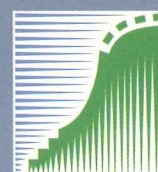
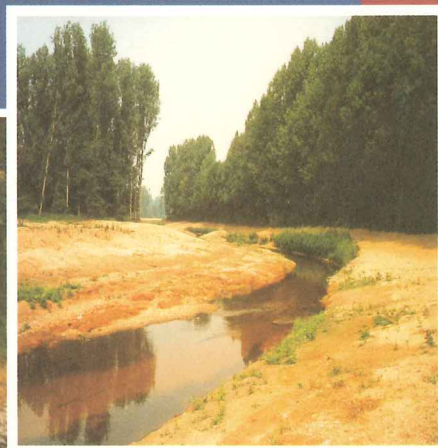


Ecologisch Beekherstel

ing. R Laseroms



Utrecht, maart 1996

LBL-Mededing 208

Ecologisch Beekherstel

Ing. R. Laseroms
Utrecht, maart 1996

Dienst Landinrichting en Beheer
Landbouwgronden

Voorwoord

In Nederland is decennia lang veel in de waterbeheersing van het landelijk gebied geïnvesteerd. Het ging hierbij vooral om het scheppen van optimale productieomstandigheden voor de landbouw. Het accent lag steeds op de verbetering van de ont- en afwatering. In 'hoog' Nederland werden haast alle beken 'genormaliseerd'. Dit betekende het vergroten van het profiel, rechtekken van het tracé en het plaatsen van stuwen om te grote stroomsnelheden te voorkomen.

Sinds een jaar of vijftien wordt steeds beter beseft dat het landelijk gebied meer biedt dan landbouw. De natuur had door de landbouwkundige inrichting veel te veel ingeleverd. Een natuurlijke beek was er in Nederland amper nog te vinden. En alles wat zeldzaam is, is waardevol. Zo dus ook de natuurlijke laaglandbeek.

Beekherstel is daarmee een belangrijk onderwerp in waterbeheersend Nederland geworden. De Dienst Landinrichting en Beheer Landbouwgronden spant zich dan ook al enkele jaren in om als onderdeel van landinrichtingsprojecten beken te herstellen. Het simpelweg herstellen van de oude situatie is hierbij vaak niet mogelijk, omdat de hydrologische processen in stroomgebieden door veel meer oorzaken zijn veranderd dan alleen beeknormalisatie.

Beekherstel is dus niet meer dan een deel van het maatregelenpakket dat nodig is voor het herstel van beeksystemen. Het zal duidelijk zijn dat de ecologie hierbij een belangrijke rol speelt. Als een genormaliseerde beek om vooral landschappelijke redenen krom wordt getrokken speelt ecologie mogelijk een ondergeschikte rol. Deze vorm van beekherstel valt buiten de scope van deze LBL-mededeling. Om dit duidelijk te maken is dan ook gekozen voor de titel "Ecologisch Beekherstel".

In de Werkgroep Ecologisch Waterbeheer werkt een aantal instellingen samen aan het ontwikkelen en uitdragen van kennis met als doel te komen tot op ecologische grondslag gevoerd waterbeheer. De subgroep Beekherstel van deze werkgroep heeft in 1995 het rapport 'Beken Stroom' uitgebracht. De bij LBL aanwezige kennis is in dit rapport verwerkt. De presentatie is echter net wat te compact om er in de (landinrichtings)praktijk goed mee uit de voeten te kunnen. In deze mededeling heeft Roy Laseroms met de nodige assistentie van Robbert de Ridder (beiden werkzaam bij het LAC) de voor de landinrichtingspraktijk relevante elementen uit 'Beken Stroom' wat verder uitgewerkt. Hiermee is er een praktisch overzicht tot stand gekomen waarvan ik hoop dat deze binnen en buiten LBL veelvuldig wordt geraadpleegd tijdens de voorbereiding van ecologische beekherstelprojecten. Dit draagt er aan bij dat civieltechniek en ecologie gecombineerd worden ingezet en dat is winst.

ir. Heiko Prak
LBL - afd. Waterhuishouding

25 januari 1991

Samenvatting

1 Inleiding

De levensgemeenschappen die karakteristiek zijn voor beekdalecosystemen zijn zowel in aantal als in diversiteit sterk achteruit gegaan. Door middel van beekherstel wordt tegenwoordig getracht deze achteruitgang een halt toe te roepen. Met beekherstel wordt hier ecologisch beekherstel bedoeld. Dit heeft tot doel de ecologische waarden van beken en beekdalen te herstellen. Bij ecologisch beekherstel geldt het principe herstel de processen dan komen de waarden vanzelf.

Voor de dienst Landinrichting en Beheer Landbouwgronden betekent dat, dat met de inrichting een uitgangssituatie moet worden gecreëerd waarin de noodzakelijke voorwaarden zijn geschapen voor de ontwikkeling van levensgemeenschappen die karakteristiek zijn voor beekdalecosystemen. Daarbij dient tot op zekere hoogte de ruimte te worden gegeven aan de processen zodat de voor deze levensgemeenschappen zo noodzakelijke dynamische leefomgeving wordt gerealiseerd of in stand blijft.

Daarbij dienen steeds de volgende vragen te worden beantwoord: Welke levensgemeenschappen zijn karakteristiek voor het betreffende gebied? Welke voorwaarden stellen deze aan hun leefomgeving? En hoe dit te realiseren?

2 Keuze van beekherstelmaatregelen

In hoofdstuk 2 wordt een matrix gepresenteerd waarin de effecten van de beekherstelmaatregelen op het gehele beekstelsel worden beschreven. Hiermee kunnen de beekherstelmaatregelen onderling worden vergeleken. Het is een hulpmiddel bij de keuze van te treffen maatregelen.

In het algemeen geldt dat, indien men nastreeft het gehele beekstelsel te verbeteren de meer structurele maatregelen de beste resultaten zullen hebben. Hierbij valt te denken aan de opheffing van wateronttrekkingen, verwijderen van drainage, beperken van de bemesting en het (laten ontstaan of) ontwikkelen van inundatiezones, het beperken (ecologisch optimaliseren) van het onderhoud en beheer, etc. De matrix geeft ook inzicht in de te behalen resultaten als de herstelmogelijkheden beperkter zijn.

3 Ontwerpen van meer natuurlijke beken

Bij het ontwerp van waterbeheersingsplannen in het kader van beekherstel dient op een specifieke wijze worden gewerkt. Men dient nadrukkelijk rekening te houden met de natuurlijke, vaak dynamische processen. Zo heeft men steeds te maken met het feit dat een natuurlijke dynamische beekstelsel zelf een grote invloed kan uitoefenen op zijn variabelen (stroomsnelheid, sedimenttransport, beddingdimensies).

In het algemeen geldt dat de afvoer, het verhang, de beddingdimensies en de stromingsweerstand de stroomsnelheid bepalen en dat de stroomsnelheid en de samenstelling van het beddingmateriaal het sedimenttransport bepalen. Dit is op zijn beurt weer van invloed op de beddingdimensies en de samenstelling van het beddingmateriaal. Het "kiezen" van de beddingdimensies en het verhang (tracé) is derhalve slechts relatief. Er zijn belangrijke systeemkarakteristieken die niet zomaar terzijde geschoven kunnen worden. De belangrijkste zijn de verhouding tussen de breedte en de diepte (b/d-ratio) en de sinuositeit. Indien te veel van de sinuositeit en de b/d-ratio die

in overeenstemming zijn met de lokale omstandigheden wordt afgeweken kunnen zich problemen voordoen.

Voor een stabiele dynamische laaglandbeek onder Nederlandse natuurlijke omstandigheden worden de volgende criteria (indicatieve richtwaarden) geadviseerd:

- temporele en ruimtelijke variatie in het stroombeeld: variërend van 0 tot 80 cm/s
- jaargemiddelde stroomsnelheid: 15 tot 30 cm/s
- maximale gemiddelde stroomsnelheid: 80 cm/s
- een gelijkmatig, gematigd sedimenttransport over de gehele lengte van de beek: gemiddeld 25 tot 100 m³/jr per m bodembreedte
- variatie in bochtstralen (onregelmatige meandering)
- breedte/diepte-ratio van 5 tot 20 (waarin b= breedte waterlijn bij maatgevende afvoer)
- variatie in taludhelling; in buitenbocht steiler (bv. 1:1 tot 1:1,5) in binnenbocht flauwer (b.v. 1:4 tot 1:6)

Om inzicht te verkrijgen in de morfologische effecten (morfologische stabiliteit en morfodynamiek) van een bepaald plan of bepaalde maatregel kunnen berekeningen worden uitgevoerd met behulp van de HYDRA-applicaties voor sedimenttransport en meandering. Hiermee kunnen kwalitatieve uitspraken worden gedaan over:

- de grootte van het sedimenttransport
- de morfologische stabiliteit in het lengteprofiel
- de morfologische stabiliteit in een traject en de invloed van piekafvoeren hierop
- de plaatsen waar erosie en sedimentatie kan worden verwacht
- de mate van erosie en sedimentatie in een traject
- het dominante debiet, i.e. het debiet dat het grootste aandeel heeft in het jaarlijkse sedimenttransport en dus de grootste invloed heeft op de morfologie
- de invloed van kunstwerken op het sedimenttransport en de morfologie
- de morfodynamiek in een traject

Mede hiermee kunnen de ecologische ontwikkelingsmogelijkheden (potenties) worden bepaald.

Inhoudsopgave

LEESWIJZER	7
1 INLEIDING TOT ECOLOGISCH BEEKHERSTEL	8
1.1 AANLEIDING EN DOELSTELLING VAN BEEKHERSTEL	8
1.2 AANPAK	8
1.3 STREEFBELD	9
1.4 KARAKTERISTIEKE LEVENSGEMEENSCHAPPEN	9
1.5 VOORWAARDEN	10
1.6 STAND VAN ZAKEN	10
1.7 REALISATIE	11
2 KEUZE VAN BEEKHERSTELMAATREGELEN	12
2.1 INLEIDING	12
2.2 HANDLEIDING VOOR HET GEBRUIK VAN DE MATRIX	12
2.2.1 Opbouw van de matrix	12
2.2.2 Toepassing van de matrix	13
2.2.3 Voorbeelden van toepassing	14
3 HET ONTWERPEN VAN MEER NATUURLIJKE BEKEN	15
3.1 INLEIDING	15
3.2 MORFOLOGISCHE UITGANGSPUNTEN BIJ HET ONTWERP	15
3.3 ALGEMENE BESCHRIJVING VAN HET STAPPENPLAN	17
3.3.1 Inleiding	17
3.3.2 Fasering	17
3.4 VOORBEREIDING	17
3.4.1 Inleiding	17
3.4.2 Historisch onderzoek	19
3.4.3 Bepaling van de ontwerpcriteria	20
3.5 DIMENSIONERING	21
3.5.1 Algemeen	21
3.5.2 Benodigde gegevens	21
3.5.3 Berekening optredende peilen en stroomsnelheden	22
3.6 BEPALING MORFOLOGISCHE STABILITEIT	23
3.6.1 Algemeen	23
3.6.2 Benodigde gegevens	23
3.6.3 Berekening sedimenttransporterend vermogen	25
3.6.4 Interpretatie	27
3.7 BEPALING MORFODYNAMIEK	30
3.7.1 Algemeen	30
3.7.2 Benodigde gegevens	30
3.7.3 Berekening stroomsnelheidsverschillen en bochtdeformaties	31
3.7.4 Interpretatie	31

Bijlage

- Bijlage 1: Karakteristieke organismen
 - Bijlage 2: Abiotische parameters
 - Bijlage 3: Maatregelen-effecten-matrix
 - Bijlage 4: Vuistregels ontwerp
 - Bijlage 5: Begrippenlijst
-

Leeswijzer

Deze notitie betreft een uitwerking van het rapport "Beken stromen" van de Subgroep Beekherstel van de Werkgroep Ecologisch Waterbeheer. Getracht is de voor de dienst Landinrichting en Beheer Landbouwgronden meest relevante onderdelen uit dit toch enigszins theoretische rapport meer toe te spitsen op de praktijk.

In hoofdstuk 1 wordt een korte inleiding gegeven wat met ecologisch beekherstel wordt bedoeld. Eerst wordt ingegaan op de aanleiding en de doelstelling van beekherstel. Daarna wordt in kort bestek de aanpak besproken. Vervolgens wordt nader ingegaan op de levensgemeenschappen die karakteristiek zijn voor beken en beekdalen en op de voorwaarden die daaraan verbonden zijn. Tenslotte wordt beschreven welke veranderingen in het beeksysteem nodig zijn om tot succesvol beekherstel te komen.

Hoofdstuk 2 betreft een kwalitatieve beschrijving van de effecten van beekherstelmaatregelen die in Nederland worden overwogen. Het doel hiervan is een eerste aanzet te geven aan een methodiek om snel inzicht te krijgen in de totale effecten van de maatregelen op het beeksysteem. In hoofdstuk 3 wordt een algemeen toepasbare ontwerp-methodiek gepresenteerd, waarmee het mogelijk wordt om snel en efficiënt tot een optimaal ontwerp te komen.

1 Inleiding tot ecologisch beekherstel

1.1 AANLEIDING EN DOELSTELLING VAN BEEKHERSTEL

Het is triest gesteld met de ecologische kwaliteit van de beken en beekdalen in Nederland. De levensgemeenschappen die karakteristiek zijn voor beekdalecosystemen zijn zowel in aantal als in diversiteit sterk achteruit gegaan. De oorzaken hiervoor zijn de menselijke activiteiten die met name in de afgelopen eeuwen hebben plaats gevonden, zoals onder andere normalisatie, grondwaterwinning en de uitstoot van meststoffen. Hierdoor zijn de natuurlijke processen die zich in de beken en beekdalen afspeelden sterk beïnvloed of nagenoeg geheel verdwenen.

Met beekherstel wordt beoogd deze achteruitgang een halt toe te roepen. Het doel van ecologisch beekherstel zou daarom ook moeten zijn: het herstel van de ecologische waarden van beken en beekdalen. Daarnaast kan sprake zijn van een aantal nevendoelstellingen op het vlak van waterbeheersing, landschap en cultuurhistorie. Op deze laatste doelstellingen wordt hier niet nader ingegaan.

1.2 AANPAK

Hoe kunnen de ecologische waarden van beken en beekdalen worden hersteld?

Omdat de ecologische waarden worden bepaald door de processen die zich in een beeksysteem afspelen is voor ecologisch herstel meer nodig dan het aanbrengen van bepaalde beplanting of de herintroductie van specifieke soorten. De karakteristieke soorten in een beekdal zijn afhankelijk van een dynamische leefomgeving. Het komt er dus op aan het beeksysteem zelf, de processen die zich in een beeksysteem afspelen, te herstellen (beekherstel = beeksysteemherstel = herstel processen). Indien de natuurlijke processen kunnen worden hersteld volgen de ecologische waarden vanzelf.

Hoe kunnen de processen worden hersteld?

Gelet op de feitelijke oorzaak van de verstoring van de natuurlijke processen ligt de oplossing eigenlijk voor de hand, namelijk het elimineren van de negatieve invloeden van menselijke activiteiten. Dit betekent concreet dat zeer drastische ingrepen nodig zijn zoals het staken van b.v. waterwinning en landbouwactiviteiten en de verplaatsing van industriegebieden. Uiteraard is dat veelal maatschappelijk onaanvaardbaar.

Een andere theoretische mogelijkheid is "niets doen" (d.w.z. geen inrichtingsmaatregelen nemen en stoppen met het onderhoud). In principe kan het beeksysteem zichzelf ontwikkelen tot een zelfregulerend beekdalecosysteem, indien men de processen daartoe de gelegenheid zou geven. De huidige beeksystemen zijn echter dermate sterk gereguleerd dat dit zeer veel tijd zou vergen en soms zelfs geheel zal uitblijven. Het resultaat is allerm minst voorspelbaar en de kans op het uitblijven van succes is groot. Daarnaast levert dit grote risico's op voor andere maatschappelijke belangen (b.v. door ongewenste inundaties).

In de meeste gevallen zijn dit geen reële oplossingen en zal men er voor

kiezen om daar waar mogelijk de natuurlijke processen te stimuleren of bij te sturen. Dit betekent dat met de inrichting getracht dient te worden een uitgangssituatie te creëren waarin de noodzakelijke voorwaarden zijn geschapen voor de ontwikkeling van levensgemeenschappen die karakteristiek zijn voor beekdalecosystemen. Daarbij dient tot op zekere hoogte de ruimte te worden gegeven aan de processen zodat de voor deze levensgemeenschappen zo noodzakelijke dynamische leefomgeving in stand blijft.

Een dergelijke doelstelling van de inrichting vraagt om nadere uitleg. Hoe komt een streefbeeld tot stand? Welke levensgemeenschappen zijn karakteristiek? Welke eisen stellen deze, om welke voorwaarden gaat het? Wat is de stand van zaken? Wat wordt verstaan onder creëren, hoe dit te realiseren?

1.3 STREEFBEELD

Bij de planvorming van ecologisch beekherstel zal, na inventarisatie van beleidsdoelstellingen, wensen en gebiedsgegevens, een streefbeeld geschetst worden. Daarbij dienen de beleidsdoelstellingen en wensen te worden geconcretiseerd tot de voor het betreffende beeksysteem karakteristieke levensgemeenschappen. Daarin worden ook de voorwaarden beschreven die de levensgemeenschappen stellen aan hun omgeving. In de volgende paragrafen wordt nader ingegaan op de karakteristiek levensgemeenschappen en de voorwaarden die ze aan hun omgeving stellen.

1.4 KARAKTERISTIEKE LEVENSGEMEENSCHAPPEN

De levensgemeenschappen die karakteristiek zijn voor beekdalecosystemen zijn grofweg onder te verdelen in de twee groepen:

- aquatische levensgemeenschappen
- semi-aquatische levensgemeenschappen

De eerste groep is vrijwel volledig aangewezen op de beek, de tweede groep met name op het beekdal.

In bijlage 1 wordt vermeld welke groepen organismen in verschillende beektypen voorkomen.

Tot de aquatische levensgemeenschappen kunnen worden gerekend;

- macrofauna (o.a. kokerjuffers, libellen)
- vissen (o.a. biermpje, beekprik)
- waterplanten (o.a. fonteinkruiden, waterranonkels)

Tot de semi-aquatische groepen en levensgemeenschappen kunnen worden gerekend;

- amfibieën (o.a. rugstreeppad, kamsalamander)
- vogels (o.a. grote gele kwikstaart, ijsvogel, waterspreeuw)
- zoogdieren (o.a. otter)
- beekdalgraslanden (o.a. dottenbloemhooilanden, kleine zeggengemeenschappen)
- moeras- en inundatiegemeenschappen (o.a. grote zeggengemeenschappen)
- broekbosgemeenschappen (o.a. elzen-, essenbroekbos)

Indien het streefbeeld goed is uitgewerkt zal daarin zijn vermeld welke natuurdoeltypen worden nagestreefd en welke levensgemeenschappen als karakteristiek worden beschouwd voor de betreffende beek.

1.5 VOORWAARDEN

Elke levensgemeenschap heeft haar eigen habitatfactoren en bestaansvoorwaarden (niche). Het inzicht hierin is echter nog lang niet compleet. Wel is het mogelijk voorwaarden te verbinden aan het functioneren van de beek en het beekdal. In tabel 1 zijn deze voorwaarden weergegeven.

Tabel 1: Voorwaarden verbonden aan het functioneren van de beek en het beekdal

BEEK

- natuurlijke afvoerdynamiek
- permanente stroming
- morfodynamiek (erosie en sedimentatie)
- morfologische stabiliteit
- diversiteit in de samenstelling van het beddingmateriaal
- diversiteit in beddingdimensies en -vorm
- natuurlijke aanvoer sediment
- goede water- en waterbodempkwaliteit
- paaiplaatsen vis
- vrije migratie aquatische organismen

BEEKDAL

- frequente overstroming van overstromingsvlakten
- temporele en ruimtelijke variatie in grond-waterstanden
- diversiteit in bodemtypen
- diversiteit in watersamenstelling (typologie)
- morfologische diversiteit (reliëf)
- goede water- en bodempkwaliteit
- vrije migratie van amfibieën en terrestrische organismen

Voorwaarden waaraan niet kan worden voldaan kunnen worden beschouwd als risico-factoren voor het slagen van het project.

In bijlage 2 zijn de geschatte grenzen van enkele abiotische parameters in natuurlijke beeksystemen weergegeven.

1.6 STAND VAN ZAKEN

Wat is er mis met de beken en beekdalen? Hoe is de situatie ten aanzien van de beken en beekdalen nu?

Beken zijn van oorsprong stromende wateren. Tegenwoordig stromen de meeste beken gedurende een groot deel van het jaar echter nog maar nauwelijks. Soms is er zelfs sprake van langdurige stagnatie.

Meestal is ook de afvoerdynamiek van de beken ernstig verstoord. Er wordt ook wel gezegd dat de huidige stroomgebieden "incontinent" zijn. Ze houden het neerslagwater onvoldoende lang vast. Hierdoor komen vaak heel lage afvoeren voor, hetgeen plaatselijk tot droogvallen kan leiden.

Ook zijn de piekafvoeren vaak zowel in grootte als in frequentie toegenomen. Resumerend kan worden gesteld dat de afvoerdynamiek te groot is. Door met name de toepassing van stuwen zijn ook de morfologische processen aan banden gelegd. In de meeste gevallen treedt nog maar nauwelijks sedimenttransport meer op en overheerst de sedimentatie. Dit heeft als gevolg dat er ook nauwelijks meer sprake is van variatie in de samenstelling van het beddingmateriaal. Daarnaast zijn de variaties in de beddingvorm verdwenen door normalisaties en onderhoud. De meeste beken hebben tegenwoordig een uniform "normaalprofiel".

Verder is de water- en de waterbodempkwaliteit sterk afgenomen. In sommige beken bestaat de afvoer zelfs voor 50 procent of meer uit effluent van rioolwaterzuiveringsinstallaties.

Op veel plaatsen kwamen in de beekdalen van nature inundaties voor.

Tegenwoordig is het peilbeheer echter zodanig dat inundaties nauwelijks meer optreden. Daarnaast is in veel stroomgebieden sprake van verdroging. Ook het reliëf in het beekdal is grotendeels verdwenen door egalisaties. Verder lopen er veel wegen door de beekdalen waardoor migratie wordt belemmerd en de rust ver te zoeken is.

1.7 REALISATIE

Per beektraject kunnen er verschillende problemen aan de orde zijn. Derhalve kunnen de stappen die nodig zijn om deze op te lossen ook verschillen. Toch zijn er een aantal algemene tendensen.

Doorgaans dient men met behulp van de inrichting en het beheer het volgende te bewerkstelligen:

- verlaging van de piekafvoeren (zowel qua grootte als frequentie)
- verhoging van de basisafvoer
- vergroting van de stroomsnelheid en de variatie daarin (zowel in tijd als in plaats)
- herstel van de natuurlijke morfologische processen (erosie en sedimentatie)
- diversiteit in de beddingdimensies en de samenstelling van het beddingmateriaal
- verbetering van de milieukwaliteit (bodem, water, waterbodem en lucht)
- vergroting van de morfologische diversiteit in beekdalen (reliëf)
- periodieke inundatie van overstromingsvlakten
- het bevorderen van de migratiemogelijkheden
- het creëren van rustgebieden

Hiervoor zijn meestal ingrijpende veranderingen nodig in het stroomgebied. In veel gevallen zal dit niet mogelijk zijn en kan niet aan alle voorwaarden worden voldaan. In dat geval dient men na te gaan of herstel eigenlijk wel zinvol is.

2 Keuze van beekherstelmaatregelen

2.1 INLEIDING

Bij de planvorming van beekherstelprojecten worden diverse maatregelen voorgesteld die moeten leiden tot de verbetering van het ecologisch functioneren van beeksystemen. Een probleem daarbij is dat het niet eenvoudig is om vooraf in te schatten welke effecten de maatregelen hebben op het geheel aan factoren dat bepalend is voor de ecologische ontwikkeling. Soms heeft een bepaalde maatregel een positief effect op een bepaalde factor maar een negatief effect op een aantal andere factoren. Dit kan tot gevolg hebben dat de maatregel die op het eerste oog gunstig uit lijkt te pakken toch niet leidt tot het gewenste overall-effect. Daarom is het van groot belang dat men inzicht krijgt in de totale impact van de maatregelen op het beekstelsysteem.

In dit hoofdstuk wordt daarvoor gereedschap aangereikt. In de vorm van een matrix worden de effecten beschreven van de beekherstelmaatregelen die momenteel in Nederland worden overwogen. Hiermee kunnen de beekherstelmaatregelen onderling worden vergeleken op hun totale ecologische effect op het beekstelsysteem.

In feite betreft het een nadere uitwerking van de matrix die is opgenomen in het rapport "Beken stromen" van de Werkgroep Ecologisch Waterbeheer. Voor een uitvoerige beschrijving van de maatregelen en hun effecten wordt verwezen naar dit rapport.

2.2 HANDLEIDING VOOR HET GEBRUIK VAN DE MATRIX

2.2.1 Opbouw van de matrix

In de matrix (bijlage 3) worden de effecten van de maatregelen per habitatfactor weergegeven. Horizontaal zijn alle factoren vermeld die voor het ecologisch functioneren van het beekstelsysteem van belang worden geacht (zogenaamde habitatfactoren). Verticaal zijn circa 40 vaak genoemde maatregelen opgenomen.

In elke cel van de matrix is, op een schaal van +3 tot en met -3, weergegeven in welke mate de betreffende habitatfactor door de betreffende maatregel wordt beïnvloed. Een "+" betekent een positief effect en een "-" een negatief effect.

Deze waardering is geschied door de leden van de Subgroep Beekherstel van de Werkgroep Ecologisch Waterbeheer. Omdat de ervaring met beekherstel in Nederland nog zeer beperkt is, en er daardoor nog veel kennisgaten zijn, is de waardering gebaseerd op algemene theoretische kennis en inzicht van de werkgroepleden en, voorzover beschikbaar, enkele ervaringen uit het buitenland. De waardering dient derhalve als indicatief te worden beschouwd.

Omdat het belang van de habitatfactoren afhankelijk is van de uitgangssituatie en de inrichtingswensen zijn de habitatfactoren voorzien van zogenaamde weegfactoren die uiteenlopen van 0 tot en met 10. Bij de bepa-

ling van deze weegfactoren is uitgegaan van onderstaande referentiesituatie.

Referentiesituatie bij matrix

Bij de waardering van zowel de effecten als de weegfactoren is uitgegaan van de meest gangbare uitgangssituatie, namelijk een genormaliseerde gestuwde beek in een gecultiveerd beekdal. Met betrekking tot de habitatfactoren betekent dit dat:

- van reliëf nauwelijks meer sprake is,
- er weinig variatie is in bodemeigenschappen,
- er sprake is van verdroging (te lage grondwaterstand, te grote drooglegging),
- de kwel die veelal optreedt in de zone langs de beek vrijwel verdwenen is en het grondwater een atmoclien karakter heeft (weinig lithocliene macro-ionen; calcium, carbonaat en sulfaat)
- piekafvoeren zowel in frequentie en duur als in hoogte zijn toegenomen terwijl de basisafvoer is afgenomen
- de stroomsnelheid gering is en in perioden met geringe afvoer sprake is van stagnatie
- er vanwege het uniforme "normaalprofiel" weinig variatie is in stroomsnelheid
- droogvallen van de beek vaak, langdurig en over een groot deel optreedt,
- er vooral sedimentatie optreedt (er geen sprake is van morfologische stabiliteit) en nauwelijks sedimenttransport optreedt waardoor de morfodynamiek gering is,
- er vanwege het "normaalprofiel" en de uniforme stroming nauwelijks variatie is in de beddingdimensies en de samenstelling van het beddingmateriaal,
- de kwaliteit van het grond- en oppervlaktewater te wensen over laat (te hoge concentraties nutriënten en toxische stoffen, te lage concentratie zuurstof, te lage zuurgraad,
- het aanbod aan organische stof gering is, vanwege de geringe vegetatie
- de lichtintensiteit wegens beperkte beschaduwing te groot is en mede daardoor de temperatuur in de zomer te hoog oploopt.

2.2.2 Toepassing van de matrix

Voordat u met behulp van de matrix maatregelen met elkaar gaat vergelijken dient u na te gaan of de weegfactoren wel in overeenstemming zijn met de uitgangssituatie en de inrichtingswensen van uw project. Indien dat niet het geval is dient u deze zodanig aan te passen dat dit wel het geval is.

Daarna vermenigvuldigt u kolomsgewijs de weegfactoren met de score in de matrixcellen (+3 tot en met -3). Vervolgens worden per maatregel de scores horizontaal bij elkaar opgeteld. De dan ontstane totaalscore kan worden vergeleken met de totaalscore van een andere maatregel. Naarmate de totaalscore hoger is, wordt de maatregel geschikter geacht.

Opgemerkt wordt dat in een latere fase van de planvorming altijd de dosis-effect-relatie van de maatregelen dient te worden onderzocht. Hiervoor is een goede gebiedskennis onontbeerlijk.

Beperkingen bij toepassing

Opgemerkt dient te worden dat de waardering de volgende beperkingen heeft:

- de waardering is uitsluitend vanuit ecologisch oogpunt geschied, de invloed op andere functies is buiten beschouwing gelaten.

-
- bij de effectbeschrijving en de waardering is uitgegaan van een standaard beekstelsel (de meest gangbare uitgangssituatie) terwijl elk beekstelsel zijn eigen kenmerken heeft en diens gevolg afzonderlijk moet worden beschouwd, hetgeen betekent dat naarmate de uitgangssituatie van het betreffende beekstelsel daar meer van afwijkt de waardering onnauwkeuriger wordt
 - de in horizontale richting vermelde factoren zijn wel compleet, maar zijn niet evenredig verdeeld, zo zijn er bijvoorbeeld meer fysische factoren dan biologische, dit kan leiden tot een zekere overwaardering van maatregelen die vooral van invloed zijn op de fysische factoren
 - er is geen rekening gehouden met de onderlinge beïnvloeding van de factoren, omdat niet precies bekend is in welke mate deze elkaar beïnvloeden
 - doordat elke maatregel afzonderlijk wordt beschouwd kunnen maatregelen die een lage totaalwaardering hebben worden afgeschilderd als een "slechte" maatregel terwijl deze in combinatie met een andere maatregel zeer goede resultaten kan hebben
 - er is geen rekening gehouden met de tijd die nodig is om het beschreven effect te verkrijgen, wel is (voor zover dat mogelijk is) rekening gehouden met de nadelige effecten tijdens deze "aanloophase".
 - er is geen rekening gehouden met eventuele aanvullende (compenserende) maatregelen die in een later stadium genomen kunnen worden
 - verder is alleen gewaardeerd op basis van de effecten op het beekstelsel, de kosten, maatschappelijk draagvlak, etc. zijn niet in beschouwing genomen.

2.2.3 Voorbeelden van toepassing

Indien men met behulp van de matrix wil bepalen welke maatregelen het meest geschikt zijn om de piekafvoer te reduceren kijkt men naar de kolom met 'afname piekafvoer'. Daaruit blijkt dat goede resultaten kunnen worden bereikt met het verwijderen van drainage, de aanleg van retentiebekkens, bevorderen van infiltratie en met de aanleg van een by-pass. Indien men daarnaast echter tevens de basisafvoer wil vergroten blijkt dat alleen het verwijderen van drainage en in mindere mate de bevordering van infiltratie geschikt zijn.

Indien men een ecologisch optimaal beekdal als doelstelling heeft gekozen dient men eerst de uitgangssituatie per habitatfactor te beschrijven. Op basis daarvan kan men door middel van vergelijking met de referentiesituatie de weegfactoren bepalen. Stel de waterkwaliteit is in alle opzichten zeer goed, dan zullen de weegfactoren voor de macro-ionen, de zuurgraad, de toxische stoffen en het zuurstofgehalte klein zijn, b.v. 1. Dit heeft uiteindelijk als resultaat dat de maatregelen die gericht zijn op verbetering van de waterkwaliteit minder hoog zullen scoren.

3 Het ontwerpen van meer natuurlijke beken

3.1 INLEIDING

Voor de ecologische verbetering van beken zijn in Nederland meestal actieve ingrepen in het beekstelsysteem nodig. Vaak komt het erop neer dat een oude beekloop wordt gerestaureerd of een nieuwe beekloop wordt gegraven. Deze ingreep staat beter bekend als (her-)meandering. Dit is niet zo eenvoudig als vaak wordt gedacht, want niet elke nieuwe of geres- taureerde beek voldoet. Er moet meestal immers aan een groot aantal eisen en randvoorwaarden worden voldaan. In dergelijke situaties is het ontwerpen vaak een complexe aangelegenheid.

In dit hoofdstuk wordt een algemeen toepasbaar stappenplan beschreven, waarmee het wordt mogelijk geacht om sneller en efficiënter tot een opti- maal ontwerp te komen. Ook kan het stappenplan worden gebruikt om de effecten op de morfologie van een bepaald ontwerp te bepalen. Dit is inmiddels gebeurd in het kader van de beekherstelplannen voor de Reusel (rvk. de Hilver) en de Beerze (rvk. Viermannekesbrug).

Paragraaf 3.2 is inleidend en behandelt de morfologische uitgangspunten van beekherstel. Paragraaf 3.3 betreft een algemene beschrijving van het gehele stappenplan. Vervolgens wordt in paragrafen 3.4 tot en met 3.7 stap voor stap nader ingegaan op elke fase van het stappenplan.

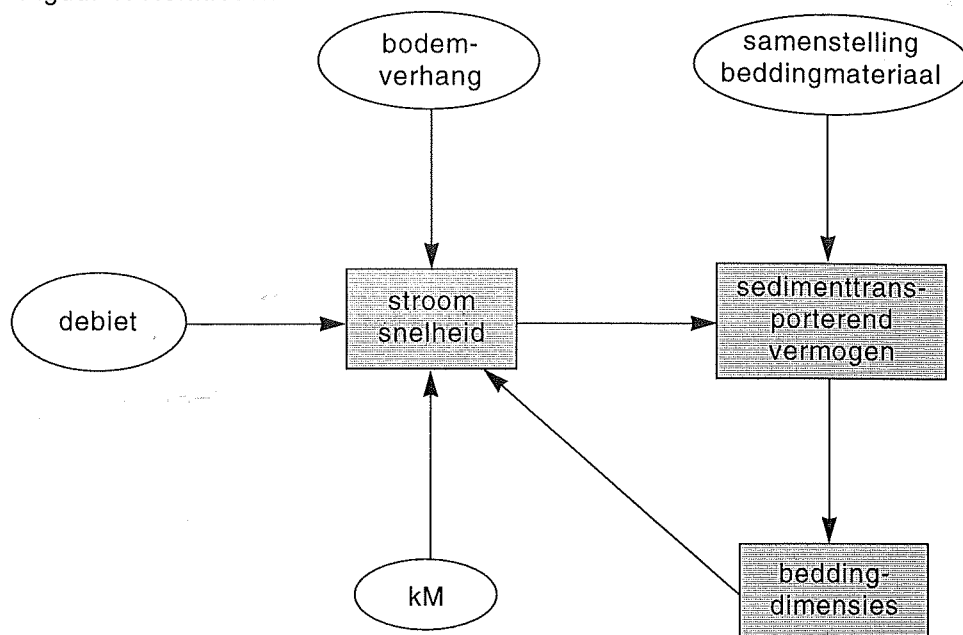
3.2 MORFOLOGISCHE UITGANGSPUNTEN BIJ HET ONTWERP

Bij het ontwerpen is het belangrijk om iets te weten over het functioneren van het beekstelsysteem. Hiervan worden de belangrijkste aspecten hier genoemd.

Een beekstelsysteem is te beschouwen als een zogenaamd complex open proces-respons systeem. In 'gewoon' Nederlands betekent dit een sys- teem dat voortdurend aan veranderingen onderhevig is en zich daaraan telkens probeert aan te passen. Daarbij streeft het naar een zeker even- wicht. In dit systeem beïnvloeden de variabelen elkaar en is sprake van een groot aantal terugkoppelingsmechanismen.

In onderstaande figuur worden de belangrijkste relaties tussen de varia- belen weergegeven.

Figuur 1: Relatieschema



In het algemeen kan men stellen dat de afvoer, het verhang, de bedding-dimensies en de weerstand (k_M) de stroomsnelheid bepalen en dat de stroomsnelheid en de samenstelling van het beddingmateriaal het sedimenttransport bepalen. Dit is op zijn beurt weer van invloed op de beddingdimensies en de samenstelling van het beddingmateriaal.

Het beekstelsel bepaalt dus zelf zijn variabelen (stroomsnelheid, sedimenttransport, beddingdimensies) als dit niet langer wordt gereguleerd. Het "kiezen" van de beddingdimensies en het verhang (tracé) is derhalve slechts relatief. Er zijn een aantal belangrijke systeemkarakteristieken die niet zomaar terzijde geschoven kunnen worden. De belangrijkste zijn de verhouding tussen de breedte en de diepte (b/d-ratio) en de sinuositeit. Indien te veel van de sinuositeit en de b/d-ratio, die in overeenstemming zijn met de lokale omstandigheden wordt afgeweken kunnen zich problemen voordoen. Zo zal een beek die oorspronkelijk een grote sinuositeit had en in het kader van een beekherstelplan een geringere sinuositeit heeft gekregen zich na verloop van tijd aanpassen. Bij het kiezen van willekeurige dimensies kan een grote instabiliteit van de bedding ontstaan, hetgeen gepaard kan gaan met forse oevererosie en een grote sedimentlast (m.n. bij hoge stroomsnelheden). Derhalve is aan te bevelen de vroegere sinuositeit en b/d-ratio vooraf te bepalen en ze als leidraad te gebruiken.

Een ander belangrijk aspect is, dat vanwege de samenhang in het systeem elke verandering op een willekeurige plaats (in het stroomgebied) in principe van invloed is op het gehele systeem. Derhalve dient altijd het gehele systeem te worden beschouwd. Men noemt dit ook wel de stroomgebiedsbenadering.

In stromende wateren is per definitie sprake van een zeker sedimenttransport. Vanwege de variatie in de korrelgrootteverdeling (lutum, $< 2 \mu\text{m}$ tot grof zand, $> 500 \mu\text{m}$) zal dikwijls voorkomen dat tegelijkertijd erosie (van fijne deeltjes) en sedimentatie (van grove deeltjes) optreden. Doorgaans is of erosie of sedimentatie dominant. Vaak is erosie dominerend bij hoge stroomsnelheden en sedimentatie bij lage. Alleen bij een zeer lage stroomsnelheid (nihil) zal uitsluitend sedimentatie optreden.

3.3 ALGEMENE BESCHRIJVING VAN HET STAPPENPLAN

3.3.1 Inleiding

Omdat het ontwerp aan een groot aantal eisen en randvoorwaarden moet voldoen is het ontwerpen van een ecologisch beter functionerende beek een iteratief proces. Het komt erop aan de juiste combinatie(s) te vinden van stroomsnelheden, beddingdimensies, peilen en verhang (tracé) passend bij de gegeven afvoerdynamiek en samenstelling van het beddingmateriaal, waarbij aan zoveel mogelijk randvoorwaarden en criteria wordt voldaan. Aangezien er talloze combinaties mogelijk zijn verzandt men zonder gestructureerde aanpak al gauw in eindeloze berekeningen. De kunst van het ontwerpen is zo snel en efficiënt mogelijk de juiste combinatie(s) te vinden.

3.3.2 Fasering

De ontwerpprocedure bestaat altijd tenminste uit de volgende twee stappen:

- voorbereiding: inventarisatie gegevens en opstellen ontwerpcriteria
- dimensionering en berekening van stroomsnelheden en peilen

Daarna vindt toetsing en interpretatie plaats en wordt eventueel opnieuw gedimensioneerd en berekend totdat aan de ontwerpcriteria wordt voldaan.

Verder wil men veelal, uit waterbeheerstechnische en/of ecologische overwegingen, inzicht krijgen in de morfologische effecten van een bepaald plan. Zeker als het herstel van de morfologie wordt nagestreefd. Dit is mogelijk met behulp van modelberekeningen met de HYDRA-applicaties voor sedimenttransport en meandering. Hiermee kunnen de morfologische stabiliteit en de morfodynamiek worden bepaald. In dat geval komen er twee stappen bij en dienen meer gegevens te worden verzameld.

Vooraf bij de midden- en benedenlopen van de wat grotere laaglandbeken is het van groot belang om de morfologische effecten te bepalen. Vooral vanwege de mogelijke ongewenste effecten met betrekking tot de waterbeheersing, zoals toename van onderhoud, oevererosie en inundaties ten gevolge van sedimenttransport.

Bij heuvellandbeken en bovenlopen van laaglandbeken is dit minder relevant. Deze zijn doorgaans klein, hebben meestal een geringe afvoer en zijn vaak gelegen in diepere meer V-vormige dalen. Hierdoor zijn de mogelijke negatieve effecten kleiner. Daarnaast is ook de mate van dynamiek vanuit ecologisch opzicht van belang.

In figuur 2 is de procedure schematisch weergegeven.

3.4 VOORBEREIDING

3.4.1 Inleiding

In het algemeen zijn voorafgaand aan de ontwerpfase de volgende fasen afgerond: inventarisatie, opstellen van het streefbeeld, formuleren van randvoorwaarden en een knelpuntenanalyse. Normaal gesproken is dan al ongeveer duidelijk wat het resultaat moet zijn cq welke alternatieven er zijn. Voor de ontwerper is het van groot belang dat deze zich hiervan een duidelijk beeld kan vormen. Dit is nodig om de kwalitatieve criteria te kwantificeren, te bepalen welke criteria de hoogste prioriteit hebben en eventuele strijdigheden in het plan tijdig te signaleren.

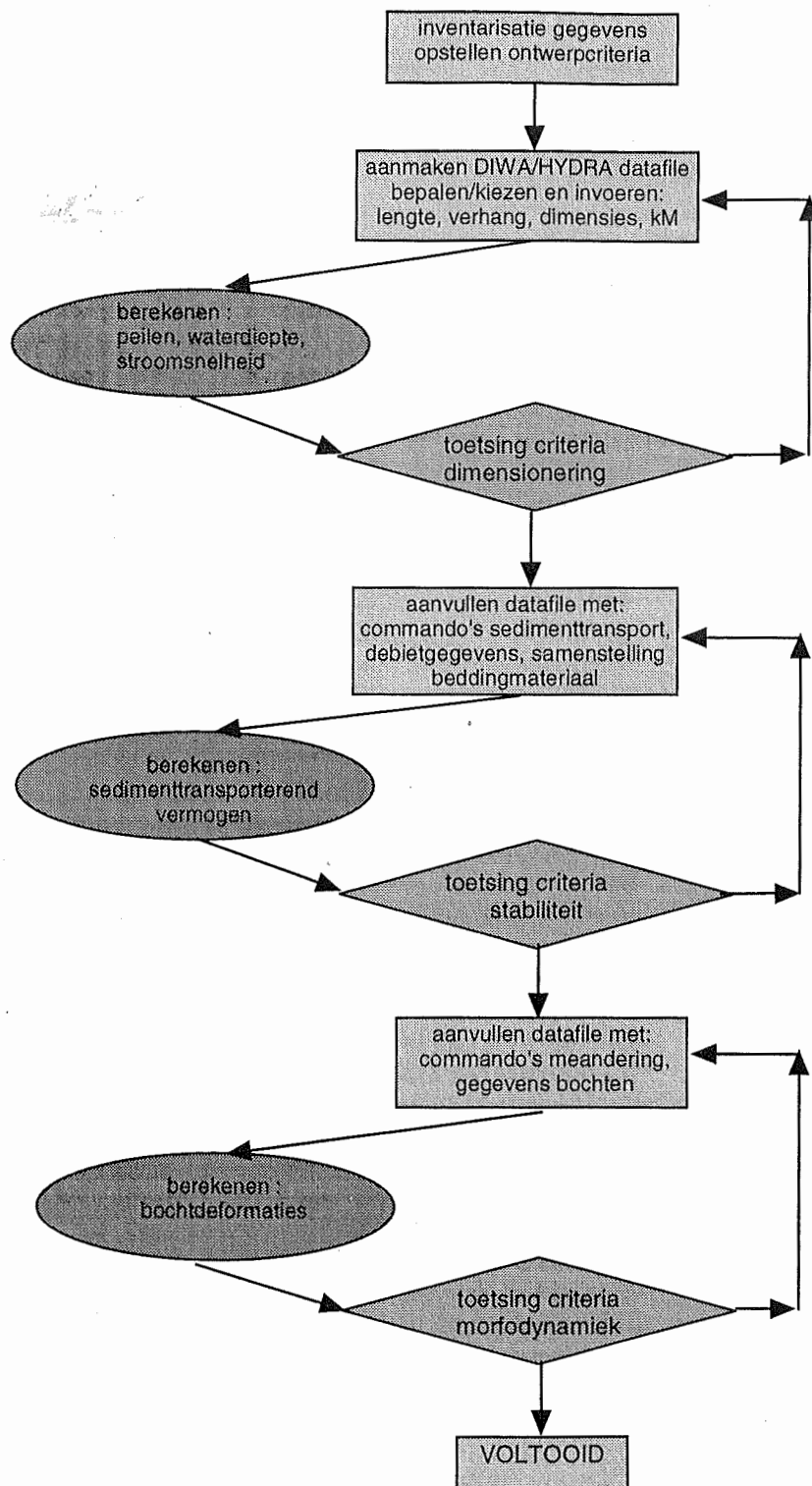
Figuur 2: Schematische weergave van het stappenplan

VOORBEREIDING

DIMENSIONERING

MORFOLOGISCHE
STABILITEIT

MORFODYNAMIEK



Indien het resultaat duidelijk is zal de voorbereiding bestaan uit het inventariseren van de benodigde gegevens en de formulering van de ontwerp-criteria. In veel gevallen is helaas echter nog niet duidelijk wat het resultaat moet zijn. In dat geval dienen tenmiste de volgende vragen te worden beantwoord:

- wat zijn de hoofd- en nevendoelstellingen van het project (b.v. meer natuurlijke beek, meer natuurlijk beekdal of beide)?
- hoe functioneert de huidige beek? (wat zijn de voorkomende stroomsnelheden?, waar treedt erosie of sedimentatie op?)
- wat voor beek "wil" men (zeer dynamisch, gemiddeld of een laagdynamisch)?
- hoeveel ruimte krijgt de beek (stroken 50 m of groot gebied?, waar ligt het tracé (al) vast?)
- zijn er beperkingen in, boven- of benedenstrooms van het hersteltraject of m.b.t. zijtakken t.a.v. erosie/sedimentatie of peilen?
- is overstroming gewenst/toegestaan (afh. van wenspeilen)? waar?
- nog meer?

Indien het niet lukt om antwoorden op bovenstaande vragen te geven is ontwerpen eigenlijk weinig zinvol en zal eerst aanvullend onderzoek nodig zijn.

3.4.2 Historisch onderzoek

Aangezien de natuurlijke beek altijd min of meer model staat voor een te herstellen beek wordt aanbevolen een historisch onderzoek te verrichten. Hierdoor kan inzicht worden verkregen in de meer natuurlijke morfologie van de beek. Ook kan men hieruit bepalen welke veranderingen zich onder invloed van menselijke activiteiten in het systeem hebben voorgedaan.

Het historisch onderzoek bestaat uit bestudering van oud kaartmateriaal en oude plannen voor normalisaties. Het heeft tot doel de natuurlijke karakteristieken van de beek te bepalen, zoals de sinuositeit, de bochtstralen, de breedte/diepte verhouding en de mate van morfodynamiek (bochtmigratie). Deze kunnen bij de dimensionering als leidraad worden gebruikt.

Het voormalige tracé (voor de normalisatie) is meestal wel bekend of af te leiden via oud kaartmateriaal of de Historische Atlas van Nederland (Facsimile). Soms zijn er ook nog oude niet gedempte meanders aanwezig. Hieruit kunnen de sinuositeit en de bochtstralen worden bepaald. Hierbij dient men echter wel rekening te houden met de mogelijkheid dat het voormalige tracé ook reeds beïnvloed is door menselijke activiteiten en dus niet geheel natuurlijk is.

Verder kan door bestudering van de Geomorfologische kaart, de Geologische kaart en een hoogtecijferkaart worden afgeleid in welke zone de beek zich heeft bevonden. In de meeste Nederlandse beekdalen komen van oorsprong in de laagste delen afzettingen van de formatie van Singraven voor. Bovendien mag worden aangenomen dat de beken min of meer door de laagste plekken van het beekdal hebben gestroomd. Deze kan men bepalen met een hoogtecijferkaart.

In sommige gevallen (m.n. recentelijk genormaliseerde beektrajecten) zijn zelfs de beddingdimensies (breedte, diepte en taludhelling) van de voormalige beek bekend.

Hieruit kan worden afgeleid wat de breedte/diepte-verhouding (voortaan b/d-ratio genoemd) is en welke taludhellingen aanwezig waren. Soms zijn er nog oude (niet gedempte) meanders aanwezig waarvan de dimensies kunnen worden bepaald. Hierbij dient men echter wel rekening te houden met de mogelijkheid dat deze deels zijn opgevuld met takken en bladaf-

val. Verder kunnen de voormalige dimensies worden afgeleid van vergelijkbare min of meer natuurlijke beektrajecten in de omgeving.

Evenals dat bij het tracé het geval was dient men er rekening mee te houden dat de afgeleide dimensies niet altijd overeen hoeven te komen met de natuurlijke dimensies. Veel beken zijn reeds lang geleden in meer of mindere mate onderhouden.

Er bestaan ook vuistregels voor de dimensies (bijlage 4). Deze geven echter slechts een zeer grove indicatie.

Ook is informatie over het functioneren van de voormalige beek van belang. Hierbij kan men denken aan plaatsen waar erosie of sedimentatie optrad, waar oevers afkalfden en hoeveel materiaal met welke frequentie moest worden uitgebaggerd om de afvoercapaciteit van de beek te handhaven.

3.4.3 Bepaling van de ontwerpcriteria

Meestal is uit de fasen die aan de ontwerpfase voorafgaan wel duidelijk welke kwalitatieve criteria voor het ontwerp van toepassing zijn. Ten behoeve van het ontwerp dienen deze echter nader te worden uitgewerkt in meetbare semi-kwantitatieve criteria. Deze kwantificering zal per beek verschillen en is afhankelijk van het gehele beekstelsel.

Voor een stabiele dynamische laaglandbeek kan men de volgende criteria (indicatieve richtwaarden) hanteren:

- temporele en ruimtelijke variatie in het stroombeeld: variërend van 0 tot 80 cm/s^{*1};
- jaargemiddelde stroomsnelheid: 15 tot 30 cm/s
- maximale gemiddelde stroomsnelheid: 80 cm/s
- in lengteprofiel gelijkmatig, gematigd sedimenttransport (morfologische stabiliteit): gemiddeld 25 tot 100 m³/jr per m bodembreedte^{*2}
- variatie in bochtstralen (onregelmatige meandering)
- b/d-ratio van 5 tot 20 (waarin b= breedte waterlijn bij ca. 140%Qh) ^{*3}
- variatie in taludhelling; in buitenbocht steiler (b.v. 1:1 tot 1:1,5) in binnenbocht flauwer (b.v. 1:4 tot 1:6)

Voor heuvellandbeken geldt voor de jaargemiddelde stroomsnelheid en de maximale gemiddelde stroomsnelheid 60 cm/s respectievelijk 100 cm/s, voor het sedimenttransporterend vermogen 50 tot 250 m³/jr per m bodembreedte en voor de b/d-ratio 10 tot 30. In bijlage 2 zijn de ranges weergegeven van enkele abiotische parameters in natuurlijke systemen.

Verder dient natuurlijk aan de vastgestelde wenspeilen te worden voldaan.

^{*1} De ondergrens van 20 cm/s is gebaseerd op het gegeven dat de concurrentiepositie van stroomminnen de soorten daarbij beter is. De bovengrens van 80 cm/s respectievelijk 100 cm/s berust op het gegeven dat bij hogere snelheden te veel drift kan optreden.

^{*2} het sedimenttransport is van veel factoren afhankelijk en derhalve moeilijk als criterium te hanteren. De opgegeven waarden zijn daarom slechts indicatief en dienen met de nodige voorzichtigheid te worden toegepast.

^{*3} de b/d-ratio is de quotiënt van de breedte over de waterlijn en de maximale diepte bij geulcapaciteit.

3.5 DIMENSIONERING

3.5.1 Algemeen

Bij de dimensionering gaat het erom het tracé (lengte en verhang) en de dimensies (breedte, diepte en taludhelling) te bepalen die overeen komen met de aanwezige afvoerdynamiek en de samenstelling van het beddingmateriaal.

Bij een natuurlijke beek worden deze (tracé en de beddingdimensies) bepaald door het beekstelsel. Derhalve kan men het best uitgaan van het historische tracé en de bijbehorende dimensies. Deze geven namelijk een globale indruk van de natuurlijke morfologie. Dit wil echter niet zeggen dat daarmee altijd succes verzekerd is. Het kan namelijk voorkomen dat er in de loop der jaren dermate veel verandert is dat ook het afvoert patroon sterk is gewijzigd. In dat geval bieden de gegevens van de natuurlijke morfologie weinig houvast. Men zal dan deze gegevens en relaties op verstandige wijze moeten extrapoleren.

3.5.2 Benodigde gegevens

Bij een zorgvuldig tot stand gekomen beekherstelplan zal reeds veel onderzoek hebben plaats gevonden en staan reeds veel gegevens ter beschikking.

De benodigde gegevens voor de dimensionering zijn:

- kaart met het huidige tracé
- kaart met de huidige waterhuishoudkundige toestand, afwateringseenheden en afvoerfactoren
- dimensies van het huidige tracé (breedte, diepte, verhang en taludhelling)
- hoogtecijferkaart, maaiveldhoogten
- debietgegevens van de huidige situatie (bij voorkeur Q15, Q50 en Q100)
- benedenstroomse peilen /lozingspeilen bij Q15, Q50 en Q100
- gegevens kunstwerken
- k_M in huidige tracé (zomer/winter)
- kaart met het toekomstige tracé
- kaart met de toekomstige waterhuishoudkundige toestand, afwateringseenheden en afvoerfactoren
- dimensies van het toekomstige tracé (breedte, diepte, verhang en taludhelling)
- wenspeilen toekomstige tracé (Q15, Q50, en Q100)
- k_M in toekomstige tracé (zomer/winter, na 1, 5 en 10 jaar)

Voor calibratie van het model zijn metingen van stroomsnelheden bij verschillende afvoeren nodig.

Toekomstige tracé

In veel gevallen wordt het herstel van een voormalig tracé nagestreefd. In dat geval dient men in eerste instantie dit tracé met bijbehorende dimensies zo goed mogelijk te reconstrueren.

Indien men voor een nieuw tracé kiest of daartoe genoodzaakt wordt zal in eerste instantie een keuze moeten worden gemaakt uit talrijke mogelijkheden. Het aantal mogelijkheden kan echter aanzienlijk worden gereduceerd door bestudering van een voormalig (min of meer) natuurlijk tracé, de Geomorfologische kaart, de Geologische kaart en een hoogtecijferkaart.

Met deze gegevens is het mogelijk een meer gefundeerde keuze te maken.

Toekomstige waterhuishoudkundige toestand, afwateringseenheden en afvoerfactoren

Vaak worden naast maatregelen die de beek zelf betreffen ook allerlei maatregelen getroffen die van invloed zijn op de hydrologie (afvoerdynamiek) van de beek. De effecten van deze maatregelen dienen in dat geval in het ontwerp te worden opgenomen. Dit betekent dat de geplande wijzigingen in de waterhuishouding, afwateringseenheden en afvoerfactoren moeten worden gemodelleerd.

Manning factor toekomstige tracé

De k_M is sterk afhankelijk van het toekomstige onderhoud en van de mate van beschaduwing (oevervegetatie). Hierover kan men informatie vinden in beheer- en onderhoudsplannen.

Verder dient men er rekening mee te houden dat de k_M na verloop van tijd verandert. In het begin (kort na beekherstel tot ca. 1 jaar) is sprake van een kale beekbedding met een hoge k_M (bv. $50 \text{ h}^{1/3}$). Na bijvoorbeeld 5 jaar heeft de vegetatie zich al meer kunnen ontwikkelen en is er meer beschaduwing. Er zal dan sprake zijn van een lagere k_M (bv. $25 \text{ h}^{1/3}$). Wanneer na bijvoorbeeld 10 jaar de vegetatie geheel tot ontwikkeling is gekomen en de beek vrijwel geheel beschaduwd is zal de k_M weer iets kunnen toenemen (bv. $30 \text{ h}^{1/3}$).

Voor meer informatie met betrekking tot de k_M wordt verwezen naar het Cultuurtechnisch Vademecum (p785).

Debietgegevens van de huidige situatie

Debietgegevens kunnen worden verkregen uit metingen of worden afgeleid uit metingen bij bestaande meetpunten. Veelal beschikken de waterschappen over dergelijke gegevens. De debietgegevens die in ieder geval beschikbaar dienen te zijn, zijn Q_{15} , Q_{50} en Q_{100} .

Benedenstroomse peilen /lozingspeilen

Ten behoeve van de hydraulische berekeningen zijn benedenstroomse peilen ofwel lozingspeilen nodig. Hiervoor dienen metingen bij diverse debieten te worden verricht. Deze vinden meestal reeds plaats bij stuwen. Indien men de beschikking heeft over de lozingspeilen bij enkele afvoeren (Q_{15} , Q_{50} en Q_{100}) kunnen de peilen bij andere debieten worden afgeleid. Dit kan door middel van een Q-h curve (figuur 3).

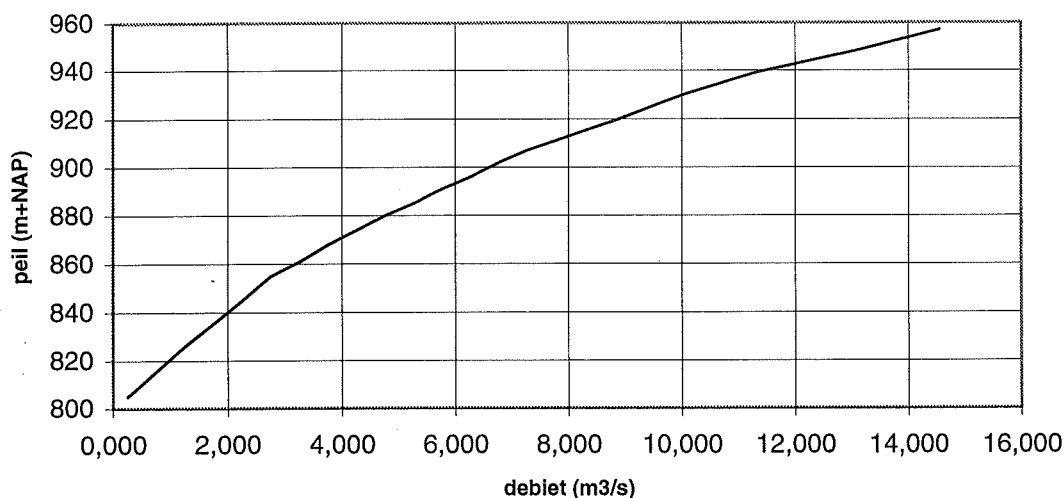
3.5.3 Berekening optredende peilen en stroomsnelheden

Nadat alle gegevens zijn verzameld en de toekomstige beek is gemodelleerd kunnen de optredende peilen en stroomsnelheden worden berekend. Deze worden vervolgens getoetst aan de vastgestelde ontwerpcriteria. Indien hieraan niet wordt voldaan moet opnieuw worden gedimensioneerd.

Verder worden de optredende peilen en stroomsnelheden in de huidige situatie (genormaliseerde beek) berekend ter vergelijking.

Voor een uitvoerige beschrijving van de berekening van optredende peilen en stroomsnelheden wordt verwezen naar het Cultuurtechnisch Vademecum (p 793 en 827).

Figuur 3: Voorbeeld van een Q-h curve, relatie tussen debiet en waterdiepte



3.6 BEPALING MORFOLOGISCHE STABILITEIT

3.6.1 Algemeen

Om inzicht te verkrijgen in de morfologische effecten (morfologische stabiliteit) van een bepaald plan of bepaalde maatregel kunnen sedimenttransportberekeningen worden uitgevoerd. Hieruit is af te leiden in welke mate er in een bepaald traject veranderingen in de morfologie (tracé en beddingdimensies) kunnen optreden. Ook is hiermee te bepalen waar en in welke mate sedimentatie of erosie zullen domineren. Verder kan globaal worden bepaald welke soorten organismen / levensgemeenschappen op een bepaalde plaats kunnen voorkomen, voorzover men weet welke eisen deze aan de stabiliteit van de beek stellen.

3.6.2 Benodigde gegevens

Voor de berekening van het sedimenttransporterend vermogen zijn naast de gegevens voor dimensionering nodig:

- zeefanalyse (korrelgrootteverdeling) van het toekomstige beddingmateriaal (1^e 50 cm, D15, D50, D85, D90)
- betrouwbare gegevens van tenminste 10 debieten en de daarbij horende frequenties (bij voorkeur afgeleid uit debietmetingen) en eventuele wijzigingen daarin t.g.v. het plan (b.v. bij demping groot aantal waterlopen)
- benedenstroomse peilen bij elk debiet

Voor een kwantitatieve bepaling van het werkelijk optredende sedimenttransport zijn verder noodzakelijk:

- schatting van de hoeveelheid (bovenstrooms) aangevoerd sediment (m³/jaar), bij voorkeur verkregen uit metingen eventueel uit schatting van de sedimentatie in zandvangen (m³/jaar)
- samenstelling (korrelgrootteverdeling) en stabiliteit van het oevermateriaal
- historische informatie over het tracé en beddingdimensies

Bepaling van de korrelgrootteverdeling van het beddingmateriaal

Om de korrelgrootteverdeling te bepalen dient een bodemonderzoek te worden verricht. De grondmonsters voor de zeefanalyse(s) kunnen niet zomaar lukraak worden genomen. Men dient immers te bepalen uit welk materiaal de toekomstige beddingbodem zal bestaan. Dit vergt een goede voorbereiding van het bodemonderzoek. Een belangrijk onderdeel hiervan vormt de bestudering van de Geologische kaart, de Bodemkaart en een bodemkartering.

Bij dit onderzoek dient men trajecten met een verschillende samenstelling van het beddingmateriaal te onderscheiden en apart te onderzoeken.

Debietgegevens

Elk debiet gaat met een bepaalde stroomsnelheid en een bepaald sedimenttransporterend vermogen gepaard. Voor een goede schatting van het jaarlijkse sedimenttransporterende vermogen en de variatie daarin zijn derhalve tenminste 10 debieten met de daarbij behorende frequentie nodig. Deze dienen bij voorkeur door metingen te worden bepaald. Het uiteindelijke resultaat moet een debietfrequentiecurve zijn die redelijk overeen komt met de werkelijkheid. Zo'n curve geeft het regime weer. In figuur 4 is een debietfrequentiecurve weergegeven in de vorm van een staafdiagram.

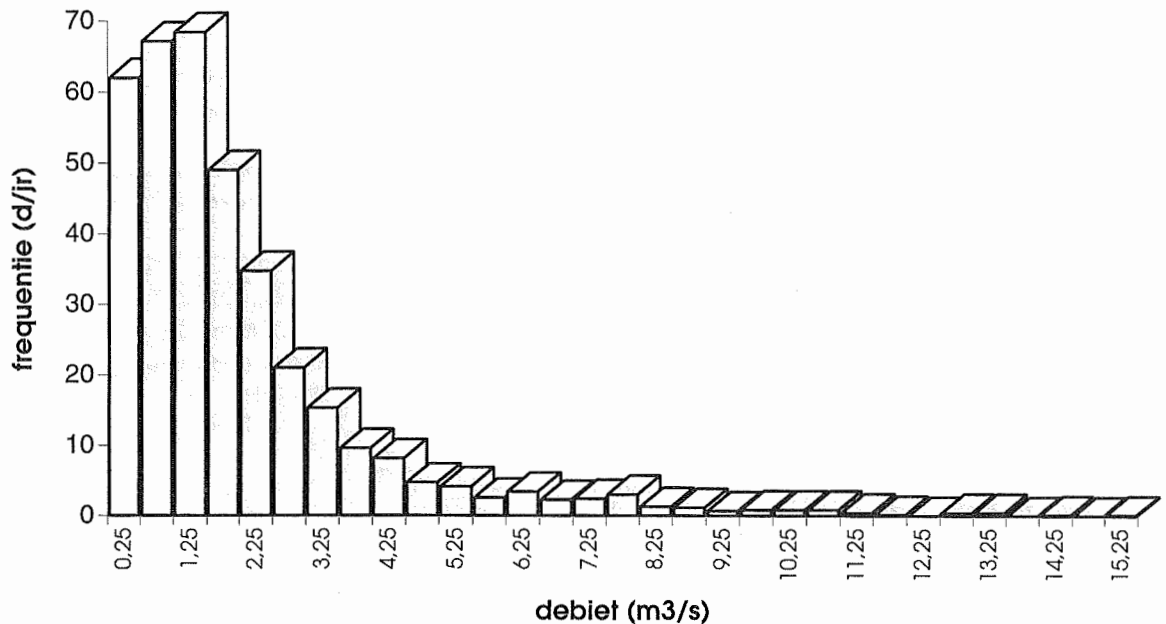
Indien men slechts beschikt over een beperkt aantal debietmetingen (b.v. Q15, Q50 en Q100) kunnen de tussenliggende debieten eventueel daarvan worden afgeleid.

Bepaling hoeveelheid (bovenstrooms) aangevoerd sediment

Het doel hiervan is om de relatie tussen het debiet en het werkelijk optredende sedimenttransport te bepalen. Hiermee kunnen de uitkomsten van de formules voor het sedimenttransport worden gekalibreerd.

Hiertoe zijn op meerdere plaatsen metingen nodig van het werkelijk optredende sedimenttransport bij verschillende debieten. Aangezien dit intensief en dus duur onderzoek vergt en de metingen van sedimenttransport bovendien slechts een beperkte nauwkeurigheid hebben zal dit in de praktijk zelden geschieden. In dat geval dient men op andere wijzen een redelijke schatting te maken. Hiertoe kan men bepalen hoeveel erosie of sedimentatie plaats vindt in een bepaald traject. De hoeveelheid sedimentatie die in een traject optreedt is af te leiden uit de hoeveelheid materiaal die bij het onderhoud wordt uitgebaggerd. Indien er een zandvang aanwezig is kan de hoeveelheid gesedimenteerd materiaal worden bepaald aan de hand van de omvang en de schoningsfrequentie. Deze schattingen leveren inzicht in de ordegrootte van het optredende sedimenttransport op in de actuele situatie.

Figuur 4: Staafdiagram met de relatie tussen het debiet en de frequentie



3.6.3 Berekening sedimenttransporterend vermogen

Bij de berekening van het sedimenttransport wordt voor elke debietklasse per leidingvak berekend wat het sedimenttransporterend vermogen is bij een bepaald constant debiet en een bepaalde samenstelling van het beddingmateriaal. Dit sedimenttransporterend vermogen wordt uitgedrukt in m^3/jaar (per m bodembreedte of per waterloop).

Door berekening van het sedimenttransporterend vermogen bij elke debietklasse, kan met behulp van de frequentieverdeling van de debietklassen globaal worden bepaald in welke orde van grootte het sedimenttransport per jaar zou ligt.

Bij de berekening van het sedimenttransporterend vermogen kan van een groot aantal sedimenttransportformules gebruik worden gemaakt. De uitkomsten van de verschillende formules kunnen sterk van elkaar verschillen. Dit komt doordat niet alle formules in elke situatie toepasbaar zijn. Daarom dient men vooraf te bepalen welke sedimenttransportformules kunnen worden toegepast. De beperkingen van een aantal formules zijn vermeld in tabel 1.

Tabel 1: Beperkingen van enkele sedimenttransportformules

Formule	Kenmerken			Beperkingen				
	jaar	diameters	type transp.	deeltjes (mm)	snelheid (m/s)	helling (m/km)	breedte (m)	diepte (m)
Meyer-Peter	1934	D35	bodem	3,17-28,7		8,00-25,0		
Meyer-Peter-Muller	1948	D50, D70	bodem	0,40-30,0		0,40-22,0	0,15-2,0	0,01-1,20
Frijlink	1952	D50, D90	bodem	0,10-5,20				
Rottner	1959	D50	bodem					
Engelund-Hansen	1967	D50	totaal	0,19-093				
Ackers-White	1973	D35	totaal	0,04-4,94	0,36- 0,87			0,13-11,5
Bagnold	1980	D50	bodem					
Van Rijn	1984	D50, D90, D15, D85,	bodem, zwevend	0,10-2,00	0,31-2,40			0,30-3,60

Vooralsnog zijn er onvoldoende gegevens beschikbaar voor een goede waardebepaling van de formules. Aanbevolen wordt om voorlopig in ieder geval gebruik te maken van de formules van Frijlink voor het bodemtransport en de formule van Van Rijn voor het totale transport.

De keuze tussen het gebruik van een bodemtransportformule en een formule voor het totale transport kan worden gemaakt op basis van het transportaard-kental (Tr). Dit kental is gedefinieerd als de verhouding tussen de schuifspanningssnelheid (u^*) en de bezinksnelheid (ws) van de maatgevende korrel (D_{50}). In formulevorm:

$$Tr = u^* / ws$$

Wanneer Tr groter is dan 1 is een formule voor het totale transport aan te bevelen. In het algemeen is het bodemtransport zowel voor de morfologie als voor de ecologie het belangrijkste. Zwevend transport is eigenlijk alleen van belang bij tot stilstand komend water.

Benadrukt wordt dat het bij alle formules gaat om een berekening (schatting) van het sedimenttransporterend vermogen (een lokaal maximum) en niet van het werkelijk optredende sedimenttransport. Het werkelijk optredende sedimenttransport kan afwijken. Dit komt omdat de meeste sedimenttransportformules empirisch zijn ontwikkeld op basis van metingen van specifieke rivieren. De omstandigheden daarbij kunnen sterk verschillen van de (actuele) omstandigheden van de te herstellen beek. Bovendien kunnen niet alle kenmerken van een beek in formules worden opgenomen. Indien men een goede kwantitatieve schatting van het optredende sedimenttransport wenst dienen de toepasbare formules dus te worden geijkt voor de actuele situatie.

Ijking kan geschieden door het sedimenttransport in de huidige situatie te berekenen en de uitkomsten van de formules te vergelijken met de resultaten van metingen van het werkelijk optredende sedimenttransport. Eventueel kan men in plaats van metingen het werkelijk optredende sedimenttransport bepalen aan de hand van de hoeveelheid sedimentatie die per jaar in een zandvang of een bepaald traject optreedt.

Ook wanneer ijking van de formules niet mogelijk is kunnen -ondanks de grote verschillen tussen de uitkomsten van de formules in absolute zin- potentiële problemen worden gesignaleerd en alternatieven met elkaar worden vergeleken.

3.6.4 Interpretatie

Een belangrijk onderdeel van de interpretatie vormt de vergelijking tussen het sedimenttransporterend vermogen in de huidige (genormaliseerde) en in de geplande beek. Met name wanneer men een goed beeld heeft van het functioneren van de huidige genormaliseerde beek geeft dit reeds veel inzicht in de morfologische effecten van het plan. Hieruit is bijvoorbeeld op te maken dat de mate van sedimentatie twee keer zo gering wordt.

Verder kunnen met de berekeningen van het sedimenttransporterend vermogen kwalitatieve uitspraken worden gedaan over:

- de mate van sedimenttransport (orde van grootte)
- de mate van morfologische stabiliteit in het lengteprofiel
- de plaatsen waar erosie en sedimentatie kan optreden
- de mate van morfologische stabiliteit in een traject en de invloed van piekafvoeren
- de mate van erosie en sedimentatie in een traject
- het dominante debiet, i.e. het debiet dat het grootste aandeel heeft in het jaarlijkse sedimenttransport en dus de grootste invloed heeft op de morfologie
- de invloed van kunstwerken op het sedimenttransport en de morfologie

Hier zal aan de hand van enkele voorbeelden worden uitgelegd hoe de resultaten van de berekeningen kunnen worden geïnterpreteerd.

De mate van morfologische stabiliteit in het lengteprofiel

De morfologische stabiliteit in het lengteprofiel kan worden bepaald door de waarden van het totale jaarlijkse sedimenttransporterend vermogen van elkaar opvolgende trajecten met elkaar te vergelijken. Naarmate de verschillen groter zijn is de morfologische stabiliteit geringer. Wanneer de stabiliteit gering is, is de beek uit evenwicht en continue bezig met het verplaatsen van zandbanken.

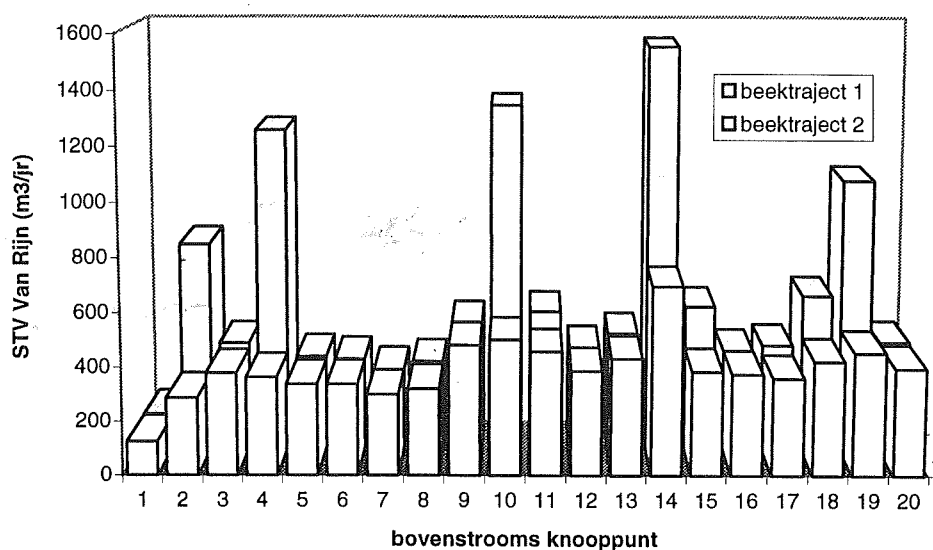
In een dergelijk geval kunnen er op korte termijn relatief grote veranderingen in de morfologie plaats vinden.

In figuur 5 is het sedimenttransporterend vermogen per traject (leidingvak) per jaar weergegeven. Uit deze figuur is op te maken dat beektraject 1 een vrij gelijkmatig verloop van het sedimenttransporterend vermogen heeft en dat bij beektraject 2 sprake is van grote verschillen. Beektraject 1 heeft dus een grotere stabiliteit dan beektraject 2.

Doorgaans zijn de ontwikkelingsmogelijkheden voor de karakteristieke levensgemeenschappen van laaglandbeken (stroomminnende soorten) beter naarmate de stabiliteit groter is. Dit omdat de kans op drift van organismen dan geringer is. Beektraject 1 zal dus meer mogelijkheden voor de ecologische ontwikkeling bieden dan beektraject 2.

Bij de interpretatie dient men er overigens voor te waken bepaalde resultaten niet over te waarden. Soms kan bijvoorbeeld in een kort traject sprake zijn van een zeer hoog sedimenttransporterend vermogen. In dat geval zullen zich wel veranderingen voordoen in het desbetreffende traject, maar kunnen de consequenties voor andere trajecten zeer gering zijn. De hoeveelheid sediment die uit dat korte traject vrijkomt zal immers gering zijn.

Figuur 5: Sedimenttransporterend vermogen per traject per jaar



Bepaling van de plaatsen waar erosie of sedimentatie op kan treden

Door de verschillen in het totale jaarlijkse sedimenttransporterend vermogen van elkaar opvolgende trajecten met elkaar te vergelijken is per traject te bepalen of erosie (degradatie) dan wel sedimentatie (aggradatie) kunnen optreden.

In trajecten waar het sedimenttransporterend vermogen zeer laag is of sterk afneemt ten opzichte van het bovenstroomse traject mag sedimentatie worden verwacht. Daar waar het vermogen zeer hoog is of sterk stijgt is erosie te verwachten.

Uit figuur 5 blijkt dat in takken 4, 10 en 14 erosie en in de daarop volgende takken sedimentatie zou kunnen optreden.

Bij het trekken van een dergelijke conclusie dient men de nodige voorzichtigheid te betrachten. Aangezien het sedimenttransporterend vermogen wordt berekend en niet het werkelijk optredende sedimenttransport blijkt uit figuur 5 niet direct of de verwachte erosie of sedimentatie ook daadwerkelijk zal optreden. Dit is namelijk afhankelijk van de hoeveelheid sediment die uit het bovenstroomse traject (uit het deelstroomgebied) wordt aangevoerd. Dit gegeven kan uitsluitend met metingen of andere gegevens van het werkelijk optredende sedimenttransport worden bepaald. Indien de aangevoerde hoeveelheid sediment het transporterend vermogen van het betreffende traject overtreft zal er in dat traject sprake zijn van sedimentatie. Indien de aangevoerde hoeveelheid sediment geringer is dan het sedimenttransporterend vermogen kan erosie optreden. Men dient dus het berekende vermogen van een traject te vergelijken met het sedimetaanbod uit het bovenstroomse traject.

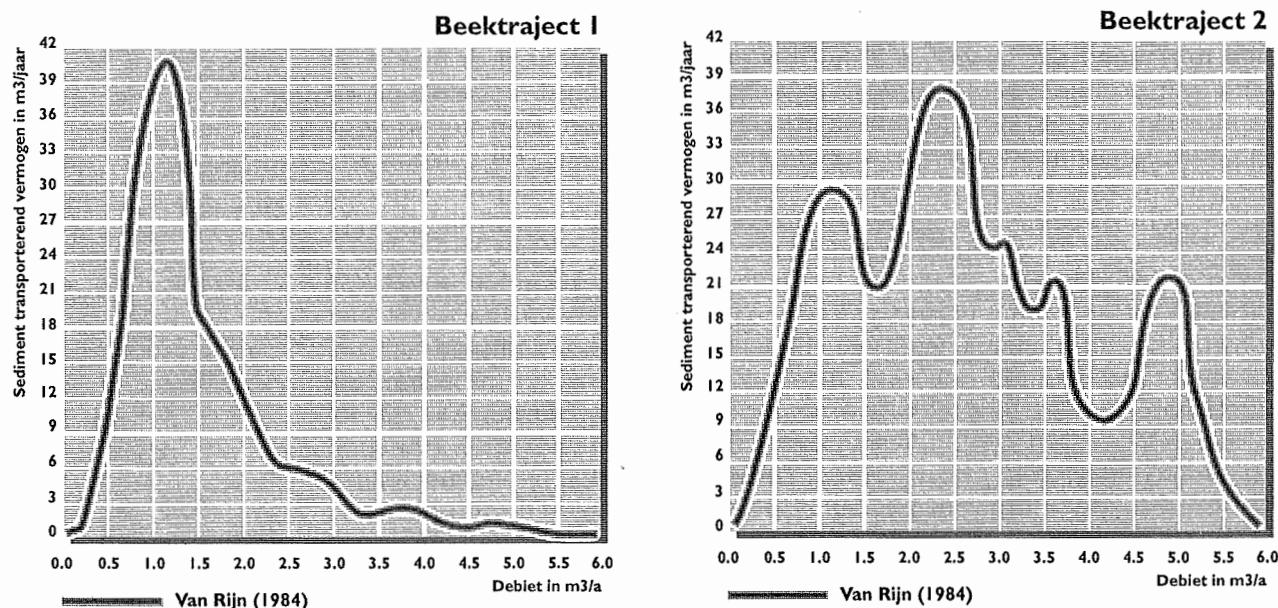
Mate van morfologische stabiliteit in een traject

Meer gedetailleerde informatie omtrent de morfologische stabiliteit in een traject of een dwarsprofiel kan worden verkregen door de temporele variatie in het sedimenttransport (sedimenttransport als functie van het debiet en de frequentie daarvan) te beschouwen. Deze is sterk afhankelijk van de frequentieverdeling van de debieten (afvoerdynamiek) en de vorm van het dwarsprofiel.

In het algemeen geldt dat de morfologische stabiliteit in een traject groter is naarmate de dominante afvoer (de afvoer die het grootste aandeel heeft in het jaarlijkse sedimenttransport) duidelijker te onderscheiden is en de invloed van piekafvoeren geringer is. In het onderstaande voorbeeld wordt dit duidelijk gemaakt.

In figuur 6 is het sedimenttransporterend vermogen als functie van het debiet en de frequentie waarmee dit debiet voorkomt weergegeven.

Figuur 6: Sedimenttransporterend vermogen per jaar als functie van het debiet



Hieruit is af te leiden dat:

- beektraject 1 een duidelijk te onderscheiden dominante afvoer heeft (1,2 m³/s)
- bij beektraject 1 piekafvoeren (vanwege de lage frequentie) een geringe bijdrage aan het jaarlijkse sedimenttransport leveren
- beektraject 2 geen duidelijk te onderscheiden dominante afvoer heeft
- bij traject 2 piekafvoeren in grote mate bijdragen aan het jaarlijkse sedimenttransport.

Aangezien beektraject 1 een duidelijker te onderscheiden dominante afvoer heeft en de invloed van piekafvoeren geringer is heeft traject 1 dus een grotere morfologische stabiliteit dan traject 2.

Overigens kan uit de temporele variatie in het sedimenttransport (sedimenttransport als functie van het debiet en de frequentie van het debiet) die weergegeven is in figuur 6 ook worden opgemaakt hoe groot de morfodynamiek in een traject is. Hierop wordt in de volgende paragraaf nader ingegaan.

De mate van erosie of sedimentatie in een traject

Evenals bij de bepaling van de plaatsen waar sedimentatie en erosie zal optreden is voor de bepaling van de mate waarin dit gebeurt kwantificering van het sedimenttransport noodzakelijk. Hiertoe dient men over gege-

vens te beschikken van het werkelijk optredende sedimenttransport. Indien men deze gegevens niet heeft kan men hooguit een grove schatting maken op basis van een aantal (discutabele) aannamen. Men zou bijvoorbeeld een sedimentlast kunnen aannemen en met behulp van berekeningen kunnen bepalen wat er in een traject gebeurt.

Opmerkingen

De mate waarin erosie en sedimentatie optreden is verder afhankelijk van de duur en de frequentie van het desbetreffende debiet. Duidelijk waarneembare veranderingen in de bodemligging zullen niet optreden wanneer de tijdsduur waarin een bepaald debiet (bepaalde snelheid) aanwezig is zeer kort is. Ook is op basis van de berekeningen te bepalen hoe groot de variatie is tussen verschillende debieten, hetgeen een indicatie geeft van de morfodynamiek.

Bij de interpretatie van de berekeningsresultaten dient men er rekening mee te houden dat stuwen e.d. het bodemtransport geheel en het zwevend transport gedeeltelijk kunnen tegenhouden. Dit blijkt niet altijd uit de berekening van het sedimenttransporterend vermogen. Een traject voor een stuw functioneert dus vrijwel altijd als een zandvang. Bij duikers, sifons en andere kunstwerken worden vaak zeer hoge waarden van het sedimenttransporterend vermogen berekend, men dient deze niet te verwarren met een waterloop (er treedt natuurlijk geen erosie op).

Waarmee bij de berekeningen geen rekening wordt gehouden is het feit dat de sedimentsamenstelling niet constant is maar varieert met het debiet. Bij lage afvoeren vindt met name sedimentatie plaats en kan de beddingbodem worden gevormd uit afgezet doorgaans fijn materiaal. Bij hoge afvoeren waarbij erosie overheerst kunnen de fijne deeltjes uit de beddingbodem verdwijnen terwijl grovere deeltjes sedimenteren. Hierdoor kan de bovenste laag grover worden. Deze fluctuaties in de samenstelling van het beddingmateriaal hebben invloed op het sedimenttransport. Naarmate de deeltjes grover worden zal er minder transport optreden.

Zowel voor de morfologie als de ecologie is het bodemtransport vanuit het belangrijkste, het zwevend transport is eigenlijk alleen van belang bij tot stilstand komend water.

3.7 BEPALING MORFODYNAMIEK

3.7.1 Algemeen

Doordat het debiet in de tijd varieert en in principe elk debiet (waarbij sedimenttransport optreedt) een eigen bodemligging heeft is de beddingbodem continu aan veranderingen onderhevig. Deze periodieke veranderingen in de morfologie van een beek, die zich met name in bochten voordoen, worden morfodynamiek genoemd. Voor de bepaling van de ecologische ontwikkelingsmogelijkheden (potenties) is het nodig iets te weten van de (morfo)dynamiek van het ontwerp. Maar ook vanuit waterbeheers-technisch oogpunt kan het relevant zijn om hierin enig inzicht te verkrijgen (onderhoud, meandermigratie).

De mate van morfodynamiek in bochten kan worden bepaald door berekening van de bochtdeformaties met de HYDRA-applicatie meandering.

3.7.2 Benodigde gegevens

Naast de gegevens die nodig zijn voor de dimensionering zijn voor berekening van het bodemdwaarsverhang in bochten nodig:

- zeefanalyse (korrelgrootteverdeling) van het toekomstige beddingmateriaal (1^e 50 cm, D15, D50, D85, D90)

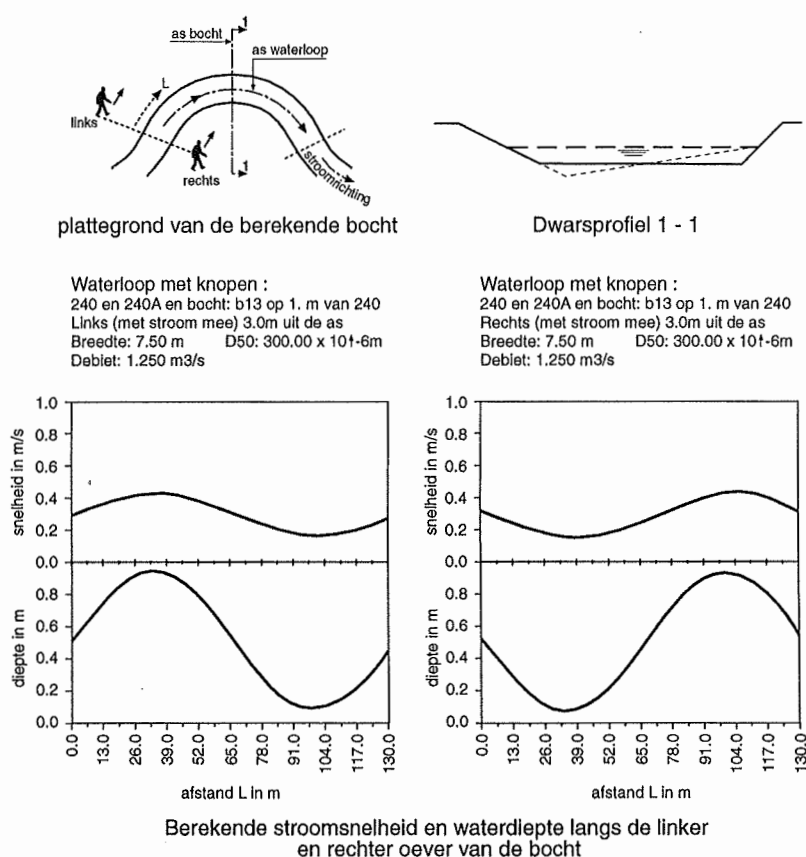
- bochtstralen
- booghoeken

De laatste twee gegevens kunnen worden bepaald door metingen vanaf kaarten.

3.7.3 Berekening stroomsnelheidsverschillen en bochtdeformaties

Het programma berekent de stroomsnelheidsverschillen, het bodemdwaarsverhang in het midden van de bocht en de bodemligging (diepte van stroomkommen) in het lengteprofiel van de bocht dat na verloop van tijd bij een bepaald constant debiet zou kunnen ontstaan. Dit is bij benadering de bodemligging waarbij sprake is van een "statisch evenwicht" (bij dat ene debiet). In figuur 7 wordt dit geïllustreerd.

Figuur 7: Berekende bodemdwaarsverhang en bodemligging



3.7.4 Interpretatie

In principe treedt bij elk debiet (oiv sedimenttransport) een bepaalde bodemligging in de bocht op (waarbij sprake is van een zgn. "statisch evenwicht"). Elke verandering van het debiet leidt in principe ook tot verandering in de bodemligging (tot een nieuw evenwicht).

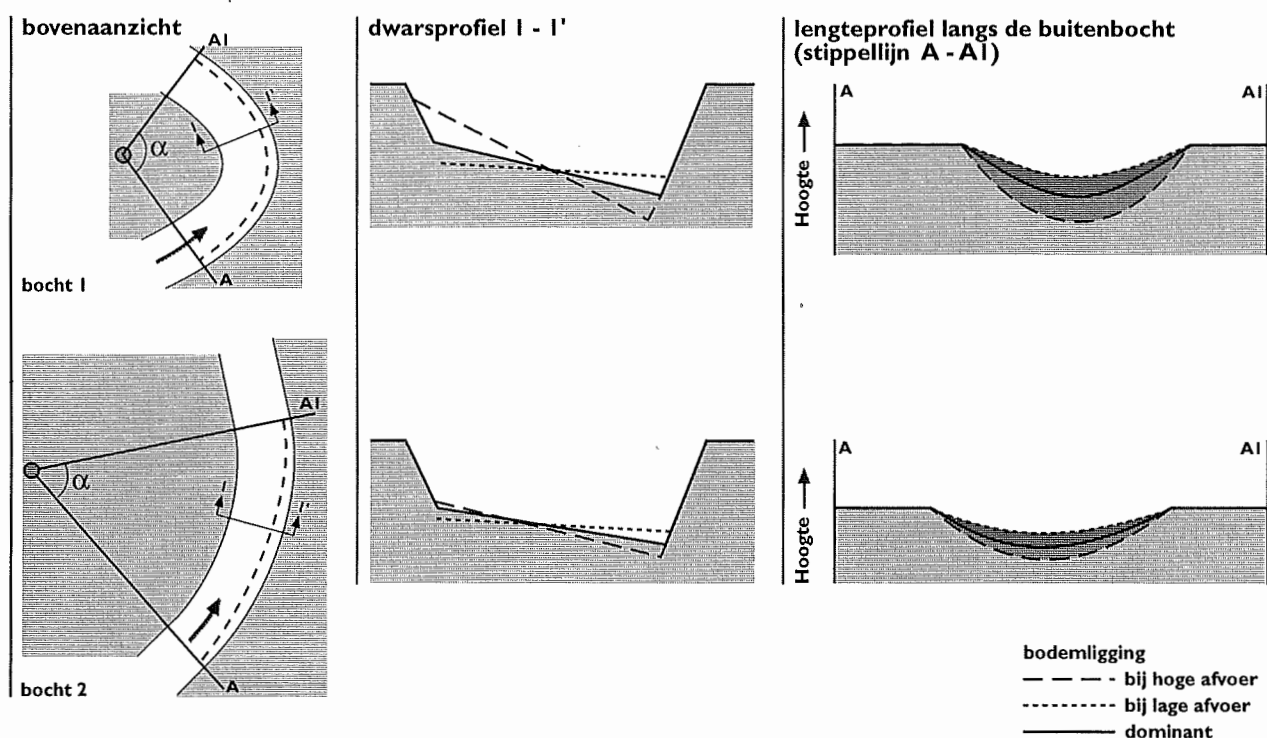
Of zich ook daadwerkelijk een verandering in de bodemligging voordoet is afhankelijk van het werkelijk optredende sedimenttransport. Indien bij een bepaald debiet geen of nauwelijks sedimenttransport kan plaats vinden zal de bodemligging ook niet of nauwelijks veranderen.

In het algemeen is het debiet dat het grootste aandeel heeft in het jaarlijkse sedimenttransport (dominante debiet) bepalend voor de "gemiddelde bodemligging" in een bocht. Het bodemdwaarsverhang en de diepte van de stroomkom in de buitenbocht dat bij dit debiet kan ontstaan vormt een indicatie van de mate van morfodynamiek. Naarmate het bodemdwaarsverhang groter is en de stroomkom in de buitenbocht dieper is, is de oever in de buitenbocht minder stabiel en is de kans op veranderingen in de beddingvorm (en uiteindelijk in de tracévorm) groter.

Doorgaans geldt dat de morfodynamiek in een bocht groter is naarmate de bocht een geringere straal heeft (scherper is), een grotere lengte en een kleinere breedte heeft.

In figuur 8 zijn het berekende bodemdwaarsverhang en de gemiddelde bodemligging van twee bochten weergegeven.

Figuur 8: Bodemdwaarsverhang en gemiddelde bodemligging in bochten



In de scherpe bocht 1 is sprake van een groter bodemdwaarsverhang en een diepere buitenbocht dan in de flauwe bocht 2. Hierdoor zal de morfodynamiek in bocht 1 groter zijn.

Ook de mate waarin de bodemligging in de tijd varieert geeft inzicht in de morfodynamiek. Deze variatie is te bepalen door de "gemiddelde bodemligging" te vergelijken met de bodemligging bij een laag debiet en een hoog debiet waarbij sedimenttransport op kan treden. Grote verschillen duiden op een grote morfodynamiek.

In figuur 8 is de mate van variatie in de bodemligging onder invloed van variaties in het debiet weergegeven voor twee bochten.

Uit figuur 8 blijkt dat bocht 3 een grotere variatie in de bodemligging en dus een grotere morfodynamiek heeft dan bocht 3.

Opmerking

De stabiliteit en de morfodynamiek zijn nauw met elkaar verbonden. Bij instabiele systemen zullen zich betrekkelijk snel relatief grote veranderingen in de morfologie voordoen. In een dergelijk geval zal vrijwel altijd ook sprake zijn van een grote morfodynamiek (oevererosie, bochtmigratie, etc.). Maar het is niet zo dat er bij een grote mate stabiliteit altijd sprake is van een geringe dynamiek. Ook zonder grote veranderingen in de variabelen (breedte, diepte, doorstroomde oppervlak) kunnen zich grote veranderingen in de beddingvorm voordoen. Zo kunnen er stroomkommen in de buitenbochten en sedimentbanken in de binnenbochten en rechtstanden vormen zonder dat de gemiddelde beddingdimensies veranderen.

Geraadpleegde literatuur

Apmann R.P. 1972, Flow processes in open channel bends, *Journal of the Hydraulics Division ASCE*, vol. 98.

Boon P.J., Callow 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 3.

Bouwknegt J. & Gelok A.J. 1992, Zandtransport bij beekherstel, *Landinrichting* 32 8.

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.

Callow P. & Petts G.E. 1992, *The rivers handbook, Hydrological and ecological principles, Volume one*, Blackwell Scientific Publications, London, 526 pp.

Callow P. & Petts G.E. 1994, *The rivers handbook, Hydrological and ecological principles, Volume two*, Blackwell Scientific Publications, London, 523 pp.

Chorley R.J., Schumm S.A. & Sugden D.E. 1984, *Geomorphology*, Methuen, London.

CUWVO 1988, *Ecologische normdoelstellingen voor de Nederlandse oppervlaktewateren*, CUWVO werkgroep V-1, 's-Gravenhage, 154 pp.

Faber Th 1972, *Regimes and regime-related basin properties of some Dutch small rivers*, Dissertatie Vrije Universiteit Amsterdam, Uitgeverij de Ram, Amstelveen

Friedkin J.F. 1945, *A laboratory study of the meandering of alluvial streams*, US Army Corps Eng. Waterways Expt, Sta. 40 pp.

Geessink A.H. & Romeijn E. 1990, *Geomorfologische aspecten van beekherstel in het kader van natuurontwikkelingsprojecten*, Interne mededeling nr 109. Staring Centrum, Wageningen.

Gordon N.D., McMahon T.A. & Finlayson B.L. 1992, *Stream hydrology: an introduction for ecologists*, John Wiley & Sons Ltd.

Hickin E.J. & Nansen G.C. 1984, Lateral migration rates of river bends, *Journal of Hydraulic Engineering ASCE*, vol. 110

Higler L.W.G. & Mol A.W.M. 1985, *Ecological types of running water based on stream hydraulics in the Netherlands*, *Hydrobiol. Bull.* 18.

Higler L.W.G., Beijer H.M. & Van der Hoek W.F. 1995, *Ecosysteemvisie Beken en Beekdalen*, IBN/IKC-NBLF, Leersum/ Wageningen.

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.

Landesamt für Wasser und Abfall 1989, Richtlinie für naturnahen Ausbau und Unterhaltung der Fließgewässer in Nordrhein-Westfalen, Woeste Druck & Verlag, Essen

Lange G. & Lecher K. 1993, Gewässerregelung, Gewässerpflege: naturnahen Ausbau und Unterhaltung von Fließgewässern, 3. Auflage, Verlag P. Parey, Hamburg und Berlin.

Leopold L.B. & Wolman M.G. 1957, River channel patterns: braided, meandering and straight, US Geol. Surv. Prof. Paper 282-B.

Leopold L.B., Wolman M.G. & Miller J.P. 1964, Fluvial processes in geomorphology, Freeman, San Francisco.

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.

Ministerie van Landbouw en Visserij 1989, Natuurbeleidsplan, Beleidsvoornemen, Staatsuitgeverij, 's-Gravenhage.

Ministerie van Verkeer en Waterstaat 1989, Derde Nota Waterhuishouding, Staatsuitgeverij, 's-Gravenhage.

Nortier I.W. & Van de Velde H. 1961, Hydraulica voor waterbouwkundigen, Technische Uitgeverij H. Stam N.V.

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.

Schumm S.A. 1977, The fluvial system, John Wiley & Sons, New York.

Stevens M.A. 1989, Width of straight alluvial channels, Journal of Hydraulic Engineering ASCE, vol. 113 (3).

STOWA/WEW Subgroep Beekherstel 1995, Beken stromen; Leidraad voor ecologisch beekherstel, Utrecht.

Van der Hoek W. & Higler L.W.G. 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.

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.(ed.) De toekomst van beekdalen, besturen van stromen, Stichting Natuur & Milieu, Utrecht.

Wolfer H.P. 1991, Beekmeandering en natuurontwikkeling, Landschap 8 (4).

Yu B. & Wolman M.G. 1987, Some dynamic aspects of river geometry, Water Resources Research, vol. 23 (3).

Bijlage 1: Karakteristieke organismen

In tabel 1 is weergegeven welke groepen organismen karakteristiek zijn voor bepaalde beektypen. Daarbij is onderscheid gemaakt tussen bronnen, heuvelandbeken en boven-, midden- en benedenlopen van laaglandbeken.

Tabel 1: Voorkomen van groepen organismen in de verschillende beektypen

groep organismen	bronnen	heuvel- landbeek	bovenloop laaglandbeek	middenloop laaglandbeek	benedenloop laaglandbeek
zoogdieren					
otters	-	-	-	#	#
vogels					
grote gele kwikstaart	-	+	+	+	+
ijsvogel	-	+	+	+	+
waterspreeuw	-	+	-	-	-
amfibieën					
watersalamanders	0	0	0	0	0
vissen					
beekprik	-	#	+	+	+
bermpje	-	#	+	+	+
modderkruiper	-	-	#	+	+
elrits	-	+	#	-	-
beekforel	-	+	#	-	-
kreftachtigen					
gewone vlokreeft	+	+	+	+	+
riviervlokreeft					
insekten					
vliegen, muggen	+	+	+	+	+
wantsen	#	+	+	+	+
kevers	+	+	+	+	+
steenvliegen	+	+	+	+	+
kokerjuffers	+	+	+	+	+
haften	#	+	+	+	+
eendagsvliegen	#	+	+	+	+
libellen	#	#	+	+	+
platwormen	#	+	+	#	#
weekdieren					
slakken	+	+	+	+	+
mossels	-	+	+	+	+
waterplanten					
wortelend	-	+	+	+	+
drijvend	-	-	-	-	-
vloftende waterranonkel	-	+	+	+	+
bronmos	-	+	+	-	-
teer vederkruid	-	+	#	#	+
algen (fytoplankton)					
blauwwieren	-	-	#	#	#
groenwieren	-	-	-	#	#
roodwieren	-	+	+	-	-
flagellaten	-	-	-	-	-

+ = is typisch voor het systeem, de groep heeft specifieke soorten in het systeem

* = gewone maar ook typische soorten

0 = maakt deel uit van het systeem maar de soorten zijn in het algemeen niet typisch

= maakt incidenteel of in beperkte mate deel uit van het systeem, of is twijfelachtig

- = maakt geen of vrijwel geen deel uit van het systeem

Bronnen: CUWVO; Ecologische normdoelstellingen voor Nederlandse oppervlaktewateren (1988), Van der Hoek, W & Higler, B.; Natuurontwikkeling in beken en beekdalen (1993)

Bijlage 2: Abiotische parameters

In tabel 3 zijn de geschatte grenzen van een aantal abiotische parameters van natuurlijke beeksystemen weergegeven. Deze kunnen worden beschouwd als kwantitatieve voorwaarden voor ecologisch goed functionerende beken. Hierbij is wederom onderscheid gemaakt tussen bronnen, heuvellandbeken en boven-, midden- en benedenlopen van laaglandbeken.

Tabel 3: Geschatte grenzen van enkele abiotische parameters in natuurlijke systemen

	bronnen	heuvel- landbeek	bovenloop laaglandbeek	middenloop laaglandbeek	benedenloop laaglandbeek
voeding	grondwater	grondwater, afstr. neerslag	grondwater, neerslag,	neerslag, ondiep grondwater	neerslag, grondwater
stroming	permanent, zeer constant	periodiek droogvallend	periodiek droogvallend	permanent	permanent, soms stagnant
stroomsnelheid (min-max, cm/s)	0 - 10	0 - 100	0 - 80	10 - 80	0 - 50
stroomsnelheid (jaargem, cm/s)	5	60	20	30	15
verhang (beddingbodembodem, m/km)	3.5	3.5	1.3	0.85	0.4
beddingmateriaal (D50, mm)	zand, leem, veen variabel	zand, grind 350 - 800	zand, grind 250 - 400	zand, leem 150 - 300	zand, leem klei, veen 100 - 250
sediment transporterend vermogen (m ³ bodemtransport/jr per m bodembreedte)	0 - 50	50 - 250	25 - 150	25 - 150	5 - 50
breedte (gem. bodembreedte, m)	0.1	0.5 - 1.5	0.5 - 1.5	1 - 4	1.5 - 6
diepte (gem., m)	0.1	0.1 - 0.5	0.1 - 0.5	0.3 - 1	0.5 - 2
temperatuur (max., °C)	10 - 15	10 - 15	10 - 20	15 - 20	20 - 25
pH (gem.)	7 - 8	7 - 8	6 - 8	6 - 7	6 - 7
Cl ⁻ (gem., mg/l)	0 - 20	0 - 20	10 - 30	10 - 40	10 - 40
SO ₄ ²⁻ (gem., mg/l)	0 - 40	0 - 40	0 - 40	0 - 40	0 - 40
Ca ²⁺ (gem., mg/l)	10 - 100	30 - 100	10 - 90	10 - 80	10 - 70
PO ₄ -P opgelost (max., mg/l)	0 - 0,1	0 - 0,1	0 - 0,1	0 - 0,2	0 - 0,2
NO ₃ -N (max., mg/l)	0 - 1	0 - 1	0 - 1	0 - 1	0 - 1
O ₂ (min, mg/l)	6 - 9	6 - 9	6 - 9	6 - 9	6 - 9
O ₂ (gem., mg/l)	8 - 11	8 - 11	8 - 11	8 - 11	8 - 11
chlorofyl-a (gem. zomerhalfjaar, mg/l)	0	5	5	5 - 10	5 - 10

Bronnen: CUWVO; Ecologische normdoelstellingen voor Nederlandse oppervlaktewateren (1988),
Van der Hoek, W & Higler, B.; Natuurontwikkeling in beken en beekdalen (1993)

STV staat voor sediment transporterend vermogen

Bijlage 3: Maatregelen-effecten-matrix

Blad 1

MAATREGELEN-EFFECTEN-MATRIX

Maatregel	2	2	1	3	9	8	8	8	6	5	4
	relief beekdal	variatie bodemeigenschappen	lichtintensiteit beek (afn.)	watertemp beek (afn)	grondwaterstand	kwel	afname piekafvoer	toename basisafvoer	gemiddelde stroomsnelheid	variatie stroomsnelheid	afname droogval
maaiveldverlaging beekdal	3	3	0	0	0	2	0	0	0	0	0
omvorming bos naar korte vegetaties	0	1	-3	-3	-1	0	-1	-1	0	0	0
omvorming korte vegetaties naar bos	0	1	3	3	1	0	1	1	0	0	0
aanleg beekbegeleidende beplanting	0	0	3	2	0	0	0	0	1	2	0
verwijderen / beperken drainage (sloten)	-1	1	0	2	3	2	3	3	0	0	1
ontwikkeling inundatiezones	2	2	1	-2	1	1	2	1	0	1	0
aanleg retentiebekkens	2	0	1	-1	1	0	3	0	0	0	1
bevorderen infiltratie / afkoppelen neerslagafvoer	0	0	0	0	2	1	3	2	0	0	0
opheffen / beperken wateronttrekkingen	0	0	0	0	3	3	0	3	2	0	3
aanleg hydrologische bufferzones	0	0	0	0	2	1	1	1	1	0	1
aanleg ontleidingskanalen / bypass (tbv afleiding piekafvoer)	1	1	0	-1	1	0	3	0	-1	-1	0
verwijderen kades en dijken (tbv inundatie)	-1	-1	0	-1	0	1	1	0	0	0	0
aanleg poelen	2	2	0	0	1	2	0	0	0	0	0
alternatieve waterconservering (cascades, ed)	0	0	0	0	0	0	0	0	2	2	0
graven van meanders (incl.verkleining beddingdimensies)	1	1	0	0	1	1	0	0	1	3	0
plaatsing harde objecten in de bedding	0	0	0	0	0	0	0	0	1	3	1
verwijderen stuwten	0	0	0	0	-3	-3	-3	-2	3	2	-3
verwijderen oever- en bodemverdediging	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
aanleg zandvang	0	0	-1	-1	0	0	0	0	0	0	0
aanpassing dwarsprofiel met behoud geulcapaciteit	1	1	0	0	0	1	0	0	0	2	0
aanpassing dwarsprofiel met vergroting geulcapaciteit	1	1	-1	-1	-2	-1	1	0	-2	1	0
aanpassing dwarsprofiel met verkleining geulcapaciteit	0	0	0	0	1	1	-1	1	2	3	1
aanleg pools en riffles	0	0	0	0	0	0	0	0	0	2	1
opnieuw verbinden afgesneden bovenstroomse trajecten	0	0	0	1	0	0	0	2	1	1	1
aankoppelen oude meanders	0	1	0	0	1	1	0	0	0	1	0
passieve meanderontwikkeling	1	1	0	0	1	1	0	0	1	3	0
opheffen lozingen huishoudelijk afvalwater	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0
vermindere overstortfrequentie rioleringsystemen	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0
afleiden effluënten	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0
verbetering zuiveringsprocessen RWZI's	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
vermindere bemesting stroomgebied	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
aanleg helofytenfilters	1	0	0	-2	1	0	1	0	-1	-1	0
aanleg "horse-shoe wetlands"	1	1	0	-1	1	1	0	0	-1	1	0
aanleg bufferstroken, exclusief beplanting (voor stoffen)	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
aanleg vispassages (natuurgeotechnische stuwten)	0	0	0	0	0	0	0	0	1	2	1
aanleg passeerbare kunstwerken (wildpassages)	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
aanleg kunstmatige refugia	0	0	1	1	0	0	0	0	0	0	0
aanleg paaiplaatsen (grindbeddingen)	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0
aanleg overhangende oevers / steilranden	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0
ecologische optimalisatie onderhoud en beheer beek	0	0	2	2	0	0	1	1	2	3	2
aanleg macrofauna- habitats	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

MAATREGEL-EFFECTEN-MATRIX

Maatregel	6	6	6	4	4	1	9	7	8	8	8	4	3	4
	morfolog stabiliteit	toename morfodynamiek	variatie bedding dimensies	variatie bedding materiaal	org. stof (saprobie)	afn. nutr (trofie)	toen. macro- ionen HCO3- SO42-, Ca 2+	zuur- graad	afn. tox. stoffen	zuur- stof	migratie aq.org	rust	ontw. vegetatie	
maaienveldverlaging beekdal	0	0	0	0	0	1	1	1	1	0	0	0	3	
omvorming bos naar korte vegetaties	0	0	0	0	-2	0	0	0	0	0	0	0	3	
omvorming korte vegetaties naar bos	0	0	0	1	2	1	0	0	0	0	0	0	3	
aanleg beekbegeleidende beplanting	1	0	0	1	2	1	0	0	1	0	2	2	3	
verwijderen / beperken drainage (sloten)	0	0	1	1	0	1	2	1	0	0	0	0	0	
ontwikkeling inundatiezones	2	3	1	3	3	0	0	0	0	0	3	3	3	
aanleg retentiebekkens	1	0	0	1	1	0	0	0	0	-1	1	1	1	
bevorderen infiltratie / afkoppelen neerslagafvoer	0	0	0	0	0	0	1	0	1	0	0	0	0	
opheffen / beperken wateronttrekkingen	1	2	0	0	0	1	3	1	0	0	1	0	2	
aanleg hydrologische bufferzones	0	0	0	0	0	1	0	1	1	0	1	0	1	
aanleg omleidingskanalen / bypass (tbv afleiding piekafvoer)	2	-1	1	1	1	0	0	0	0	0	3	2	2	
verwijderen kades en dijken (tbv inundatie)	1	1	1	1	1	0	0	0	0	0	2	1	1	
aanleg poelen	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	3	2	2	
alternatieve waterconservering (cascades, ed)	1	2	-1	2	0	0	0	0	0	0	1	3	0	
graven van meanders (incl.verkleining beddingdimensies)	2	3	3	2	0	0	0	0	0	1	3	0	1	
plaatsing harde objecten in de bedding	0	2	2	2	0	0	0	0	0	1	2	0	0	
verwijderen stuwten	-3	3	2	1	0	0	0	0	0	2	2	0	0	
verwijderen oever- en bodemverdediging	0	1	1	1	0	0	0	0	0	0	2	0	2	
aanleg zandvang	2	-2	0	0	-1	1	0	0	1	0	0	1	2	
aanpassing dwarsprofiel met behoud geulcapaciteit	0	1	2	2	0	0	0	0	0	0	3	0	3	
aanpassing dwarsprofiel met vergroting geulcapaciteit	-1	-2	0	-1	1	0	0	0	0	0	1	0	3	
aanpassing dwarsprofiel met verkleining geulcapaciteit	1	3	2	2	0	0	0	0	0	1	1	0	0	
aanleg pools en riffles	0	2	2	1	0	0	0	0	0	0	1	0	0	
opnieuw verbinden afgesneden bovenstroomse trajecten	1	1	0	1	0	0	0	0	1	1	3	0	0	
aankoppelen oude meanders	1	1	1	1	1	0	0	0	0	0	2	2	2	
passieve meanderontwikkeling	2	3	3	2	0	0	0	0	0	1	3	0	2	
opheffen lozingen huishoudelijk afvalwater	0	0	0	0	0	3	1	1	3	3	0	0	0	
vermindern overstortfrequentie rioleringsystemen	0	0	0	0	0	3	1	1	3	3	1	0	0	
afleiden effluënten	0	0	0	0	0	3	1	1	3	3	1	0	0	
verbetering zuiveringsprocessen RWZI's	0	0	0	0	0	3	1	1	3	3	1	0	0	
vermindern bemesting stroomgebied	0	0	0	0	0	3	2	3	3	3	2	0	2	
aanleg helofytenfilters	0	-1	0	0	-1	1	1	0	1	0	1	1	2	
aanleg "horse-shoe wetlands"	0	1	1	1	-1	1	1	0	0	0	1	1	2	
aanleg bufferstroken, exclusief beplanting (voor stoffen)	0	0	0	0	0	1	1	1	2	2	1	1	0	
aanleg vispassages (natuurgebouwde stuwen)	0	1	1	1	0	0	0	0	0	1	3	0	0	
aanleg passeerbare kunstwerken (wildpassages)	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
aanleg kunstmatige refugia	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	0	
aanleg paaiplaatsen (grindbeddingen)	1	1	1	1	0	0	0	0	0	0	2	1	0	
aanleg overhangende oevers / steilranden	0	1	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
ecologische optimalisatie onderhoud en beheer beek	2	3	3	2	3	1	0	1	1	2	3	3	3	
aanleg macrofauna- habitats	0	0	0	1	2	0	0	0	0	0	2	0	0	

opmerkingen

plas- en drasbermen zijn terug te vinden in aanpassing dwarsprofiel
aanpassing dwarsprofiel met vergroting geulcapaciteit betreft overdimensionering
onder kunstmatige refugia worden inhammetjes maar ook houten constructies gerekend
graven van meanders alleen in combinatie met verkleining geulcapaciteit of verwijderen stuw

MAATREGELEN-EFFECTEN-MATRIX (INCL WEEGFACTOREN)

Maatregel	2	2	1	3	9	8	8	8	6	5	4
	relief beekdal	variatie bodemeig- enschappen	lichtintensiteit beek (afn.)	watertemp beek (afn)	grond- waterstand	kwel	afname piekafvoer	toename basisafvoer	gemiddelde stroom- snelheid	variatie stroom- snelheid	afname droogval
maaiveldverlaging beekdal	6	6	0	0	0	16	0	0	0	0	0
omvorming bos naar korte vegetaties	0	2	-3	-9	-9	0	-8	-8	0	0	0
omvorming korte vegetaties naar bos	0	2	3	9	9	0	8	8	0	0	0
aanleg beekbegeleidende beplanting	0	0	3	6	0	0	0	0	6	10	0
verwijderen / beperken drainage (sloten)	-2	2	0	6	27	16	24	24	0	0	4
ontwikkeling inundatiezones	4	4	1	-6	9	8	16	8	0	5	0
aanleg retentiebekkens	4	0	1	-3	9	0	24	0	0	0	4
bevoornden infiltratie / afkoppelen neerslagafvoer	0	0	0	0	18	8	24	16	0	0	0
opheffen / beperken wateronttrekkingen	0	0	0	0	27	24	0	24	12	0	12
aanleg hydrologische bufferzones	0	0	0	0	18	8	8	8	6	0	4
aanleg omleidingskanalen / bypass (tbv afleiding piekafvoer)	2	2	0	-3	9	0	24	0	-6	-5	0
verwijderen kades en dijken (tbv inundatie)	-2	-2	0	-3	0	8	8	0	0	0	0
aanleg poelen	4	4	0	0	9	16	0	0	0	0	0
alternatieve waterconservering (cascades, ed)	0	0	0	0	0	0	0	0	12	10	0
graven van meanders (incl.verkleining beddingdimensies)	2	2	0	0	9	8	0	0	6	15	0
plaatsing harde objecten in de bedding	0	0	0	0	0	0	0	0	6	15	4
verwijderen stuwten	0	0	0	0	-27	-24	-24	-16	18	10	-12
verwijderen oever- en bodemverdediging	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
aanleg zandvang	0	0	-1	-3	0	0	0	0	0	0	0
aanpassing dwarsprofiel met behoud geulcapaciteit	2	2	0	0	0	8	0	0	0	10	0
aanpassing dwarsprofiel met vergroting geulcapaciteit	2	2	-1	-3	-18	-8	8	0	-12	5	0
aanpassing dwarsprofiel met verkleining geulcapaciteit	0	0	0	0	9	8	-8	8	12	15	4
aanleg pools en riffles	0	0	0	0	0	0	0	0	0	10	4
opnieuw verbinden afgesneden bovenstroomse trajecten	0	0	0	3	0	0	0	16	6	5	4
aankoppelen oude meanders	0	2	0	0	9	8	0	0	0	5	0
passieve meanderontwikkeling	2	2	0	0	9	8	0	0	6	15	0
opheffen lozingen huishoudelijk afvalwater	0	0	0	3	0	0	0	0	0	0	0
vermindere overstortfrequentie rioleringsystemen	0	0	0	0	0	0	8	0	0	0	0
afleiden effluënten	0	0	0	3	0	0	0	0	0	0	0
verbetering zuiveringsprocessen RWZI's	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
vermindere bemesting stroomgebied	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
aanleg helofytenfilters	2	0	0	-6	9	0	8	0	-6	-5	0
aanleg "horse-shoe wetlands"	2	2	0	-3	9	8	0	0	-6	5	0
aanleg bufferstroken, exclusief beplanting (voor stoffen)	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
aanleg vispassages (natuurtechnische stuwten)	0	0	0	0	0	0	0	0	6	10	4
aanleg passeerbare kunstwerken (wildpassages)	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
aanleg kunstmatige refugia	0	0	1	3	0	0	0	0	0	0	0
aanleg paaiplaatsen (grindbeddingen)	0	0	0	0	0	0	0	0	0	5	0
aanleg overhangende oevers / steilranden	2	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0
ecologische optimalisatie onderhoud en beheer beek	0	0	2	6	0	0	8	8	12	15	8
aanleg macrofauna- habitats	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

MAATREGELEN-EFFECTEN-MATRIX (INCL WEEGFACTOREN)

Maatregel	6	6	6	4	4	1	9	7	8	8	8	4	3	4
	morfolog stabiliteit	toename morfodynamiek	variatie bedding dimensies	variatie bedding materiaal	org. stof (saprobie)	afn. nutr (trofie)	toen. macro- ionen HCO3-, SO42-, Ca 2+	zuur- graad	afn. tox. stoffen	zuur- stof	migratie aq.org	rust	ontw. vegetatie	
maaiveldverlaging beekdal	0	0	0	0	0	9	7	8	8	0	0	0	12	
omvorming bos naar korte vegetaties	0	0	0	0	-2	0	0	0	0	0	0	0	12	
omvorming korte vegetaties naar bos	0	0	0	4	2	9	0	0	0	0	0	0	12	
aanleg beekbegeleidende beplanting	6	0	0	4	2	9	0	0	8	0	8	6	12	
verwijderen / beperken drainage (sloten)	0	0	4	4	0	9	14	8	0	0	0	0	0	
ontwikkeling inundatiezones	12	18	4	12	3	0	0	0	0	0	12	9	12	
aanleg retentiebekkens	6	0	0	4	1	0	0	0	0	-8	4	3	4	
aanleg retentiebekkens	0	0	0	0	0	0	7	0	8	0	0	0	0	
afkoppelen neerslagafvoer	6	12	0	0	0	9	21	8	0	0	4	0	8	
opheffen / beperken wateronttrekkingen	0	0	0	0	0	9	0	8	8	0	4	0	4	
aanleg hydrologische bufferzones	12	-6	4	4	1	0	0	0	0	0	12	6	8	
aanleg omleidingskanalen / bypass (tbv afleiding piekatvoer)	6	6	4	4	1	0	0	0	0	0	8	3	4	
verwijderen kades en dijken (tbv inundatie)	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	12	6	8	
aanleg poelen	6	12	4	8	0	0	0	0	0	8	12	0	0	
alternatieve waterconservering (cascades, ed)	12	18	12	8	0	0	0	0	0	8	12	0	4	
graven van meanders (incl.verkleining beddingdimensies)	0	12	8	8	0	0	0	0	0	8	8	0	0	
plaatsing harde objecten in de bedding	-18	18	8	4	0	0	0	0	0	16	8	0	0	
verwijderen stuw	0	6	4	4	0	0	0	0	0	0	8	0	8	
verwijderen oever- en bodemverdediging	12	-12	0	0	-1	9	0	0	8	0	0	3	8	
aanleg zandvang	0	6	8	8	0	0	0	0	0	0	12	0	12	
aanpassing dwarsprofiel met behoud geulcapaciteit	-6	-12	0	-4	1	0	0	0	0	0	4	0	12	
aanpassing dwarsprofiel met vergroting geulcapaciteit	6	18	8	8	0	0	0	0	0	8	4	0	0	
aanpassing dwarsprofiel met verkleining geulcapaciteit	0	12	8	4	0	0	0	0	0	0	4	0	0	
aanleg pools en riffles	6	6	0	4	0	0	0	0	8	8	12	0	0	
opnieuw verbinden afgesneden bovenstroomse trajecten	6	6	4	4	1	0	0	0	0	0	8	6	8	
aankoppelen oude meanders	12	18	12	8	0	0	0	0	0	8	12	0	8	
passieve meanderontwikkeling	0	0	0	0	0	27	7	8	24	24	0	0	0	
opheffen lozingen huishoudelijk afvalwater	0	0	0	0	0	27	7	8	24	24	4	0	0	
vermindere overstortfrequentie rioleringsystemen	0	0	0	0	0	27	7	8	24	24	4	0	0	
afleiden effluënten	0	0	0	0	0	27	7	8	24	24	4	0	0	
verbetering zuiveringsprocessen RWZI's	0	0	0	0	0	27	14	24	24	24	8	0	8	
vermindere bemesting stroomgebied	0	-6	0	0	-1	9	7	0	8	0	4	3	8	
aanleg helofytenfilters	0	6	4	4	-1	9	7	0	0	0	4	3	8	
aanleg "horse-shoe wetlands"	0	0	0	0	0	9	7	8	16	16	4	3	0	
aanleg bufferstroken, exclusief beplanting (voor stoffen)	0	6	4	4	0	0	0	0	0	8	12	0	0	
aanleg vispassages (natuurtechnische stuw)	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
aanleg passeerbare kunstwerken (wildpassages)	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	4	3	0	
aanleg kunstmatige refugia	6	6	4	4	0	0	0	0	0	0	8	3	0	
aanleg paaiplaatsen (grindbeddingen)	0	6	4	4	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
aanleg overhangende oevers / steilranden	12	18	12	8	3	9	0	8	8	16	12	9	12	
ecologische optimalisatie onderhoud en beheer beek	0	0	0	4	2	0	0	0	0	0	8	0	0	
aanleg macrofauna- habitats														

MAATREGELEN-EFFECTEN-MATRIX (SORTERING INCLUSIEF WEEGFACTOREN)

Maatregel	2	2	1	3	9	8	8	8	8	6	5	4
	relief beekdal	variatie bodemeig- enschappen	lichtintensiteit beek (afn.)	watertemp beek (afn)	grond- waterstand	kwel	afname piekafvoer	toename basisafvoer	gemiddelde stroom- snelheid	variatie stroom- snelheid	afname droogval	
ecologische optimalisatie onderhoud en beheer beek	0	0	2	6	0	0	8	8	12	15	8	
opheffen / beperken wateronttrekkingen	0	0	0	0	27	24	0	24	12	0	12	
verwijderen / beperken drainage (sloten)	-2	2	0	6	27	16	24	24	0	0	4	
ontwikkeling inundatiezones	4	4	1	-6	9	8	16	8	0	5	0	
vermindere bemesting stroomgebied	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
passieve meanderontwikkeling	2	2	0	0	9	8	0	0	6	15	0	
graven van meanders (incl.verkleining beddingdimensies)	2	2	0	0	9	8	0	0	6	15	0	
vermindere overstortfrequentie roleringsystemen	0	0	0	0	0	0	8	0	0	0	0	
aanpassing dwarsprofiel met verkleining geulcapaciteit	0	0	0	0	9	8	-8	8	12	15	4	
afleiden effluënten	0	0	0	3	0	0	0	0	0	0	0	
verbetering zuiveringsprocessen RWZI's	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
opheffen lozingen huishoudelijk afvalwater	0	0	0	3	0	0	0	0	0	0	0	
aanleg hydrologische bufferzones	0	0	0	0	18	8	8	8	6	0	4	
bevorderen infiltratie / afkoppelen neerslagafvoer	0	0	0	0	18	8	24	16	0	0	0	
aanleg beekbegeleidende beplanting	0	0	3	6	0	0	0	0	6	10	0	
opnieuw verbinden afgesneden bovenstroomse trajecten	0	0	0	3	0	0	0	16	6	5	4	
alternatieve waterconserving (cascades, ed)	0	0	0	0	0	0	0	0	12	10	0	
maaienveldverlaging beekdal	6	6	0	0	0	16	0	0	0	0	0	
plaatsing harde objecten in de bedding	0	0	0	0	0	0	0	0	6	15	4	
aanpassing dwarsprofiel met behoud geulcapaciteit	2	2	0	0	0	8	0	0	0	10	0	
aankoppelen oude meanders	0	2	0	0	9	8	0	0	0	5	0	
omvorming korte vegetaties naar bos	0	2	3	9	9	0	8	8	0	0	0	
aanleg omleidingskanalen / bypass (tbv afleiding piekafvoer)	2	2	0	-3	9	0	24	0	-6	-5	0	
aanleg bufferstroken, exclusief beplanting (voor stoffen)	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
aanleg "horse-shoe wetlands"	2	2	0	-3	9	8	0	0	-6	5	0	
aanleg poelen	4	4	0	0	9	16	0	0	0	0	0	
aanleg vispassages (natuurtechnische stuwen)	0	0	0	0	0	0	0	0	6	10	4	
aanleg retentiebekkens	4	0	1	-3	9	0	24	0	0	0	4	
verwijderen kades en dijken (tbv inundatie)	-2	-2	0	-3	0	8	8	0	0	0	0	
aanleg pools en riffles	0	0	0	0	0	0	0	0	0	10	4	
aanleg paaiplaatsen (grindbeddingen)	0	0	0	0	0	0	0	0	0	5	0	
aanleg helofytenfilters	2	0	0	-6	9	0	8	0	-6	-5	0	
verwijderen oever- en bodemverdediging	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
aanleg zandvang	0	0	-1	-3	0	0	0	0	0	0	0	
aanleg overhangende oevers / steilranden	2	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
aanleg macrofauna- habitats	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
aanleg kunstmatige refugia	0	0	1	3	0	0	0	0	0	0	0	
aanleg passeerbare kunstwerken (wildpassages)	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
omvorming bos naar korte vegetaties	0	2	-3	-9	-9	0	-8	-8	0	0	0	
aanpassing dwarsprofiel met vergroting geulcapaciteit	2	2	-1	-3	-18	-8	8	0	-12	5	0	
verwijderen stuwen	0	0	0	0	-27	-24	-24	-16	18	10	-12	

MAATREGELEN-EFFECTEN-MATRIX (SORTERING INCLUSIEF WEEGFACTOREN)

Maatregel	6	6	6	4	4	1	9	7	8	8	8	4	3	4
	morfologie	toename	variatie	variatie	org. stof	afn. nutr	toen. macro-	zuur-	afn. tox.	zuur-	8	migratie	rust	ontw.
	stabiliteit	dynamiek	bedding	bedding	(saprobie)	(trofie)	ionen HCO ₃ -,	graad	stoffen	stof		aq.org		vegetatie
ecologische optimalisatie onderhoud en beheer beek	12	18	12	8	3	9	0	8	8	16	8	12	9	12
opheffen / beperken wateronttrekkingen	6	12	0	0	0	9	21	8	0	0	4	4	0	8
verwijderen / beperken drainage (sloten)	0	0	4	4	0	9	14	8	0	0	0	0	0	0
ontwikkeling inundatiezones	12	18	4	12	3	0	0	0	0	0	0	12	9	12
verminderen bemesting stroomgebied	0	0	0	0	0	27	14	24	24	24	8	8	0	8
passieve meanderontwikkeling	12	18	12	8	0	0	0	0	0	8	12	12	0	8
graven van meanders (incl. verkleining beddingdimensies)	12	18	12	8	0	0	0	0	0	8	12	12	0	4
verminderen overstortfrequentie rioleringsystemen	0	0	0	0	0	27	7	8	24	24	4	4	0	0
aanpassing dwarsprofiel met verkleining geulcapaciteit	6	18	8	8	0	0	0	0	0	8	4	4	0	0
afleiden effluënten	0	0	0	0	0	27	0	0	0	8	4	4	0	0
verbetering zuiveringsprocessen RWZI's	0	0	0	0	0	27	7	8	24	24	4	4	0	0
opheffen lozingen huishoudelijk afvalwater	0	0	0	0	0	27	7	8	24	24	4	4	0	0
aanleg hydrologische bufferzones	0	0	0	0	0	9	0	8	8	0	4	4	0	4
bevorderen infiltratie / afkoppelen neerslagafvoer	0	0	0	0	0	0	7	0	8	0	0	0	0	0
aanleg beekbegeleidende beplanting	6	0	0	4	2	9	0	0	8	0	8	8	6	12
opnieuw verbinden afgesneden bovenstroomse trajecten	6	6	0	4	0	0	0	0	8	8	12	12	0	0
alternatieve waterconservering (cascades, ed)	6	12	4	8	0	0	0	0	0	8	12	12	0	0
maaiveldverlaging beekdal	0	0	0	0	0	9	7	8	8	0	0	0	0	12
plaatsing harde objecten in de bedding	0	12	8	8	0	0	0	0	0	8	8	8	0	0
aanpassing dwarsprofiel met behoud geulcapaciteit	0	6	8	8	0	0	0	0	0	0	12	12	0	12
aankoppelen oude meanders	6	6	4	4	1	0	0	0	0	0	8	8	6	8
omvorming korte vegetaties naar bos	0	0	4	4	2	9	0	0	0	0	0	0	0	12
aanleg omleidingskanalen / bypass (tbv afleiding piekafvoer)	12	-6	4	4	1	0	0	0	0	0	12	12	6	8
aanleg bufferstroken, exclusief beplanting (voor stoffen)	0	0	0	0	0	9	7	8	16	16	4	4	3	0
aanleg "horse-shoe wetlands"	0	6	4	4	-1	9	7	0	0	0	4	4	3	8
aanleg poelen	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	12	12	6	8
aanleg vispassages (natuurtechnische stuwen)	0	6	4	4	0	0	0	0	0	8	12	12	0	0
aanleg retentiebekkens	6	0	0	4	1	0	0	0	0	-8	4	4	3	4
verwijderen kades en dijken (tbv inundatie)	6	6	4	4	1	0	0	0	0	0	8	8	3	4
aanleg pools en riffles	0	12	8	4	0	0	0	0	0	0	4	4	0	0
aanleg paaiplaatsen (grindbeddingen)	6	6	4	4	0	0	0	0	0	0	8	8	3	0
aanleg helofytenfilters	0	-6	0	0	-1	9	7	0	8	0	4	4	3	8
verwijderen oever- en bodemverdediging	0	6	4	4	0	0	0	0	0	0	8	8	0	8
aanleg zandvang	12	-12	0	0	-1	9	0	0	8	0	0	0	3	8
aanleg overhangende oevers / steilranden	0	6	4	4	0	9	0	0	0	0	0	0	0	0
aanleg macrofauna- habitats	0	0	0	4	2	0	0	0	0	0	8	8	0	0
aanleg kunstmatige refugia	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	4	4	3	0
aanleg passeerbare kunstwerken (wildpassages)	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
omvorming bos naar korte vegetaties	0	0	0	0	-2	0	0	0	0	0	0	0	0	12
aanpassing dwarsprofiel met vergroting geulcapaciteit	-6	-12	0	-4	1	0	0	0	0	0	4	4	0	12
verwijderen stuwen	-18	18	8	4	0	0	0	0	0	16	8	8	0	0

Bijlage 4: Vuistregels ontwerp

Met de hier vermelde vuistregels kan enig inzicht worden verkregen in de belangrijkste karakteristieke grootheden van een beek of rivier. Deze vuistregels dienen met de nodige voorzichtigheid te worden toegepast aangezien ze slechts een grove indicatie geven. Gezond verstand en historische gegevens hebben de voorkeur.

b/d-ratio

$$b/d = 27 Q_m^{0,09} / 0,6 M^{0,732}$$

met Q_m = gem. jaardebiet (m^3/s)
en M = percentage $< 0,074$ mm

$$b/d = 255 M^{-1,08}$$

breedte en diepte

$$b = 10 Q_m^{0,38} / M^{0,39}$$

b = bankfull width=breedte bij
geulcapaciteit (m)

$$d = 0,21 M^{0,342} Q_m^{0,29}$$

d = bankfull depth=diepte bij
geulcapaciteit (m)

meanderpatronen

$$ML = 560 Q^{0,34} / M^{0,74}$$

ML = meanderlengte (m)

$$P = 0,94 M^{0,25}$$

P = sinuositeit (-)

bron: Schumm 1977, omgerekend naar SI-eenheden

Bijlage 5: Begrippenlijst

abiotisch	=	het niet-levende milieu
afvoer (debiet)	=	de hoeveelheid water die per tijdseenheid door een watergang stroomt ($Q \text{ m}^3/\text{s}$)
afvoerpatroon	=	het verloop van het debiet in de tijd
anthropogeen	=	door de mens beïnvloed
aquatisch	=	aan water gebonden
atmotroof	=	van de neerslag afhankelijk
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
beekdal	=	gebied tussen beekflank en beek
beekflank	=	gebied langs de rand van een stroomgebied
biotisch	=	het levende milieu
biotoop	=	woongebied voor een groep van organismen
bodemtransport	=	rollende en/of schuivende verplaatsing van beddingmateriaal over de beddingbodem
beddingdimensies	=	breedte en diepte van een bedding
drift	=	de verplaatsing van organismen in stromend water
dynamisch evenwicht	=	temporele variatie van een systeem rond om een evenwicht
ecologische potentie	=	de ecologische ontwikkelingsmogelijkheden bezien 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
habitat	=	woonplaats of woongebied van een organisme
heuvellandbeek	=	relatief snel stromende beek in heuvel landschappen met een voor nederlandse begrippen groot verhang
laaglandbeek	=	relatief traag stromende beek in landschappen met een relatief gering reliëf
lithotroof	=	qua samenstelling afhankelijk van de grond
macrofauna	=	met het blote oog waarneembare ongewervelde organismen
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 proces waarbij, onder invloed van sedimenttransport, de bedding een slingerend verloop krijgt

meanderbreedte	=	afstand, dwars op de beek tussen twee opeenvolgende bochten
meanderlengte	=	afstand hemelsbreed, in de lengterichting, tussen twee opeenvolgende bochten
morfodynamiek	=	de mate waarin veranderingen in de morfologie optreden
morfologische stabiliteit	=	de evenwichtstoestand waarbij sediment transport optreed zonder dat de beddingdimmersies op langere termijn (ca. 50 jaar) veranderen
rheofiel	=	stroomminnend
sinuositeit	=	mate van slingeren van een watergang
streefbeeld	=	van de actuele toestand en de referentie afgeleide beschrijving van een na te streven hoedanigheid van een ecosysteem
stroomgebied	=	gebied van waaruit een watergang haar water betreft
substraatmozaïek	=	ruimtelijk patroon van substraattypen
thalweg	=	lijn die de diepste plekken in een watergang met elkaar verbind
zwevend transport	=	verplaatsing van materiaal in gesuspendeerd vorm

Landbouw
Natuurbeheer en Visserij

**Dienst Landinrichting en
Beheer Landbouwgronden**

Griffioenlaan 2
Postbus 20021
3502 LA Utrecht
Telefoon 030-(2)858000
Fax 030-(2)858999

