duidelijk gemaakt. Wees zo concreet mogelijk.

- Vanuit welke visies worden de gedachten en ideeën gevormd? Vanuit verschillende invalshoeken kan naar de beek gekeken worden en kan het streefbeeld worden gekozen. Beschrijf en beargumenteer deze keuze, die afhangt van lokale mogelijkheden en participanten. Treedt als ecologen met één beschrijving ten aanzien van de referentie naar buiten.
- **Bepaal aan de hand van de maatschappelijke randvoorwaarden de ontwikkelingsreeks en de haalbare eindpunten; de streefbeelden.**  
 Veelal is de referentie niet haalbaar. Wat zijn de ecologische wensen? Dit vraagt om een beschrijving en vaststelling van streefbeelden (paragraaf 1.7). Het streefbeeld bevat de gebiedsgerichte normatieve uitgangspunten (processen, structuren) op basis van de bestaande toestand (ecologische en overige (toekomstige) functies) en kansrijke ecologische wensen voor herstel. Bij het opstellen van het streefbeeld leggen huidige en toekomstige gebruiksfuncties en opgetreden onomkeerbare veranderingen in het systeem beperkingen op aan de ontwikkelingsmogelijkheden die vertaald moeten worden in een realistisch streefbeeld.
  - Bereikbaar in 20 tot 30 jaar; bij voorkeur worden in relatie met de maatschappelijke randvoorwaarden tussentijdse streefbeelden opgesteld. In het verdere verloop van het beekherstelproces wordt steeds aan deze streefbeelden getoetst.
  - Beschrijving van de huidige functies.
  - Wat zijn de (toekomstige) gebruiksfuncties volgens bijvoorbeeld het provinciale waterhuishoudingsplan, het streek- en bestemmingsplan, en het (provinciale) natuurbeleidsplan?
  - Welke (planologische) ontwikkelingen spelen in het gebied (herinrichting, relatienota, bedreigingen, bevolkingsontwikkeling)?

Bij de formulering staat de stroomgebiedsbepaling (hoofdstuk 1) voorop. Het streefbeeld is niet alleen een starre toestandsbeschrijving (zoals een lijst met planten en dieren) maar houdt ook een dynamische procesbeschrijving in. In feite wordt hier de ecologische visie beschreven.

#### 4. Analyseren knelpunten

- \* **Wat zijn de knelpunten en feitelijke problemen?**  
 Het herkennen en omschrijven van relevante knelpunten om een duidelijk beeld te verkrijgen van het probleem, de ontwikkelingsmogelijkheden en de kansen.
  - Vergelijk het streefbeeld met de huidige situatie. Hoe ver liggen deze uit elkaar?
  - Wat zijn de oorzaken van dit verschil (knelpunten)?
  - Hoe werken de knelpunten op het systeem in? Let daarbij op ruimtelijke en temporele schaal. Speelt het knelpunt op het niveau van stroomgebied, beekdal, beek of traject? Op welke temporele schaal speelt het knelpunt (bv. incidentele lozing, piekafvoer, lange-termijn effecten, etc.)?
  - Wat zijn de ecologische mogelijkheden; kansen/sterkten en wat zijn de zwakten?
- **Wat zijn de oplossingsrichtingen?**  
 Uit knelpunten en kansen kunnen oorzaak-gevolg relaties worden herkend, onderbouwd en beschreven in realistische, haalbare scenario's. Eventueel is ondersteunend onderzoek nodig om de oorzaken van de knelpunten beter in beeld te brengen.
  - Koppel actuele toestand (m.n. menselijke beïnvloedingen) en streefbeeld. Deze koppeling biedt inzicht in de oplossingsrichtingen die gecombineerd

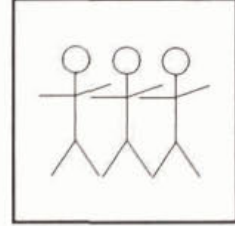


kunnen worden tot één of meer oplossingsrichtingen (alternatieve plannen/scenario's) voor het bereiken van de doelen. Kijk ook naar andere projecten en trek daaruit lering (hoofdstuk 5).

## 5. Vergroten draagvlak

### • Pleeg educatie en geef voorlichting.

Maak een plan voor voorlichting. Hoe breder het maatschappelijke draagvlak, hoe groter de kans van slagen van het project. Denk hierbij aan persberichten, folders, informatieborden, publicaties. Definieer de doelgroepen (recreanten, vissers, omwonenden, eigenaren, beheerders, besturen, scholen, etc.). Voor beheersovereenkomsten, onderhoud, aanplant en dergelijke zijn de directe gebruikers een wezenlijke factor. Geef ruimte voor meedenken en/of inspraak. Maar ook bestuurlijk betekent draagvlak een enorme winst.



### • Geef voorlichting tijdens alle fasen van het project.

Een regelmatige voorlichting houdt alle betrokkenen op de hoogte en voorkomt onjuiste beeldvorming gedurende het proces.

## 6. Samenstellen lijst participanten

### • Stel een lijst van participanten op.

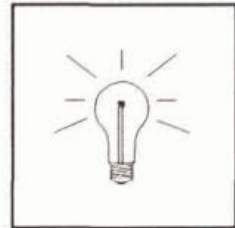
Het is van wezenlijk belang dat belanghebbenden zo vroeg mogelijk en zo duidelijk mogelijk kunnen deelnemen aan het gehele proces van planvorming tot en met nazorg.



## 7. Formuleren mogelijke maatregelen en alternatieven

### • Welke inrichtings- en beheersmaatregelen zijn te bedenken voor de omschreven knelpunten vanuit de ecologie?

Bij de oplossingsrichtingen is kennis nodig over beschikbare instrumenten en maatregelen om te komen tot geconcretiseerde oplossingen. De criteria bij de keuze van instrumenten en maatregelen (hoofdstuk 3) hangen samen met het streefbeeld, de effectiviteit, de technische, beleidsmatige en financiële haalbaarheid en de bestuurlijke en maatschappelijk acceptatie. Deze aspecten kunnen uitgewerkt worden tot alternatieven.



- Leidt uit ontwikkelingsreeks en kennis van hoofdfactoren de potentiële maatregelen af.
- Hoe werken maatregelen in op het systeem? Zijn er (positieve of negatieve) nevenwerkingen?
- Beschrijf/formuleer aanvullende maatregelen die neveneffecten kunnen compenseren.
- Beschrijf/formuleer (meelift-)maatregelen die mogelijk zijn geworden doordat andere eerder genomen/te nemen maatregelen drempels hebben verlaagd.
- Stem maatregelen onderling af in ruimte en tijd. Is er een samenhang tussen de maatregelen te geven (maatregel A heeft alleen zin als maatregel B ook genomen wordt)? Is er een noodzakelijke volgorde van verschillende maatregelen te geven (bijvoorbeeld bodemsanering na bronsanering)?
- Beschrijf alternatieve combinaties van maatregelen. Uit probleemanalyse,



verzamelde gegevens en potentiële maatregelen kunnen mogelijk alternatieve combinaties van maatregelen worden afgeleid voor afzonderlijke knelpunten. Op basis van de ecologische en maatschappelijke overwegingen worden keuzen gemaakt.

- Zijn reeds elders vergelijkbare maatregelen uitgevoerd, neem contact op, ga kijken en wat is de les daaruit (kans van slagen; zie hoofdstuk 5)?
- Onderzoek, indien nodig, de effectiviteit van de maatregelen vooraf of bouw dit in het monitoringsprogramma in.

## 8. Wegen op haalbaarheid

- **Bepaal haalbaarheid door mogelijke (combinaties van) maatregelen/alternatieven te wegen tegen de andere functies?**

Belangrijke aspecten van de haalbaarheid zijn de beschikbare ruimte en de hydrologische mogelijkheden. Bij een beperkte hoeveelheid ruimte langs de beek zijn alleen instream-maatregelen (zoals profielaanpassingen (bijvoorbeeld; plasbermen, holle oevers, onregelmatige taluds), passeerbare obstakels en eventueel geleide meandering mogelijk. Kan het beekdal in de plannen worden betrokken dan zijn mogelijkheden aanwezig voor vrije meandering, inundatie en met name bufferzones; de beekdalbrede benadering. Voor de bepaling van de haalbaarheid zijn de volgende aspecten van belang:

- Neem strategische aspecten van uitvoering zoals volledige of gedifferentieerde uitvoer van maatregelen in beschouwing.
- Wat is het ecologisch rendement van de maatregelen? Leveren de maatregelen veel 'ecologische winst' op?
- Wat is de praktische haalbaarheid van de maatregelen? Welke randvoorwaarden worden vanuit andere gebruiksfuncties gesteld (landbouw, wonen, verkeer, etc.)?
- Wat is de beleidsmatige en de maatschappelijke haalbaarheid? (Voor juridische, bestuurlijke, financieel-economische en organisatorische aspecten wordt ook verwezen naar het bestuurlijk-juridisch document (STOWA in voorbereiding).)
- Hoe is de afstemming met de ruimtelijke ordening?
- Wat zijn de kosten van de maatregelen?
- Wat zijn de toekomstige gebruiksfuncties (bedreigingen) en mogelijkheden (kansen)?

- **Sluit aan bij bestaande beleidsuitgangspunten, verken nieuwe mogelijkheden en geef de wenselijkheid hiervan aan.**

Integreer maatregelen met beleidsinstrumenten, financiën en organisatie. Bij deze stap worden de gekozen oplossingsrichtingen gekoppeld aan de andere juridische, bestuurlijke, financiële en maatschappelijke aspecten.

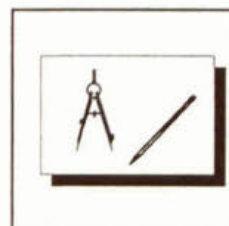


## 9. Opstellen programma van eisen en plan van aanpak

- **Stel een programma van eisen en een plan van aanpak op.**

In het programma van eisen vindt een prioritering en fasering plaats van de gekozen oplossingsrichting, het gekozen alternatief en daarmee de gewenste maatregelen.

- Stel dan een plan van aanpak op.
- Maak een beschrijving van de maatregelen.
- Geef aan op welke lokatie(s) de maatregelen genomen moeten worden.



- Maak een tijdsplanning (korte, middellange en lange termijn). De maatregelen en hun samenhang worden onderbouwd.
- Beschrijf de vervolgstappen in uitvoering, monitoring, toekomstig beheer en onderhoud.
- Vermeld de samenstelling van de begeleidings-/projectgroep.
- Een financieel plaatje mag niet ontbreken. Hoe worden de kosten verdeeld? Zijn er mogelijkheden voor subsidies?

\* **Faseer het project.**

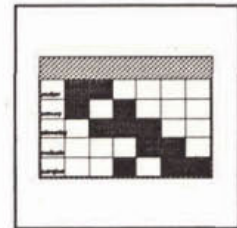
Uiteraard is bij elk project een spreiding van kosten aan de orde. Korte, middellange en lange termijn doelen kunnen worden gefaseerd. Daarnaast vragen beleidsprocedures (planologie, juridische aspecten, en dergelijke) vaak veel tijd. Van sommige maatregelen is uitvoering pas zinvol als andere zijn uitgevoerd (bijvoorbeeld bodemsanering na bronsanering).

## 10. Voorbereiden uitvoering

• **Vertaal plan van aanpak in bestek.**

Bij de voorbereiding van de uitvoering worden de volgende punten meegenomen:

- Wie zijn de betrokken partijen wat de uitvoering betreft?
- Zijn de benodigde vergunningen geregeld?
- Werk de plannen uit in een ontwerp met bestekken.
- Wat zijn de kosten en hoe worden deze verdeeld?



\* **Voer het voorlichtingsplan uit.**

Bij de uitvoering ziet iedereen plotseling veranderingen. Voorkom onjuiste berichtgeving/beeldvorming door tijdige en duidelijke voorlichting.

## 11. Technisch realiseren

\* **Voer de maatregelen voor inrichting volgens bestek uit.**

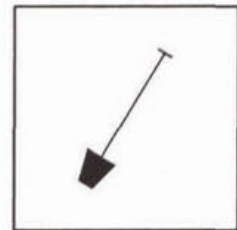
Dit kan in eigen beheer of door aannemers. Hou de planning in de gaten.

\* **Begeleid de uitvoering intensief.**

Er is nog weinig ervaring met de uitvoering van beekherstelprojecten. Aannemers zullen moeten wennen aan de ogenschijnlijke chaos van deze nieuwe orde in de natuur. Het 'boven op de lip staan' is waarschijnlijk geen overbodig devies.

\* **Maak afspraken met de beheerders en gebruikers.**

Denk daarbij aan waterkwaliteit- en kwantiteitsbeheerders, terreinbeheerders, landbouw, recreatie, etc. Leg de afspraken over effecten tijdens de uitvoering en het toekomstig beheer zoveel mogelijk schriftelijk vast.





## 12. Monitoren

- \* **Stel een monitoringsprogramma op.**
  - Wat zijn de relevante sleutelfactoren (biotisch en abiotisch) in relatie tot de maatregelen (hoofdstuk 4).
  - Bepaal aan de hand van deze factoren de ontwikkelings-tijd en de frequentie (zie onder andere ook paragraaf 3.5).
  - Wie voert de monitoring uit?
  - Wat zijn de kosten van de monitoring? Hoe worden de kosten verdeeld?
- **Onderzoek de effectiviteit van maatregelen.**  
Van lang niet alle maatregelen is de effectiviteit bekend. Onderzoek op proeflokaties biedt inzicht en vergroot de maatschappelijke en bestuurlijke acceptatie. Kijk ook naar andere projecten en trek daaruit lering (hoofdstuk 5).



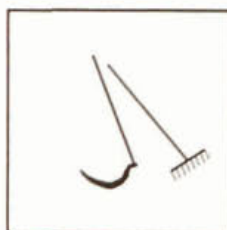
## 13. Toetsen/aanscherpen/bijstellen doelstellingen en terugkoppelen

- **Stel een onafhankelijke evaluatiecommissie samen.**  
Volg het herstel aan de hand van de monitoring (zie paragraaf 4.8). Bespreek/toets in een onafhankelijke evaluatiecommissie de resultaten. Vergelijk de nieuwe situatie met de doelstelling. Stel zonodig (tussentijdse) streefbeelden bij (aanvullende maatregelen, aanpassing beheer) of scherp ze aan. Een vroegtijdige bijstelling voorkomt teleurstellingen.



## 14. Optimaliseren beheer en onderhoud

- **Doe duidelijke uitspraken over toekomstig beheer en onderhoud.**  
Stel richtlijnen op voor toekomstig beheer en onderhoud van de herstelde situatie (zie onder andere paragraaf 3.7). Begeleid het beheer en onderhoud in de eerste jaren na uitvoering. Met welke beheers- en onderhoudsmaatregelen kan het proces in de richting van het gewenste doel worden geoptimaliseerd (optimalisatie)? Hoe kunnen weerkerende ingrepen zodanig worden ingepast dat hun directe effecten zo minimaal mogelijk zijn waarbij geldt dat niets doen ook een maatregel is (minimalisatie)?



## 7. LITERATUUR

Alabaster J.S. & Lloyd R. 1982. Water quality criteria for freshwater fish. Food and Agricultural Organization of the United Nations (FAO), Rome. Butterworth Scientific, London.

Anderson N.H., Sedell J. R., Roberts L.M. & Triska F.J. 1978. The role of aquatic invertebrates in processing of wood debris in coniferous forest streams. *Am. Midl. Nat.* 100 (1): 64-82.

Anderson N.H. & Sedell J.R. 1979. Detritus processing by macroinvertebrates in stream ecosystems. *Ann. Rev. Entomol.* 24: 351-377.

Andrea J., Groenewoudt B.J. & Musch J. 1990. Inpassing van archeologische objecten in natuurontwikkelingsplannen. *Landinrichting* 30 (4): 1-6.

Anonymus 1980a. Habitat as a basis for environmental assessment. Ecological services manual 101 ESM. U.S. Fish Wildl. Serv., Washington.

Anonymus 1980b. Habitat Evaluation Procedures (HEP). Ecological services manual 102 ESM. U.S. Fish Wildl. Serv., Washington.

Anonymus 1980c. Standards for the development of Habitat Suitability Index models. Ecological services manual 103 ESM. U.S. Fish Wildl. Serv., Washington.

Anonymus 1990. Cursusmap en werkboek van de cursus Habitat Evaluation Procedure. National Ecology Research Centre (NERC), U.S. Fish Wildl. Serv., Ft. Collins, Col.

Apmann R.P. 1972. Flow processes in open channel bends. *Journal of the Hydraulics Division ASCE*, vol. 98.

AquaSense 1990. Effecten van de aanvoer van gebiedsvreemd water op aquatische en terrestrische ecosystemen in Noord-Limburg ten westen van de Maas. Rapport 89.0041 AquaSense, Amsterdam i.o.v. Provincie Limburg.

AquaSense 1992. Herinrichting van de duinrellen bij Sint Maartenszee. Beschrijving en beoordeling van de uitgangssituatie in 1991. Rapport 92.0200 AquaSense, Amsterdam i.o.v. Hoogheemraadschap Uitwaterende Sluizen.

AquaSense 1993. De ecologische situatie in en om het Verlengde Oosterkanaal in 1992. Rapport 92.0224 AquaSense, i.o.v. Gemeentewaterleidingen Amsterdam.

Awater R.H.C.M. 1993. Koppeling van natuurontwikkeling en waterwinning. In: Kraal H., Roos R., Santema R., Van der Sande & Mulders J. De toekomst van beekdalen. Besturen van stromen. Stichting Natuur & Milieu, Utrecht. 73-74.

Bakker C. 1993. Evaluatie plasbermen Overijsselse Vecht 1987-1992. RIZA, Nota Natuurvriendelijke oevers. (eindconcept).

Bakker T.W.M., Klijn J.A. & Zadelhoff F.J. 1979. Duinvalleien; diverse deelrapporten. Basisrapport T.N.O. Studie- en informatiecentrum T.N.O. voor Milieuonderzoek, Delft.

Bakker J.P. & De Vries Y. 1983. Natuurbeheer in het stroomdallandschap Drentse A. *Natura* 80: 19-28.



- Bauer G. & Gerrisheim K. 1988. Umweltverträglichkeitsprüfung zum Ausbau de Wurm im Grenzbereich Herzogenrath-Kerkrade. Landschaft + Umwelt, Büro für Landschaftsplanung Rekultivierungsplanung und Gutachten. Wassenberg. 219 pp.
- Bloemendaal F.H.J.L. & Roelofs J.G.M. (eds) 1988. Waterplanten en waterkwaliteit. Stichting Uitgeverij Koninklijke Nederlandse Natuurhistorische Vereniging, nr. 45.
- Boere G.C. & Van der Ouderaa A. 1983. Bevers in Nederland?: Een onderzoek naar de mogelijkheden tot herintroductie van de bever in Nederland. Eindrapport van de werkgroep 'Bevers in Nederland'. Staatsbosbeheer, Utrecht.
- Bonnema F.D., Harmsen C. & Jansens J.W. 1988. Natuurbouw in Münsterland. Deelrapport van de werkgroep beekbegeleidende beplantingen. Mededelingen Landinrichtingsdienst, Utrecht. nr 181: 1-56.
- Boon P.J., Calow P. & Petts G.E. (eds.) 1992. River Conservation and Management. Wiley & Sons, Chichester/New York.
- Bouwknegt J. & Gelok A.J. 1992. Hydraulische aspecten van beekmeandering. Landinrichting 32: 49-63.
- Bouwmans J.M.M. 1994. Problematiek, normen en knelpunten bij ontwerpen waterbeheersingsplannen (discussienota waterbeheersing). Landinrichtingsdienst. 62 pp.
- Breeuwsma A., Reijerink J.G.A. & Schoumans O.F. 1990. Fosfaatverzadigde gronden in het oostelijk, centraal en zuidelijk zandgebied. Rapport 68 Staringcentrum, Wageningen.
- Brookes A. 1988. Channelized rivers: perspectives for environmental management. Wiley, Chichester.
- Brookes A. 1990. Restoration and enhancement of engineered river channels: some European experiences. Regulated rivers: research and management 5: 45-56.
- Brown G.W. 1974. Fish habitat. In: Environmental effects of forest residues management in the Pacific Northwest: a state of knowledge compendium. USDA For. Serv. Gen. Techn. Rep. PNW-24.
- Buiks Chr. & Geerts S. 1983. De Mark, één van de Noordbrabantse laaglandbeken. Natura 80: 87-93.
- Bijen W. et al. 1992. Beheersplan Slijpbeek. Gemeente Arnhem.
- Calow P. & Petts G.E. 1992. The rivers handbook. Hydrological and ecological principles. Volume one. Blackwell Scientific Publications, London. 526 pp.
- Calow P. & Petts G.E. 1994. The rivers handbook. Hydrological and ecological principles. Volume two. Blackwell Scientific Publications, London. 523 pp.
- C.B.S. 1993. Botanisch basisregister. Uitgave Centraal Bureau voor de Statistiek.
- Chorley R.J., Schumm S.A. & Sugden D.E. 1984. Geomorphology. Methuen, London.
- Couwenhoven T. 1991. Ecohydrologie. Diktaat Internationale Agrarische Hogeschool Larenstein, Velp.
- Creuzberg P.H. & Van Wijngaarden A. 1965. De Levende natuur - register op de jaargangen I-XLV, 1896-1941. Uitg. KNNV.

Cultuurtechnische Vereniging 1988. Cultuurtechnisch Vademecum. Cultuurtechnische vereniging. Utrecht.

CUWVO 1988. Ecologische normdoelstellingen voor de nederlandse oppervlaktewateren. CUWVO werkgroep V-1, s'-Gravenhage. 154 pp.

CUWVO 1992. Overstrotingen uit rioolstelsels en regenwaterlozingen. CUWVO werkgroep VI, s'-Gravenhage.

Dawson F.H. 1988. Water flow and the vegetation of running waters. In: Symoens J.J. (ed.) Vegetation of inland waters. Handbook of vegetation science. Kluwer Academic Publishers, Dordrecht. 15/1: 283-309.

De Jong P.J. (ed.) 1982. De Berkel beschouwd. Waterschap de Berkel, Zutphen.

De Lange L. & Van Zon J.C.J. 1978. Evaluation of the botanical response of different methods of aquatic weed control, based on the structure and floristic composition of macrophytic vegetation. Proc. 5th Symp. on Aquatic Weeds, European Weed Research Society (EWRS), 279-286.

De Lyon M.J.H. & Roelofs J.G.M. 1986. Waterplanten in relatie tot waterkwaliteit en bodemgesteldheid. Deel 1 en deel 2. Laboratorium voor Aquatische Oecologie, Katholieke Universiteit, Nijmegen.

De Vries J.J. 1974. Groundwater flow systems and stream nets in the Netherlands. Amsterdam Hydrology Series Vol. 1. Rodopi NV, Amsterdam

Dirkx G.H.P., Hommel P.W.F.M. & Vervloet J.A.J. 1992. Historische ecologie; een overzicht van achtergronden en mogelijke toepassingen in Nederland. Landschap 9 (1): 39-51.

Den Held J.J. & Den Held A.J. 1973. Beknopte handleiding voor vegetatiekundig onderzoek. Wetenschappelijke mededelingen K.N.N.V. nr. 97: 1-40.

Derde Nota Waterhuishouding 1989. Derde Nota Waterhuishouding. Ministerie van Verkeer en Waterstaat. Staatsuigeverij, 's-Gravenhage.

Donkersloot-de Vrij Y.M. 1981. Topografische kaarten van Nederland voor 1750: handgetekende en gedrukte kaarten -aanwezig in de Nederlandse Rijksarchieven-toegelicht en beschreven. Dissertatie. Wolters-Noordhoff, Groningen.

Driver E.A. 1977. Chironomid communities in small prairie ponds: some characteristics and controls. *Freshwater Biology* 7: 121-133.

Dumont M.J., Van der Putten H.C.N. & Reiling R. 1985. Milieu-inventarisaties in Nederland; overzicht van inventarisaties op provinciale en nationale schaal van bodem, water, lucht, flora en fauna. Stichting voor Toegepaste Landschapsecologie. Uitgave SSN Nijmegen. 531p.

During R. & Schreurs W.H. 1991. De natuurlijke historie van de Utrechts-Noordhollandse Vecht. Project Restauratieplan Vecht. TNO-Delft nota RPV 91.07.

During R. & Joosten J.H.J. 1992. Referentiebeelden en duurzaamheid. Landschap 9 (4): 285-295.

Elliot J.M. 1977. Some methods for the statistical analysis of samples of invertebrates. *Freshwater Biological Association, Scientific Publications* No 25, p 157.



- Engelen G.B., Gieske J.M.J. & Los S.O. 1989. Grondwaterstromingsstelsels in Nederland. Achtergrondreeks Natuurbeleidsplan no. 2. Min. van LNV, 's-Gravenhage.
- Everts F.H. & De Vries N.P.J. 1991. De vegetatieontwikkeling van beekdalsystemen. Een landschapsecologische studie van enkele Drentse beekdalen. Proefschrift, Rijksuniversiteit Groningen. Historische Uitgeverij, Groningen.
- Faber Th. 1972. Regimes and regime-related basin properties of some Dutch small rivers. Diss. Vrije Universiteit Amsterdam. Uitgeverij de Ram, Amstelveen.
- Faessen E.L.J.H. 1993. De morfodynamiek van de Maas: een analyse van historische kaarten. Rapport Geopro 1993.02, Utrecht.
- Fisher K. 1993. The hydraulic impact of vegetation in river channels. Symp. on Nature Conservation and the Management of Drainage Systems, Nottingham University 1993.
- Friedkin J. F. 1945. A laboratory study of the meandering of alluvial streams. U.S. Army Corps Eng. Waterways Expt. Sta. 40 pp.
- Garritsen A.C. 1993. Linking hydrological and ecological models. In: The use of hydro-ecological models in the Netherlands. *Proceedings CHO-TNO nr. 47*. CHO-TNO Delft.
- Gardeniers J.J.P. & Tolkamp H.H. 1976. Hydrobiologische waardering van de beken. In: Th.J. van Nes (red): Modelonderzoek 1971-1974 ten behoeve van de waterhuishouding in Gelderland, deel 2: grondslagen. Arnhem, Commissie Bestudering Waterhuishouding Gelderland, pp 106-114.
- Geelen J.F.M. & Leentvaar P. 1988. Van hydrobiologische club tot hydrobiologische vereniging. In: Roijackers R.M.M. (ed.): Hydrobiologisch onderzoek in Nederland; fundamentele en toepassingsgerichte aspecten. Publikatie no.6: 13-21, Hydrobiologische Vereniging Amsterdam.
- Geesink A.H. & Romeijn E. 1990. Geomorfologische aspecten van beekherstel in het kader van natuurontwikkelingsprojecten. Interne mededeling nr 109. Staring Centrum, Wageningen. 58 p.
- Geldof G.D. & Wentholt L.R. 1993. Modelleren op maat. STOWA rapp. 9. STOWA Utrecht.
- Gleichman-Verheijen E.C., Van der Putten W.H. & Van Liere L. 1991. Afvalwaterzuivering met helofytenfilters in Nederland. Instituut voor Oecologisch Onderzoek, Heteren. Limnologisch Instituut, Nieuwersluis.
- Gordon N.D., McMahon T.A. & Finlayson B.L. 1992. Stream hydrology: an introduction for ecologists. John Wiley & Sons Ltd.
- Gregory K.J., Gurnell A.M. & Hill C.T. 1985. The permanence of debris dams related to river channel processes. *Hydrological Sciences Journal* 30: 371-381.
- Harmsen C., Pols L. & Zuurdeeg N. 1988. Oeverbeplanting en waterbeheer. Deelrapport van de werkgroep beekbegeleidende beplanting. Medelingen Landinrichtingsdienst, Utrecht. nr. 182: 1-62.
- Haslam S.M. 1978. River plants: the macrophyte vegetation of watercourses. Cambridge University Press, 396 p.

- Haslam S.M. 1987. River plants of Western Europe: the macrophyte vegetation of watercourses of the European Economic Community. Cambridge University Press, Cambridge. 512 pp.
- Haslam S.M. & Wolsely P.A. 1981. River vegetation: its identification, assessment and management: a field guide to the macrophytic vegetation of British watercourses. Cambridge University Press, 154 p.
- Havas M. 1981. Physiological response of aquatic animals to low pH. In: Singer R. (ed.). Effects of acid precipitation on benthos. Proc. Symp. Colgate Univ., Hamilton, New York. 49-69.
- Heikens D.L.J., Van Leeuwen P.E.R.M. & Bol R. 1991. Computermodellen in het waterbeheer. Het SAMWAT modellenbestand. SAMWAT rapp. 7. Delft.
- Hellawell J.M. 1978. Biological surveillance of rivers: a biological monitoring handbook. Stevenage, Water Research Centre.
- Hellawell J.M. 1984. Biological indicators of freshwater pollution and environmental management. Pollution Monitoring Series. Elsevier Applied Science, London.
- Hermens E.M.P. & Wassink W.Th. 1992. Natuurtechnisch beekherstel in Nederland, Landinrichting 1992/32 5: 8:15.
- Herricks E.E. & Osborne L.L. 1985. Water quality restoration and protection in streams and rivers. In J.A. Gore (ed.): The restoration of rivers and streams. Theories and experience. 1-20.
- Hickin E.J. & Nansen G.C. 1984. Lateral migration rates of river bends. Journal of Hydraulic Engineering ASCE, vol. 110.
- Higler L.W.G. 1964. De Hierdense beek in gevaar. De Levende Natuur 67: 279-282.
- Higler L.W.G. & Mol A.W.M. 1985. Ecological types of running water based on stream hydraulics in the Netherlands. Hydrobiol. Bull. 18: 51-57.
- Higler L.W.G. & Verdonshot P.F.M. 1993. Stream valleys as wetlands. Hydrobiologia 265: 265-279.
- Higler L.W.G. 1993. The riparian community of north-west European lowland streams. Freshwater Biology 29: 229-241.
- Higler L.W.G., Beijer H.M. & Van der Hoek W.F. 1995. Ecosysteemvisie Beken en Beekdalen. IBN/IKC-NBLF, Leersum-Wageningen (in voorbereiding).
- Hoogers B. J. 1966. De groeicyclus van waterplanten. Jaarb. I.B.S., Wageningen. 1966: 31-40.
- Hosper S.H. & Ten Brink B.J.E. 1989. Naar toetsbare ecologische doelstellingen voor het waterbeheer: de AMOEBE-benadering. H2O 22 (20): 612-617.
- IAWM 1984. Handleiding voor hydrobiologische milieu-inventarisatie. Eindverslag Interprovinciale Ambtelijke Werkgroep Milieu-inventarisatie, subwerkgroep Hydrobiologie. Haarlem.
- Iversen T.M., Kronvang B., Madsen B.L., Markmann P. & Nielsen M.B. 1993. Re-establishment of Danish streams: restoration and maintenance measures. Aquatic Conservation 3: 73-92.



- Jalink M.H. & Jansen A.J.M. 1989. Indicatorsoorten voor verdroging, verzuring en eutrofiëring van grondwaterafhankelijke beekdalvegetaties. Hoofdafdeling Speurwerk, SWE 89.029, KIWA, Rijswijk. 1-39.
- Jansen P.C. 1986. De potentiële verdamping van (half-)natuurlijke vegetaties. ICW nota 1703, ICW, Wageningen.
- Jansen S.R.J., Bal D., Beije H.M., During R., Hoogeveen Y.R. & Uytterlinde R.W. 1993. Ontwerp-Nota Ecosysteemvisies EHS. IKC-NBLF, Wageningen.
- Janssen C.R. 1972. The palaeoecology of plant communities in the Dommel valley, North-Brabant, The Netherlands. *Journal of Ecology* 60: 411-437.
- Jenkins R.A., Wade K.R. & Pugh E. 1984. Macroinvertebrate-habitat relationships in the River Teifi catchment and the significance to conservation. *Freshwater Biology* 14: 23-42.
- Jongman R.H.G., Ter Braak C.J.F. & Van Tongeren O.F.R. 1987. Data analysis in community and landscape ecology. Pudoc, Wageningen.
- Katwijk M.M. & Roelofs J.G.M. 1988. Vegetaties van waterplanten in relatie tot het milieu. Katholieke Universiteit, Nijmegen. Landinrichtingsdienst, Utrecht.
- Kemmers R.H. 1991. Effekten van waterbeheer op standplaatsfactoren van korte vegetaties, De stalenmethode. Rapport 64.1, Staring Centrum, Wageningen.
- Klink A.G. 1986. Palaeolimnologie en verzuring: een milieueffectrapportage achteraf. In: Leuven et al.: waterverzuring in Nederland en België. Proceedings Lab.v.Aq.Oec. KU Nijmegen.
- Koninklijke Vereniging van Archivarissen in Nederland, 1993. Bureau KVAN, Den Haag.
- Landesamt für Wasser und Abfall 1989. Richtlinie für naturnahen Ausbau und Unterhaltung der Fließgewässer in Nordrhein-Westfalen. Woeste Druck + Verlag, Essen, 69p.
- Lange G. & Lecher K. 1993. Gewässerregulierung, Gewässerpflege. Naturnaher Ausbau und Unterhaltung von Fließgewässern. 3. Auflage. Verlag P. Parey, Hamburg und Berlin. 343 pp.
- Lange-Bertalot H. 1979. Pollution tolerance of diatoms as a criterion for water quality estimation. *Nova Hedwigia*, beiheft 64: 285-304.
- Leenaers H., Rang M.C. & Schouten C.J. 1990. Integraal waterbeheer of dweilen met de kraan open. *Publ. Natuurhist. Gen. Limburg* 38/1: 102-108.
- Leentvaar P. 1979. Comparison of hypertrophy on a seasonal scale in Dutch inland waters. In: Barica J. & Mur L.R. (eds.). *Developments in hydrobiology*. 2: 45-55.
- Leopold L.B. & Wolman M.G. 1957. River channel patterns: braided, meandering and straight. *U.S. Geol. Surv. Prof. Paper* 282-B.
- Leopold L.B., Wolman M.G. & Miller J.P. 1964. *Fluvial processes in geomorphology*. Freeman, San Francisco, 522 pp.
- Lewis G. & Williams G. 1984. *Rivers and wildlife handbook: A guide to practices which further the conservation of wildlife on rivers*. Royal Society for the Protection of Birds, and Royal Society for Nature Conservation. D. Green Printers Ltd., Kettering.

- Locher W.P. & De Bakker H. 1987. Bodemkunde van Nederland, Deel 1, Algemene bodemkunde, STIBOKA, Wageningen.
- Maas F.M. 1959. Springs, springbrooks and springwoods of the Netherlands, especially those of the "Veluwezoom". Proefschrift, Wageningen. 166 pp.
- Meerjarenprogramma Natuur en Landschap 1991. Meerjarenprogramma Natuur en Landschap 1992-1996. Ministerie van Landbouw, Natuurbeheer en Visserij, Directie NBLF, 's-Gravenhage.
- Meijers E.M.J. & Van Selm A.J. 1982. Een literatuurstudie ten behoeve van de opzet van een biologisch meetnet. Rapport van de vakgroep Milieubiologie, Rijksuniversiteit Leiden.
- Merrit R.W. & Cummins K.W. 1984. An introduction to the aquatic insects of North America. Second edition. Kendall/Hunt Publishing Company, Dubuque, Iowa.
- Mesters C. 1990. Macrofyten in stromend water: vaak onderbelicht. Notitie ongepubliceerd.
- Ministerie van Landbouw en Visserij 1989. De otter in perspectief; een perspectief voor de otter. Herstelplan leefgebieden otter. Ministerie van Landbouw en Visserij, 's-Gravenhage.
- Ministerie van Landbouw en Visserij 1989. Natuurbeleidsplan. Beleidsvoornemen. Staatsuitgeverij, 's-Gravenhage. 179 pp.
- Ministerie van Verkeer en Waterstaat 1989. Derde Nota Waterhuishouding. Staatsuitgeverij, 's-Gravenhage. 297 pp.
- Ministerie van Volkshuisvesting, Ruimtelijke Ordening en Milieubeheer 1988. Individuele behandeling van afvalwater bij verspreide bebouwing.
- Mol A.W.M. 1984. Limnofauna Neerlandica. Ned. Faun. Med./Europ. Invertebr. Survey, Leiden.
- Mol A.W.M. 1986. Overzicht van hydrobiologische literatuur in Noord-Brabant. RIN-rapport 86/4. Rijksinstituut voor Natuurbeheer, Leersum.
- Moller-Pillot H.K.M. 1971. Faunistische beoordeling van de verontreinigde laaglandbeken. Proefschrift, Tilburg. 286 pp.
- Moore J.W. & Ramamoorthy S. 1984a. Heavy metals in natural waters. Applied monitoring and impact assessment. Springer-Verlag, New York. 265 pp.
- Moore J.W. & Ramamoorthy S. 1984b. Organic chemicals in natural waters. Applied monitoring and impact assessment. Springer-Verlag, New York. 285 pp.
- Moss B. 1988. Ecology of fresh waters, man and medium. 2nd ed. Blackwell Scientific Publ.
- Notier I.W. & Van der Velde H. 1961. Hydraulica voor waterbouwkundigen. Technische Uitgeverij H. Stam N.V. 321 pp.
- Nijssen H. & De Groot S.J. 1987. De vissen van Nederland. KNNV nr. 43. 224 pp.
- NVA 1990. Cursus kwaliteitsbeheer oppervlaktewater. Nederlandse Vereniging voor Afvalwaterbehandeling en Waterkwaliteitsbeheer.



- NVSS 1989. Visstandsbeheer in het Nederlandse binnenwater. BDU bv., Barneveld. 192 pp.
- NWRW 1989a. Effecten van emissies op oppervlaktewater. Thema 9.1. Hoofdrapport.
- NWRW 1989b. Eindrapportage en evaluatie van het onderzoek 1982-1989.
- Olsen S. 1950. Aquatic plants and hydrospheric factors. *Svensk. Bot. Tidskr.* 44: 1-34.
- Orleans A.B.M., Mugge F.L.T., Van der Meij T., Vos P. & Ter Keure W.J. 1994. Minder nutriënten in het oppervlaktewater door bufferstroken. Milieubiologie R.U. Leiden.
- Ormerod S.J. 1988. The micro-distribution of aquatic macro-invertebrates in the Wye River system: the result of abiotic or biotic factors? *Freshwat. Biol.* 20: 241-247.
- Osborne L.L. & Kovacic D.A. 1993. Riparian vegetated buffer strips in waterquality restoration and stream management. *Freshwater Biology* 29: 243-258.
- Osborne L.L., Bayley P.B., Higler L.W.G., Statzner B., Triska F. & Iversen T.M. 1993. Restoration of lowland streams: an introduction. *Freshwater Biology* 29: 187-194.
- Overmars W. 1992. De Waal en de Winssense Waard. In: "Levende Rivieren". Wereld Natuur Fonds, Zeist.
- Paarlberg A. 1990. Zuidlimburgse beken en beekdalen: karakteristieken, processen en patronen. *Publ. Natuurhist. Gen. Limburg* 38: 6-13.
- Paarlberg A. & Tolkamp H.H. 1990. Macrofauna van de Zuid-Limburgse beken. *Publ. Natuurhist. Gen. Limburg* 38/1 69-79.
- Paarlberg A. & Torenbeek R. 1985. Macrofauna-onderzoek in de zuidelijke Achterhoek, De Liemers en het Montferland. Verslag LH Natuurbeheer 794. 36 pp.
- Paarlberg A., Buskens R., Elemans H. & Soesbergen en M. 1994. Historische ecologie en beekherstel. Rapportage Themagroep Historische Data (WEW). 48p + bijlagen.
- Pannekoek A.J. (ed.) 1956. Geologische geschiedenis van Nederland. Toelichting bij de geologische overzichtskaart van Nederland 1:200.000. Staatsuitgeverij, 's-Gravenhage.
- Pelzers E. 1988. Aspecten van de zalmvisserij in Limburg en Gelderland in de negentiende eeuw. *Natuurhistorisch Maandblad* 77 (1): 4-9.
- Peters A. & Gijlstra R. 1984. Biologische waterkwaliteitsbeoordeling van genormaliseerde beken met behulp van makrofauna. Landbouwhogeschool, vakgroep Natuurbeheer, Wageningen. 48 pp.
- Petersen R.C. & Cummins K.W. 1974. Leaf processing in a woodland stream. *Freshwat. Biol.* 4: 343-368.
- Petersen R.C., Petersen L.B.M. & Lacoursière J. 1992. A Building-block Model for Stream Restoration. In: Boon P.J., Calow P. & Petts G.E. (eds.): *River Conservation and Management*. Wiley & Sons, Chichester/New York.
- Pflug W., Ruwenstroth G., Stähr E., Limpert K., Regenstien G. & Schott K. 1980. Wasserbauliche Modellplanung Ems bei Rietberg auf landschaftsökologischer Grundlage. Landesamt für Agrarordnung Nordrhein-Westfalen, 115p.

- Piper A.M. 1944. A graphic procedure in the geochemical interpretation of water-analyses. *Trans. Am. Geophys. Union* 25.
- Pitlo R.H. & Griffioen C.J.H. 1991. Stromingsmodel voor begroeide waterlopen. *Waterschapsbelangen* 76: 345-348.
- Pitlo R.H. & Dawson F.H. 1990. Flow-resistence of aquatic weeds. In: Pieterse A.H. & Murphy K.J. (eds.). *Aquatic Weeds - The ecology and management of nuisance aquatic vegetation*. Oxford University Press, Oxford.
- Pot R. 1992. *Die Pflanzengesellschaften Deutschlands*. Verlag Eugen Ulmer, Stuttgart.
- Provincie Utrecht 1993. *Ecologische verbindingzones provincie Utrecht*. Werkgroep Provincie Utrecht.
- Pot R. 1994. *Vegetatie in de Keersop bij aangepast onderhoud*. Adviesgroep Vegetatiebeheer, IKC Natuurbeheer, Wageningen. 46 pp.
- Quak J. 1991. *De Habitat Evaluatie Procedure; instrument voor integraal visstands-, water- en natuurbeheer*. OVB-bericht 1991-4, Organisatie ter Verbetering van de Binnenvisserij, Nieuwegein.
- Quak J. & Van der Spiegel A. (eds.) 1992. *Cursus Visstandsbeheer en Integraal Waterbeheer*. Organisatie ter Verbetering van de Binnenvisserij, Nieuwegein. 402pp.
- Quak J. 1994. *Klassificatie en typering van de visstand in het stromend water*. In: Raat A.J.P. *Vismigratie, visgeleiding en vispassages in Nederland*. Lezingen en posterpresentaties van de studiedag vismigratie, Jaarbeurs Utrecht. Organisatie ter Verbetering van de Binnenvisserij, Nieuwegein.
- Querner E.P. 1993. *Aquatic weed control within an integrated water management framework*. Proefschrift, Landbouwniversiteit Wageningen. 204 pp.
- Raat J.P. 1994. *Vismigratie, visgeleiding en vispassages in Nederland*. Studiedag Vismigratie, Jaarbeurs Utrecht 1993. OVB, Nieuwegein.
- Redeke H.C. 1948. *Hydrobiologie van Nederland. De zoete wateren*. Backhuys en Meesters, Amsterdam, 579p.
- Riezebos P.A. & Slotboom R.T. 1970. Some data on the Holocene deposits in the Mark and Weerij's valleys (prov. of Noord-Brabant, The Netherlands). *Geologie en Mijnbouw* 2: 119-134.
- Rijksplanologische Dienst 1991. *De mogelijkheden van helofytenfilters in Nederland*. Signalen van Onderzoek en Studie, Cahier no. 20, RPD.
- Rijdsdijk R.E. 1994. *Het opstellen van water- en nutriëntenbalansen voor Nederlandse plassen en meren*. RIZA Werkdocument 94.170X. RIZA Lelystad.
- Schaminée J.H.J., Stortelder A.H.F. & Westhoff V. 1995. *De vegetatie van Nederland. I. Inleiding tot de plantensociologie: Grondslagen, methoden en toepassingen*.
- Schumm S.A. 1977. *The fluvial system*. John Wiley & Sons, New York.
- Semmekrot S. 1993. *De visstand in het beekstelsel Enschede-Zuid. Deel 2; Habitat Evaluatie Procedure voor vier prioritaire vissoorten: bierpje, riviergrondel, beekprik en rivierdonderpad en analyse van de vismigratieknelpunten*. OVB-onderzoeksrapport, Nieuwegein.



- Smit H. 1990. Hydrobiologisch onderzoek van kleine wateren in Zuid-Holland. Provincie Zuid-Holland, Dienst Water en Milieu. 251 pp.
- Snijders A.J.C. 1912. Uit de dierenwereld van het water. Schetsen in woord en beeld van 't leven der lagere diersoorten. W. Hilarius zn, Almelo. 202p.
- Sokal, R.R. & F.J. Rohlf: 1981. Biometry. Second edition. W.H. Freeman and Company, New York.
- Southwood T.R.E. 1966. Ecological methods with particular reference to the study of insect populations. Chapman and Hall, London. 391 pp.
- Stevens M.A. 1989. Width of straight alluvial channels. Journal of Hydraulic Engineering ASCE, vol. 113 (3).
- Stortelder P.B.M., Van der Gaag M.A. & Van der Kooij L.A. 1989. Kansen voor waterorganismen. Een ecotoxicologische onderbouwing voor kwaliteitsdoelstellingen voor water en waterbodem. DBW/RIZA nota nr. 89.016a.
- STORA 1989. Kenmerken van niet rechtstreeks door afvalwater beïnvloed binnenwater. Stichting Toegepast Onderzoek Reiniging Afvalwater, Den Haag.
- STOWA 1991. Handleiding biologische fosfaatverwijdering. Stichting Toegepast Onderzoek Waterbeheer, Utrecht, nr. 91-07.
- STOWA 1992a. Ecologische beoordeling en beheer van oppervlaktewater. Beoordelingssysteem voor stromende wateren op basis van macrofauna. Stichting Toegepast Onderzoek Waterbeheer, Utrecht, nr. 92-07. 58 p.
- STOWA 1992b. Informatie & Overzichten: Oppervlaktewater modellen. Stichting Toegepast Onderzoek Waterbeheer, Utrecht.
- STOWA 1993a. Handboek chemische P-verwijdering. Stichting Toegepast Onderzoek Waterbeheer, Utrecht, nr. 93-06.
- STOWA 1993b. Handboek stikstofverwijdering. Stichting Toegepast Onderzoek Waterbeheer, Utrecht, nr. 93-07.
- STOWA 1994. Handboek debiet meten in open waterlopen. Stichting Toegepast Onderzoek Waterbeheer, Utrecht, nr. 94-13. 157 pp.
- Stuurman R.J., Van der Meij J.L., Biesheuvel A. & Pakes U. 1990. De grondwaterstromingsstelsels en de grondwatersamenstelling van de provincie Noord-Brabant. DGV-TNO, rap.nr. OS-90-26A.
- Stuyfzand P.J. 1986. Een nieuwe hydrochemische classificatie van watertypen met Nederlandse voorbeelden van toepassing. *H<sub>2</sub>O* (19) 23: 562-568.
- Tokeshi M. & Pinder L.C.V. 1985. Microhabitats of stream invertebrates on two submerged macrophytes with contrasting leaf morphology. *Holarctic Ecology* 8: 313-319.
- Tolkamp H.H. 1980. Organism-substrate relationships in lowland streams. Proefschrift, Wageningen. 211 pp.
- Tolkamp H.H. 1983. Beken in Noord- en Midden-Limburg. *Natura* 80 (1): 94-102.

- Tolkamp H.H. & Gardeniers J.J.P., 1975. The biological assessment of the water quality of the rivers Main and Kahl in June 1975. Report for the Comm. Eur. Comm. Health Prot. Dir.
- Tolkamp H.H. & Gardeniers J.J.P. 1988. De ontwikkeling van de biologische waterbeoordeling in Nederland - van weten naar meten. In: Roijackers. R.M.M. (ed.): Hydrobiologisch onderzoek in Nederland; fundamentele en toepassingsgerichte aspecten. Publikatie no.6: 75-85, Hydrobiologische Vereniging Amsterdam.
- Unie van Waterschappen 1991. Waterschappen en recreatief medegebruik. Unie van Waterschappen, Ministerie van LNV, maart 1991.
- Van Dam H., Mertens A. & Janmaat L.M. 1993. De invloed van atmosferische depositie op diatomeeën en chemische samenstelling van het water in sprengen, beken en bronnen. IBN-rapport 052, Wageningen. 87 pp.
- Van der Aalst P.L.J. 1988. Introductie van een systeem ter beoordeling van de zuurstoftoestand in oppervlaktewateren met behulp van diatomeeën. Rapport R87ABL069LB8, Gemeenschappelijke Technologische Dienst, Boxtel.
- Van den Brand, Grotenhuis J. & Weeda E. 1983. Landschap, plantengroei en vogelwereld van de Winterswijkse beken en beekdalen. *Natura* 80: 48-64.
- Van der Hammen H., Claassen T.H.L. & Verdonschot P.F.M. 1984. Handleiding voor hydrobiologische milieu-inventarisatie. Eindverslag Interprovinciale Ambtelijke Werkgroep Milieu-inventarisatie, Subwerkgroep Hydrobiologie. Haarlem, 61p.
- Van der Hoek W. & Higler B. 1993. Deelprogramma Natuurontwikkeling. Natuurontwikkeling in beken en beekdalen: Verkennende studie naar de mogelijkheden van natuurontwikkeling in beek- en beekdalsystemen in Nederland. NBP-onderzoeksrapport 3, IBN-DLO, Wageningen.
- Van der Hoek W.F. & Verdonschot P.F.M. 1994. Functionele karakterisering van aquatische ecotootypen. IBN rapp. 072: 1-81.
- Van der Maarel E. & Dauvellier P.L. 1978. Naar een Globaal Ecologisch Model voor de ruimtelijke ontwikkeling van Nederland. Ministerie van Volkshuisvesting en Ruimtelijke Ordening, Den Haag.
- Van der Straaten J. & Von Meijenfeldt P. 1983. Beken in Brabant; hoe houden wij dit bezit? Brabantse Milieufederatie. Uitg. Gianotten, Tilburg, 174p.
- Van der Veen G.J. & Garritsen A.C. 1994. Kennisoverzicht Ecohydrologie: een inventarisatie van kennis en expertise op het gebied van ecohydrologie en verdroging. NOV rapp. 7. RIZA Lelystad.
- Van Leeuwaarden W. & Janssen C.R. 1987. Differences between valley and upland vegetation in eastern Noord-Brabant, The Netherlands, during the late Glacial and early Holocene. *Review of Palaeobotany and Palynology* 52: 179-204.
- Van Wirdum G. 1991. Vegetation and hydrology of floating rich-fens. Proefschrift, Universiteit van Amsterdam, Amsterdam. 310 pp.
- Vannote R.L., Minshall G.W., Cummins K.W., Sedell J.R. & Cushing C.E. 1980. The River Continuum Concept. *Can. J. Fish. Aquat. Sci.* 37: 130-137.
- Veen J., 1987. Otterhabitat in Nederland. Een onderzoek naar de geschiktheid van nederlandse binnewateren als habitat voor de otter (*Lutra lutra* L.), 's-Gravenhage.



- Vegter U. 1991. Hydro-ecologische relaties in het beekdal van de Dwingeler- en Beilerstroom. Provincie Drenthe, afd. Natuur en Landschap. 136 p + 42 p (2 delen).
- Verdonschot P.F.M. 1990a. Ecological characterization of surface waters in the province of Overijssel (The Netherlands). Proefschrift, Wageningen. 255 pp.
- Verdonschot P.F.M. 1990. Ecologische karakterisering van oppervlaktewateren in Overijssel. Het netwerk van cenotypen als instrument voor ecologisch beheer, inrichting en beoordeling van oppervlaktewateren. Provincie Overijssel, Zwolle, Rijksinstituut voor Natuurbeheer, Leersum.
- Verdonschot P.F.M. 1993. Beken en beekdalen in Nederland; ecologische referenties en natuurdoeltypen. In: Kraal H., Roos R., Santema R., Van de Sande R. & Mulders J. (eds.). De toekomst van beekdalen. Besturen van stromen. Stichting Natuur & Milieu, Utrecht: 16-34.
- Verdonschot P.F.M., Runhaar H., Van der Hoek W.F., De Bok C.F.M. & Specken B.P.M. 1992. Een aanzet tot een ecologische indeling van oppervlaktewateren in Nederland. IBN/RIN rapp. 92, CML rep. 78: 1-100
- Verdonschot P.F.M., Schot J.A. & Scheffers M.R. 1993. Potentiële ecologische ontwikkelingen in het aquatisch deel van het Dinkelsysteem; onderdeel van het NBP-project Ecologisch onderzoek Dinkelsysteem. IBN-rapport 004, 130p.
- Verdonschot P.F.M. & Tolkamp H.H. 1983. De rol van dood hout in stromend water. Ned. Bosbouw. Tijdschr. 55 (2/3): 106-111.
- Vissers J., 1994. Effluentboeren, een voorbeeldplan vierde nota. IKC-NBLF, Wageningen/ Zuiveringschap Oostelijk Gelderland, Doetinchem/Waterschap Ijsselland-Baakse Beek, Ruurlo/TAUW Civiel en Bouw, Deventer.
- Vollenweider R.A. 1968. Scientific fundamentals of the eutrophication of lakes and flowing waters, with particular reference to nitrogen and phosphorus as factors in eutrophication. Organ. Econ. Coop. Dev. Tech. Rep. DAS/CSI/68.27, Paris.
- Wallace J.B., Webster J.R. & Woodall W.R. 1977. The role of filter feeders in flowing waters. Arch. Hydrobiol. 79: 506-532.
- Ward D., Holmes N. & José P. 1994. The new rivers & wildlife handbook. RSPB, NRA & RSNC.
- Washington H.G. 1984. Diversity, biotic and similarity indices. A review with special relevance to aquatic ecosystems. Water Research 18: 653-694.
- Wassen M.J. & Schot P.P. 1992. Hydro-ecologische modellen. Landschap 2: 83-105.
- Waterschap de Aa 1987. Historische gegevens over de rivier de Aa en het ontstaan van het Waterschap de Aa. Brochure.
- Waterschap Regge & Dinkel 1994. Notitie recreatief medegebruik waterschapsobjecten. 24 februari 1994, Waterschap Regge & Dinkel, Almelo.
- Wegl R. 1983. Index für die Limnosaprobität. Wasser und Abwasser 26: 1-176.
- Werkgroep Beekbegeleidende Beplantingen 1989. Hoofdrapport van de werkgroep beekbegeleidende Beplantingen. Beplantingen langs waterlopen als beheersmaatregel. Mededelingen Landinrichtingsdienst, Utrecht. nr. 179: 1-60.

- kgroep Biologische Waterbeoordeling 1977. Handboek Biologische Waterbeoordeling. TNO Delft.
- Winget R.N. 1985. Methods for determining successful reclamation of stream ecosystems. In J.A. Gore (ed.): The restoration of rivers and streams. Theories and experience. p 165-192.
- Wiggers J.B.M. 1992. Misverstanden over helofytenfilters. *H<sub>2</sub>O* 25: 120-121.
- Witte J.Ph.M. & Van der Meijden R. 1989. Ecosystemen van vochtige en natte standplaatsen in Nederland: verspreiding en verandering afgeleid uit het florabestand van het Rijksherbarium en CBS en het bodemkundige bestand van het Staring Centrum. RIZA Arnhem/Onderzoeksinstituut Rijksherbarium/ Hortus Botanicus Leiden. 55p.
- Wolfert H.P. 1991. Beekmeandering en natuurontwikkeling. *Landschap* 8 (4): 265-276.
- Wright J.F., Moss D., Armitage P.D. & Furse M.T. 1984. A preliminary classification of running-water sites in Great Britain based on macro-invertebrate species and the prediction of community type using environmental data. *Freshwater Biology* 14: 221-256.
- Wright J.F., Blackburn J.H., Westlake D.F., Furse M.T. & Armitage P.D. 1992. Anticipating the consequences of river management for the conservation of macroinvertebrates. In: Boon P.J. Calow P. & Petts G.E. (eds.). *River conservation and Management*. John Wiley, Chichester. 137-149.
- Wijbinga J.H.A. 1992. Mogelijkheden voor zand- en slibvang in Mark en Vliet. Fase 1: voorstudie. Waterloopkundig Laboratorium, Delft - De Voorst.
- Yen C.L. 1970. Bed topography effect on flow in a meander. *Journal of the Hydraulics Division ASCE*, vol. 98.
- Yu B. & Wolman M.G. 1987. Some dynamic aspects of river geometry. *Water Resources Research*, vol. 23 (3).
- Zagwijn W.H. & Van Staalduinen C.J. (red.) 1975. Toelichting bij geologische overzichtskaarten van Nederland. RGD, Haarlem.
- Zonderwijk M. 1994. Monitoring van flora en fauna, morfodynamiek, waterbodempkwaliteit en beheer in beekproject "Midden-Regge fase I", tussenrapportage over de periode 1988-1993. Waterschap Regge & Dinkel, Almelo.





## TERMENLIJST

## A

abiotisch	=	het niet-levende milieu
abundantie	=	aantal individuen
acidofiel	=	zuurminnend
adsorptie	=	de binding van met name kationen op een grensvlak
aëratie	=	beluchting
afvoer (debiet)	=	hoeveelheid water die door een watergang stroomt ( $Q$ $m^3/s$ )
afvoerpatroon	=	overzicht van het debiet van een watergang in de tijd
alkalofiel	=	base-minnend
allochtoon	=	van buiten af
anthropogeen	=	door de mens beïnvloed
aquatisch	=	in het water levend
archeologie	=	oudheidkunde
atmotroof	=	van de neerslag afhankelijk
autecologie	=	ecologie van de afzonderlijke plante- en diersoorten
autochtoon	=	oorspronkelijk, vanuit het systeem zelf
autotroof	=	in staat om zelf uit anorganische voedingsstoffen organisch materiaal te produceren

## B

basisafvoer	=	dat deel van de afvoer dat a.g.v. langdurige berging (in grond- en/of oppervlaktewater) pas na geruime tijd tot stand komt
b/d-ratio	=	verhouding tussen breedte en diepte van een watergang in een dwarsprofiel
beddingweerstand	=	het energieverlies dat optreedt tengevolge van de 'wandruwheid' van de bedding van een watergang
beek(bedding)	=	gebied gekenmerkt door de aanwezigheid van stromend water (inclusief het gebied dat periodiek onder water stroomt)
beekdal	=	gebied tussen beekflank en beek, meestal gekenmerkt door een hoger transversaal terreinverhang (dalvormig)
beekflank	=	gebied langs de rand van een stroomgebied, aan de andere (lager gelegen) zijde begrensd door het beekdal
bergingscapaciteit	=	volume water dat geborgen kan worden tussen het streefpeil (of actuele peil) en het maximaal aanvaardbare waterpeil ( $V m^3$ )
biomassa	=	hoeveelheid aanwezig levend biologisch materiaal
biotisch	=	het levende milieu
biotoop	=	woongebied voor een groep van organismen
bodemtransport	=	rollende of schuivende verplaatsing van beddingmateriaal in stroomafwaartse richting over de beekbodem

## C

cascade	=	(vaak met stenen) getrapte waterval
conditionerend	=	(rand)voorwaarden scheppend
consument	=	organisme dat organische stof nodig heeft voor zijn opbouw en functioneren



**D**

debiet	=	zie afvoer
denitrificatie	=	omzetting van nitraat door denitrificerende bacteriën onder zuurstofarme of -loze omstandigheden in stikstofgas (en soms lachgas N <sub>2</sub> O)
depositie	=	droge en natte neerslag
desorptie	=	het weer van een grensvlak verdwijnen van een eerder geadsorbeerde stof
detritus	=	grof en fijn dood organisch afgebroken plantemateriaal
diapauze	=	fase in de levenscyclus van een organisme, waarin de ontwikkeling van het organisme stilstaat
diffusie	=	proces waarbij moleculen van een stof op het grensvlak tussen twee fasen (b.v. lucht-water) overgaan van de ene naar de andere fase
dimensies	=	breedte en diepte van een beek op een bepaalde plaats
diversiteit	=	soortenrijkdom
doorlatend vermogen	=	maat voor de watervoerendheid (horizontaal) of waterdoorlatendheid (verticaal) van een pakket
drainage	=	afvoer van water door en over de grond en door het waterlopenstelsel
drift	=	het actief en passief verplaatsen van organismen in de beek
drooglegging	=	de afstand tussen het maaiveld en het waterpeil in de beek
duinbeek	=	natuurlijke ondiepe, stromende watergang in de duinen
duinrel	=	gegraven ondiepe, stromende watergang in de duinen
dy	=	uit planteresten gevormde en vervolgens in zuur water afgezette humusvlokken
dynamisch evenwicht	=	de temporele variatie van een systeem rondom een evenwicht
dynamische beek	=	een beek met grote, onvoorspelbare temporele variatie

**E**

ecohydrologie	=	studie van de relaties tussen terrestrische ecosystemen en de hydrologie
ecologie	=	wetenschap van de wederzijdse relaties van de organismen onderling en met hun milieu
ecologische potentie	=	de ecologische ontwikkelingsmogelijkheden gezien op basis van de aanwezige ecologische randvoorwaarden
ecosysteem	=	een samenhangend geheel van levende organismen en de niet-levende omgeving, inclusief de relaties tussen de samenstellende delen
ecotoop	=	leefgebied van een bepaalde levensgemeenschap
effluent	=	lozingswater uit een RWZI
emers	=	uit het water opstijgend
entomologie	=	studie van insecten
epifytisch	=	op planten groeiend
epilytisch	=	op mineraal (stenen, zandkorrels) materiaal groeiend
erosie	=	uitschuring van de bedding
eutroof	=	voedselrijk
evapotranspiratie	=	verdamping van water

**F**

factorcomplex	=	groep van nauw samenhangende en onderling afhankelijke factoren
fauna	=	dieren
filtereender	=	organisme dat voedseldeeltjes uit het water filtreert
flora	=	planten

fluvioperiglaciaal	=	onder koude klimaatsomstandigheden door regenwater als door van ijsmassa's afkomstig smeltwater afgezet materiaal
freatisch grondwater	=	het bovenste grondwater
freatofyt	=	grondwaterplant; plant die voorkomt waar de invloed van het freatisch grondwater tot in de wortelzone reikt
functioneren	=	processen werkzaam in het ecosysteem
fysiografie	=	leer van de verspreiding van natuurkundige verschijnselen aan het aardoppervlak
<b>G</b>		
GeBeVe	=	gebiedsgerichte bestrijding verdroging
GHG	=	gemiddelde hoogste grondwaterstand
GVG	=	gemiddelde voorjaars grondwaterstand
gyttja	=	organische stof van plantaardige oorsprong dat in voedselrijk en zuurstofhoudend water is ontleed
gradiënt	=	gebied waarbinnen de invloed van een milieufactor of -factorcomplex in een bepaalde richting geleidelijk verandert
grondwaterberging	=	volume water aanwezig in een bepaald watervoerend pakket of in een gebied boven een bepaald referentievlak ( $V m^3$ )
<b>H</b>		
habitat	=	woonplaats of woongebied van een organisme
half-natuurlijk	=	soorten zijn grotendeels spontaan, de structuur is echter door de mens bepaald en afwijkend van wat ter plaatse natuurlijk zou zijn
herbicide	=	plantenbestrijdingsmiddel
herbivoor	=	dier dat zich nagenoeg uitsluitend met levende planten voedt
herpetofauna	=	amfibieën en reptielen
heterotroof	=	organisme dat organisch materiaal nodig heeft als bron van voedsel en energie
heuvellandbeek	=	relatief snel stromend water onder voor nederlandse begrippen hoog verhang
historische ecologie	=	vakgebied dat historische ecosystemen bestudeert
home-range	=	verspreidingsgebied (territorium) van een individu
horst	=	een a.g.v. tektoetiek ontstaan hoger liggend deel van het landschap (langs een breuklijn)
hydraulica	=	studie van vloeistofbewegingen
hydraulische doorsnede	=	vertikaal doorstroomd oppervlak van een watergang ( $A m^2$ )
hydraulische straal	=	hydraulische doorsnede gedeeld door de natte omtrek ( $R m = A/P$ )
hydrologie	=	studie van eigenschappen en gedragingen van water
hydrobiologie	=	studie van het leven in het water
hygropetrisch	=	levend in een dunne waterlaag
hypertroof	=	overmatig voedselrijk
<b>I</b>		
indicator	=	organisme dat door haar tolerantie de toestand van bepaalde milieumomstandigheden aangeeft
infiltratie	=	aanvulling van water onder het grondoppervlak (inzijging)
infiltratiegebied	=	gebied waarin over het jaar heen infiltratie de overhand heeft



intermediair gebied	=	gebied waarin over het jaar heen infiltratie en kwel elkaar afwisselen
inundatie	=	tijdelijke overstroming
invertebraat	=	ongewerveld dier
irreversibel	=	onomkeerbaar
isohypse	=	hoogtelijn
<b>K</b>		
kanalisatie	=	het rechte trekken van het lengteprofiel van een beek
kensoort	=	karakteristieke soort voor een bepaald milieu
klastisch	=	gesteente dat dankzij verwerking van ander gesteente ontstond
knipper	=	organisme dat zich voedt met grof dood organisch materiaal
kolonisor	=	organisme dat snel nieuwe milieus bezet
koud-stenotherm	=	soort die bij voorkeur voorkomt in water met een (constant) lage temperatuur
kwel	=	opwaarts gerichte grondwaterstroming, het uitreden van grondwater
kwelgebied	=	gebied waarin over het jaar heen kwel de overhand heeft
kwelintensiteit	=	het volume water dat door kwel de grond uitreedt per tijdseenheid en per eenheid van horizontaal oppervlak van een beschouwd gebied ( $U_k$ m/dag)
<b>L</b>		
laaglandbeek	=	relatief langzaam stromend water onder gering verhang
laminaire stroming	=	stroming van water langs een grensvlak waarbij stroombanen van waterdeeltjes evenwijdig aan elkaar lopen
LD	=	landinrichtingsdienst
lethaal	=	dodelijk
lithotroof	=	van de samenstelling van de ondergrond afhankelijk
LNV	=	ministerie van landbouw, natuurbeheer en visserij
longitudinale stroming	=	stromingsrichting parallel aan de lengte-as van de beek
lutum	=	gronddeeltjes kleiner dan twee micron
<b>M</b>		
macrofauna	=	met het blote oog waarneembare ongewervelde dieren
macrofyt	=	waterplant
macro-ionen	=	ionen die in hoofdzaak de totale ionenbalans uitmaken; dit zijn o.a. de kationen calcium, kalium, magnesium en de anionen sulfaat, carbonaat en chloride
meandering	=	het (natuurlijk) bochtige, slingerende verloop van een beek
meanderbreedte	=	afstand, dwars op de lengterichting van het beekdal, tussen de oevers van twee opeenvolgende bochten in een beek
meanderlengte	=	afstand, in de lengterichting van het beekdal, tussen twee punten in het tracé van een beek, waartussen het tracé een volledige sinusvorm doorloopt, gemeten op de as van de waterloop
meetdichtheid	=	de hoeveelheid meetlocaties in de ruimte
meetfrequentie	=	het aantal metingen in de tijd
mesotroof	=	matig voedselrijk
metabolisme	=	omzettingsprocessen van stoffen in een organisme
microfauna	=	microscopisch kleine dieren
microfyt	=	alleen met de microscoop waarneembare waterplant
microhabitat	=	woonplek van een organisme
micromeandering	=	het binnen het profiel meanderen van de stroomdraad van de beek

microverontreiniging	=	verontreiniging die in minder dan een miljoenste gram per liter wordt uitgedrukt
migratie	=	het zich (kunnen) verplaatsen van aquatische organismen door het lengteprofiel van een beek
migratiebarrière	=	natuurlijk of kunstmatig object waardoor migratie belemmerd wordt
mineralisatie	=	processen waarbij dood organisch materiaal o.i.v. van chemische reacties en de activiteit van organismen wordt omgezet in anorganische verbindingen (zouten of mineralen)
minerogeen monitoring	=	uit mineraal materiaal bestaand
	=	het volgen, volgens een vastgestelde werkwijze, van een of meer grootheden in de tijd
morfologie	=	vormleer
morfodynamiek	=	mate waarin veranderingen in de morfologie optreden
multivariate analyse	=	rekentechniek om grote, variabele gegevensbestanden robuust te analyseren
<b>N</b>		
natte omtrek	=	lengte van de grenslijn tussen het water en de wanden en bodem in een dwarsdoorsnede van een watergang (P of Om)
NBLF	=	directie natuur, bos, landschap en fauna
NBP	=	natuurbeleidsplan
neerslagoverschot	=	neerslag - evapotranspiratie, hoeveelheid neerslag (mm) die ten goede komt aan de voeding van grond- en oppervlaktewater
neerslagpatroon	=	overzicht van de neerslag per tijdseenheid
nitrificatie	=	omzetting van ammonium door nitrificerende bacteriën onder een zuurstofrijke omstandigheden in nitraat
normalisatie	=	het onder normprofiel brengen van het dwarsprofiel van een beek
nutriënt	=	voedingsstof
nuttige neerslag	=	zie neerslagoverschot
<b>O</b>		
oligotroof	=	voedselarm
ontwateringsdiepte	=	afstand tussen maaiveld en grondwaterstand
ontwikkelingsreeks	=	reeks van meer en minder concreet omschreven toestanden van een ecosysteem, waarmee een bepaalde ontwikkeling van het systeem wordt beschreven
operationele factor	=	werkende factor
opgeleide beek	=	beek die door menselijk ingrijpen hoger in het beekdal is gelegd en vaak omgeven is door kaden
oppervlaktewaterberging	=	volume water dat in een bepaald oppervlaktewater of gebied aanwezig is ( $V \text{ m}^3$ )
opportunist	=	snel vestigende soorten met hoge reproductie en een lage concurrentiekracht
ordinatie	=	het rangschikken van objecten langs (arbitraire) assen op basis van aan deze objecten gemeten grootheden
organogeen	=	uit organisch materiaal bestaand
oxybiont	=	organisme dat uitsluitend leeft in water met een hoog en constant zuurstofgehalte
<b>P</b>		
paleolimnologie	=	studie van fossiele planten en dieren in het water
parkbeek	=	beek ingepast in een parklandschap



patroonaspect	=	ruimtelijk kenmerk
perifytisch	=	op planten groeiend
permanent	=	niet droogvallend
plankton	=	vrij zwevende kleine organismen in het water
pollen	=	stuifmeel
precipitatie	=	het neerslaan uit een oplossing
predator	=	roofdier
primaire produktie	=	opbouw van organisch materiaal door planten
procesaspect	=	kenmerk van het functioneren van het systeem
producent	=	organisme dat uit anorganische stof, organische stof en zuurstof produceert

## R

REGIWA	=	regionaal integraal waterbeheer
regulatie	=	het aanbrengen van stuwen in een beek t.b.v. peilregulatie
referentie	=	beschrijving van een ecosysteem in natuurlijke toestand
relatienotagebied	=	gebied dat valt onder de relatienota m.a.w. waar beperkingen aan de landbouw worden gesteld ten behoeve van de natuur
retentie	=	tijdelijk vasthouden van water
rheofiel	=	stroomminnend
RVK	=	ruilverkaveling
RWS	=	rijkswaterstaat
RWZI	=	rioolwaterzuiveringsinstallatie

## S

saprobie	=	toestand met betrekking tot concentraties organische voedingsstoffen (mate van organische belasting)
SBB	=	staatsbosbeheer
schraper	=	organisme dat zich voedt door het afschraperen van aangroei op harde substraten
sediment	=	bezinksel op de bodem van een water
sedimentatie	=	aanzanding/-slibbing van de bedding
semi-aquatich	=	half op het land en half in het water levend
semi-permanent	=	alleen in droge jaren droogvallend
semi-terrestrisch	=	zie semi-aquatich
sessiel	=	een vastzittende levenswijze op harde substraten
similariteit	=	overeenkomst op basis van soortensamenstelling
sinuositeit	=	mate van slingeren van de beek
slenk	=	een a.g.v. tektotiek ontstaan lager liggend deel van het landschap (langs een breuklijn)
spiraalstroming	=	stroming van het water met een richting dwars op de stroomrichting van de beek, vaak in een spiraalvorm, ontstaan door wisselwerking tussen waterstroom en oevers in bochten
spreng	=	gegraven bron
stabiel beekstelsel	=	beekstelsel in een dynamisch evenwicht ondanks invloeden van buitenaf
stikstofbinding	=	proces waarbij elementair stikstof uit de lucht wordt omgezet in nitraat
streefbeeld	=	van de actuele toestand en de referentie afgeleide beschrijving van een na te streven hoedanigheid van een ecosysteem
stromingsstelsel	=	gebied waarbinnen de aan- en afvoer van grond- en oppervlaktewater een min of meer gesloten systeem vormt
stromingsweerstand	=	maat voor de weerstand tegen verticale doorstroming van een weerstandbiedend pakket (C dag)

stroomdraad	=	plaats in het dwarsprofiel waar de stroomsnelheid het hoogste is
stroomgebied	=	gebied waaruit een beek haar water betreft
stroomsnelheid	=	snelheid van water in een watergang (v m/s)
stroomsnelheidsprofiel	=	overzicht van de verdeling van de stroomsnelheid in het dwarsprofiel van een beek
stuuraspect	=	kenmerk dat processen en patronen veroorzaakt
stijghoogte	=	grondwaterstand van een watervoerend pakket (h m ± NAP)
substraat	=	vast materiaal zoals zand, blad en detritus waarin organismen leven
substraatmozaïek	=	ruimtelijk patroon van substraattypen
subsurface runoff	=	'interflow' door de onverzadigde zone en ondiep lateraal transport door het bovenste grondwater, onder andere via buizendrainen en scheuren en gangen in de bodem
sulfaatreductie	=	omzetting van sulfaat door bacteriën onder zuurstofloze omstandigheden in zwavelverbindingen
surface runoff	=	afspoeling over het perceeloppervlak
synecologie	=	ecologie van levensgemeenschappen
syntaxonomie	=	leer van taxonomie van levensgemeenschappen
systeemvoorwaarden	=	factoren en processen samenhangend met klimaat, geologie en geomorfologie
<b>T</b>		
tektoniek	=	processen waarbij op elkaar gestapelde aardlagen door breuken en verschuivingen in de aardkorst in verticale richting t.o.v. elkaar verschoven komen te liggen
temporaire terreinhelling	=	jaarlijks droogvallend
terrestrisch	=	op het land levend
thalweg	=	lijn die de diepste punten in de beek verbindt
topografie	=	plaatsbeschrijving
toponiem	=	veldnaam
toxicant	=	giftige stof
toxiciteit	=	giftigheid
tracé	=	lengteprofiel
trofie	=	toestand met betrekking tot concentraties anorganische voedingsstoffen (mate van voedselrijkdom)
turnover	=	omzettingssnelheid
turbiditeit	=	troebelheid
<b>U</b>		
ubiquist	=	over de gehele wereld voorkomend
<b>V</b>		
vegetatie	=	plantengroei van een plaats
veraarding	=	mineralisatie van veen
verhang	=	hoogteverschil in bedding (J) of waterspiegel (s) (m/km)
verval	=	verschil in waterhoogte tussen twee punten in een waterloop ( $\Delta H$ cm)
verwilderd tracé	=	beek met zandbanken verspreid over de bedding
verzamelaar	=	organisme dat zich voedt door het verzamelen van organisch materiaal uit de bodem
vlechtend	=	door aanwezigheid van meerdere zandbanken in het dwarsprofiel stroomt het water door meerdere vlechtende geulen
volgaspect	=	kenmerk volgend op een proces



volgvariabele = variabele volgend op een proces  
VROM = ministerie van volkshuisvesting, ruimtelijke ordening en milieubeheer

**W**

waterconservering = het vasthouden van water  
waterscheiding = scheidslijn tussen twee stroomgebieden, gekenmerkt door grondwaterstroming naar twee kanten, gemarkeerd door de hoogste grondwaterstand (grondwaterscheiding) of gemarkeerd door de hoogste topgrafische ligging (topografische waterscheiding)

watervoerend pakket = laag in de ondergrond, die door zijn grove structuur (hoge porositeit; zand, grind), water kan bevatten en transporteren

weerstandbiedend pakket = laag in de ondergrond, die door zijn fijne structuur (lage porositeit: klei, leem), slechte watervoerende eigenschappen heeft

wiep = wilgetak

**Z**

zwevend transport = verplaatsing van materiaal, gesuspendeerd in de waterkolom, in stroomafwaartse richting



Subgroep Beekherstel

Wergroep  
Ecologisch  
Waterbeheer

