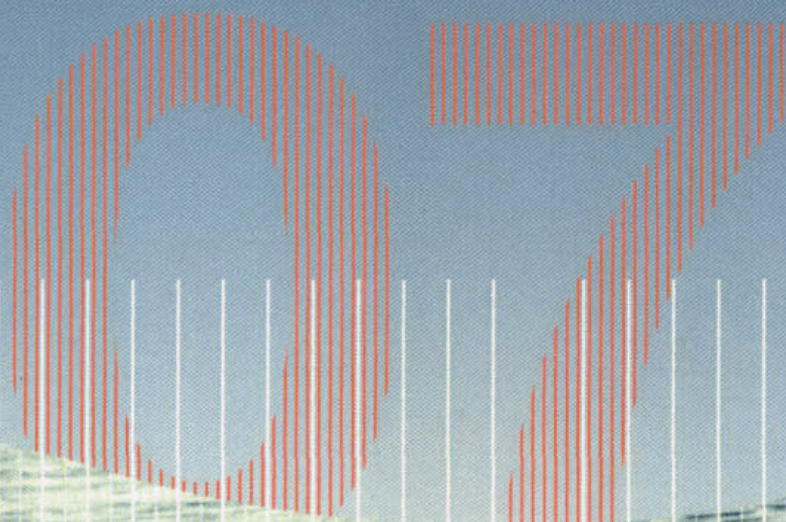


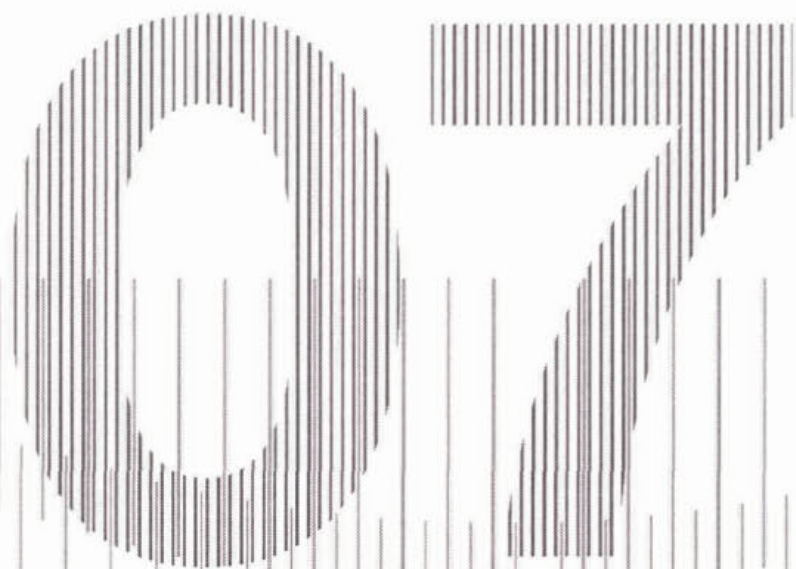
Effecten op aquatische ecosystemen

waternoord



stowa

Effecten op aquatische ecosystemen



Een beslissingsondersteunend systeem voor
de beoordeling van de effecten van ingrepen in
de hydromorfologie op aquatische systemen

Colofon:

Uitgave:
STOWA, Utrecht
Maart 2002

Tekst:
J.S. van der Molen
P.F.M. Verdonschot

Vormgeving:
Nicoline Caris, grafische vormgeving BnO

Druk:
Kruyt Grafisch Advies Bureau

STOWA rapportnummer 2002-09
ISBN nummer 90-5773-163-0

Bestelwijze STOWA publicaties

Publicaties en publicatieoverzicht van de STOWA is uitsluitend te bestellen bij:
Hageman Fulfilment, adres: Postbus 1110, 3330 CC Zwijndrecht
Telefoonnummer 078 629 33 32, faxnummer 078 610 42 87, e-mail hff@wxs.nl
O.v.v. ISBN of STOWA rapportnummer en een duidelijk afleveradres.

Ten geleide

Watnood is een methode voor het ontwerpen van de waterhuishoudkundige infrastructuur in het regionale waterbeheer. In 1998 hebben de waterschappen, verenigd in de Unie van Waterschappen en de Dienst Landelijk Gebied (DLG) besloten Watnood als de standaard voor het ontwerpen van waterlopen te gaan gebruiken. De Watnood-filosofie is onder meer vastgelegd in het rapport "Grondwater als leidraad voor Oppervlaktewater". Dit rapport is een gezamenlijke productie van de Dienst Landelijk Gebied en de Unie van Waterschappen en is in 1998 aangeboden aan de minister van Verkeer en Waterstaat.

Watnood markeert in het waterbeheer een trend die de laatste 10 jaar zichtbaar is geworden. Een trend die eruit bestaat dat meer en meer het grondwaterregime en de functietoekenning aan een gebied als leidraad voor het beheer van het watersysteem worden gebruikt. Basis voor het werken volgens Watnood is het watersysteem. In veel gevallen hanteerden waterschappen en provincies al (delen van) deze methodiek, maar dit is nu expliciet gemaakt.

De methode Watnood kan als volgt worden samengevat: In een gebied hebben de waterbeheerders te maken met verschillende functies en grondsoorten. Bij elke combinatie van functie en grondsoort kan een hydrologisch regime worden gekarakteriseerd waarmee deze combinatie optimaal tot haar recht komt. Dit regime wordt aangeduid met de term Optimaal Grond- en Oppervlaktewaterregime (OGOR). Door vooral ruimtelijke verschillen in de functies en de grondsoort zal dit OGOR er van plaats tot plaats anders uitzien. Het Actuele Grond- en Oppervlaktewaterregime (AGOR) kan afwijken van het OGOR. Via een toetsing van de doelrealisatie van de verschillende functies wordt vervolgens het Gewenste Grond- en Oppervlaktewaterregime bepaald.

De ontwerpmethodiek volgens Watnood wijkt op een aantal punten af van de in het verleden gangbare ontwerpmethoden. Het gaat om een andere wijze van denken, maar vereist bovendien meer gebiedsinformatie en meer kennis van methoden en achtergronden dan voorheen.

Dit rapport beschrijft een methode om de effecten van ingrepen in het waterhuishoudkundig systeem op aquatische ecosystemen te beoordelen. Door ingrepen in het waterhuishoudkundig systeem veranderen de hydromorfologische omstandigheden en daarmee de standplaatsfactoren voor de aquatische ecosystemen.

Samenvatting

Dit rapport geeft de resultaten weer van een studie naar de mogelijke gevolgen van waternoodmaatregelen op aquatische natuur. Hierbij is een keten opgesteld die start bij het effect op hydrologische factoren van een voorgesteld scenario en eindigt bij de waardering van het effect op het waterecosysteem gemeten in relatie tot een referentie.

In eerste instantie worden ecologische processen in sloten en beken beschreven die beïnvloed kunnen worden door waterhuishoudkundige maatregelen. De stromings- en structuurfactoren van deze processen zijn volgens het 5-S-model geïnventariseerd. Vervolgens zijn voor een groot aantal waterhuishoudkundige ingrepen de gevolgen voor deze factoren beschreven in termen van een positieve, negatieve of geen verandering. Uiteindelijk wordt een berekening voorgesteld waarin het overall effect van een maatregel op een waterloop wordt ingeschat in termen van een theoretische afstand tot een referentie, in dit geval een passend natuurdoeltype uit het Aquatisch Supplement.

In dit project is met name gekeken naar de gevolgen van hydromorfologische veranderingen op de aquatische natuur. De centrale rol die de chemie speelt bij het voorkomen van levensgemeenschappen wordt wel degelijk onderkend, maar is noodgedwongen buiten beschouwing gebleven. De invloed van ingrepen in de waterhuishouding op processen die van belang zijn voor de waterkwaliteit zijn nog niet voldoende bekend.

De beschreven effecten van de voorgestelde scenario's op stromings- en structuurfactoren zijn voornamelijk gebaseerd op literatuurgegevens en *expert judgement*. Uit deze studie is nadrukkelijk de wens naar voren gekomen voor het ontwikkelen van een doelbenadering met daarin opgenomen alle ecologisch relevante parameters.

De STOWA in het kort

De Stichting Toegepast Onderzoek Waterbeheer, kortweg STOWA, is het onderzoeksplatform van Nederlandse waterbeheerders. Deelnemers zijn alle beheerders van grondwater en oppervlaktewater in landelijk en stedelijk gebied, beheerders van installaties voor de zuivering van huishoudelijk afvalwater en beheerders van waterkeringen. In 2002 waren dat alle waterschappen, hoogheemraadschappen en zuiveringsschappen, de provincies en het Rijk (i.c. het Rijksinstituut voor Zoetwaterbeheer en de Dienst Weg- en Waterbouw).

De waterbeheerders gebruiken de STOWA voor het realiseren van toegepast technisch, natuurwetenschappelijk, bestuurlijk juridisch en sociaal-wetenschappelijk onderzoek dat voor hen van gemeenschappelijk belang is. Onderzoeksprogramma's komen tot stand op basis van behoefte-inventarisaties bij de deelnemers. Onderzoekssuggesties van derden, zoals kennisinstututen en adviesbureaus, zijn van harte welkom. Deze suggesties toetst de STOWA aan de behoeften van de deelnemers.

De STOWA verricht zelf geen onderzoek, maar laat dit uitvoeren door gespecialiseerde instanties. De onderzoeken worden begeleid door begeleidingscommissies. Deze zijn samengesteld zijn uit medewerkers van de deelnemers, zonodig aangevuld met andere deskundigen.

Het geld voor onderzoek, ontwikkeling, informatie en diensten brengen de deelnemers samen bijeen. Momenteel bedraagt het jaarlijkse budget zo'n vijf miljoen euro.

U kunt de STOWA bereiken op telefoonnummer: 030-2321199.

Ons adres luidt: STOWA, Postbus 8090, 3503 RB Utrecht.

Email: stowa@stowa.nl.

Website: www.stowa.nl.

Inhoud

Colofon

Ten geleide

Samenvatting

De STOWA in het kort

1	Inleiding.....	1
1.1	Waternood	1
1.2	Waterkwaliteit in Waternood.....	1
1.3	Gevolgen voor Aquatische Ecosystemen	1
1.4	Totstandkoming van dit rapport	3
1.5	Leeswijzer	3
2	Beschrijving ecologische processen in beken en sloten	4
2.1	5-S-Model	4
2.1.1	<i>Systeemvoorwaarden</i>	<i>5</i>
2.1.2	<i>Stroming.....</i>	<i>5</i>
2.1.3	<i>Structuren</i>	<i>6</i>
2.1.4	<i>Stoffen.....</i>	<i>7</i>
2.1.5	<i>Soorten.....</i>	<i>7</i>
2.2	Beschrijving van factoren als onderdelen van de factorcomplexen stroming en structuur.....	8
2.2.1	<i>Inleiding.....</i>	<i>8</i>
2.2.2	<i>Kwel</i>	<i>8</i>
2.2.3	<i>Normaal- en hoogwaterpeil en peildynamiek.....</i>	<i>9</i>
2.2.4	<i>Permanentie.....</i>	<i>9</i>
2.2.5	<i>Stroomsnelheid en -dynamiek.....</i>	<i>10</i>
2.2.6	<i>Basisafvoer en -dynamiek in <u>beken</u>.....</i>	<i>11</i>
2.2.7	<i>Topafvoer</i>	<i>11</i>
2.2.8	<i>Lengteprofiel van <u>beken</u>.....</i>	<i>11</i>
2.2.9	<i>Dwarsprofielontwikkeling, organisch materiaal en substraatmozaïeken in <u>beken</u>.....</i>	<i>12</i>
2.2.10	<i>Dwarsprofiel en steilheid van het <u>sloot</u>-talud.....</i>	<i>13</i>
2.2.11	<i>Vegetatie in sloten, groeivormen</i>	<i>14</i>
2.2.12	<i>Sediment in sloten</i>	<i>14</i>

3	Beschrijving van de watertypen	15
3.1	Beschrijving van beektypen	15
3.1.1	<i>Droogvallende beken</i>	17
3.1.2	<i>(Zwak) zure beken</i>	19
3.1.3	<i>Snelstromende beken</i>	21
3.1.4	<i>Langzaam stromende beken</i>	26
3.2	Beschrijving van de Sloottypen	30
3.2.1	<i>Brakke sloten</i>	31
3.2.2	<i>(Zwak) zure zandsloten</i>	31
3.2.3	<i>Zure hoogveensloten</i>	32
3.2.4	<i>Oligo- tot mesotrofe zandsloten</i>	33
3.2.5	<i>Mesotrofe veensloten</i>	34
3.2.6	<i>Eutrofe veensloten</i>	34
3.2.7	<i>Kleisloten</i>	36
3.3	Beschrijving van ecologische ranges van de watertypen per hydro-morfologische factor	37
4	Beschrijving van mogelijke “Waterlood” maatregelen.....	42
4.1	Beschrijving van maatregelen in beek- en slootssystemen	42
4.1.1	<i>Maatregelen ten behoeve van herinrichting beken en sloten</i>	43
4.1.2	<i>Maatregelen ten behoeve van peilbeheer beken en sloten</i>	45
4.1.3	<i>Maatregelen ten behoeve van onderhoud beken en sloten</i>	47
4.2	Beschrijving van effecten van maatregelen op ecologische factoren in beek- en slootssystemen (tabellen)	47
5	Effecten van ‘Waterlood’ maatregelen op beek- en slootssystemen	52
5.1	Inleiding	52
5.2	Methodiek	52
5.3	Aanbevelingen	58
	Literatuur	61
	Bijlage I	63
	Bijlage II	66

1 Inleiding

1.1 Waternood

Waternood is een methode die als leidraad voor het ontwerp en beheer van waterhuishoudkundige infrastructuur wordt gebruikt in het regionale waterbeheer. In 1998 hebben de Unie van Waterschappen en de Dienst Landelijk Gebied besloten Waternood als de standaard voor het ontwerpen van waterlopen te gaan gebruiken.

De methode Waternood kan als volgt worden samengevat: in een gebied hebben de waterbeheerders te maken met verschillende functies en grondsoorten. Bij elke combinatie van functie en grondsoort kan een hydrologisch regime worden gekarakteriseerd waarmee deze combinatie optimaal tot haar recht komt. Dit regime wordt aangeduid met de term Optimaal Grond- en Oppervlaktewaterregime (OGOR). Door vooral ruimtelijke verschillen in de functies en de grondsoort zal dit OGOR er van plaats tot plaats anders uitzien. Het Actuele Grond- en Oppervlaktewaterregime (AGOR) kan afwijken van het OGOR. Via toetsing van de doelrealisatie van de verschillende functies wordt vervolgens het Gewenste Grond- en Oppervlaktewaterregime bepaald.

1.2 Waterkwaliteit in Waternood

Het aspect waterkwaliteit is nog onvoldoende in de methode Waternood verankerd. Het staat buiten kijf dat een veranderd grond- en oppervlaktewaterregime een effect zal hebben op fysische en chemische variabelen. Een verandering van die variabelen zal ook terug te zien zijn in de samenstelling van aquatische levensgemeenschappen. Omdat de gevolgen van waternoodmaatregelen voor chemische variabelen op dit moment nog onduidelijk zijn, wordt binnen dit project de nadruk gelegd op de gevolgen voor aquatische levensgemeenschappen van veranderde hydromorfologische omstandigheden.

1.3 Gevolgen voor Aquatische Ecosystemen

Het doel van dit project is om vuistregels op te stellen waarmee de gevolgen van ingrepen in de waterhuishouding voor aquatische ecosystemen kunnen worden aangegeven. Hiervoor worden ecologische processen in sloten en beken beschreven die beïnvloed kunnen worden door waterhuishoudkundige maatregelen. In deze fase van het project wordt met name gekeken naar de gevolgen van hydromorfologische veranderingen op de aquatische natuur. De centrale rol die de chemie speelt bij het voorkomen van levensgemeenschappen wordt wel degelijk onderkend, maar in dit stadium wordt hier niet naar gekeken.

Binnen dit deelproject is voor een gevolgbenadering gekozen omdat de doelstellingen van waterlood liggen bij een optimaal grondwaterregime dat aansluit bij de functie-toekenning en grondsoorten in een gebied. Het streven naar een bepaald watertype, dat in een doelbenadering zou passen, komt hier vooralsnog niet aan bod. Het is voor de toekomst echter wel dringend gewenst.

Sleutelfactoren

De beïnvloeding van het waterecosysteem verloopt via diverse procesketens. Het is belangrijk om voor 'effectvoorspelling' een koppeling te leggen tussen de voorgenomen wijzigingen en de hydromorfologie van sloten of beken en de daarmee samenhangende processen enerzijds en de gevolgen voor de biota (uitgedrukt in termen van de te verwachten toestand versus de referentie (het aquatisch natuurdoeltype)) anderzijds.

De koppeling tussen het verwachte hydromorfologisch milieu en de biotische effecten verloopt via sleutelfactoren. Ten aanzien van de biota zijn dat die milieuv variabelen die belangrijk zijn voor het al dan niet voorkomen van aquatische levensgemeenschappen in hun habitat. Voor de effectvoorspelling is het nodig de sleutelfactoren te kennen en de ranges waarbij wijzigingen optreden. De sleutelfactoren staan niet alleen direct in relatie tot de organismen, er is ook sprake van onderlinge afhankelijkheid. Zo zijn bijvoorbeeld in beken structuren zoals bladdammen een gevolg van de afvoer, maar kunnen deze dammen op hun beurt afvoerpieken verminderen.

Schaal

De verbanden tussen enerzijds hydrologische en morfologische factoren en anderzijds planten en dieren in beken en sloten, verlopen op verschillende niveaus.

Op het niveau van het habitat (microschaal) wordt de relatie tussen de organismen en de habitatvormende processen (stroomsnelheid en -variatie), waterbeweging, peilfluctuatie, aard en samenstelling van het substraat) in onderlinge interactie bepaald. Deze termen zijn tot op heden vooral in kwalitatieve termen beschreven.

Op het niveau van oppervlaktewater (locale schaal) spelen factoren zoals breedte, diepte, droogval, gemiddelde stroomsnelheid en bodem/substraattypen een rol. Deze interacties zijn tot op heden redelijk in semi-kwantitatieve termen beschreven (typologieën).

Op het niveau van de afwateringseenheid (regionale schaal) spelen factoren zoals geomorfologie, afvoer, watertype en bodemsamenstelling een rol. Voor deze interacties is nog weinig aandacht geweest.

1.4 Totstandkoming van dit rapport

Dit onderzoek naar de gevolgen van ingrepen in de waterhuishouding voor aquatische natuur heeft plaatsgevonden in het kader van het onderzoeksprogramma Waternood van de STOWA. Het onderzoek is uitgevoerd door dr.ir. P.F.M. Verdonschot en dr.ir. J.S. van der Molen van Alterra. Zij zijn hierin begeleid door een commissie bestaande uit de volgende personen:

ir. L.E.A. Moonen (voorzitter; Waterschap Groot Salland)
ir. T.G.L. Bardoel (Hoogheemraadschap van Rijnland)
J.A. van Berkum M.Sc. (Waterschap Velt en Vecht)
ir. G.A.P. van den Eertwegh (Hoogheemraadschap van Rijnland)
ir. R.C. Gerritsen (Waterschap Vallei & Eem)
ing. M.A.S. Hofman (Zuiveringschap Limburg)
ir. F.M.R. Leus (RIZA)
drs. M. Schreijer (Hoogheemraadschap Uitwaterende Sluizen)
drs. B. van der Wal (STOWA)
ir. F.R. Goossensen (namens STOWA)
ir. S.C.C. Helmyr (namens STOWA)

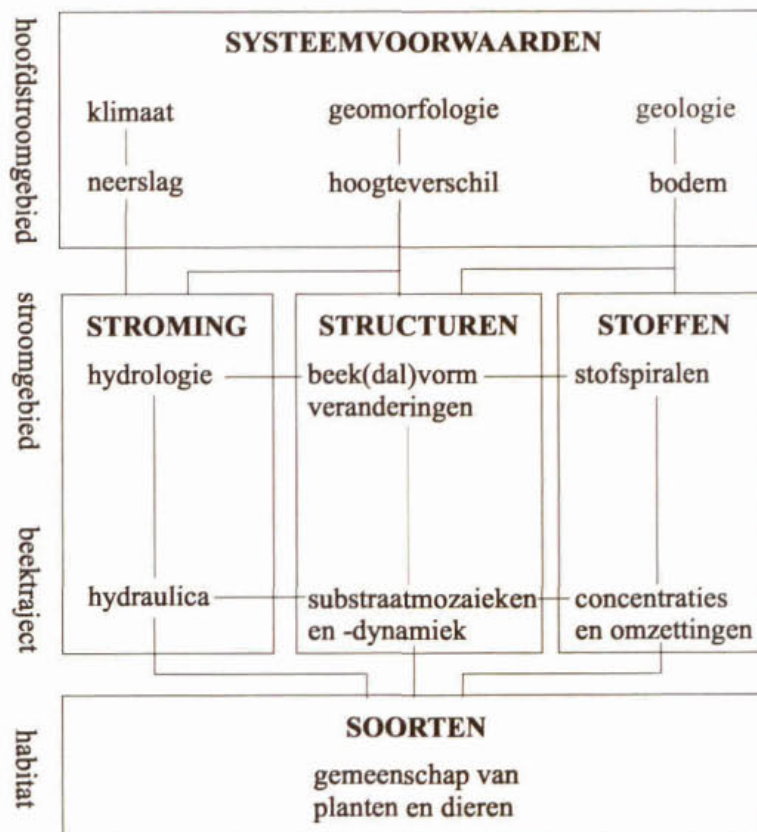
1.5 Leeswijzer

Dit rapport is als volgt opgebouwd: In eerste instantie worden belangrijke ecologische processen beschreven in beken en sloten. De sleutelfactoren die binnen hydromorfologische processen een rol spelen worden vervolgens benoemd en gedefinieerd voor de beek- en sloottypen uit het Aquatische Supplement (Nijboer 2000; Verdonschot 2000). Vervolgens worden een aantal maatregelen besproken die binnen het Waternoodprogramma zouden kunnen worden toegepast. De effecten van deze maatregelen op de levensgemeenschappen in beken en sloten worden vervolgens besproken in termen van afstand tot de besproken watertypen.

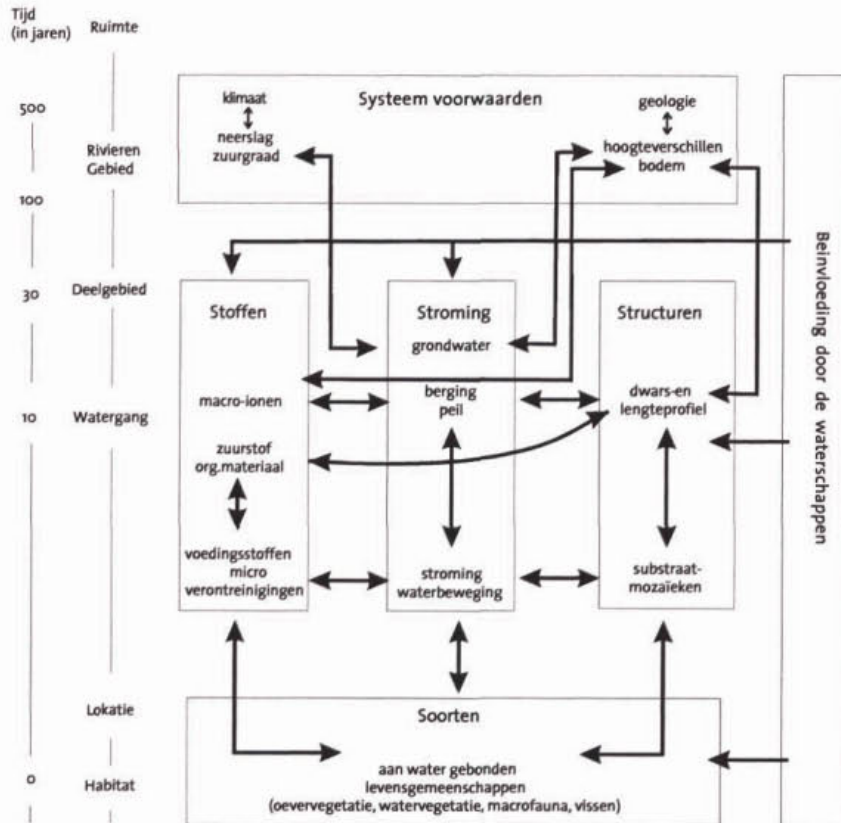
2 Beschrijving ecologische processen in beken en sloten

2.1 5-S-Model

Uit verschillend ecologisch en typologisch onderzoek aan beken en sloten in Nederland komen een aantal factoren naar voren die bepalend zijn voor de aquatische levensgemeenschappen. Deze factoren zijn geschematiseerd in het 5-S-Model (Verdonschot *et al.* 1995; Verdonschot *et al.* 1998; Verdonschot *et al.* 1999). De opbouw van de ecologische systeembeschrijving is gebaseerd op vijf factorcomplexen: systeemvoorwaarden, stroming, structuur, stoffen en soorten. In het kader van dit project wordt de nadruk gelegd op de factorcomplexen stroming en structuur (Figuur 1 & Figuur 2).



Figuur 1 Het 5-S-Model voor beken. Ecologische factorcomplexen, hun samenhang en de menselijke beïnvloeding in het beekdalsysteem (naar Verdonschot *et al.* 1995).



Figuur 2 Het 5-S-Model voor sloten. Ecologische factorcomplexen, hun samenhang en de menselijke beïnvloeding in stilstaande wateren en sloten (naar Verdonschot et al. 1999).

2.1.1. *Systeemvoorwaarden*

Het klimaat, de geologie en de geomorfologie zijn systeemvoorwaarden die spelen op een hoog ruimtelijk, temporeel en procesmatig schaalniveau. Een aantal door menselijke activiteiten beïnvloede factoren zoals atmosferische depositie en klimaatsveranderingen spelen op dit niveau. Ingrepen in de waterhuishouding richten zich doorgaans niet op dit niveau, maar er dient wel degelijk rekening te worden gehouden met bijvoorbeeld een mogelijk verhoogde regenval als gevolg van klimaatsverandering.

2.1.2. *Stroming*

De combinatie van systeemvoorwaarden bepaalt in belangrijke mate de hydrologie van een stroomgebied. De hydrologie is op haar beurt de bepalende factor voor de levensgemeenschappen. De belangrijkste hydrologische processen op het niveau van het stroomgebied zijn: neerslag, (evapo-)transpiratie, oppervlakkige en ondiepe afstroming, infiltratie, kwel, ondiepe en diepe grondwaterstroming. In het beektraject spelen debiet en hydraulica (met name stroomsnelheid en -verdeling) een belangrijke rol. Voor sloten is met name het waterpeil de belangrijkste hydrologische factor.

Onderdeel van het factorcomplex 'Stroming' zijn de factoren grondwater, oppervlaktewater hydrologie en oppervlaktewater hydraulica. De factor grondwater beïnvloedt zowel de kwaliteit als de kwantiteit van het oppervlaktewater. In gebieden waar de grondwaterstroming netto neerwaarts is gericht (infiltratiegebieden) is de grondwaterstand doorgaans laag en leiden variaties in de wateraanvoer (neerslag) tot aanzienlijke fluctuaties in de grondwaterstand. In kwelgebieden wordt het oppervlaktewater doorgaans gevoed door periodiek kwellend diep grondwater (seizoensafhankelijk) of door een continue aanvoer van kwelwater met verschillende intensiteit. Regenwater wordt doorgaans oppervlakkig of via ondiep grondwater naar de watergangen afgevoerd. De hoogte en dynamiek van het grondwaterpeil wordt in Nederland met name door de mens bepaald.

De oppervlaktewaterhydrologie van een watergang in een stroomgebied wordt bepaald door de dimensies (breedte/diepte/natte doorsnede) van de watergang, de stroomsnelheid en afvoer in de watergang en van het stroomgebied. In het kader van dit project wordt vooral gekeken naar de hydrologische factoren in de watergang die beïnvloed kunnen worden door ingrepen in de waterhuishouding. Hierbij valt te denken aan waterdiepte, basis- en piekafvoer, stagnant/stromend water, droogval en de functie die een watergang vervult binnen een slotenstelsel (doorstroomd/geïsoleerd).

Hydraulische factoren richten zich met name op het stroomsnelheidsprofiel in een watergang. De factoren die dat profiel beïnvloeden (zoals de weerstand van macrofyten) zijn onderdeel van het factorcomplex 'Structuren'.

2.1.3 *Structuren*

In natuurlijke systemen hebben waterstromen een belangrijk effect op de vorm van de watergang. Dit geldt met name voor de ontwikkeling van het lengte- en dwarsprofiel van beken. Ook het ontstaan en verdwijnen van structuren in beken, zoals substraatmozaïeken, bladdammen en detritus-zones, worden sterk door waterstromen beïnvloed. In sloten is de belangrijkste structuurfactor meestal het door de waterbeheerder bepaalde dwars- en lengteprofiel. Waterplanten kunnen in beken en sloten zorgen voor vormverschillen en kunnen een belangrijke habitat zijn voor ander waterorganismen.

Onderdeel van het factorcomplex 'Structuren' zijn het lengteprofiel (meanderend, vlechtend, recht), de structuur en vorm van de bedding en de substraatmozaïeken. Het lengteprofiel van natuurlijke beken wordt gekenmerkt door het meanderend karakter. De structuur en vorm van de bedding wordt bepaald door het dwarsprofiel (steil/flauw talud) en mate van beschutting. Variaties in het substraat worden veroorzaakt door verschillende vormen van vegetatie, organisch materiaal en grondsoort.

Belangrijke structuurfactoren in sloten worden met name beïnvloed door het periodiek onderhoud, zoals schonen en baggeren. Het natuurlijke verlandingsproces wordt op deze wijze in een successiefase gehouden. Hierbij zijn waterplantenvegetaties een belangrijke structuurbepalende factor. De verschillende groeivormen vormen een gevarieerd substraat voor diverse levensgemeenschappen in het systeem. De vorm en dimensies van het dwars- en lengteprofiel van sloten zijn geënt op hun waterhuishoudkundige functie, hoewel er wel rekening kan worden gehouden met de habitateisen van diverse water- en oeverplanten door middel van het aanleggen van natuurvriendelijke oevers.

2.1.4 *Stoffen*

De stofstromen in sloot- en beeksystemen volgen de bovengenoemde waterstromen. Het voorkomen (vorm en hoeveelheid) van stoffen is afhankelijk van een breed scala van chemische en biologische processen. Over het algemeen vindt er in stroomafwaartse richting een toename plaats van de concentratie van opgeloste stoffen. Door de opname van stoffen door planten en dieren treden er tevens kringlopen van stoffen op. Bij een netto afvoer van water krijgen deze kringlopen de vorm van spiralen. In het kader van dit project wordt niet ingegaan op de verandering van chemische samenstelling van het water als gevolg van een veranderde waterhuishouding.

2.1.5 *Soorten*

Uit bovenstaande blijkt dat er in het stroomgebied belangrijke gradiënten van fysische en chemische omstandigheden bestaan. De samenstelling van de aquatische levensgemeenschappen is gerelateerd aan deze gradiënten. Door plaatselijke verschillen in de combinatie van waterkwantiteit en -kwaliteit ontstaat een mozaïekpatroon van levensgemeenschappen.

2.2 Beschrijving van factoren als onderdelen van de factorcomplexen stroming en structuur.

2.2.1 Inleiding

In deze paragraaf worden de factoren besproken als onderdeel van de factorcomplexen 'Stroming' en 'Structuur' in termen van hun mogelijke beïnvloeding van ecologische processen in beken en sloten. De definities van de factoren die zijn gebruikt in de beschrijving van de watertypen in latere hoofdstukken, zijn opgesomd in Bijlage I.

Tabel 1 'Stroming' en 'Structuur' factoren voor beschrijving van beek- en sloot-typen

		Beken	Sloten
Stroming	Hydrologie	Kwel	Kwel
		Normaal waterpeil	Normaal waterpeil
		Hoogwaterpeil	Hoogwaterpeil
		Peildynamiek	Peildynamiek
		Permanentie	Permanentie
		Gemiddelde stroomsnelheid	Waterbeweging
		Stroomsnelheid dynamiek (tijd)	
		Stroomsnelheid dynamiek (dwarsprofiel)	
		Basisafvoer	
		Basisafvoerdynamiek	
		Topafvoer	
Structuur	Lengteprofiel	Meanderend	
		Vlechtend	
		Lengteprofiel dynamiek	
	Dwarsprofiel	Dwarsprofiel dynamiek	Variatie in dwarsprofiel
		Talud	Talud
		Beschaduwing	
	Substraat	Mozaïek patroon dynamiek	Variatie in vegetatiestructuur
		Vegetatie	Organisch materiaal (bagger)
		Organisch materiaal hout	
	Organisch materiaal blad/detritus		

2.2.2 Kwel

Gebieden waarin de grondwaterstroming netto opwaarts gericht is, worden kwel gebieden genoemd. Kwelstromen werken vaak voedend voor het oppervlaktewater. In kwelgebieden zijn fluctuaties van de grondwaterstand door wateraanvoer van onderaf gering. Er is onderscheid te maken tussen locaties waar diepere kwelstromen periodiek voorkomen en locaties waarin continue met wisselende intensiteit kwel optreedt. Regenwater wordt grotendeels oppervlakkig of ondiep naar beken en sloten afgevoerd. Naast een constante aanvoer, is de kwaliteit van kwelwater voor veel organismen van levensbelang. Kwel in de waterloop speelt daarom een belangrijke rol in de sloot- en beektypologieën.

2.2.3 *Normaal- en hoogwaterpeil en peildynamiek*

Het normaalwaterpeil wordt gedefinieerd als de waterstand in een kleine waterloop behorende bij een afvoer die 50% bedraagt van de bij het hoogwaterpeil behorende afvoer. Onder Nederlandse omstandigheden wordt deze waterstand op 10 à 20 dagen per jaar bereikt of overschreden. Het hoogwaterpeil is de waterstand in een kleine waterloop behorende bij een afvoer die gemiddeld 1 dag per jaar wordt bereikt of overschreden. Deze afvoer volgt uit de specifieke afvoeren (afvoer per oppervlakte-eenheid) van de deelgebieden (Anonymus 1988).

De hoogte van de waterkolom (de waterdiepte) is van belang voor gradiënten van ondermeer temperatuur, licht, zuurstof en redoxpotentiaal (Ringelberg 1976). De waterdiepte is hierdoor ook één van de belangrijkste standplaatseisen van wortelende waterplanten (Bloemendaal *et al.* 1988). Gaande van land naar dieper water, zijn verschillende gordels met kenmerkende soorten en groeivormen te onderscheiden. Dit verschijnsel heet zonatie. Zonatie van waterplantenbegroeiing vindt haar oorzaak in lokale verschillen in abiotische milieufactoren zoals licht, waterdiepte, waterbeweging en samenstelling van de bodem. Licht is een belangrijke factor waarvan de invloed vooral in het verticale vlak varieert. Bij een toenemende waterdiepte neemt de lichtintensiteit af en verandert de spectrale samenstelling. Zowel de kwantiteit als de kwaliteit van het licht dat de bodem bereikt, beïnvloedt de aard van de vegetatie. Zo kunnen op grotere diepte alleen soorten groeien die bij lage lichtintensiteit kunnen leven, zoals watermossen en kranswieren.

De diepte van sloten kan sterk verschillen. Klei- en zandsloten zijn meestal dieper dan veensloten. In de sloottypologie van het Aquatische Supplement (Nijboer 2000) wordt er vanuit gegaan dat alle sloten niet breder zijn dan ongeveer 8 meter en niet dieper dan 1,5 meter. De dimensies van een sloot zijn van belang voor de ontwikkeling van levensgemeenschappen. In kleine, ondiepe sloten treedt eerder verlanding op. In grotere sloten kunnen meer verschillende habitats aanwezig zijn, doordat er een langere gradiënt is van droog naar nat en doordat er diepere delen zijn waarin waterplanten verschillende structuren kunnen vormen.

De dimensies zijn ook indirect van belang omdat ze verschillen in temperatuur veroorzaken. In grote, diepe sloten kan een groot temperatuurverschil voorkomen tussen de bovenste en de onderste laag van de sloot. Ook in de microhabitats kunnen verschillende temperaturen heersen. In ondiepe wateren is de temperatuur minder verschillend tussen de verschillende diepten maar vaak hoger door de hoge instraling tot op de bodem en de kleinere watermassa. In ondiepe wateren zal de temperatuur ook meer schommelen gedurende de dag of afhankelijk zijn van de luchttemperatuur. Temperatuur heeft een direct effect op de fysiologie van bijvoorbeeld macrofauna-soorten maar ook op het zuurstofgehalte in de sloot. Bij hoge temperatuur treedt eerder zuurstoftekort op. Een verandering van de waterdiepte (hoogte van de waterkolom) kan van invloed zijn op het voorkomen van specifieke soorten en derhalve op het watertype. Waterhuishoudkundige maatregelen die de waterhoogten beïnvloeden hebben daarom een groot effect op aquatische levensgemeenschappen.

2.2.4 *Permanentie*

In het extreme geval leidt een peilfluctuatie tot droogval van een watergang. Droogval ontstaat meestal in de zomer, wanneer door gebrek aan wateraanvoer (neerslag, kwel), als gevolg van wegzijging en een hoge (gewas-) verdamping het (grond-) waterpeil daalt.

Hierbij spelen locale en regionale hydrologische factoren (hoe wordt het water gevoed, mate van isolatie) en locale factoren, zoals de mate van beschaduwing, een belangrijke rol. Organismen die bestand zijn tegen droogval hebben hiervoor een overlevingsstrategie ontwikkeld. Waterplanten kunnen een landvorm bezitten of vormen zaden voordat de beek droog valt (Grime 1979). Ook in minder extreme gevallen kunnen waterplanten met droogval te maken krijgen. Dit is bijvoorbeeld het geval voor vaste planten die hun standplaats op of nabij oevers hebben en bij een waterpeilverlaging droogvallen.

Ook voor de macrofauna vraagt het droogvallen een overlevingsstrategie om zich te beschermen tegen, of te onttrekken aan, uitdroging. Een groot aantal soortengroepen kent dergelijke strategieën niet en komt dan ook niet in droogvallende watergangen voor. Macrofauna-gemeenschappen in droogvallende beken worden vaak gedomineerd door larven van vliegende insecten die voor de periode van droogval uitvliegen, soms met achterlating van droogteresistente eieren. Binnen andere soortengroepen komen soorten voor die zich niet actief kunnen verspreiden. Binnen deze groepen komen soorten voor die droge perioden als ei, cyste, larve of adult kunnen overleven (Wiggins *et al.* 1980), vooral in vochtige bodems en achterblijvende beekpoelen.

2.2.5 *Stroomsnelheid en -dynamiek*

De stroomsnelheid in beken is afhankelijk van het verhang van de bedding, de afmetingen van de beek, het debiet en de weerstand van de beekbedding. Een sloot is per definitie een kunstmatig, min of meer permanent, lijnvormig water waarin stroming geen belangrijke ecologische factor vormt, of, als dat wel het geval is, kunstmatig en slechts tijdelijk of periodiek van aard is (Nijboer 2000). Voor sloten is de factor stroomsnelheid derhalve niet opgenomen als belangrijke factor. Wel wordt waterbeweging behandeld aangezien het van belang is voor de aanvoer van gebiedsvreemd water of bijvoorbeeld het transport van drijvende waterplanten zoals kroos.

In beken kunnen de stroomsnelheden ruimtelijk sterk variëren afhankelijk van de plaats in het dwarsprofiel. De stroomsnelheid is het hoogst in het midden van de beek nabij de waterspiegel en neemt zijwaarts en naar de bodem toe, als gevolg van de wrijving, geleidelijk af. De stroomsnelheid is het laagst nabij de bodem. Een dergelijk stroomsnelheidsprofiel kan zich over grote afstanden voortzetten, zonder veel variatie. Er is dan ook weinig variatie te verwachten in de habitatstructuur van zo'n beek. In een beek met een onregelmatige vorm is het stroomsnelheidsprofiel ingewikkelder. Doordat de waterstroom plaatselijk tegen de oever botst en terugkaatst, ontstaan dwarsstromingen zoals draaikolken en wervelingen, verticale stromingen zoals spiraalstromen en tegenstromen. In binnenbochten treden lagere en in buitenbochten treden hogere stroomsnelheden op, vaak gepaard gaande met kleine tegenstromingen vlak tegen de oever, maar ook dit is geen constant patroon. In een natuurlijke beek treden, bij verandering van het debiet, steeds wisselingen in stroomsnelheden op. Dit leidt tot wisselende stroomsnelheden nabij de oever en de bodem hetgeen resulteert in een wisseling in erosie en sedimentatie. Juist deze variaties in de stroomsnelheid en stromingsrichting zorgen ervoor dat er allerlei verschillende factoren in verschillende mate werkzaam zijn en dat daardoor allerlei (micro-)habitats ontstaan (Verdonschot *et al.* 1995).

2.2.6 *Basisafvoer en -dynamiek in beken*

De basisafvoer of trage afvoer wordt gedefinieerd als een kwart van de maatgevende afvoer (Anonymus 1988) en is dat deel van de afvoer dat als gevolg van langdurige berging eerst na geruime tijd tot stand komt. De berging kan plaatsvinden in de bodem en in oppervlaktewateren. Aanvoer van dieper grondwater heeft op het afvoerpatroon een stabiliserende invloed. Dieper grondwater ondervindt een grotere vertraging en verkrijgt daardoor een grotere mate van constantie. Pieken in het neerslagpatroon worden hierdoor afgevlakt. Ook de stroomsnelheid in de tijd is constanter. Beken die op deze wijze worden gevoed voeren meestal permanent water. De levensomstandigheden voor aquatische organismen zijn in de tijd eveneens meer constant. Waterhuishoudkundige maatregelen die gericht zijn op het herstellen van kwel van diep grondwater, zullen alleen op lange termijn effect kunnen hebben op de basisafvoerdynamiek.

2.2.7 *Topafvoer*

Piekafvoer of topafvoer is de grootste afvoer die gedurende een hoogwaterperiode voorkomt (Anonymus 1988). Piekafvoer is een belangrijke stromingsfactor die ook van invloed kan zijn op de structuur van een beek. Zo worden bij hoge piekafvoeren veel organische structuren weggeslagen (Verdonschot 2000). In de meeste literatuur worden piekafvoeren als maatgevend voor de beddingmorfologie (beddingdimensies en -vorm) beschouwd (onder andere Bouwknecht & Gelok 1992)).

2.2.8 *Lengteprofiel van beken*

Van oorsprong zijn de meeste beeksystemen in Nederland morfologisch min of meer stabiel. Onder invloed van de (seizoens-)variatie in de neerslag, hetgeen leidt tot fluctuaties in de afvoer (afvoerdynamiek), kunnen zich kortstondige veranderingen voordoen in de beddingvorm en -dimensies en in de samenstelling van het beddingmateriaal. Echter, de gemiddelde waarden over middellange termijn veranderen weinig; er is sprake van een evenwicht. Erosie en sedimentatie kunnen op lange termijn (decennia tot eeuwen) geleidelijk veranderingen in lengteprofielvorm en -dimensies en daarmee het verhang veroorzaken. Het lengteprofiel wordt vooral bepaald door de beddingvorm. Deze is afhankelijk van de samenstelling van het getransporteerde sediment en de samenstelling van het beddingmateriaal. De dimensies (meanderlengte en -breedte) zijn vooral afhankelijk van de afvoer. Daarnaast is ook de samenstelling van het beddingmateriaal van belang. Verder heeft de afvoerdynamiek belangrijke invloed op het lengteprofiel. Bij sterk wisselende afvoer en vooral wanneer de bedding periodiek droogvalt, worden de zandbanken op ogenschijnlijk willekeurige plaatsen in de bedding gevormd, waardoor uiteindelijk een verwilderd (vlechtend) tracé kan ontstaan.

Zandbanken, ijzeroerbanken, ingevallen bomen en andere obstakels kunnen ook tot wijzigingen in het lengteprofiel leiden. Dergelijke processen kunnen van nature optreden door bijvoorbeeld het omwaaien of afsterven van bomen of door de activiteit van grote grazers en bevers. Oevererosie treedt vooral op tijdens en na perioden van hoge afvoer. Op dat moment is het oevermateriaal verzadigd met water en is de weerstand gering. Het verhang en de afvoer zijn direct van invloed op de profieldimensies, ze bepalen de stroomsnelheid en ten dele het sedimenttransporterend vermogen. In het algemeen geldt voor de dimensies (inclusief bochtstralen, meanderlengte, meanderbreedte) dat ze groter zijn naarmate de afvoer groter is.

In het algemeen is de lengteprofielontwikkeling in langzaam stromende beken meer meanderend van karakter terwijl in snelstromende beken een recht tot zwak slingerend tracé ontstaat. Hierop zijn echter veel uitzonderingen mogelijk als gevolg van voeding, bodemsamenstelling en oeverbegroeiing. Bij sterk wisselende afvoeren en vooral wanneer de bedding periodiek droogvalt worden de zandbanken op ogenschijnlijk willekeurige plaatsen in de bedding gevormd waardoor uiteindelijk een verwilderd (vlechtend) tracé kan ontstaan. Naast de vorm van het lengteprofiel (meanderend of vlechtend) is met name de temporele dynamiek van deze factoren van belang.

2.2.9 *Dwarsprofielontwikkeling, organisch materiaal en substraatmozaïeken in beken*

De afvoer is mede verantwoordelijk voor de variatie in stroomsnelheid en is dientengevolge van invloed op de veranderingen in de beekmorfologie. Veranderingen van de stroomsnelheid resulteren in veranderingen in het sedimenttransporterend vermogen wat kan leiden tot erosie of sedimentatie. Enerzijds kunnen hierdoor veranderingen in beddingdimensies en -samenstelling optreden; een terugkoppelingsmechanisme. De veranderingen in de dimensies kunnen weer tot nivellering van de stroomsnelheid leiden. Anderzijds treedt op de ene plek erosie op, terwijl op een andere plek sedimentatie optreedt. Hierdoor ontstaat een grote variatie in de samenstelling van het beddingmateriaal in een traject en in het dwarsprofiel van een bocht. Afhankelijk van verschillen in stroomsnelheid wordt het sediment verspreid en gesorteerd, hetgeen leidt tot substraatmozaïeken. Bij verschillende afvoer kunnen verschillende substraatmozaïeken ontstaan die op hun beurt de afvoer weer beïnvloeden, opnieuw is er sprake van een terugkoppeling. Zo kan bijvoorbeeld door het uitzeven van fijnere deeltjes uit de bovenste laag, deze laag een zodanig grove samenstelling krijgen dat bij het actuele stromingsregime geen erosie meer optreedt.

Een van de belangrijkste relaties van de beek met haar directe omgeving wordt bepaald door de oeverbegroeiing. Van nature komen houtige gewassen veel langs beken voor. Maar ook komen soms onder invloed van grazers die de natuurlijke opslag van houtige gewassen oneindig lang kunnen tegenhouden, uitgestrekte grazige vegetaties voor. De relatie tussen het beekmilieu en de oeverbegroeiing uit zich in de mate van beschaduwing (effect op watertemperatuur en hoeveelheid lichtinstraling) en de hoeveelheid (met name dood) organisch materiaal die in het water terecht komt. Daarnaast kan ook de oevervegetatie de beekmorfologie beïnvloeden vooral als gevolg van de bewortelingsvorm. Dat de begeleidende vegetatie het lengte- en dwarsprofiel vastlegt en dat het een belangrijke bron van organisch materiaal is, is duidelijk. Een belangrijk verschil met de hydraulische en morfologisch processen in de beek is dat de organische structuren moeilijk kwantificeerbaar zijn en niet met formules zijn te beschrijven. Toch blijken juist de organische structuren een cruciale invloed te hebben op de hydraulische en morfologische processen, vooral ten aanzien van stromingsweerstand, oeverstabiliteit, oevervorm, sedimentatie en damvorming (Hickin & Nansen 1984).

Aangezien beken van nature in de laagste delen van een dal zijn gelegen fungeren ze als verzamelbekkens voor door wind en oppervlakkige afstroming verplaatst dood organisch materiaal zoals blad en takken. Dit direct invallend of aangevoerd organisch materiaal zorgt voor onder andere een constante voedselaanvoer en de vorming van organische structuren in de beek. Opeenhopingen van organisch materiaal zoals dammetjes houden

het organische materiaal en ook deels het minerale materiaal vast en bieden micro-organismen (bacteriën en schimmels) en macro-organismen (macrofauna, vissen) schuilplaatsen en voedsel. De natuurlijke aanvoer van organisch materiaal is het grootst in de herfst. De organische structuren worden vooral verplaatst, gevormd en weggeslagen tijdens afvoerpieken in met name het voorjaar en na zomerbuien. Echter de structuren worden ook bij en door lage afvoeren beïnvloed, bijvoorbeeld een bladdam kan na opdrogen verwaaien. Stormen kunnen leiden tot een sterk verhoogde toevoer van organisch materiaal naar de beek. Omgevallen bomen, afgebroken takken en grote hoeveelheden blad komen in de beek terecht en kunnen daar worden vastgehouden.

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

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

Ophoping van organisch materiaal in beken is van essentieel belang bij de vorming van opeenvolgingen van stroomversnellingen en poelen, de beddingruwheid, de oeverstabiliteit en de dwars- en lengteprofielontwikkeling. Deze laatste kan op lange termijn weer resulteren in het afsnijden van bochten en daarmee het ontstaan van oude armen. Verder sturen ophopingen van organisch materiaal de stroomdraad en de erosie-sedimentatieprocessen en verhogen ze de retentie van water (aftopping van piekafvoeren) en van anorganisch en organisch sediment (bevorderen sedimentatie). Hierbij dient te worden aangetekend dat de opstuwende werking bij piekafvoeren in hellende gebieden van minder belang is dan in vlakke. Daarnaast zorgen accumulaties van organisch materiaal voor variatie in de stroomsnelheid en microhabitatvorming, hetgeen kan leiden tot een grotere soorten diversiteit. Plaatselijk ontstaan stroomversnellingen, waardoor met name in sneller stromende beken, indien grind aanwezig is, grindsubstraten kunnen ontstaan. In de luwte van de stroom vindt afzetting van fijn organisch materiaal plaats. Stroomversnellingen en watervalletjes zorgen voor turbulentie met als gevolg een goede zuurstofvoorziening.

2.2.10 Dwarsprofiel en steilheid van het sloot-talud

De vorm van de oever is van groot belang voor het voorkomen van een soortenrijke gemeenschap. Vegetatie ontwikkelt zich vaak beter op een flauw talud. Bij een steil talud, dus een snelle overgang van diep naar ondiep, ontbreken vaak stadia van de gradiënt van diep naar ondiep water. Hierdoor komt minder fauna voor, omdat veel dieren zich

voeden, schuilen en paaien in vegetatierijke delen van een water. De vorm van de oeverlijn is eveneens belangrijk. Een instekende en terugwijkende oeverlijn biedt mogelijkheden voor de ontwikkeling van allerlei natte biotopen (Nijboer 2000).

De vorm van de oever bepaalt de habitats binnen een water. Het is in ieder watertype van belang variatie in habitats, dus in oevervormen te creëren. Waterhuishoudkundige maatregelen die meer variatie in het dwarsprofiel bewerkstelligen, verhogen de natuurwaarde van elk watertype (meer over de inrichting van natuurvriendelijke oevers is te vinden in CUR 1995).

2.2.11 *Vegetatie in sloten, groeivormen*

Waterplanten komen voor in verschillende groeivormen. Een indeling is te maken in soorten met drijfbladeren of planten die geheel onder het wateroppervlak groeien (Pot & Schippers 2000). In beide groepen komen soorten voor die in de waterbodem wortelen, dan wel los zwevend of drijvend voorkomen. De stromingsweerstand van watergangen wordt in belangrijke mate bepaald door de groeivormen van waterplanten die in de watergang domineren en hun biomassa (Querner 1995). Waterplanten zijn echter niet alleen een belangrijke hydrologische factor. Ze vormen ook een belangrijke habitat voor epifyten, macrofauna en vissen.

2.2.12 *Sediment in sloten*

Door de vorm en de dimensies van een sloot is de invloed van het substraat van zowel de bodem als de oever op de samenstelling van de vegetatie en de macrofaunagemeenschap groot. Omdat de bodem van Nederland zeer afwisselende van samenstelling is, kunnen de gegraven sloten ook vele bodemsoorten doorsnijden. Dit betreft niet alleen de hoofdtypen zoals zand, klei en veen, maar ook de vele overgangen binnen deze typen zelf. Deze wisselende bodemsamenstelling kan een verschillende fysisch-chemische samenstelling van het slootwater veroorzaken (Beltman 1983).

Organisch materiaal blijft voor een groot deel beschikbaar voor water- en oeverplanten, doordat sloten ondiep zijn. De bodem wordt meestal bedekt door een dikke laag sapropelium (gedeeltelijk afgebroken organisch materiaal). In veensloten komt een combinatie van sapropelium en veen voor. De aanwasselheid (netto sedimentatie) van organisch materiaal, die voornamelijk wordt bepaald door de grondsoort en de plantengroei, bepaalt in belangrijke mate de toegepaste onderhoudsfrequentie. De aanwasselheid is hoger in veengebieden dan in zand- en kleigebieden (Gerrits 2000).

3 Beschrijving van de watertypen

3.1 Beschrijving van beektypen

Aan de hand van de hydromorfologische factoren die beschreven zijn in paragraaf 2.2 worden de beektypen besproken. De beektypen die binnen deze studie worden onderscheiden zijn:

1	Droogvallende beken	bovenloopjes
2		bovenlopen
3	(Zwak) zure beken	bovenloopjes
4		bovenlopen
5		middenlopen
6	Snelstromende beken	bovenloopjes
7		bovenlopen
8		middenlopen
9		benedenlopen
10		riviertjes
11	Langzaam stromende beken	bovenloopjes
12		bovenlopen
13		middenlopen
14		benedenlopen
15		riviertjes

Een beek bestaat eigenlijk uit drie componenten, namelijk de beek zelf, het beekdal (inclusief de beekdalbodem) en de beekflank. Tezamen vormen deze drie componenten het stroomgebied van de beek. Het stroomgebied is het gebied van waaruit een beek water ontvangt. Het water stroomt in het stroomgebied via de flank en het beekdal, boven- en ondergronds, af naar de beek waarin het wordt afgevoerd. Tezamen met de biologische componenten vormt het stroomgebied een beekecosysteem. Omdat het kenmerk van een beek de afstroming van water in één richting is, en de hoeveelheid stroomafwaarts toeneemt, kunnen zones in het stroomgebied worden onderscheiden, namelijk: het brongebied, de bovenloop, de middenloop en de benedenloop. Eigenlijk is alles wat er gebeurt in een stroomgebied van invloed op de hoeveelheid en kenmerken van het water in de beek. De beek zelf is daarmee een prima graadmeter voor de toestand van het gehele stroomgebied.

Landschapsecologische relaties

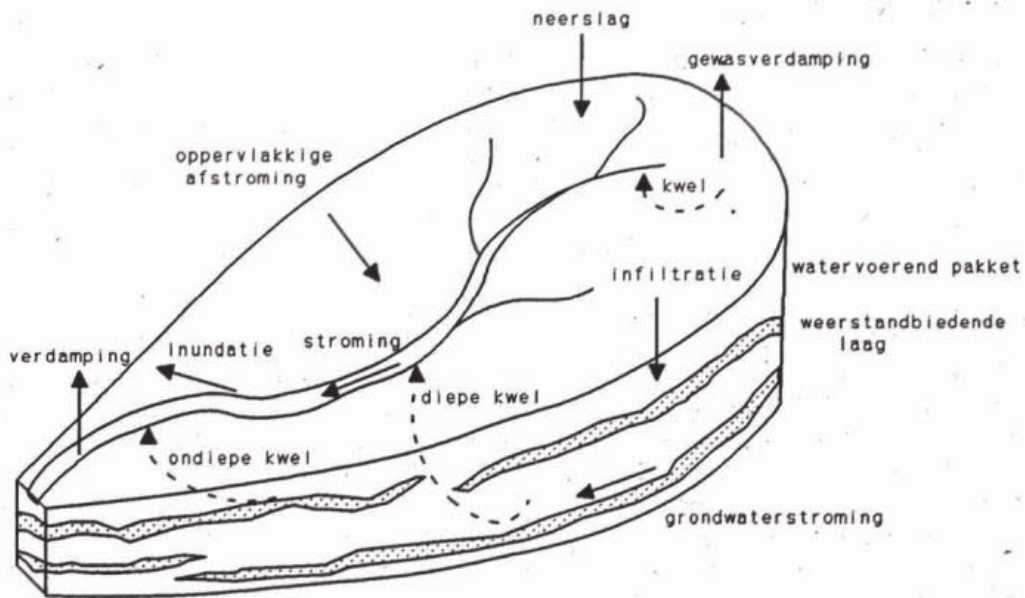
De hydrologie van het natuurlijke beekstelsel wordt bepaald door geologie en klimaat. De hydrologie is de bepalende factor (combinatie van werkende factoren) voor de flora en

fauna in het beekstelsel. Door de in de tijd niet constante verdeling van neerslag zijn beken, ecosystemen met een zekere mate van dynamiek. In Figuur 3 is het driedimensionale beeld van het stroomgebied geïllustreerd met daarin de belangrijkste waterkwantiteitsprocessen, namelijk neerslag, verdamping door vegetatie en open water, oppervlakkige en ondiepe afstroming, infiltratie, kwel en ondiepe, matig diepe en diepe grondwaterstroming.

Door de werking van het afstromende water ontstaat een mozaïek van zand-, grind- en kleibankjes, zones met slib of organisch materiaal, bladpakketten, dammetjes etcetera. De beek heeft vaak een onregelmatig bochtig lengteprofiel en een onregelmatig dwarsprofiel met uitgeholde en aangezande oevers. Maar ook in de gradiënt nat naar droog kunnen allerlei habitats worden onderscheiden.

De stofstromen in een natuurlijk beekstelsel (het kwaliteitsaspect) volgen de boven genoemde waterkwantiteitsprocessen. In een natuurlijk beekstelsel is, gaande van hoog naar laag dus van de randen van het stroomgebied naar het laagste punt; de beek, een toename van voedingsstoffen waarneembaar, en wel van voedselarm naar matig voedselrijk. Hierdoor neemt ook gaande van bron naar benedenstrooms de voedselrijkdom toe. Door de aanwezigheid van planten en dieren treedt er tevens een kringloop van stoffen op. Echter, door de afstroming van water in één richting wordt deze kringloop een spiraal. De beek transporteert dus water en voedingsstoffen door en uit een stroomgebied.

De levensgemeenschap in een natuurlijke beek is de ultieme volgvariabele van het stroomgebied. De beeklevensgemeenschap hangt direct samen met de plaats tussen bron en monding. Nabij de bron is de beek volledig beschaduwde en overheersende bladeters de levensgemeenschap. Deze dieren benutten het invallende blad als voedselbron. We noemen zo'n systeem heterotroof, het maakt dus geen gebruik van directe instraling van zonlicht en het betekent dat algen en waterplanten een ondergeschikte rol spelen. Het aantal echte stromingsgebonden hogere plantensoorten is dan ook zeer beperkt. Gaande van de bron naar de monding treedt een geleidelijke overgang van soorten op. In de middenloop verschijnen waterplanten met epifyton en met de daarop levende grazers, door de toenemende invloed van de zon. Nabij de monding is de beek breed en zorgt het vrij invallend zonlicht voor een goede ontwikkeling van algen en waterplanten. Vooral de filtreerders en verzamelaars profiteren hiervan.



Figuur 3 Waterstromen in een stroomgebied.

3.1.1 Droogvallende beken

Onder deze groep vallen beken die van nature droogvallen (= temporeire beken). Dergelijke droogvallende beken worden overal in het laagland en in de vlakke delen van het terrassengebied en mogelijk heuvelland gevonden. Als gevolg van de overheersende invloed van droogval op de levensgemeenschap wordt geen nader onderscheid gemaakt tussen zandige, löss en venige of organische omstandigheden in de bodem. De periode van droogval kan sterk verschillen. Een nader onderscheid dat ecologisch van groot belang is maar waar onvoldoende gegevens voor beschikbaar zijn is het onderscheid tussen semi-permanente beken met een periode van droogval van circa 6-8 weken en temporeire beken met een periode van droogval van meer dan 12 weken. De eerste bevatten meer soorten die ook in permanente beken voorkomen, terwijl de tweede categorie juist veel stilstaand watersoorten kan bevatten gedurende een gedeelte van het jaar. Droogvallende beken worden onderverdeeld naar dimensies. De kleinere droogvallende beken zullen vaak ook langer droogvallen en meer extremen in vooral stofgehalten en temperatuur kennen dan de wat grotere droogvallende beken. Onder droogvallende beken vallen zowel de watertypen 'droogvallende bovenloopjes' als 'droogvallende bovenlopen' (Aquatisch Supplement, Verdonschot 2000).

3.1.1.1 Droogvallende bovenloopjes

Processen

Droogvallende bovenloopjes komen overal verspreid in het Pleistocene zandgebied voor. De bovenloopjes worden gevoed door regenwater. Dergelijke bovenloopjes kennen geen concrete oorsprong maar het regenwater verzamelt zich diffuus in greppels en (moerassige) laagten. Van hieruit concentreert het water zich stroomafwaarts meer en meer. De afvoer wordt bepaald door de hoeveelheid neerslag en de mate van inzijging. De afvoer fluctueert daardoor sterk. In de zomer vallen deze bovenloopjes droog geduren-

de een periode van ongeveer 8-10 weken, terwijl stagnerende afvoer zich over een periode van ruim 3 maanden kan uitstrekken.

Het lengteprofiel is meanderend. De wisselingen in afvoer leiden tot een dynamiek in erosie en sedimentatie. De beken hebben overwegend een zandbodem en zijn beschadwd door loofbos. De oever is bezet met els en berk en begroeid met mossen.

Het water is matig voedselrijk en heeft een relatief hoog ammoniumgehalte in het najaar (gemineraliseerde droge beekbedding). Het betreft een β -mesosaproob milieu.

Ecologische typering

Droogval heeft een overheersende invloed op de levensgemeenschap. Door de sterke beschaduwing komt niet of nauwelijks vegetatie voor of bestaat de vegetatie uit gewoon sterrenkroos (*Callitriche platycarpa*). Op plaatsen met uittredend grondwater en voedselrijke omstandigheden kan klimopwaterranonkel (*Ranunculus hederaceus*) worden aangetroffen, mits de duur van de droogvalling beperkt is, zodat de bodem vochtig blijft. Lokaal komt op kwelplekken duizendknoopfonteinruid (*Potamogeton polygonifolius*) voor.

De kenmerkende macrofaunagemeenschap bestaat veelal uit soorten met een aan droogvalling aangepaste levensstrategie. De fauna is weinig divers met enkele soms abundante soorten. De meeste soorten zijn sedimentbewoners (gravers), het betreft detritivore vergaarders. Belangrijke groepen zijn wormen, vedermuggen, vliegen en kevers.

Een voorbeeld is de halve maan venloop.

Hydrologische toestandsvariabelen

parameter	range
breedte m	< 1,5
diepte cm	< 25
stroomsnelheid cm/s	10 - 30
% vegetatie bedekking	< 10

3.1.1.2 Droogvallende bovenlopen

Processen

Droogvallende bovenlopen komen verspreid in het Pleistocene zandgebied voor. De bovenlopen worden gevoed door regenwater. De bovenlopen ontvangen water vanuit bovenloopjes die zelf geen concrete oorsprong kennen. Het regenwater verzamelt zich diffuus in greppels en laagten en concentreert zich stroomafwaarts. Dergelijke bovenlopen voeren langer dan de bovenloopjes water. Extra kwel en zijdelingse watertoevoer zijn hiervoor verantwoordelijk. De afvoer wordt bepaald door de hoeveelheid neerslag en de mate van inzijging. Het afvoerpatroon is sterk fluctuerend. Droogval treedt in de zomer op tot een periode van ongeveer 6-8 weken, terwijl stagnerende afvoer zich over een periode van ruim 2 maanden kan uitstrekken.

Het lengteprofiel is meanderend. De wisselingen in afvoer leiden tot een dynamiek in erosie en sedimentatie. De beken hebben overwegend een zandbodem en zijn beschadwd. De lopen bevinden zich in loofbos. De oever is bezet met els en berk en begroeid met mossen. Het water is matig voedselrijk en heeft een relatief hoog ammoniumgehalte in het najaar (gemineraliseerde droge beekbedding). Het betreft een β -mesosaproob milieu.

Ecologische typering

Door de sterke beschaduwning komen niet of nauwelijks macrofyten voor. Incidenteel groeit er gewoon sterrenkroos (*Callitriche platycarpa*). Plaatselijk op kwelplekken komt duizendknoopfonteinkruid (*Potamogeton polygonifolius*) of klimopwaterranonkel (*Ranunculus hederaceus*) voor. De kenmerkende macrofaunagemeenschap bestaat veelal uit soorten met een aan droogvalling aangepaste levensstrategie. De fauna is matig divers en heeft lage aantallen individuen met enkele soms abundante soorten. De meeste soorten zijn sedimentbewoners (gravers), het betreft detritivore vergaarders. Belangrijke groepen zijn vedermuggen, vliegen, steenvliegen en kevers. Een voorbeeld is de Grote of Rode beek.

Hydrologische toestandsvariabelen

parameter	range
breedte m	1 - 3
diepte cm	< 40
stroomsnelheid cm/s	10 - 50
% vegetatie bedekking	< 10

3.1.2 (Zwak) zure beken

Onder de gemeenschappen van (zwak) zure beken (= veenbeken) worden ook beken gerekend die de voormalige en huidige hoogveengebieden afwateren alsmede beken in stagnerende laagten (mesotrofe moerassen) waarin processen van beekveenvorming optreden. Er is een overheersende invloed van het natuurlijk hoge organisch stofgehalte en het humeuze, bruinige karakter van het water op de levensgemeenschap. Nog bestaande voorbeelden van veenbeken die levende hoogvenen afwateren bestaan niet meer in Nederland.

3.1.2.1 (Zwak)zure bovenloopjes

Processen

(Zwak) zure bovenloopjes komen verspreid in het Pleistocene zandgebied voor. De beken worden gevoed door bron- of kwelwater (uit voormalig hoogveen). Het toegevoerde ondiepe, jonge grondwater of overtollige water uit (voormalig) hoogveengebied dragen zorg voor het zure karakter en een regelmatig afvoerpatroon. De afvoer fluctueert weinig wat leidt tot bijzondere omstandigheden.

Het lengteprofiel is zwak meanderend. Het dwarsprofiel is asymmetrisch. De beken hebben veelal een zandbodem met veel organisch materiaal wat moeilijk wordt afgebroken en zijn vaak beschaduwd behalve in de hoogveengebieden. De loopjes bevinden zich in loofbos van els, berk en gagel of in open hoogveen. De oevers zijn begroeid met veenmossen.

Het water is voedselarm en matig tot zwak zuur. Als gevolg van de veenhoudende bodem kan het beekwater licht bruin en humeus zijn. Het betreft een oligosaproob, voedselarm milieu.

Ecologische typering

De begroeiing bestaat uit knolrus (*Juncus bulbosus*) en veenmossen (*Sphagnum spp.*). Locaal op kwelplekken komt duizendknoopfonteinkruid (*Potamogeton polygonifolius*), vlottende bies (*Eleogiton fluitans*) en (bij een pH boven 5,0) waterviolier (*Hottonia palustris*) voor.

Opvallend is het sporadisch voorkomen of ontbreken van veel soorten eendagsvliegen, platwormen, slakken en kreeftachtigen. Ok duikerwantsen zoals *Sigara nigrolineata*, *S. semistriata* en *S. limitata* en de vedermug *Psectrocladius platypus* zijn te verwachten (Duursema & Torenbeek 1997). De meeste soorten leven op of in het sediment (gravers en kruiers), het betreft detritivore vergaarders en knippers. Belangrijke groepen zijn kevers, vedermuggen, vliegen en kevers. De soortensamenstelling is weinig divers en heeft lage aantallen individuen. Bijzonder is het voorkomen van het mijtertje.

Voorbeeldbeken zijn de zure bovenloopjes van de sprengbeken Horsthoekerbeken en Heerderbeken.

Hydrologische toestandsvariabelen

parameter	range
breedte m	< 1,5
diepte cm	< 25
stroomsnelheid cm/s	10 - 40
% vegetatie bedekking	< 20

3.1.2.2 (Zwak)zure bovenlopen

Processen

(Zwak) zure bovenlopen komen verspreid in het Pleistocene zandgebied voor. Voor de relatie met veengebieden zie opmerkingen bij (zwak) zure bovenloopjes. De beken worden gevoed door (zwak) zure bovenloopjes, naast 'extra' voeding uit bron- of kwelwater. Het toegevoerde ondiepe, jonge grondwater of overtollige water uit (voormalig) hoogveengebied dragen zorg voor het zure karakter. De afvoer fluctueert weinig.

Het lengteprofiel is meanderend. Het dwarsprofiel is asymmetrisch. De beken hebben veelal een zandbodem met veel organisch materiaal en zijn beschaduwd behalve in hoogveengebieden. De bovenlopen bevinden zich in hoogveen of loofbos. De oever is in loofbos bezet met els en berk en begroeid met mossen. De bodem bestaat uit zand.

Het water is voedselarm en matig tot zwak zuur. Als gevolg van de veenhoudende bodem kan het beekwater licht bruin en humeus zijn. Het betreft een oligosaproob, voedselarm milieu.

Ecologische typering

De begroeiing bestaat uit knolrus (*Juncus bulbosus*), witte waterranonkel (*Ranunculus ololeucos*) en veenmossen (*Sphagnum spp.*). Locaal op kwelplekken komt duizendknoopfonteinkruid (*Potamogeton polygonifolius*), vlottende bies (*Eleogiton fluitans*) en haaksterrenkroos (*Callitriche hamulata*) voor.

De fauna is matig divers en heeft lage aantallen individuen. Opvallend is het sporadisch voorkomen of ontbreken van veel soorten eendagsvliegen, platwormen, slakken en kreeftachtigen. De meeste soorten leven op of in het sediment (gravers en kruiers), het betreft detritivore vergaarders en knippers. Belangrijke groepen zijn vedermuggen, vliegen en kevers.

Voorbeeldbeek is de bovenloop van het Schoonebeekerdiep (D).

Hydrologische toestandsvariabelen

parameter	range
breedte m	1 - 3
diepte cm	< 40
stroomsnelheid cm/s	10 - 40
% vegetatie bedekking	< 20

3.1.2.3 (Zwak) zure middenlopen

Processen

Zwak zure middenlopen worden overal in het Pleistocene zandgebied gevonden maar vooral in de voormalige hoogveengebieden. De beken worden gevoed door (zwak) zure bovenlopen. De afvoer fluctueert weinig.

Het lengteprofiel is meanderend. Het dwarsprofiel asymmetrisch. De beken hebben veelal een organisch rijke zandbodem en zijn beschaduwde. De middenlopen bevinden zich in loofbos. De oever is bezet met els, berk en hogerop es en eik. De oevers zijn begroeid met mossen en kruiden.

Het betreft een oligo- tot mesosaproob, voedselarm tot matig voedselrijk milieu. Als gevolg van de veenhoudende bodem kan het beekwater licht bruin en humeus zijn.

Ecologische typering

De begroeiing bestaat uit knolrus (*Juncus bulbosus*) en veenmossen (*Sphagnum spp.*). In de stroomgeul komt haaksterrenkroos (*Callitriche hamulata*) voor.

De fauna is matig divers. Opvallend is het in lagere aantallen voorkomen van veel soorten eendagsvliegen, platwormen, slakken en kreeftachtigen. De meeste soorten leven op of in het sediment (gravers en kruipers), het betreft detritivore vergaarders en knippers. Belangrijke groepen zijn kevers, vedermuggen en vliegen.

Hydrologische toestandsvariabelen

parameter	range
breedte m	2-5
diepte cm	20 - 70
stroomsnelheid cm/s	10 - 50
% vegetatie bedekking	< 40

3.1.3 Snelstromende beken

Snelstromende beken (= terras-, stuwwal- en heuvellandbeken) worden gekenmerkt door snelle stroming met een gedempte dynamiek in afvoer. Snelstromende beken vertonen in de bovenloop veel minder meandering dan laaglandbeken maar slingeren benedenstrooms wel door het landschap. Ze zijn meestal beschaduwde, hetgeen een extra temperatuurdemping geeft bovenop de altijd relatief lagere temperatuur (groot debiet van uittredend grondwater met een constante temperatuur). Het dwarsprofiel is onregelmatig met veel grindbanken, overhangende oevers, aangeslibde tot zandige, rustig stromende tot stilstaande plekken en plaatselijk stroomversnellingen met grof grind en keien. Er is organisch materiaal aanwezig in de vorm van boomstammen, takken, bladpakketten, detritusafzettingen en slibzones. Dit leidt tot een rijk mozaïek aan

habitats voor macrofauna. Vegetatie-ontwikkeling is zeer beperkt tot het in plukjes voorkomen van enkele aan sterke stroming aangepaste waterplanten.

Het water is oligo- β -mesosaproob en matig-voedselrijk tot voedselrijk. Het water is neutraal en ionenrijk (met name calcium).

De stromingsminnende fauna is aangepast aan het gevarieerde stromingsmilieu. De meer kritische soorten zijn sterk zuurstofminnend en vaak voor voedsel en habitat afhankelijk van de factor stroming en de aanwezige harde substraten (grind). Opvallende groepen zijn steenvliegen, eendagsvliegen en kokerjuffers.

3.1.3.1 Snelstromende bovenloopjes

Processen

Snelstromende bovenloopjes worden overal in het heuvelland hoger op hellingen gevonden, op de randen van de stuwwallen van Veluwe en Twente, en op de terrassen langs de Maas. Als gevolg van de constante voeding uit helocrene en soms rheocrene bronnen ontstaan permanente, snel stromende loopjes. De loopjes bevinden zich in loofbos, soms hellingbossen. De oever is bezet met els en begroeid met mossen en kruiden. Het betreft een oligo- β -mesosaproob, matig voedselrijk milieu.

Ecologische typering

Op plaatsen waar voldoende zonlicht doordringt, komt vegetatie tot ontwikkeling. In zacht water ontwikkelt zich teer vederkruid (*Myriophyllum alterniflorum*). Volgens Weber-Oldecop (1969) ligt de stroomsnelheid meestal tussen 20 en 60 cm/s met uitschieters naar 110 cm/s. Bij veranderingen in waterkwaliteit (eutrofiëring en alkaliserings) wordt de begroeiing spoedig vervangen door doorgroeid fonteinkruid (*Potamogeton perfoliatus*), kleine fonteinkruiden (*Potamogeton trichoides*, *P. pectinatus*), bronmos (*Fontinalis antipyretica*) of gewoon sterrenkroos (*Callitriche platycarpa*). Op plaatsen met uittredend grondwater en meer voedselrijke omstandigheden wordt klimopwater-ronkel (*Ranunculus hederaceus*) of kleine watereppe (*Berula erecta*) aangetroffen.

De fauna is zeer divers. De meeste soorten leven op vaste substraten en in mindere mate het sediment. Veel soorten zijn stromingsminnend (rheobiont of rheofiel) en koudstenotherm. Het betreft vooral detritivoren, detriti-herbivoren en herbivoren. Belangrijke groepen zijn kokerjuffers, kreeftachtigen en eendagsvliegen.

Hydrologische toestandsvariabelen

parameter	range
breedte m	< 1,5
diepte cm	< 25
stroomsnelheid cm/s	30-60
% vegetatie bedekking	< 10

3.1.3.2 Snelstromende bovenlopen

Processen

De snel stromende bovenlopen zijn in Nederland vrijwel beperkt tot het pré-Pleistocene gebied en de plateauranden van het Veluwemassief, de stuwwallen van Twente en het Maasterras. De beken worden gevoed vanuit een brongebied. Als gevolg van de constante voeding is de beek permanent. De afvoer is vrij constant.

Het lengteprofiel van de bovenloop is niet meanderend maar wel structuurrijk. De bodem bestaat uit zand of leem met grindbanken. De beken zijn beschaduwd. De bovenlopen bevinden zich in loofbos. De beek is volledig beschaduwd. De oever is bezet met els.

De beekloop is zwak kronkelend. Het substraat bestaat vooral uit grindbanken en zand met veel organische structuren. De oevers kunnen begroeid zijn met mossen en verschillende soorten kruiden.

Het water is voedselarm tot matig-voedselrijk en oligo- β -mesosaproob.

Ecologische typering

Op plaatsen waar voldoende zonlicht doordringt, komt vegetatie tot ontwikkeling. Onder zwak gebufferde omstandigheden ontwikkelen zich plukken teer vederkruid (*Myriophyllum alterniflorum*). Volgens Weber-Oldecop (1969) ligt de stroomsnelheid meestal tussen 20 en 60 cm/s met uitschieters naar 110 cm/s. Bij veranderingen in de waterkwaliteit (eutrofiëring en alkaliserings) wordt de begroeiing spoedig vervangen door doorgroeid fonteinkruid (*Potamogeton perfoliatus*), kleine fonteinkruiden, bronmos (*Fontinalis antipyretica*) of gewoon sterrenkroos (*Callitriche platycarpa*). Op plaatsen met uitdrendend grondwater en meer voedselrijke omstandigheden wordt klimopwateranonkel (*Ranunculus hederaceus*) of kleine watereppe (*Berula erecta*) aangetroffen. In de beekbovenloop komt haaksterrenkroos (*Callitriche hamulata*), kleine egelskop (*Sparganium emersum*) en vlottende waterranonkel (*Ranunculus fluitans*) voor.

De fauna is zeer divers. De meeste soorten leven op vaste substraten (grind en hout) en in mindere mate het sediment. Veel soorten zijn stromingsminnend (rheobiont of rheofiel) en sommige koud-stenotherm. Het betreft vooral detritivoren, detriti-herbivoren, herbivoren en carnivoren. Belangrijke groepen zijn kreeftachtigen, kriebelmuggen, eendagsvliegen, steenvliegen en kokerjuffers.

In deze snelstromende bovenlopen komen visgemeenschappen voor met veel stromingsminnende soorten, waarvan alle of sommige levensstadia gebonden zijn aan de hoofdstroom.

Hydrologische toestandsvariabelen

parameter	range
breedte m	1 - 3
diepte cm	< 40
stroomsnelheid cm/s	30 - 80
% vegetatie bedekking	< 10

3.1.3.3 Snelstromende middenlopen

Processen

De snel stromende middenlopen zijn in Nederland beperkt tot het pré-pleistocene gebied en de plateauranden van het Veluwemassief, de Twentse stuwwallen, de zuidelijke Achterhoek en het Maasterras. De afvoer is vrij constant.

Het profiel is sterker meanderend dan bij de snelstromende bovenlopen en is structuurrijk. De bodem bestaat uit zand of leem met grindbanken. Het substraat bestaat uit een mozaïek van grindbanken, zandafzettingen, diepere spoelkommen en stroomversnelingen. Plaatselijk ontwikkelen zich grote plukken waterplanten en zijn organische structuren vormend (omgevallen bomen). De beken zijn gedeeltelijk beschaduwd en bevinden zich in loofbos met els, es, haagbeuk en eik. De oevers zijn begroeid kruidachtigen.

Het betreft een β -mesosaproob, matig voedselrijk milieu.

Ecologische typing

Kenmerkend zijn de op de stroom meedeinende plukken van vlottende waterranonkel (*Ranunculus fluitans*) en haaksterrenkroos (*Callitriche hamulata*). Daarnaast is grote waterranonkel (*Ranunculus peltatus*) karakteristiek. Onder zachte tot matig harde, voedselarme omstandigheden ontwikkelt zich teer vederkruid (*Myriophyllum alterniflorum*). Onder kalkrijke, voedselrijke omstandigheden worden mannagras (*Glyceria fluitans*), groot moerasscherm (*Apium nodiflorum*) en stomp vlotgras (*Glyceria notata*) aangetroffen. In de beekmiddenloop zelf komen vlottende waterranonkel (*Ranunculus fluitans*), aarvederkruid (*Myriophyllum spicatum*) en sedefonteinkruid (*Potamogeton pectinatus*) voor.

De kenmerkende macrofaunagemeenschap is zeer divers en bestaat deels uit stromingsminnende (rheobionte en rheofiele) soorten. Het betreft detriti-herbivoren, herbivoren en carnivoren. Belangrijke groepen zijn veder-muggen, kriebelmuggen, eendagsvliegen en kokerjuffers.

In snelstromende middenlopen op zand- en grindbodem bestaat de visgemeenschap uit stromingsminnende soorten, waarvan alle of sommige levensstadia gebonden zijn aan de hoofdstroom.

Hydrologische toestandsvariabelen

parameter	range
breedte m	2 - 5
diepte cm	20 - 70
stroomsnelheid cm/s	30 - 70
% vegetatie bedekking	< 40

3.1.3.4 Snelstromende benedenlopen

Processen

De snel stromende benedenlopen zijn in Nederland beperkt tot de dalen van het Prépleistocene gebied. De afvoer is constant.

Het profiel is licht meanderend en structuurrijk. De bodem bestaat uit een afwisseling van leem met grind, veel zand en met plaatselijk waterplanten en organische structuren (omgevallen bomen).

De benedenlopen bevinden zich in loofbos of in half open landschap. De beek is daardoor ten dele beschaduwd. De oever is bezet met els en es. De oevers zijn begroeid met kruiden en struiken.

Het betreft een β -mesosaproob, matig voedselrijk milieu.

Ecologische typing

De vegetatie wordt gedomineerd door vlottende waterranonkel (*Ranunculus fluitans*) of onder voedselrijkere, goed gebufferde, kalkrijke omstandigheden door doorgroeid fonteinkruid (*Potamogeton perfoliatus*). In de stroomgeul komen vlottende wateranonkel (*Ranunculus fluitans*) en fonteinkruiden (*Potamogeton pectinatus*, *P. natans*, *P. lucens*) voor.

De kenmerkende macrofaunagemeenschap is divers en bestaat deels uit rheofiele soorten. Het betreft detriti-herbivoren, herbivoren, omnivoren en carnivoren. Belangrijke groepen zijn vedermuggen, kokerjuffers en eendagsvliegen.

In snelstromende benedenlopen bestaat de visgemeenschap uit stromingsminnende soorten, naast in allerlei biotopen voorkomende soorten. Dergelijke soorten zijn gebonden aan de hoofdstroom én afhankelijk van zijwateren die in permanente verbinding met de beek staan.

Hydrologische toestandsvariabelen

parameter	range
breedte m	4 - 15
diepte cm	30 - 100
stroomsnelheid cm/s	30 - 70
% vegetatie bedekking	< 40

3.1.3.5 Snelstromende riviertjes

Processen

Snelstromende riviertjes bevinden zich in het heuvelland en langs de terrasranden. Ze bevinden zich soms in loofbos maar vaak in half open tot open landschap en zijn plaatselijk beschaduwd. De loop is meanderend. Het substraat bestaat vooral uit zand, met plaatselijk waterplanten, soms grindbanken en organische structuren (omgevalen bomen). De oevers zijn begroeid met kruiden en struiken. Het betreft een β -mesosaproob, matig voedselrijk milieu.

Ecologische typering

De vegetatie wordt gedomineerd door vlottende waterranonkel (*Ranunculus fluitans*) of onder voedselrijkere, goed gebufferde, kalkrijke omstandigheden door doorgroeid fonteinkruid (*Potamogeton perfoliatus*). In de stroomgeul komen vlottende wateranonkel (*Ranunculus fluitans*) en fonteinkruiden (*Potamogeton pectinatus*, *P. natans*, *P. lucens*) voor.

De fauna is divers. Sommige soorten zijn stromingsminnend en andere soorten zijn indifferent. DE meeste soorten op en in het sediment of komen voor in de waterkolom of het littoraal. Het betreft detriti-herbivore vergaarders, omnivoren, carnivoren en herbivoren. Belangrijke groepen zijn vedermuggen, wormen en slakken.

In snelstromende riviertjes bestaat de visgemeenschap uit stromingsminnende soorten naast soorten die in allerlei biotopen voorkomen. Dergelijke soorten zijn of gebonden aan de hoofdstroom én afhankelijk van zijwateren in permanente verbinding met de beek.

Hydrologische toestandsvariabelen

parameter	range
breedte m	10 - 30
diepte cm	70 - 120
stroomsnelheid cm/s	30 - 80
% vegetatie bedekking	< 40

3.1.4 Langzaam stromende beken

Langzaam stromende beken (= laaglandbeken) worden gekenmerkt door trage stroming met een gedempte dynamiek in afvoer. Langzaam stromende beken meanderen en kronkelen door het landschap. Ze zijn meestal beschaduwd, hetgeen een temperatuuropdamping geeft. Het dwarsprofiel is asymmetrisch met zandbanken, overhangende oevers, aangeslibde, rustig stromende tot stilstaande plekken en plaatselijk stroomversnellingen met bankjes van fijn grind. Er is veel organisch materiaal aanwezig in de vorm van boomstammen, takken, bladpakketten, detritusafzettingen en slibzones. Dit leidt tot een rijke mozaïek aan habitats voor macrofauna. Vegetatieontwikkeling is beperkt tot het in plukken voorkomen van enkele stromingsminnende waterplanten.

Het water is oligo-β-mesosaproob en matig-voedselrijk tot voedselrijk. Het water is zwak zuur tot neutraal en slechts matig ionenrijk.

De stromingsminnende fauna is aangepast aan het gevarieerde stromingsmilieu. De meer kritische soorten zijn sterk zuurstofminnend en vaak voor voedsel en habitat afhankelijk van de factor stroming. Opvallende groepen zijn veder-muggen, kreeftachtigen en kokerjuffers.

3.1.4.1 Langzaam stromende bovenloopjes

Processen

Langzaam stromende bovenloopjes worden overal in het laagland en in de vlakke delen van de overige gebieden gevonden. Als gevolg van de constante voeding (helocrene bron of kwel) ontstaan permanent stromende loopjes.

Dergelijke bovenloopjes zijn zwak meanderend. Het asymmetrische profiel is onderdeel van een rijk gestructureerd mozaïek aan substraten. De loopjes bevinden zich in loofbos, veelal bron- of moerasbossen. De oever is bezet met els. De oevers zijn begroeid met mossen en kruiden.

Het betreft een oligo-β-mesosaproob, voedselarm tot matig voedselrijk milieu.

Ecologische typering

Plaatselijk worden soorten zoals paarbladig goudveil (*Chrysosplenium oppositifolium*), bittere veldkers (*Cardamine amara*), witte waterkers (*Rorippa nasturtium-aquaticum*) en groot bronkruid (*Montia fontana subsp. fontana*) gevonden. In het loopje komt duizendknoopfonteinkruid (*Potamogeton polygonifolius*) en grote waterranonkel (*Ranunculus peltatus var. heterophyllus*) voor.

De fauna is divers. De meeste soorten leven op vaste substraten en in mindere mate het sediment. Veel soorten zijn rheofiel en koud-stenotherm. Het betreft detriti-herbivoren, carnivoren en omnivoren. Belangrijke groepen zijn wormen, kreeftachtigen, veder-muggen, vliegen en kokerjuffers.

De visfauna is beperkt, plaatselijk worden biermpjes (*Barbatula barbatulus*) aangetroffen.

Hydrologische toestandsvariabelen

parameter	range
breedte m	< 1.5
diepte cm	< 25
stroomsnelheid cm/s	10 - 40
% vegetatie bedekking	< 40

3.1.4.2 Langzaam stromende bovenlopen

Processen

Langzaam stromende bovenlopen komen verspreid in de vlakkere delen van het hele Pleistocene zandgebied voor. De beken worden gevoed vanuit een brongebied. Als gevolg van de constante voeding (helocrene bron of kwel) is de beek permanent en is de afvoer vrij constant.

Het lengteprofiel van de bovenloop is meanderend, kronkelend en structuurrijk. De beken hebben veelal een zandbodem met veel organische structuren. Dergelijke bovenlopen zijn beschaduwd. Ze bevinden zich in loofbos, soms nog in bron- of moerasbossen. De oever is bezet met els. De oevers kunnen verder begroeid zijn met mossen en kruiden.

Het betreft een oligo- β -mesosaproob, voedselarm tot matig voedselrijk milieu.

Ecologische typering

Zoals in de bovenloopjes komen plaatselijk nog soorten voor zoals paarbladig goudveil (*Chrysosplenium oppositifolium*), beekpunge (*Veronica beccabunga*), bittere veldkers (*Cardamine amara*), witte waterkers (*Rorippa nasturtium-aquaticum*) en slanke sleutelbloem (*Primula elatior*). In de beekbovenloop komt haaksterrenkroos (*Callitriche hamulata*), kleine egelskop (*Sparganium emersum*), groot bronkruid (*Montia fontana subsp. fontana*) en grote waterranonkel (*Ranunculus peltatus var. heterophyllus*) voor. In zacht tot matig hard, helder water worden de kwelindicator waterviolier (*Hottonia palustris*) en rossig fonteinkruid (*Potamogeton alpinus*) en gewoon sterrenkroos (*Callitriche platycarpa*) gevonden. Indien het substraat mineraalrijk en enigszins aangerijkt is met kalk zodat een (zwakke) buffering in stand gehouden wordt, bestaat de vegetatie uit teer vederkruid (*Myriophyllum alterniflorum*). Op plaatsen met uittredend grondwater en meer voedselrijke omstandigheden wordt klimopwaterranonkel (*Ranunculus hederaceus*) aangetroffen. Bij vermisting en alkalisering maken genoemde soorten plaats voor haarfonteinkruid (*Potamogeton trichoides*), tenger fonteinkruid (*Potamogeton pusillus*) en smalle waterpest (*Elodea nutallii*).

De kenmerkende macrofaunagemeenschap bestaat uit rheofiele, soms koud-stenotherme, en stromingstolerante soorten. De stromend watersoorten van grotere beken doen hun intrede. De meeste soorten leven op vaste substraten en in mindere mate in of op het sediment, in de waterkolom en het littoraal. Het betreft vertegenwoordigers van alle trofische niveaus. Belangrijke groepen zijn wormen, kreeftachtigen, vedermuggen, vliegen en kokerjuffers. De soortensamenstelling is vrij divers.

In langzaam stromende bovenlopen op zand-, klei-, slib- of veenbodem bestaat de visgemeenschap uit stromingsminnende soorten. Deze soorten kunnen gebonden zijn aan de hoofdstroom maar er zijn ook stadia die gebonden zijn aan zijwateren in permanent open verbinding met de beek.

Hydrologische toestandsvariabelen

parameter	range
breedte m	1 - 3
diepte cm	< 40
stroomsnelheid cm/s	10 - 50
% vegetatie bedekking	< 20

3.1.4.3 Langzaam stromende middenlopen

Processen

Langzaam stromende middenlopen komen verspreid in de vlakke delen van het hele Pleistocene zandgebied en het pre-Pleistocene gebied voor. De afvoer is vrij constant.

De middenlopen bevinden zich in loofbos met els, es, haagbeuk en eik. De beek is grotendeels beschaduwd. De oever is bezet met els en es. De beekloop is meanderend en kronkelend. Het dwarsprofiel is structuurrijk. Het substraat bestaat vooral uit zand, plaatselijk waterplanten en organische structuren (omgevallen bomen). De oevers zijn begroeid met mossen, varens en andere kruiden. Het profiel is meanderend en structuurrijk.

Het betreft een β -mesosaproob, matig voedselrijk milieu.

Ecologische typering

In de middenloop komen haaksterrenkroos (*Callitriche hamulata*), kleine egelskop (*Sparganium emersum*), aarvederkruid (*Myriophyllum spicatum*), vlottende water-ranonkel (*Ranunculus fluitans*), fonteinkruiden (*Potamogeton alpinus*, *P. crispus*, *P. nodosus*, *P. lucens*) en grote waterranonkel (*Ranunculus peltatus* var. *heterophyllum*) voor. Verder worden waterviolier (*Hottonia palustris*) en gewoon sterrenkroos (*Callitriche platycarpa*) aangetroffen. Deze soorten komen voor in zacht tot matig hard, helder water op plaatsen waar grondwater uittreedt. Onder zachte tot matig harde, voedselarme omstandigheden ontwikkelt zich teer vederkruid (*Myriophyllum alterniflorum*) en drijvende waterweegbree (*Luronium natans*). Doorgroeid fonteinkruid (*Potamogeton perfoliatus* en *P. lucens*) wordt aangetroffen in voedselrijk, goed gebufferd, kalkrijk water. Alleen doorgroeid fonteinkruid (*Potamogeton perfoliatus*) en scheidfonteinkruid (*Potamogeton pectinatus*) zijn wijd verbreide soorten. Bij nog lagere stroomsnelheden worden nymphaeïde soorten gevonden zoals gele plomp (*Nuphar lutea*).

De kenmerkende macrofaunagemeenschap bestaat uit soorten van zowel stromend als stilstaand water. Toch zijn nog veel soorten stromingsminnend. De soortensamenstelling is zeer divers. De meeste soorten leven op vaste substraten zoals waterplanten en op en in het sediment, de waterkolom en het littoraal. Het betreft vertegenwoordigers van alle trofische niveaus. Belangrijke groepen zijn vedermuggen, kevers en kokerjuffers.

In langzaamstromende middenlopen op zand-, klei-, slib- of veenbodem komen visgemeenschappen voor plaatselijk bestaande uit stromingsminnende soorten, maar veelal komen ook eurytope en limnofiele soorten voor.

Hydrologische toestandsvariabelen

parameter	range
breedte m	2 - 5
diepte cm	20 - 70
stroomsnelheid cm/s	10 - 50
% vegetatie bedekking	< 40

3.1.4.4 Langzaam stromende benedenlopen

Processen

Langzaam stromende benedenlopen komen verspreid in het hele oosten en zuiden van Nederland voor. De afvoer is vrij constant. De benedenlopen bevinden zich in loofbos of in half open landschap. De beek is ten dele beschaduwd. De oever is bezet met els en es.

De beekloop is meanderend en structuurrijk. De beken hebben veelal een zandbodem, met plaatselijk waterplanten en organische structuren (omgevallen bomen). De oevers zijn begroeid met kruiden en struiken.

Het betreft een β -mesosaproob, matig voedselrijk milieu.

Ecologische typering

In de beekbenedenloop komen aarvederkruid (*Myriophyllum spicatum*), vlottende water-ranonkel (*Ranunculus fluitans*), fonteinkruiden (*Potamogeton crispus*, *P. nodosus*, *P. lucens*, *P. perfoliatus*) en gele plomp (*Nuphar lutea*) voor. Daarnaast kunnen doorgroeid fonteinkruid (*Potamogeton perfoliatus*), grote egelskop (*S. erectum*) en pijlkruid (*Sagittaria sagittifolia*), of in matig voedselrijk, ondiep water kleine en (*Sparganium emersum*) worden gevonden. Pijlkruid (*Sagittaria sagittifolia*) vormt in diep water een drijvende groeivorm. In het overstromingsbereik ontwikkelen zich zeggenmoerassen.

De kenmerkende macrofaunagemeenschap bestaat uit soorten van zowel stromend als stilstaand water. De meeste soorten zijn echter stromingsminnend en leven op en in het sediment, de waterkolom en het littoraal. Sommige soorten komen ook in stilstaande wateren voor. Het betreft vooral detriti-herbivore vergaarders en herbivoren. Belangrijke groepen zijn wormen, vedermuggen en slakken. De soortensamenstelling is divers.

In langzaam stromende benedenlopen op zand-, klei-, slib- of veenbodem komen visgemeenschappen voor met limnofiele en eurytope soorten. Plaatselijk worden rheofiele soorten (klasse (A) en B) gevonden.

Hydrologische toestandsvariabelen

parameter	range
breedte m	4 - 10
diepte cm	30 - 100
stroomsnelheid cm/s	10 - 50
% vegetatie bedekking	20 - 40

3.1.4.5 Langzaam stromende riviertjes

Processen

Daar waar beekjes en beken zich samenvoegen in grotere 'lijnvormige elementen' in het landschap spreken we van riviertjes. Riviertjes dragen kenmerken van grote rivieren en van beken. Zo worden langs riviertjes stroomrug-, kom- en overslaggronden aangetroffen. Daartussen komen veel oude rivierarmen voor in verschillende stadia van verlanding. De meeste riviertjes ontvangen het merendeel van het afvoerwater van de bovenstroomse beken, maar er treedt ook kwel van diep grondwater op. Het verval van riviertjes is in vergelijking tot beken gering en er vindt bij hoge afvoer inundatie plaats. Natuurlijke riviertjes zijn sterk meanderend. Door de lagere stroomsnelheid kan veel slib en organisch materiaal bezinken. Riviertjes doorkruisen en snijden een verscheidenheid van bodemtypen aan.

Het water is tamelijk voedselrijk en er komt relatief veel fytoplankton in voor.

Ecologische typering

In de langzaam stromende riviertjes komen aarvederkruid (*Myriophyllum spicatum*), vlottende waterranonkel (*Ranunculus fluitans*), fonteinkruiden (*Potamogeton crispus*, *P. nodosus*) en gele plomp (*Nuphar lutea*) voor. Daarnaast worden doorgroeid fonteinkruid

(*Potamogeton perfoliatus*) of in matig voedselrijk, ondiep water grote egelskop (*Sparganium erectum*), kleine egelskop (*Sparganium emersum*) en pijlkruid (*Sagittaria sagittifolia*) gevonden. In het overstromingsbereik ontwikkelen zich zeggenmoerassen.

De kenmerkende macrofaunagemeenschap bestaat uit soorten van zowel stromend als stilstaand water. De soortensamenstelling is zeer divers.

De visgemeenschap in riviertjes vertoont grote overeenkomsten met die in het gemeenschapstype voor benedenlopen.

Hydrologische toestandsvariabelen

parameter	range
breedte m	10 – 30
diepte cm	30 – 120
stroomsnelheid cm/s	10 - 50
% vegetatie bedekking	< 40

3.2 Beschrijving van de Sloottypen

Aan de hand van de factoren die beschreven zijn in paragraaf 2.2 worden de watertypen voor sloten besproken. De sloottypen die binnen deze studie worden onderscheiden zijn:

1	Brakke sloten
2	(Zwak) zure zandsloten
3	Zure hoogveensloten
4	Oligo- tot mesotrofe zandsloten
5	Mesotrofe veensloten
6	Eutrofe veensloten
7	Eutrofe kleisloten

Ontstaanswijze en ouderdom

Sloten zijn door de mens gegraven ten behoeve van de landbouw en de waterbeheersing. Ten tijde van de eerste permanente nederzettingen bij de kust zijn al sloten gegraven om de wateroverlast te verminderen. Achter de oude zeedijken die in de vroege Middeleeuwen zijn aangelegd in het westen en noorden van Nederland, werden afwateringsloten gegraven. Vaak werden reeds aanwezige natuurlijke waterloopjes en kreken voor dit doel vergraven (Beije *et al.* 1994). Sloten zijn onderling verbonden en vormen een netwerk. In het algemeen is het patroon en de ligging van sloten sinds de aanleg door de eeuwen heen identiek gebleven. Vooral tijdens ruilverkavelingen en landinrichtingsprojecten worden sloten vaak gedempt; soms worden er dan ook weer nieuwe gegraven.

Morfologie

Sloten zijn lijnvormige wateren waarvan de grootte (lengte, breedte en diepte) sterk kan variëren. Meestal zijn sloten niet breder dan 6-8 meter en niet dieper dan 1,5 m. Veel sloten hebben steile taluds.

3.2.1 *Brakke sloten*

Brakke sloten zijn vooral te vinden in de laaggelegen polders in het westen en noorden van Nederland. Ze worden gevoed door neerslag en brak grondwater. De waterstanden kunnen in de loop van het jaar sterk fluctueren, afhankelijk van neerslag, verdamping, kwel en menselijke beïnvloeding (onder andere bemaling). De bodem bestaat veelal uit klei, maar soms ook uit veen of zand. Van de brakke veensloten zijn de meeste verzoet. Brakke klei- of zandsloten komen op dit moment meer voor, bijvoorbeeld in Zeeland, Friesland en Noord-Holland. Deze sloten worden gevoed met brak kwelwater. In deze wateren zijn het sulfaat en fosfaatgehalte vaak hoog. De trofiegraad van de wateren is daardoor hoog. De vegetatie in deze wateren is niet gelimiteerd door fosfor maar door stikstof. Deze sloten kunnen ook een combinatie van klei en zand als bodemtype hebben. Een kenmerk van brakke wateren is de grote fluctuatie van het zoutgehalte gedurende het jaar door afwisselende dominantie van regenwater of kwelwater. (Zwak) brakke sloten bevatten helder water.

Ecologische typering

Naast specifieke brakwatersoorten komen algemene slootsoorten voor. Veel sloot-organismen kunnen in leven blijven tot een concentratie van duizend tot enige duizenden mg Cl/l. De vegetatie in brakke wateren is meestal soortenarm. De oevervegetatie bestaat voornamelijk uit riet. De waterplantenvegetatie bestaat uit enkele typische brakwatersoorten, zoals groot nimfkruid en enkele algemene soorten die brak water tolereren, zoals schedefonteinkruid.

Hydrologische toestandsvariabelen

parameter	range
diepte cm	< 150
waterbeweging	geen
permanentie	ja

Beheer en inrichting

Beheer en inrichting moeten gericht zijn op het behoud van brak kwelwater. Regelmatig baggeren (1 keer in zeven jaar) houdt de sloten open. Een lager waterpeil is te prefereren boven inlaat van zoet water. Kunstmatige drainage moet vermeden worden.

3.2.2 *(Zwak) zure zandsloten*

Zwak zure zandsloten ($\text{pH} < 6$) komen voor op de zandgronden in het oosten en zuiden van Nederland. De sloten zijn niet tot zwak gebufferd en voornamelijk afhankelijk van regenwater en oppervlakkig (jong) kwelwater. Natuurlijke zure sloten zijn oligo- tot mesotroof. De sloten zijn meestal ionenarm en hebben een laag zoutgehalte en alkaliniteit. De sloten kunnen gedurende een droge warme zomer tijdelijk droogvallen.

Ecologische typering

De vegetatie in deze sloten bestaat uit planten die bestand zijn tegen een lage zuurgraad en die zich hebben aangepast aan voedselarme omstandigheden. Voorbeelden van dergelijke 'zuurwater soorten' zijn de zeldzame witte waterranonkel en het klein blaasjeskruid. Er komen ook soorten voor die hun optimum hebben in zwak zuur water maar ook voorkomen in neutrale wateren zoals drijvende waterweegbree.

De macrofauna bestaat uit soorten die specifiek in zure wateren voorkomen met daarbij een aantal algemene soorten die tolerant zijn voor een lage zuurgraad. De soorten-samenstelling is matig divers met een laag aantal individuen en met veel kreeftachtigen, vliegen, vedermuggen en kevers. Er komen weinig slakken, bloedzuigers en platwormen voor.

In droogvallende zure sloten komen enkele macrofaunasoorten voor die droogval indiceren. Een voorbeeld is de kever *Hydroporus erythrocephalus*.

Hydrologische toestandsvariabelen

parameter	range
diepte cm	< 100
waterbeweging	gering
permanentie	meestal

Beheer & inrichting

Beheer van deze sloten moet gericht zijn op het behoud van het zwak zure karakter. Dit betekent dat geen gebiedsvreemd water ingelaten mag worden. Eutrofiëring moet voorkomen worden. Verder is het goed om droogval in de zomer te voorkomen door te zorgen voor voldoende berging van water in de omgeving. Baggeren is slechts nodig als er teveel organisch materiaal is opgehoopt (vaker dan één keer per 20 jaar is zeker niet nodig). Deze oligotrofe zwak zure sloten liggen vaak geïsoleerd. Deze hydrologische isolatie is van groot belang en moet daarom behouden blijven. Het waterpeil moet zo hoog mogelijk gehouden worden. Kunstmatige drainage moet vermeden worden.

3.2.3 *Zure hoogveensloten*

Het betreft twee typen sloten. Het eerste zijn de wat grotere sloten die gelegen zijn in hoogveengebieden. Deze sloten liggen meestal in natuurgebieden en zijn vroeger gegraven om de hoogveengebieden te ontwateren voor de winning van turf.

Ook in laagveengebieden komen hoogveensloten voor. Dit zijn kleine, ondiepe zwak zure tot zure hoogveensloten. Bij groeiende *Sphagnum* vegetatie, waarbij bulten van veenmos ontstaan, wordt hoogveen op laagveen gevormd. Dit is tegenwoordig een weinig voorkomende situatie, maar het gebeurt nog steeds hier en daar. Het water dat uit dergelijk veen afgevoerd wordt, bevat meer kenmerken van hoogveenwateren dan van laagveenwateren. De afvoer is niet bijzonder groot, maar de hierdoor gevormde slootjes vallen niet droog. Het is een zeer bijzonder type sloten met een geheel afwijkende flora en fauna t.o.v. de mesotrofe en zeker de eutrofe sloten. De wateren hebben een zeer lage ionenrijkdom wat kenmerkend is voor kleine hoogveenwateren die slechts door regenwater worden gevoed.

Ecologische typering

Het zure karakter van de sloten vormt een bijzonder biotoop met bijvoorbeeld een vegetatie van verschillende soorten veenmos en zuurminnende macrofaunasoorten. Het water wordt afgevoerd door de vegetatie van veenmos. Het bodemmateriaal bestaat voornamelijk uit organisch materiaal afkomstig van afgestorven planten. Er is geen of weinig slib aanwezig. Macrofaunasoorten leven vooral van detritus en andere macrofauna. Er komen geen slakken, bloedzuigers en platwormen voor.

Hydrologische toestandsvariabelen

parameter	range
diepte cm	<150
waterbeweging	geen
permanentie	ja

Beheer en inrichting

Behoud van gebiedseigen water is in deze sloten van belang. Het waterpeil moet zo hoog mogelijk gehouden worden. Kunstmatige drainage moet vermeden worden. Daarnaast moeten de veenmosbulten in de sloten beschermd worden tegen betreding door vee. Regelmatig onderhoud is in deze sloten niet nodig. De sloten moeten hydrologisch geïsoleerd zijn om het oligotrofe zure karakter te behouden.

3.2.4 *Oligo- tot mesotrofe zandsloten*

De zuurgraad van deze zandsloten ligt tussen 6 en 7. De sloten zijn oligotroof tot mesotroof en +-mesosaproob. Het water is zuurstof- en ijzerrijk. Hierdoor worden nutriënten zoals fosfaat gebonden in het sediment. Er is vaak sprake van kwelwater. Het water is matig hard en het zoutgehalte is laag. De wateren zijn helder.

Ecologische typering

In deze wateren komen veel bijzondere waterplanten voor die kenmerkend zijn voor voedselarme wateren. De soortensamenstelling hangt sterk samen met de lokale hydrologische situatie, waardoor de chemische samenstelling van het water bepaald wordt. Afhankelijk van de chemische samenstelling kunnen verschillende plantensoorten voorkomen. De meeste planten zijn kenmerkend voor het sulfaat type water, maar een plant zoals de waterviolier die een indicator is voor kwel, is afhankelijk van koolstofdioxide. In de grotere sloten op zandgrond wordt ook bronmos gevonden.

Bij een goed ontwikkelde vegetatie kan de macrofaunagemeenschap soortenrijk zijn. Er komen soorten voor in het sediment maar vooral tussen en op de vegetatie zijn vele soorten te vinden. De meeste soorten zijn vergelijkbaar met de soorten uit de oligo- tot mesotrofe veensloten.

Hydrologische toestandsvariabelen

parameter	range
diepte cm	< 100
waterbeweging	gering
permanentie	ja

Beheer en inrichting

Belangrijk in deze sloten is het behoud van het neutrale en oligotrofe karakter. Er is meestal geen dikke laag organisch materiaal op de bodem aanwezig. Dit moet behouden blijven en daarom moet gebaggerd worden als organisch materiaal zich opgehoopt heeft. De aanvoer van nutriënten vanuit omringend landbouwgebied of via het inlaten van voedselrijk water moet voorkomen worden. Het waterpeil moet zo hoog mogelijk gehouden worden. Kunstmatige drainage moet vermeden worden.

3.2.5 Mesotrofe veensloten

Deze sloten worden gekenmerkt door lage nutriëntengehalten en een veenbodem. Op de bodem bevindt zich een dunne laag sapropelium. Verlanding kan in deze wateren snel plaatsvinden. De voedselarme sloten kwamen vroeger voor in de meest geïsoleerde sloten in een polder. Tegenwoordig zijn deze sloten vrijwel alleen nog in natuurgebieden of gebieden met extensieve landbouw te vinden. Dergelijke sloten zijn zodanig hydrologisch geïsoleerd van poldersystemen, dat er geen doorstroming van voedselrijk polderwater plaatsvindt.

Ecologische typering

In het heldere water groeit de vegetatie pleksgewijs met daartussenin veel open water. De vegetatie van de slootjes in het centrale deel van de polder bestond uit knolrus, naaldwaterbies, kleinste egelskop, waterdrieblad, wateraardbei, fonteinkruiden en met zeggen als kenmerkende oeverplanten. In de voedselrijkere sloten komen glanzig en doorgroeid fonteinkruid erbij.

In de meest voedselarme slootjes kwamen lage aantallen vissen voor, weinig slakken, bloedzuigers, platwormen en borstelwormen. De insecten zijn goed vertegenwoordigd met veel soorten wantsen, kevers, kokerjuffers en haften, die ook van andere voedselarme omstandigheden bekend zijn.

Kenmerkend is een kleiner aantal soorten en minder individuen dan in meer voedselrijke sloten van de groepen borstelwormen, platwormen, bloedzuigers, slakken en tweekleppigen.

Hydrologische toestandsvariabelen

parameter	range
diepte cm	< 150
waterbeweging	geen
permanentie	ja

Beheer en inrichting

Een natuurlijk peilregime moet zoveel mogelijk in stand gehouden worden, zodat schoon water zo lang mogelijk wordt vastgehouden. Schonen bestaat uit periodiek (eens per drie jaar) uitdunnen van de helofyten en eventueel submerse vegetaties. Schonen kan het beste gedeeltelijk gebeuren zodat altijd een deel van de vegetatie blijft staan en zich weer kan uitbreiden. Het onderhoud kan extensief zijn. De oevervegetatie van naaldwaterbies, stijve zegge en draadzegge dient beschermd te worden tegen betreding door vee. Baggeren kan gedaan worden als de laag organisch materiaal op de bodem van de sloot te dik wordt. Een lange cyclus van 1 keer in de 10 jaar baggeren is voor deze sloten geschikt.

3.2.6 Eutrofe veensloten

In de oorspronkelijke situatie zoals die door Westhoff (1970) beschreven wordt, komen de voedselrijke sloten met een rijke vegetatie voor op het traject van het voedselarme deel naar de boezem. De veenbodem is bedekt met een dikke laag sapropelium en detritus, maar het zuurstofgehalte in deze wateren is hoog.

Het gaat nu meestal om de kopse uiteinden van sloten, die over korte of langere trajecten alleen waterverplaatsing in de richting van voedselrijkere poldersloten vertonen en

daarom pas in droge tijden vanuit de rest van de polder beïnvloed kunnen worden. In enkele gevallen zijn de sloten geheel geïsoleerd. De watertoevoer bestaat uit neerslagwater, drainage uit de aangrenzende percelen en soms kwel.

Ecologische typering

In deze sloten kunnen zeer veel plantensoorten voorkomen. Vrijwel alle plantensoorten die niet specifiek zijn voor extreme situaties zoals brakke, zure of zeer oligotrofe wateren kunnen in deze sloten worden aangetroffen. De aanwezigheid van bepaalde soorten is sterk afhankelijk van de chemische samenstelling van het water. De aanwezige stoffen houden verband met de herkomst van het water. Een belangrijk aspect hierbij is de aanwezigheid van kwel.

De sloten groeien elk jaar weer dicht met krabbescheer, meestal in gezelschap van stijve waterranonkel, kikkerbeet, gewoon blaasjeskruid, brede waterpest en gedoornd hoornblad (de laatste twee soorten zijn nooit tegelijkertijd in hoge bedekking aanwezig). Ondergedoken waterplanten domineren in deze wateren. Kroos komt wel voor maar slechts pleksgewijs. De planten vormen onder water een hechte structuur waarin veel dieren zich kunnen schuilhouden.

Eutrofe sloten zijn wateren die ongeveer alle dieren kunnen bevatten, die als algemeen voor stilstaande wateren in Nederland worden opgegeven. Er komen veel soorten borstelwormen, platwormen, bloedzuigers en slakken voor. Daarnaast zijn er veel soorten watermijten en insecten. Deze sloten, mits niet verontreinigd, vormen de rijkste aquatische biotopen die er in Nederland te vinden zijn. De macrofauna wordt vertegenwoordigd door 300 à 400 soorten. De soorten kunnen in alle sloten van dit type worden aangetroffen. Er is in de macrofauna geen onderscheid gevonden tussen kwel- en niet kwelgevoede wateren of tussen wateren met een anderszins verschillende chemische samenstelling. De macrofauna is vooral afhankelijk van de grootte van de sloot, een goede zuurstofvoorziening en een rijke vegetatiestructuur.

Hydrologische toestandsvariabelen

parameter	range
diepte cm	< 150
waterbeweging	geen
permanentie	ja

Beheer en inrichting

Om eutrofiëring van deze wateren tegen te gaan moet het gebiedseigen water zoveel mogelijk vastgehouden worden en het peilregime zo natuurlijk mogelijk zijn. Bij overdadige bodemophoping moet gebaggerd worden (ongeveer eens per acht jaar).

Dergelijke sloten hebben de neiging snel te verlanden en moeten elk jaar geschoond worden, tenzij ze overgedimensioneerd zijn. Het materiaal kan het best afgevoerd worden en niet op de oevers gedeponeerd worden. Hierdoor kan de sloot zich meer in de richting van mesotrofië ontwikkelen. Het waterpeil moet zo hoog mogelijk gehouden worden en kunstmatige drainage van het gebied moet worden voorkomen, zodat inlaat van gebiedsvreemd water in de zomer niet nodig is.

3.2.7 Kleislotten

Tot deze groep behoren de sloten in rivier- of zeekeleigebieden. Deze sloten zijn vaak breder dan sloten in het veengebied. In het zeekeleigebied kunnen brakke kleislotten voorkomen. Hiervoor wordt echter verwezen naar het type brakke sloten. Binnen deze groep gaat het alleen om de zoete kleislotten. Zoete kleislotten zijn van nature mineralenrijk en bevatten hoge nutriëntengehalten. Door het fijne bodemmateriaal kan het water soms troebel zijn door opwerveling van deeltjes. Deze opwerveling kan worden veroorzaakt door waterbeweging of door vis.

Ecologische typering

Kleislotten bevatten enkele soorten die specifiek zijn voor klei. Dit zijn vooral planten zoals de zwanebloem. Binnen de macrofauna zijn geen soorten aan te wijzen die specifiek in kleislotten voorkomen. Soorten in kleislotten zijn vaak algemeen voorkomend. De bodembewoners zijn talrijker aanwezig terwijl de soortenrijkdom lager is dan in veensloten.

Hydrologische toestandsvariabelen

parameter	range
diepte cm	< 150
waterbeweging	geen
permanentie	ja

Beheer en inrichting

De grootste bedreiging voor de kleislotten is de verdergaande eutrofiëring. Dit moet voorkomen worden door verlaging van inspoeling van nutriëntenrijk water en verhoging van het grondwaterpeil.

3.3 Beschrijving van ecologische ranges van de watertypen per hydro-morfologische factor

Voor elk van de beek- en sloottypen is de informatie uit de voorgaande paragrafen, aangevuld met *expert judgement*, in tabelvorm samengevat. Voor de meeste stromings- en structuurfactoren is omschreven in welke range de referentiesituaties (watertypen) voorkomen. Voorts is het relatieve belang van de factoren aangeven met een wegingsfactor, zowel op hoofd-factor (hydrologie, lengte-, dwars-, en substraatprofiel) als op factor niveau. De werking van deze wegingsfactoren zal in het laatste hoofdstuk ter sprake komen.

Bij het toekennen van weging aan de hoofdfactoren is uitgegaan van de redentatie dat, in het kader van 'Waterlood', vooral de stromingsfactoren kunnen worden aangestuurd en dat de structuurfactoren als gevolg daarvan veranderen. Het gewicht van de structuurfactoren is daarom minder dan van de stromingsfactoren.

Binnen de beektypen zijn nog geen omschrijvingen gegeven voor de factor basisafvoer. Omdat dit een belangrijk sturende factor kan zijn voor de levensgemeenschappen in beken, zal uit toekomstig onderzoek moeten blijken welke ranges kunnen worden omschreven voor de verschillende beektypen.

Tabel 2 Ecologische ranges van stromings- en structuurfactoren in beektypen

				1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15		
				Droogvallende beken		(Zwak) zure beken			Snelstromende beken					Langzaam stromende beken						
				bovenloopjes	bovenlopen	bovenloopjes	bovenlopen	middenlopen	bovenloopjes	bovenlopen	middenlopen	benedenlopen	riviertjes	bovenloopjes	bovenlopen	middenlopen	benedenlopen	riviertjes		
				weging	Factor	weging														
Stroming	Hydrologie	5	kwel	4	aanwezig	aanwezig	aanwezig	aanwezig	plaatselijk aanwezig	aanwezig	aanwezig	plaatselijk aanwezig	plaatselijk aanwezig	plaatselijk aanwezig	aanwezig	aanwezig	plaatselijk aanwezig	plaatselijk aanwezig	plaatselijk aanwezig	
			normaal waterpeil (cm)	2	< 25	< 40	< 25	< 40	20 - 70	< 25	< 40	20 - 70	30 - 100	70 - 120	< 25	< 40	20 - 70	30 - 100	30-120	
			hoogwaterpeil (cm)	2	< 50	< 80	< 50	< 80	< 150	< 50	< 80	< 200	< 200	< 300	< 50	< 80	< 200	< 250	< 300	
			peildynamiek	3	seizoenswisseling	seizoenswisseling	constant peil	constant peil	nauwelijks	constant peil	constant peil	nauwelijks	nauwelijks	nauwelijks	constant peil	constant peil	nauwelijks	nauwelijks	matig	
			permanentie	5	nee	nee	ja	ja	ja	ja	ja	ja	ja	ja	ja	ja	ja	ja	ja	ja
			gemiddelde stroomsnelheid (cm/s)	3	10 - 30	10 - 50	10 - 40	10 - 40	10 - 50	30 - 60	30 - 80	30 - 70	30 - 70	30 - 80	10 - 40	10 - 50	10 - 50	10 - 50	10 - 50	
			stroomsnelheid dynamiek (tijd)	5	matig	matig	zeer laag	zeer laag	laag	laag	laag	matig	matig	matig	matig	matig	redelijk	redelijk	redelijk	hoog
			stroomsnelheid dynamiek (dwarsprofiel)	3	groot	groot	groot	groot	redelijk groot	groot	groot	redelijk groot	redelijk groot	redelijk groot	groot	groot	redelijk groot	redelijk groot	redelijk groot	
			basisafvoer *																	
			basisafvoer dynamiek	5	seizoenswisseling	seizoenswisseling	constant	constant	constant	constant	constant	constant	constant	constant	constant	constant	constant	vrij constant	vrij constant	vrij constant
	topafvoer	4	matig	matig	nauwelijks	nauwelijks	matig	nauwelijks	nauwelijks	matig	matig	matig	nauwelijks	nauwelijks	matig	matig	matig			
Structuur	Lengteprofiel	4	meanderend	3	ja	ja	ja (zwak)	ja (zwak)	ja (sterk)	ja (zwak)	ja (zwak)	ja (zwak)	ja (zwak)	ja (zwak)	ja (sterk)	ja (sterk)	ja (sterk)	ja (sterk)	ja (sterk)	
			vlechtend	3	nee	nee	nauwelijks	nauwelijks	ja	nee	nee	nee	nee	nee	nauwelijks	nauwelijks	ja	ja	ja	
			lengteprofiel dynamiek	4	zeer laag	zeer laag	zeer laag	zeer laag	zeer laag	zeer laag	zeer laag	laag	laag	laag	laag	laag	matig	matig	matig	
	Dwarsprofiel	3	dwarsprofiel dynamiek	3	redelijk	redelijk	nauwelijks	nauwelijks	redelijk	nauwelijks	nauwelijks	redelijk	redelijk	redelijk	nauwelijks	nauwelijks	redelijk	redelijk	nauwelijks	
			beschaduwing	2	volledig	volledig	grotendeels	grotendeels	grotendeels	volledig	volledig	ten dele	ten dele	ten dele	volledig	volledig	ten dele	ten dele	ten dele	
	Substraat	2	mozaïek patroon dynamiek	2	redelijk constant	redelijk constant	constant	constant	redelijk constant	redelijk constant	redelijk constant	redelijk dynamisch	redelijk dynamisch	redelijk dynamisch	constant	constant	redelijk constant	redelijk constant	redelijk constant	
		vegetatie bedekking (%)	1	< 10	< 10	< 20	< 20	< 40	< 10	< 10	< 40	< 40	< 40	< 40	< 20	< 40	20 - 40	< 40		
		org. materiaal hout	2	veel	veel	matig	matig	matig	veel	veel	matig	matig	matig	veel	veel	matig	matig	matig		

			1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
				Droogvallende beken		(Zwak) zure beken			Snelstromende beken				Langzaam stromende beken				
	weging		bovenloop	bovenloop	bovenloop	bovenloop	middenloop	bovenloop	bovenloop	middenloop	benedenloop	riviertjes	bovenloop	bovenloop	middenloop	benedenloop	riviertjes
	Factor		jes	lopen	es	lopen	en	jes	lopen	en	lopen		jes	lopen	en	lopen	
	org. materiaal blad/detritus	weging	veel	veel	veel	veel	matig	matig	matig	matig	matig	matig	veel	veel	matig	matig	fijn
																	materiaal bezinkt

*Binnen de beektypen zijn nog geen omschrijvingen gegeven voor de factor basisafvoer. Omdat dit een belangrijk sturende factor kan zijn voor de levensgemeenschappen in beken, zal uit toekomstig onderzoek moeten blijken welke ranges kunnen worden omschreven voor de verschillende beektypen.

Tabel 3 Ecologische ranges van stromings- en structuurfactoren in sloottypen

					1	2	3	4	5	6	7
		weging	Factoren	weging	Brakke Sloten	(Zwak) zure zandsloten	Zure hoogveensloten	Oligo- tot mesotrofe zandsloten	Mesotrofe veensloten	Eutrofe veensloten	Eutrofe kleisloten
Stroming	Hydrologie	3	kwel	5	zout/brak, afwisselende dominantie van regenwater en kwel	oppervlakkig	geen	vaak (hard water)	geen	soms belangrijk voor waterplanten	geen
			normaal waterpeil (cm)	3	< 150	< 100	<150	< 100	<1,5	<150	<150
			hoogwaterpeil (cm)	2	< 200	<150	<200	<150	<2,00	<200	<250
			peildynamiek	5	matig	matig	geen	matig	nauwelijks	nauwelijks	geen
			permanentie	5	ja	meestal	ja	ja	ja	ja	ja
			waterbeweging	4	geen	gering	geen	gering	geen	geen	geen
Structuur	Dwarsprofiel	2	dwarsprofiel dynamiek	4	nee	nee	nee	nee	nee	nee	nee
			talud	5	flauw	flauw	flauw-steiler	flauw	flauw-steiler	flauw-steiler	flauw
	Substraat	1	variatie in vegetatie structuur	5	zo groot mogelijk	zo groot mogelijk	zo groot mogelijk	zo groot mogelijk	zo groot mogelijk	zo groot mogelijk	zo groot mogelijk
			org. materiaal (bagger)	3	matig	weinig	geen/weinig	geen/weinig	weinig	matig	matig

4 Beschrijving van mogelijke “Waterlood” maatregelen

4.1 Beschrijving van maatregelen in beek- en slootssystemen

In deze paragraaf worden maatregelen beschreven die binnen het kader van Waterlood uitgevoerd zouden kunnen worden. De mogelijke gevolgen van deze maatregelen worden in volgende paragrafen besproken. Indien een maatregel normaliter alleen in sloot- of in beeksystemen wordt toegepast, staat dat aangegeven.

De selectie van mogelijke maatregelen is niet uitputtend en kan ten allen tijde worden uitgebreid/ingekrompen. De genoemde maatregelen komen voornamelijk uit de literatuur die is opgesteld ten behoeve van verdrogingbestrijding (bijvoorbeeld Bot 1996) en beekherstel (bijvoorbeeld STOWA 1995).

Tabel 4 Maatregelen die in het kader van Waterlood kunnen worden genomen en waarvoor de gevolgen in dit rapport worden besproken.

	Beken	Sloten
Herinrichting	dichten van zijwatergangen in stroomgebied	dichten van zijwatergangen in afwateringsgebied
	vergroten weerstand van watergang	vergroten weerstand van watergang
	verwijderen buisdrainage	verwijderen buisdrainage
	aanleggen hydrologische buffer	bevorderen infiltratie in afwateringsgebied (afkoppelen)
	herstel oorspronkelijk stroomgebied	verkleinen profiel
	bevorderen infiltratie in stroomgebied (afkoppelen)	natuurvriendelijke oevers
	verkleinen profiel	verondiepen
	accolade profiel	vergroten weglengte
	natuurvriendelijke oevers	isolatie van sloten in stelsel
	meandering	
	houtwal aanplanten	
	aanleggen nevengeul	
Peilbeheer	opzetten oppervlaktewaterpeil	opzetten oppervlaktewaterpeil
	verhogen omgevingspeil	verhogen omgevingspeil
	beperken beregening met oppervlaktewater	beperken beregening met oppervlaktewater
	beperken beregening met grondwater	beperken beregening met grondwater
	reductie permanente onttrekking opp. water	reductie permanente onttrekking opp. water
	reductie permanente onttrekking grondwater	reductie permanente onttrekking grondwater
	instellen bufferzone	instellen bufferzone
		terugpompen
		inlaten gebiedsvreemdwater
		verminderen afwateringscapaciteit van stuwen en gemalen
Onderhoud	verminderen baggerfrequentie	verminderen baggerfrequentie (groot onderhoud)
	verminderen schoningsfrequentie	verminderen schoningsfrequentie (klein onderhoud)
	gedifferentieerd onderhoud	gedifferentieerd onderhoud

4.1.1 Maatregelen ten behoeve van herinrichting beken en sloten

Dichten van zijwatergangen in stroomgebied

Door het verminderen van de drainagegraad of het verwijderen van drainage- of ontwateringssystemen zoals drains, sloten en greppels, wordt de infiltratie bevorderd, de grondwatervoorraad vergroot en de grondwaterstand verhoogd. De effecten zijn gedefinieerd voor de waterloop die het heringerichte stroomgebied afwatert. Vergelijkbaar maar minder ingrijpend is het verondiepen van drainerende watergangen (vermindering van de drainage capaciteit). Hogere grondwaterstanden leiden tot het eerder volraken van de ondergrondse berging en daarmee tot minder demping van de afvoergolf.

Vergroten weerstand van watergang

De weerstand van de watergangen kan verhoogd worden door het verkleinen van het doorstroombare profiel van de watergang of door het verminderen van onderhoud aan de watergangen. De afvoercapaciteit zal hierdoor afnemen, de grondwaterstand verhogen en de watervoerendheid van de watergangen bevorderd worden.

Verwijderen buisdrainage

Door het verwijderen van drainagebuizen uit landbouwgronden zal de drainage weerstand worden verhoogd. Hierdoor zal de gemiddelde grondwaterstand stijgen, terwijl ook de fluctuaties in waterhoogte toenemen.

Aanleggen hydrologische buffer (beken)

Een hydrologische bufferzone is een brede zone langs beide zijden van de beek waar onttrekkingen zijn verboden en drainerende watergangen (deels) zijn verwijderd. Deze zone heeft bovendien een waterbergende functie.

Herstel oorspronkelijk stroomgebied (beken)

Van veel beken zijn delen van het oorspronkelijke stroomgebied afgekoppeld, met als gevolg een verminderde afvoer. In die gebieden zijn vaak extra watergangen gegraven voor een verbeterde drainage. Door deze deelstroomgebieden opnieuw aan te sluiten en de extra watergangen te dempen, wordt de oorspronkelijke toestand hersteld.

Bevorderen infiltratie in stroom-/afwateringsgebied

Door het neerslagwater te infiltreren in de bodem wordt de bergingscapaciteit van de bodem in bebouwd gebied beter benut en neemt de wisseling in afvoer in beek of sloot af. Belangrijk ander voordeel is dat de overstortfrequentie van rioolstelsels afneemt. Een (verbeterd) gescheiden rioolstelsel biedt goede mogelijkheden om neerslagwater op te vangen in (stads-)vijvers of infiltratievelden waar het kan infiltreren. Het gebruik van regentonnen, regenreservoirs en het direct infiltreren van dakafvoeren biedt eveneens een belangrijke bijdrage. Om de infiltratiesnelheid te vergroten kunnen speciale infiltratievoorzieningen worden toegepast zoals de aanleg van infiltratiebekkens (eventueel met een grindbodem) en wadi's (water afvoer drainage en infiltratie systeem; droge ondergrondse grindbeddingen) waarin water van een aantal gebouwen, een deel van een wijk en/of verhard oppervlak wordt verzameld en geïnfiltreerd. Op sommige plaatsen kan het toepassen van meer open vormen van bestrating (b.v. grastegels) worden overwogen.

Verkleinen profiel

Door verkleining van het doorstroomde profiel (natte doorsnede) gaat de gemiddelde stroomsnelheid omhoog en worden fluctuaties in de stroomsnelheid vergroot. Bij beken met een gering verhang kan bovenstrooms van de profielverkleining opstuwing optreden (waterconservering).

Accoladeprofiel (beken)

In een twee-fasen bedding (accolade profiel) wordt bij normale afvoer het water getransporteerd in een laagwaterbedding en bij piekafvoeren in een hoogwaterbedding. Op deze wijze is er bij hoge afvoeren meer ruimte beschikbaar voor de waterloop. Hierdoor kan tijdelijk meer water worden geborgen, maar treedt tevens meer stremming van de afwatering op tijdens lage afvoeren.

Natuurvriendelijke oevers

Door het aanleggen van natuurvriendelijk oevers krijgen oeverplanten meer kans te ontwikkelen. Door het ontstaan van plas-dras situaties wordt het bufferend vermogen van de waterloop vergroot en ontstaan extra mogelijkheden voor waterberging.

Meandering (beken)

Met meandering worden watergangen verlengd, terwijl de afvoercapaciteit ook afneemt door het meer natuurlijk profiel.

Houtwal aanplanten (beken)

Een natuurlijke beek wordt doorgaans begeleid door bomen. De houtige begroeiing beïnvloed direct de vorm (stabiliserend) en het klimaat van de beek en de wortels brengen variatie aan in het stromingspatroon. Een houtwal heeft een stremmende werking op de oppervlakkige afstroming van (grond)water naar de beek.

Aanleggen nevengeul (beken)

Parallel aan de beek wordt een waterloop gegraven. Het water van de beek wordt over twee takken verdeeld, zodat hoge afvoeren in de beek kunnen worden gereduceerd. Een hoge afvoercapaciteit wordt mogelijk zonder dat de oorspronkelijk beek anders moet worden gedimensioneerd. Bovendien kunnen nevengeulen een waterbergende functie hebben.

Verondiepen (sloten)

Het verondiepen van waterlopen kan geschieden ter verhoging van de grondwaterstand, met behoud van de afwateringscapaciteit (indien de natte doorsnede gelijk blijft met de uitgangssituatie).

Vergroten weglengte (sloten)

Een verlenging van de weg die ingelaten water moet volgen binnen een polder leidt ertoe dat het centrum van de polder minder beïnvloed wordt door gebiedsvreemdwater.

Isolatie van sloten in stelsel (sloten)

Indien in een polder één punt wordt gekozen voor water in- en uitlaat, raken sloten die verder in de polder zijn gelegen, geïsoleerd, waardoor het effect van gebiedsvreemd water afneemt (zie ook vergroten weglengte)

4.1.2 Maatregelen ten behoeve van peilbeheer beken en sloten

Opzetten oppervlaktewaterpeil

Door het verhogen van het oppervlaktewaterpeil wordt de bergingscapaciteit verlaagd. Kwel kan omslaan in wegzijging.

Verhogen omgevingspeil

Door het verhogen van het omgevingspeil wordt de perifere afstroming (afvoer van grondwater naar naastgelegen terreinen met een lagere grondwaterstand) gereduceerd.

Beperken beregening met oppervlaktewater

Door het beperken van beregening zal de perifere afstroming vanuit de omgeving verminderen.

Beperken beregening met grondwater

Door het beperken van beregening met grondwater zal meer kwel in de watergang voor kunnen komen.

Reductie permanente onttrekking oppervlaktewater

De reductie van de oppervlaktewateronttrekking heeft een verhoging van het oppervlaktewaterpeil tot gevolg waardoor een verminderde afstroming naar het oppervlaktewater plaatsvindt. Op deze manier wordt de grondwaterstand verhoogd en zal de perifere afstroming naar aangrenzende gebieden met een lagere waterstand toenemen.

Reductie permanente onttrekking grondwater

Met de reductie van grondwateronttrekking wordt over het algemeen bereikt dat de grondwaterstand in wegzijgebieden omhoog komt en dat kwelgebieden in sterkere mate worden gevoed met dieper grondwater.

Instellen bufferzone

In een bufferzone verloopt de grondwaterstand geleidelijk van een hoger peil (natuurgebied) naar een lager in de omgeving (landbouwgronden). Door het afgenomen verhang zal de perifere afstroming minder zijn.

Terugpompen (sloten)

Drainage water kan in een ringsloot worden opgevangen en worden teruggepompt in het gebied van oorsprong (behoud van gebiedseigen water).

Inlaten gebiedsvreemdwater (sloten)

Ter voorkoming van landbouwschade als gevolg van droogvallende watergangen, kan water in een slotenstelsel worden ingelaten. In een aantal gevallen is de kwaliteit van het inlaatwater slechter dan in het gebied zelf. In hydrologisch opzicht kan inlaat voorzien in het verminderen van de afstroming van grondwater.

Verminderen afwateringscapaciteit van stuwen en gemalen (sloten)

Door een verminderde afwateringscapaciteit zullen het oppervlaktewaterpeil en de grondwaterstand hoger worden.

4.1.3 *Maatregelen ten behoeve van onderhoud beken en sloten*

Verminderen bagger- en schoningsfrequentie

Door het verminderen van onderhoud, zullen de watergangen gemiddeld ondieper worden en daarmee de afvoercapaciteit afnemen.

Gedifferentieerd onderhoud

Naast het verhogen van de weerstand in de watergang, wordt met gedifferentieerd is dat er gemiddeld meer begroeiing in de waterloop aanwezig is waardoor de hydraulische onderhoud meer rekening gehouden met ecologische- en landschapswaarden. Het resultaat weerstand in de waterloop wordt verhoogd.

4.2 **Beschrijving van effecten van maatregelen op ecologische factoren in beek- en slootssystemen (tabellen)**

In tabelvorm wordt aangegeven hoe de voorgestelde maatregelen van invloed kunnen zijn op de in Hoofdstuk 3 geformuleerde ecologische factoren. De definities van de maatregelen en factoren en de betekenis van de gebruikte classificatie staan uiteengezet in Bijlage II

De data die gepresenteerd wordt in de volgende tabellen zijn gebaseerd op *expert judgement* van een aantal medewerkers van Alterra. De hydrologische informatie is afkomstig van dr. J. van Bakel (afdeling Water&Milieu). Aan de informatie over de effecten op 'Structuur' factoren is bijgedragen door drs. R. Nijboer en ir. J. Elbersen (afdeling Ecologie&Milieu). Discussies met leden van de begeleidingscommissie van dit project (Waterlood: Waterkwaliteit dynamisch-ecologisch) hebben eveneens bijgedragen aan de inhoud van de tabellen.

Tabel 5 Het effect van mogelijke Waterhooftmaatregelen op stromings- en structuurfactoren in beken (zie Bijlage I & Bijlage II voor verklaring van factoren, maatregelen en getalnotaties)

Beken	Hoofdfactor	Stroming										Structuur									
		Hydrologie										Lengteprofiel				Dwarsprofiel				Substraat	
	Factor	kwel	normaal waterpeil	hoogwaterpeil	peildynamiek	permanente	gemiddelde stroomsnelheid	stroomsnelheid dynamiek (tijd)	stroomsnelheid dynamiek (dwarsprofiel)	basisafoer	basisafoer dynamiek	topafoer	meanderend	vlechtend	lengteprofiel dynamiek	dwarsprofiel dynamiek	beschadwing	mozaiek patroon dynamiek	vegetatie	organisch materiaal hout	organisch materiaal blad/detritus
Herinrichting	dichten van zijwatergangen in stroomgebied	1	-1	1	1	1	0	-1	0	0	1	0	0	0	0	-1	nvt	1	0	0	0
	vergroten weerstand van watergang	-1	1	1	1	1	0	-1	0	0	-1	1	1	-1	1	1	nvt	1	0	1	1
	verwijderen buisdrainage	1	-1	1	1	1	0	-1	0	0	1	0	0	0	0	-1	nvt	1	0	0	0
	aanleggen hydrologische buffer	1	1	1	-1	0	1	0	0	0	-1	0	0	0	0	0	nvt	1	0	0	0
	herstel oorspronkelijk stroomgebied	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0	0	0	nvt	0	0	0	0
	bevorderen infiltratie in stroomgebied (afkoppelen)	1	-1	0	0	1	0	-1	0	1	0	0	0	1	0	0	nvt	1	0	0	0
	verkleinen profiel	-1	1	1	1	-1	1	1	1	-1	-1	1	1	-1	0	1	nvt	1	1	1	1
	accolade profiel	0	1	-1	1	0	1	0	1	1	-1	1	1	0	0	0	0	1	1	1	1
	natuurvriendelijke oevers	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	1	0	1	1	1	1	1	0	1	1
	meandering	0	1	1	1	0	-1	1	1	0	-1	1	1	0	1	1	0	1	0	0	0
	houtwal aanplanten	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	1	1	1	1	1	0	1	1
	aanleggen nevengeul	0	0	-1	-1	0	-1	-1	-1	0	1	0	0	0	0	-1	-1	1	1	-1	1

		Stroming										Structuur														
Beken	Hoofdfactor	Hydrologie										Lengteprofiel					Dwarsprofiel					Substraat				
		kwel	normaal waterpeil	hoogwaterpeil	peildynamiek	permanente	gemiddelde stroomsnelheid	stroomsnelheid dynamiek (tijd)	stroomsnelheid dynamiek (dwarsprofiel)	basisafvoer	basisafvoer dynamiek	topafvoer	meanderend	vlechtend	lengteprofiel dynamiek	dwarsprofiel dynamiek	beschaduwing	mozaiek patroon dynamiek	vegetatie	organisch materiaal hout	organisch materiaal blad/detritus					
Peilbeheer	opzetten oppervlaktewaterpeil	-1	1	1	-1	1	0	1	-1	1	1	1	1	1	1	1	nvt	-1	1	0	1					
	verhogen omgevingspeil	1	1	1	0	1	0	0	1	1	1	-1	-1	0	0	0	nvt	-1	-1	0	0					
	beperken beregning met opp. water	0	1	0	-1	1	0	-1	0	1	0	0	0	0	0	0	nvt	0	0	0	0					
	beperken beregning uit grondwater	1	0	0	0	1	0	0	1	0	-1	0	0	0	0	0	nvt	0	0	0	0					
	reductie permanente onttrekking opp. water	0	1	0	-1	1	1	1	1	1	0	1	1	1	1	1	nvt	-1	0	0	0					
	reductie permanente onttrekking grondwater	1	1	0	-1	1	1	1	0	1	-1	0	0	0	0	0	nvt	0	0	0	0					
	instellen bufferzone	1	1	0	-1	1	1	1	0	1	0	0	0	-1	0	1	nvt	1	-1	1	1					
	verlagen baggerfrequentie	-1	1	1	0	-1	1	-1	-1	-1	0	1	0	0	0	1	nvt	-1	-1	1	1					
	verlagen schoningsfrequentie	-1	1	1	0	-1	1	-1	-1	-1	0	1	1	1	1	-1	nvt	-1	-1	1	1					
	gedifferentieerd onderhoud	0	1	1	0	1	-1	0	0	1	0	-1	1	1	1	0	1	0	-1	1	1					

Tabel 6 Het effect van mogelijke Waterlood maatregelen op stromings- en structuurfactoren in sloten (zie Bijlage I & Bijlage II voor verklaring van factoren, maatregelen en getalnotaties)

Sloten	Hoofdfactoren		Stroming						Structuur					
	Factoren		Hydrologie						Dwaarsprofiel		Substraat			
	kwel	normaal waterpeil	hoogwaterpeil	peldynamiek	permanente	waterbeweging	variatie in dwarsprofiel	talud	variatie in vegetatiestructuur	organisch materiaal (bagger)				
Herinrichting														
	dichten van zijwatergangen in afwateringsgebied	1	-1	1	1	1	1	1	1	0	0	0	1	0
	vergroten weerstand van watergang	0	1	1	1	1	1	1	1	0	0	0	0	1
	verwijderen buisdrainage	1	-1	1	1	1	1	1	1	0	0	0	1	0
	bevorderen infiltratie in afwateringsgebied (afkoppelen)	1	1	1	0	1	1	1	1	0	0	0	1	0
	verkleinen profiel	-1	1	1	1	1	1	1	1	-1	1	1	-1	1
	natuurvriendelijk oevers	0	0	0	0	0	0	0	0	1	-1	1	1	0
	verondiepen	-1	1	1	-1	-1	1	1	1	-1	0	0	-1	1
	vergroten weglengte	0	1	1	1	0	1	0	0	0	0	0	1	-1
	isolatie van sloten in stelsel	0	1	1	1	0	0	0	0	0	0	0	1	-1
Peilbeheer	opzetten oppervlaktewaterpeil	-1	1	1	-1	1	-1	1	-1	0	0	0	0	0
	verhogen omgevingspeil	1	1	0	-1	1	0	0	0	0	0	0	1	0
	beperken beregning met oppervlaktewater	0	0	0	0	1	-1	0	0	0	0	0	1	0
	beperken beregning uit grondwater	1	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	1	0
	reductie permanente onttrekking opp. water	0	1	0	-1	1	-1	0	0	0	0	0	1	0
	reductie permanente onttrekking grondwater	1	1	1	0	1	0	0	0	0	0	0	1	0

Sloten	Hoofdfactoren	Stroming						Structuur			
		kwel	normaal waterpeil	hoogwaterpeil	peildynamiek	permanente	waterbeweging	Dwarsprofiel		Substraat	
								variatie in dwarsprofiel	talud		variatie in vegetatiestructuur
		1	1	0	-1	1	0	0	0	1	0
	instellen bufferzone	0	0	0	0	1	0	0	0	1	-1
	terugpompen	-1	0	0	0	1	1	0	0	-1	1
	inlaten gebiedsvreemdwater	-1	0	1	1	1	0	0	0	1	1
	verminderen afwateringscapaciteit van stuwen en gemalen	-1	1	1	1	-1	0	0	0	-1	1
Onderhoud	verminderen baggerfrequentie	-1	1	1	1	-1	0	0	0	1	1
	verminderen schoningsfrequentie	0	1	1	1	0	0	0	0	1	0
	gedifferentieerd onderhoud	0	1	1	1	0	-1	0	0	1	0

5 Effecten van 'Waterlood' maatregelen op beek- en slootssystemen

5.1 Inleiding

In Hoofdstuk 4 zijn de effecten van waterhuishoudkundige maatregelen op stromings- en structuurfactoren geformuleerd. In dit hoofdstuk zal de methodiek uiteengezet worden waarmee de effecten van de maatregelen op lokale schaal kunnen worden ingeschat. Hierbij wordt uitgegaan van de actuele situatie in de waterloop alsook van het streefbeeld (watertype).

5.2 Methodiek

De methodiek is gebaseerd op een gevolgbenadering op lokale schaal (waterloop). Er wordt uitgegaan van een bestaande situatie. De bestaande situatie wordt vergeleken met de referentie-situaties, zoals die zijn geformuleerd in het Aquatisch Supplement (zie ook Hoofdstuk 3). De keuze voor een bepaalde referentie-situatie kan worden bepaald aan de hand van bijvoorbeeld de macrofauna-samenstelling, macrofyten, vissen en/of abiotische gegevens. Per stromings- en structuurfactor kan worden bekeken of de bestaande situatie binnen de range ligt van de gekozen referentie. De gebruiker dient per factor aan te geven of deze factor zou moeten toenemen, afnemen of gelijk blijven om binnen de range van de referentie-situatie te komen/blijven. Deze scores kunnen worden vergeleken met de scores voor de effecten die waterhuishoudkundige maatregelen hebben op diezelfde factoren (Hoofdstuk 4). Met behulp van een similariteitsanalyse wordt daarna aangegeven of een set van maatregelen de afstand tussen de bestaande en de referentie-situatie zal vergroten of verkleinen. Binnen de similariteitsanalyse is het mogelijk om het belang van één of meerdere stromings- en structuurfactoren voor het ecosysteem in een waterloop mee te wegen. Het is met name van belang dat de factoren en maatregelen goed zijn gedefinieerd, en dat de richting van veranderingen consequent worden toegepast. Hiertoe zijn definities en toestanden van maatregelen en factoren in Bijlage I&II samengevat.

Similariteitsanalyse

In Tabel 7 is in een voorbeeld de werking van de similariteitsanalyse gedemonstreerd. Er is uitgegaan van een fictieve situatie, een genormaliseerde beek, waarvan de referentie is gedefinieerd als een 'Langzaam stromende beek: middenloop'. De gegevens in de kolom 'Beektype' zijn gekopieerd uit Tabel 2. In de kolom 'Bestaande situatie' is door de gebruiker per factor de bestaande situatie aangegeven. Per factor is in de kolom 'Afstand tot referentie' een score gegeven die aangeeft in welke richting de huidige situatie in de waterloop zou moeten veranderen om zich in de richting van de referentie te ontwikkelen:

- 1: De waarde van de factor zal moeten afnemen om in de range te geraken die voor de referentie is gedefinieerd.
- 0: De waarde van de factor bevindt zich in de range die voor de referentie is gedefinieerd.
- 1: De waarde van de factor zal moeten toenemen om in de range te geraken die voor de referentie is gedefinieerd.

In de kolom 'Maatregel' zijn, voor een willekeurige waterhuishoudkundige maatregel, de effecten per factor aangegeven (gekopieerd uit Tabel 5). De laatste twee kolommen geven inzicht in de berekeningen die leiden tot de eindscore. De kolom '|verschil|/2' geeft het absolute verschil aan tussen de kolommen 'Afstand tot referentie' en 'Maatregel' gedeeld door de bandbreedte van mogelijke waarden, namelijk het verschil tussen -1 en 1 = 2. Het gewogen gemiddelde (gewogen per factor) van deze scores is per groep van factoren in de laatste kolom weergegeven. Links onderaan de tabel staat het 'Totaal'; de eindscore als gewogen gemiddelde (gewogen per hoofdfactor) en daarmee maat voor het effect van de maatregel op de bestaande situatie.

Samengevat is de berekening van de score per hoofdfactor (getallen in de laatste kolom) als volgt geformuleerd:

$$D = \frac{\sum_{k=1}^p w_k |x_{ik} - x_{jk}| / r_k}{\sum_{k=1}^p w_k}$$

Waarin:

p = het aantal factoren per hoofdfactor beschreven voor watertype

i,j = de respectievelijke kolommen ('Afstand tot referentie' en 'Maatregel') die worden vergeleken

r = de volledige bandbreedte van waarden (in dit geval 2)

w = de weging per factor (1-5)

x = de score per factor (-1, 0, 1)

De eindscore wordt berekend volgens de formule:

$$D_T = \frac{\sum_{k=1}^p w_k D}{\sum_{k=1}^p w_k}$$

Waarin:

p = het aantal hoofdfactoren

w = de weging per hoofdfactor

Tabel 7 Voorbeeld van de toepassing van de similariteitsanalyse. De grijze velden worden door de gebruiker ingevuld. De kolom 'Beektype' geeft per factor de referentie situatie. De kolom 'Bestaande situatie' geeft de huidige situatie in de waterloop. De kolom 'Afstand tot referentie' geeft per factor aan of de factor zou moeten afnemen, gelijk blijven of toenemen (1, -1, 0) ten opzichte van de referentie. In de kolom 'Maatregel' is een willekeurige maatregel gekozen waarvoor het 'Totaal' (gewogen per factor en hoofdfactor) is berekend. Zie Bijlage II voor verklaring per factor van de scores -1, 0 en 1.

				Beektype	Bestaande situatie	Afstand tot referentie (13)	Maatregel		
Hoofdfactor	weging	Factor	weging	13: Langzaam stromende beken: middenlopen			dichten van zijwatergangen in stroomgebied	$\frac{ \text{verschil} }{2}$	gewogen gemiddelde (factor)
Hydrologie	5	kwel	4	plaatselijk aanwezig	niet aanwezig	1	1	0	
		normaal waterpeil (cm)	2	20 - 70	30	0	-1	0.5	
		hoogwaterpeil (cm)	2	< 200	100	0	1	0.5	
		peildynamiek	3	nauwelijks	niet dynamisch	0	1	0.5	
		permanentie	5	ja	ja	0	1	0.5	
		gemiddelde stroomsnelheid (cm/s)	3	10 - 50	30	0	0	0	
		stroomsnelheid dynamiek (tijd)	5	redelijk	geen	1	-1	1	
		stroomsnelheid dynamiek (dwarsprofiel)	3	redelijk groot	niet dynamisch	1	-1	1	
		basisafvoer dynamiek	5	vrij constant	constant	0	0	0	
		topafvoer	4	matig	nauwelijks	1	1	0	0.389
Lengteprofiel	4	meanderend	3	ja (sterk)	nee	1	0	0.5	
		vlechtend	3	ja	nee	1	0	0.5	
		lengteprofiel dynamiek	4	matig	geen	1	0	0.5	0.500
Dwarsprofiel	3	dwarsprofiel dynamiek	3	redelijk	nee	1	-1	1	
		beschaduwing	2	grotendeels/ten dele	nee	1	0	0.5	0.800
Substraat	2	mozaïek patroon dynamiek	2	redelijk constant	niet aanwezig	1	1	0	
		vegetatie bedekking (%)	1	< 40	20	0	0	0	
		organisch materiaal hout	2	matig	niet	1	0	0.5	
		organisch materiaal blad/detritus	2	matig (variërend)	niet	1	0	0.5	0.286
							Totaal		0.494

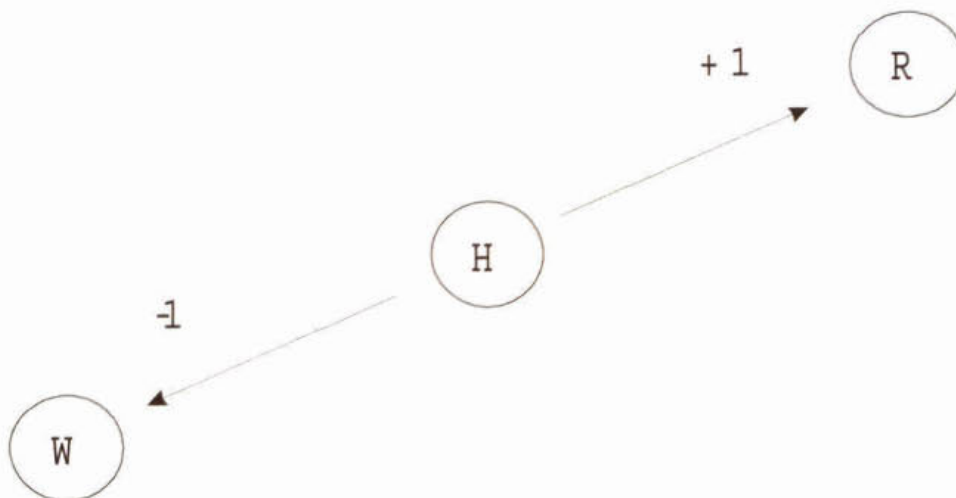
Om het effect van de maatregel (het 'Totaal' zoals die is berekend in Tabel 7) te kunnen vergelijken met andere maatregelen, wordt de eindscore omgeschaald naar een relatieve richtingscoëfficiënt met een mogelijke waarde tussen -1 en 1. De omrekening is verklaard uitgezet in het volgende kader.

Berekening van de Relatieve Richtingscoëfficiënt

Voor elke bestaande situatie is een theoretische maatregel denkbaar die op alle factoren tegenovergesteld scoort (bijvoorbeeld: effect maatregel is 1, waar 'Afstand tot referentie' is -1). Via de hierboven genoemde berekeningen wordt zo een maximale score (de slechtste maatregel) berekend. Ook is het theoretisch denkbaar dat er een maatregel wordt getroffen die elke factor precies zo beïnvloedt dat de 'Bestaande situatie' verandert naar de referentie-situatie ('Beektype' in Tabel 7). De 'Afstand tot referentie' scoort in zo'n geval op alle factoren een 0. Ook de eindscore is dan 0: de bestaande situatie zal veranderen in de referentie-situatie (de beste maatregel). In het geval dat er geen enkele maatregel wordt getroffen, blijft het verschil tussen de referentie ('Beektype') en de 'Bestaande situatie' bestaan. Dit resulteert ook in een score (niets doen).

De scores 'slechtste' en 'beste' zijn de uiterste waarden die kunnen voorkomen. Aan ieder wordt de waarden -1 (slechtste) en 1 (beste) toegerekend. De score van het scenario 'niets doen' wordt omgeschaald naar 0 (er verandert niets). De eindscore van elke maatregel kan nu op een schaal tussen -1 en 1 worden geplaatst waarmee wordt aangegeven of de maatregel een positief effect heeft (bestaande situatie verandert in de richting van de referentie) of negatief scoort (de bestaande situatie verandert in tegenovergestelde richting). De grootte van het getal geeft bovendien aan hoe sterk het effect van elke maatregel is ten opzichte van andere mogelijke maatregelen.

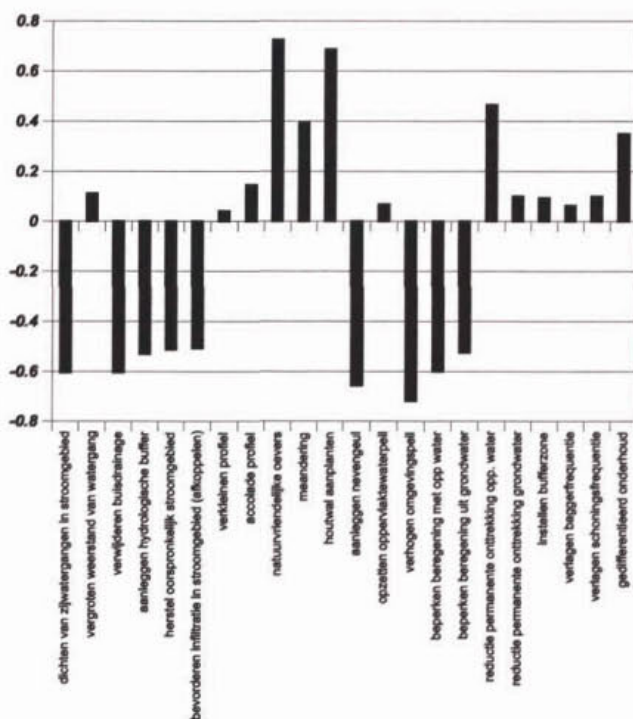
Figuur 4 illustreert de betekenis van de relatieve richtingscoëfficiënt.



*Figuur 4 Illustratie van de betekenis van de **relatieve richtingscoëfficiënt**. H: Huidige bestaande situatie, R: Referentie, W: Worst Case scenario.*

Met deze methode is het mogelijk om, uitgaande van een bestaande situatie, de maatregelen naar effectiviteit te rangschikken. De relatieve richtingscoëfficiënt geeft aan of de bestaande situatie verbetert (verandert in de richting van de referentie, positieve score) of verslechtert (verandert in de tegenovergestelde richting, negatieve score).

De relatieve richtingscoëfficiënten die voor elke maatregel op deze manier zijn gegenereerd, zijn met elkaar vergeleken. Voor het voorbeeld uit Tabel 7 staan in Figuur 5 de coëfficiënten van alle mogelijk te nemen maatregelen.



Figuur 5. Afstandscoefficienten berekend voor waterhuishoudkundige maatregelen, uitgaande van de situatie voorgesteld in Tabel 7.

In Figuur 5 scoren de maatregelen *verhogen omgevingspeil* en *aanleggen nevengeul* het slechtst: De bestaande situatie zal zich verslechteren ten opzichte van de referentie. De maatregelen *natuurvriendelijke oevers* en *houtwal aanplanten*, scoren het beste: De bestaande situatie zal zich in de richting van de referentiesituatie ontwikkelen, hoewel extra maatregelen nodig zullen zijn om de referentiesituatie volledig te bereiken.

Toepassing in de praktijk

In de praktijk kan een waterbeheerder met dit instrument inschatten wat de gevolgen zijn van een waterhuishoudkundige maatregel op een beek of een sloot in termen van een theoretische afstand tot een watertype. Het instrument kan met behulp van een database management programma (bijv MS Access) worden toegepast. Hierbij valt te denken aan een vorm waarin de waterbeheerder per factor de huidige situatie moet invoeren en tevens het referentie-type en de mogelijk te nemen maatregelen moet aangeven (bijvoorbeeld op basis van de samenstelling van waterplanten en macrofauna levensgemeenschappen). Het programma berekent vervolgens per factor in welke richting de referentie-situatie verschilt van de huidige situatie, waarna met een similariteitsanalyse de gevolgen van waterhuishoudkundige maatregelen kunnen worden gescoord. Het zal op deze manier mogelijk zijn om de maatregelen te ordenen op basis van hun effect op bestaande lokale situaties in waterlopen in de relatie tot de referentie.

In het onderstaande stappenplan (Tabel 8) is de toepassing van de methodiek verder uitgewerkt.

Tabel 8 Stappenplan voor de toepassing van de methodiek voor effectbeoordeling van waterhuishoudkundige maatregelen.

Stap	Interactief	Computerberekening
1	het programma vraagt per factor om de waarden van de huidige toestand	
2	het programma vraagt om het referentie-type	
3		het programma vergelijkt de huidige toestand met de referentie en de bepaalt richting
4	het programma vraagt om één of meerdere maatregelen	
5		het programma bepaalt per factor de effectrichting van de maatregel(en)
6		het programma berekent een relatieve richtingscoëfficiënt voor elke maatregel
7	de gebruiker beoordeelt resultaten	

In de eerste stap wordt de gebruiker gevraagd om de huidige toestand in de waterloop te beschrijven aan de hand van de ecologische factoren zoals die zijn geformuleerd in paragraaf 2.2 (Tabel 1) en zijn beschreven in Hoofdstuk 3 (Tabel 2 en 3). Vervolgens wordt aan de waterloop een referentietype toegekend. Dit kan bijvoorbeeld aan de hand van de macrofyten- en macrofauna-samenstelling en/of de abiotische omstandigheden (Hoofdstuk 3). In het programma vindt vervolgens per factor een vergelijking van de huidige toestand met de referentie plaats. Het resultaat van deze berekening is de mate waarin de huidige situatie verschilt van de referentie. In stap vier wordt de gebruiker gevraagd om de maatregelen (Hoofdstuk 4) in te voeren waarna het programma de effectrichting per factor geeft. Vervolgens wordt de relatieve richtingscoëfficiënt berekend, die aangeeft hoe de huidige situatie verandert ten opzichte van de referentie.

5.3 Aanbevelingen

De hydro-morfologische randvoorwaarden en de effecten van waterhuishoudkundige maatregelen, zijn gebaseerd op expert kennis en beschikbare literatuur. Het is onmogelijk gebleken om binnen de context van dit project een wetenschappelijke onderbouwing van de inhoud van deze tabellen te geven. Zoals ook al vanuit de begeleidingscommissie is voorgesteld, is het aan te bevelen om de voorgestelde methode te testen in een praktijksituatie. Uit een dergelijke test kunnen punten naar voren komen waarop de tabellen moeten worden aangepast. Hieruit volgt ook welk onderzoek nodig is om kennishiaten op te vullen, mede om de kwantificering van de effecten van waterhuishoudkundige maatregelen mogelijk te maken.

Met de geïntroduceerde methode is het mogelijk om de kwalitatieve gevolgen van waterhuishoudkundige maatregelen op aquatische ecosystemen te vergelijken. De methodiek lijkt geschikt om uitgebreid te worden met factoren uit het nog ontbrekende factorcomplex 'Stoffen' (5-S-Model). In vervolgonderzoek zal meer bekend moeten worden over de effecten van waterhuishoudkundige maatregelen op de chemische kwa-

liteit van oppervlaktewater, zodat deze vuistregels kunnen worden opgenomen in de voorgestelde methodiek. Op deze manier kan met meer zekerheid de gevolgen van waternoodmaatregelen voor de aquatische natuur worden voorspeld.

Binnen dit project is voor een gevolgbenadering gekozen omdat de doelstellingen van Waternood liggen bij een optimaal grondwaterregime dat aansluit bij de functie-toekenning en grondsoorten in een gebied. Het streven naar een bepaald watertype, dat in een doelbenadering zou passen, is niet aan bod gekomen. Een dergelijke benadering is voor de toekomst echter wel dringend gewenst zodat bij het toepassen van de Waternood-methodiek het ecologisch streefbeeld van waterlopen al in de ontwerpfase kan worden meegewogen.

Literatuur

- Anderson, N. H. and J. R. Sedell (1979). "Detritus processing by macroinvertebrates in stream ecosystems." Ann. Rev. Entomol. 24: 351-377.
- Anonymus (1988). Cultuurtechnisch vademecum. Utrecht, Cultuurtechnische Vereniging.
- Beije, H. M., L. W. G. Higler, et al. (1994). Levensgemeenschappen. Leiden, Backhuys.
- Beltman, G. H. J. (1983). Van de wal in de sloot : een typologisch onderzoek aan makrofaunacoenen. Wageningen, Landbouwhogeschool: 435.
- Bloemendaal, F. H. J. L., T. C. M. Brock, et al. (1988). Structuur van waterplanten en hun vegetaties. Waterplanten en waterkwaliteit. F. H. J. L. Bloemendaal and J. G. M. Roelofs. Utrecht, Stichting uitgeverij van de koninklijke natuurhistorische vereniging: 189.
- Bot, A. P. (1996). orientatie op maatregelen tegen verdroging. [S.l.], Nationaal Onderzoeksprogramma Verdroging.
- Bouwknegt, J. and A. J. Gelok (1992). "Hydraulische aspecten van beekmeandering." Landinrichting 32(3): 9-15.
- CUR (1995). Natuurvriendelijke oevers. 168. Gouda, Stichting CUR.
- Gerrits, H. J. (2000). Aanwasselheid van regionale baggerspecie en verkenning van mogelijkheden tot baggerpreventie. Utrecht, Stowa.
- Grime, J. P. (1979). Plant strategies and vegetation processes. Chichester, Wiley and Sons.
- Hickin, E. J. and G. C. Nansen (1984). "Lateral migration rates of river bends." Journal of Hydraulic Engineering ASCE 10.
- Nijboer, R. (2000). Sloten. Natuurlijke levensgemeenschappen van de Nederlandse binnenwateren Wageningen, Expertisecentrum LNV.
- Pot, R. and W. Schippers (2000). Water- en oeverplanten. Gouda, Cur.
- Querner, E. P. (1995). "De stromingsweerstand en de berekening van de afvoer in begroeide waterlopen." Het Waterschap 9: 350-356.
- Ringelberg, J. (1976). Inleiding tot de aquatische oecologie, in het bijzonder van het zoete water. Utrecht, Bohn, Scheltema en Holkema.
- STOWA (1995). Beken stromen. Leidraad voor ecologisch beekherstel., STOWA.
- Verdonschot, P., O. Driessen, et al. (1995). Beken stromen : leidraad voor ecologisch beekherstel. Utrecht, Stowa.
- Verdonschot, P. F. M. (2000). Beken. Natuurlijke levensgemeenschappen van de Nederlandse binnenwateren Wageningen, Expertisecentrum LNV.
- Verdonschot, P. F. M., J. M. C. Driessen, et al. (1998). The 5-5-Model, an integrated approach for stream rehabilitation. International Conference arranged by the European Centre for River Restoration, Denmark, National Environmental Research Institute.
- Verdonschot, P. F. M., A. de Glopper, et al. (1999). "Natte ecologische structuur in het Gelders riviereengebied." H2O 10: 21-23.
- Westhoff, V., P. A. Bakker, et al. (1970). Wilde planten : flora en vegetatie in onze natuurgebieden. [s-Gravenland], Vereniging tot Behoud van Natuurmonumenten in Nederland.
- Wiggins, G. B., R. J. Mackay, et al. (1980). "Evolutionary and ecological strategies in annual temporary pools." Archiv fuer Hydrobiologie Suppl. 58: 97-206.

Bijlage I

Beschrijving van waterhuishoudkundige maatregelen in beken en sloten

	beken	Sloten	Definitie
Herinrichting	dichten van zijwatergangen in stroomgebied	dichten van zijwatergangen in afwateringsgebied	Door het verminderen van de drainagegraad of het verwijderen van drainage- of ontwateringssystemen zoals drains, sloten en greppels, wordt de infiltratie bevorderd, grondwatervoorraad vergroot en grondwaterstand verhoogd. De effecten zijn gedefinieerd voor de waterloop die het heringerichte stroomgebied afwatert. Vergelijkbaar maar minder ingrijpend is het verondiepen van drainerende watergangen (vermindering van de drainage capaciteit). Hogere grondwaterstanden leiden tot het eerder volraken van van de ondergrondse beging en daarmee tot minder demping van de afvoergolf.
	vergroten weerstand van watergang	vergroten weerstand van watergang	De weerstand van de watergangen kan verhoogd worden door het verkleinen van het doorstroombare profiel van de watergang of door het verminderen van onderhoud aan de watergangen. De afvoercapaciteit zal hierdoor afnemen, de grondwaterstand verhogen en de watervoerendheid van de watergangen worden bevorderd.
	verwijderen buisdrainage	verwijderen buisdrainage	Verhogen van de drainage weestand door het verwijderen van drainagebuizen uit landbouwgronden. Hierdoor zal de gemiddelde grondwaterstand stijgen, terwijl ook de fluctuaties toenemen.
	aanleggen hydrologische buffer		Een hydrologische bufferzone is een brede zone langs beide zijden van de beek waar onttrekkingen zijn verboden en drainerende watergangen (deels) zijn verwijderd.
	herstel oorspronkelijk stroomgebied		Van veel beken zijn delen van het oorspronkelijke stroomgebied afgekoppeld, met als gevolg een verminderde afvoer. In die gebieden zijn vaak extra watergangen gegraven voor een verbeterde drainage. Door deze deelstroomgebieden opnieuw aan te sluiten en de extra watergangen te dempen, wordt de oorspronkelijke toestand hersteld.
	bevorderen infiltratie in stroomgebied (afkoppelen)	bevorderen infiltratie in afwateringsgebied (afkoppelen)	Door het neerslagwater te infiltreren in de bodem wordt de bergingscapaciteit van de bodem in bebouwd gebied beter benut en neemt de wisseling in afvoer in beek of sloot af. Belangrijk ander voordeel is dat de overstortfrequentie van rioolstelsels afneemt. Een (verbeterd) gescheiden rioolstelsel biedt goede mogelijkheden om neerslagwater op te vangen in (stads-)vijvers of infiltratievelden waar het kan infiltreren. Het gebruik van regentonnen, regenreservoirs en het direct infiltreren van dakafvoeren

	beken	Sloten	Definitie
			biedt eveneens een belangrijke bijdrage. Om de infiltratiesnelheid te vergroten kunnen speciale infiltratievoorzieningen worden toegepast zoals de aanleg van infiltratiebekkens (eventueel met een grindbodem) en wadi's (water afvoer drainage en infiltratie systeem; droge ondergrondse grindbeddingen) waarin water van een aantal gebouwen, een deel van een wijk en/of verhard oppervlak wordt verzameld en geïnfiltreerd. Op sommige plaatsen kan het toepassen van meer open vormen van bestrating (b.v. grastegels) worden overwogen.
	verkleinen profiel	verkleinen profiel	Door verkleining van het doorstroomde profiel gaat de gemiddelde stroomsnelheid omhoog en worden fluctuaties in de stroomsnelheid vergroot. Bij beken met een gering verhang kan bovenstrooms van de profielverkleining opstuwung optreden (waterconservering)
	accolade profiel		Binnen een accolade of tweefasenprofiel is bij hoge afvoeren meer ruimte beschikbaar voor de waterloop. Hierdoor kan tijdelijk meer water worden geborgen, maar treedt tevens meer stremming van de afwatering op tijdens lage afvoeren.
	natuurvriendelijke oevers	natuurvriendelijke oevers	Door het aanleggen van natuurvriendelijk oevers krijgen oeverplanten meer kans te ontwikkelen. Door het ontstaan van plas-dras situaties wordt het waterbergend vermogen van de waterloop vergroot.
	meandering		Met meandering worden watergangen verlengd, terwijl de afvoercapaciteit ook afneemt door het meer natuurlijk profiel.
	houtwal aanplanten		Een natuurlijke beek wordt doorgaans begeleid door bomen. De houtige begroeiing beïnvloed direct de vorm (stabiliserend) en het klimaat van de beek en de wortels brengen variatie aan in het stromingspatroon. Een houtwal heeft een stremmende werking op de oppervlakkige afstroming van (grond)water naar de beek.
	aanleggen nevengeul		Parallel aan de beek wordt een waterloop gegraven. Het water van de beek wordt over twee takken verdeeld, zodat hoge afvoeren in de beek kunnen worden gereduceerd. Een hoge afvoercapaciteit wordt mogelijk zonder dat de oorspronkelijk beek anders moet worden gedimensioneerd.
		verondiepen	Het verondiepen van waterlopen kan geschieden ter verhoging van de grondwaterstand, met behoud van de afwateringscapaciteit (indien de natte doorsnede gelijk blijft met de uitgangssituatie).
		vergroten weglengte	Een verlenging van de weg die ingelaten water moet volgen binnen een polder, zodat het centrum van de polder minder beïnvloed wordt door gebiedsvreemdwater.
		isolatie van sloten in stelsel	Indien in een polder één punt wordt gekozen voor water in- en uitlaat, raken sloten die verder in de polder zijn gelegen, geïsoleerd, waardoor het effect van gebiedsvreemd water afneemt (zie ook vergroten weglengte)
Peilbeheer	opzetten oppervlaktewaterpeil	opzetten oppervlaktewaterpeil	Door het verhogen van het oppervlaktewaterpeil wordt de bergingscapaciteit verlaagd. Kwel kan omslaan in wegzijging.
	verhogen omgevingspeil	verhogen omgevingspeil	Door het verhogen van het omgevingspeil wordt de perifere afstroming (afvoer grondwater naar naast-gelegen terrein met lagere

	beken		
	Sloten		Definitie
	beperken beregening met opp water	beperken beregening met oppervlaktewater	Door het beperken van beregening zal de perifere afstroming vanuit de omgeving verminderen.
	beperken beregening met grondwater	beperken beregening met grondwater	Door het beperken van beregening met grondwater zal meer kwel in de watergang voor kunnen komen.
	reductie permanente onttrekking opp. water	reductie permanente onttrekking opp. water	De reductie van de oppervlaktewateronttrekking heeft een verhoging van het oppervlaktewaterpeil tot gevolg waardoor een verminderde afstroming naar het oppervlaktewater plaatsvindt. De grondwaterstand verhoogd en perifere afstroming naar aangrenzende gebieden met een lagere waterstand zal toenemen.
	reductie permanente onttrekking grondwater	reductie permanente onttrekking grondwater	Met de reductie van grondwateronttrekking wordt over het algemeen bereikt dat de grondwaterstand in wegzijlgebieden omhoogkomt en dat kwelgebieden in sterkere mate worden gevoed met lithocliën grondwater.
	instellen bufferzone	instellen bufferzone	In een bufferzone verloopt de grondwaterstand geleidelijk van een hoger peil (natuurgebied) naar een lager in de omgeving (landbouwgronden). Door het afgenomen verhang zal de perifere afstroming minder zijn.
	terugpompen	terugpompen	Drainage kan in een ringsloot worden opgevangen en worden teruggepompt in het gebied van oorsprong (behoud van gebiedseigen water).
		inlaten gebiedsvreemdwater	Ter voorkoming landbouwschade agv droogval van de watergangen kan water in een slotenstelsel worden ingelaten. In de meeste gevallen is de kwaliteit van het inlaatwater slechter dan in het gebied zelf. In hydrologisch opzicht kan inlaat voorzien in het verminderen van de afstroming van grondwater.
		vermindere afwateringscapaciteit van stuwen en gemalen	Door een verminderde afwateringscapaciteit zullen het oppervlaktewaterpeil en de grondwaterstand hoger worden.
Onderhoud	vermindere baggerfrequentie	vermindere baggerfrequentie (groot onderhoud)	Door het verminderen van de weersstand van de watergangen worden verhoogd en daarmee de afvoercapaciteit afnemen.
	vermindere schoningsfrequentie	vermindere schoningsfrequentie (klein onderhoud)	
	gedifferentieerd onderhoud	gedifferentieerd onderhoud	Cedifferentieerd onderhoud houdt meer rekening met ecologische- en landschapswaarden. Het resultaat is dat er gemiddeld meer begroeiing in de waterloop aanwezig is waardoor de hydraulische weersstand in de waterloop wordt verhoogd.

Beschrijving van Stromings- en Structuurfactoren en de betekenis van de gebruikte effectaanduidingen (-1, 0, 1).

Factor	Definitie	Eenheid	Betekenis (-1, 0, 1)
Hydrologie	Kwel		
	Vanuit de grond in het profiel van de waterloop uittreidend water dat bijdraagt aan de hoeveelheid water dat door de waterloop afgevoerd wordt.		beginsituatie kan in het laatste geval kwel omslaan in wegzijging.
	Normaal waterpeil	De waterstand in een kleine waterloop behorende bij een afvoer die 50% bedraagt van de bij het hoogwaterpeil behorende afvoer. Onder Nederlandse omstandigheden wordt deze waterstand op 10 à 20 dagen per jaar bereikt of overschreden.	
	Hoogwaterpeil	De waterstand in een kleine waterloop behorende bij een afvoer die gemiddeld 1 dag per jaar wordt bereikt of overschreden. Deze afvoer volgt uit de specifieke afvoeren (afvoer per oppervlakte-eenheid) van de deelgebieden.	
	Pelldynamiek	Variatie van het waterpeil in de tijd	-
	Permanentie	Permanentie = niet droogvallend. De permanentie neemt af indien het aantal malen of de lengte van de periode toeneemt dat een waterdroogvalt	Minder droogval (1), gelijk (0), meer droogval (-1)
	Waterbeweging/Cemiddelde	Verplaatsing van water per tijdseenheid als jaargemiddelde	cm/s
	Stroomsnelheid		Meer waterbeweging (1), gelijk (0), minder (-1)
	Stroomsnelheid dynamiek (tijd)	Verandering van de stroomsnelheid (m/s) in de tijd	-
			Meer variatie (1), gelijk (0), minder (-1)

	Factor	Definitie	Eenheid	Betekenis (-1, 0, 1)
	Stroomsnelheid dynamiek (dwarsprofiel)	Variatie in de stroomsnelheden gemeten over het dwarsprofiel	-	Meer variatie (1), gelijk (0), minder (-1)
	Basisafvoer	Trage afvoer, dat deel van de afvoer dat als gevolg van langdurige berging eerst na geruime tijd tot stand komt. De berging kan plaatsvinden in de bodem, in meren (waaronder stuwmeren), in de vorm van sneeuw enz.	m ³ /s	Basisafvoer neemt toe (1), gelijk (0), minder (-1)
	Basisafvoerdynamiek	De variatie in de tijd van de basisafvoer	-	Meer variatie (1), gelijk (0), minder (-1)
	Topafvoer	De grootste afvoer die gedurende een hoogwaterperiode voorkomt	m ³ /s	Topafvoer neemt toe (1), gelijk (0), minder (-1)
Lengteprofiel	meanderend	het (natuurlijk) bochtige, slingerende verloop van een beek		Meer meandering(1), gelijk (0), rechter (-1)
	vlechtend	Door aanwezigheid van meerdere zandbanken in het dwarsprofiel stroomt het water door meerdere (vlechtende) geulen.		Meer vlechtend (1), gelijk (0), minder (-1)
	lengteprofiel dynamiek	Verandering van het lengteprofiel in de tijd		Meer variatie (1), gelijk (0), minder (-1)
Dwarsprofiel	dwarsprofiel dynamiek	Verandering van het dwarsprofiel in de tijd (beken), in de lengte (sloten)		Meer variatie (1), gelijk (0), minder (-1)
	Talud	De helling van de oever, zowel onder als boven het wateroppervlak		Talud steiler (1), onveranderd (0), flauwer (-1)
	beschaduwing	Mate van blokkering van (direct) zonlicht		Meer beschaduwing (1), gelijk (0), minder (-1)
Substraat, Beken	mozaïek patroon dynamiek	Door variatie van stroomsnelheden gemeten over het dwarsprofiel, wordt het sediment verspreid en gesorteerd het-geen leidt tot substraatmozaïeken. Het patroon kan in de tijd variëren.		Meer variatie (1), gelijk (0), minder (-1)
	vegetatie	Mate van begroeiing van waterplanten in de beek.		Toename van vegetatie (1), gelijk (0), minder (-1)
	org. materiaal hout	De hoeveelheid organisch materiaal bestaande uit houtige materialen (boomwortels/ingewaaide takken)		Toename van org. materiaal (1), gelijk (0), minder (-1)
	org. materiaal blad/detritus	De hoeveelheid organisch materiaal bestaande uit grof en fijn dood organisch afgebroken plantemateriaal		Toename van org. materiaal (1), gelijk (0), minder (-1)

	Factor	Definitie	Eenheid	Betekenis (-, 0, +)
Substraat, Sloten	Variatie in vegetatiestructuur	Waterplanten komen grofweg in drie verschillende groeivormen voor: drijvende, waterkolom en wortelende vegetatie. Hoe meer groeivormen in een waterloop aanwezig zijn, hoe diverser de habitat voor andere levensgemeenschappen.		Toename van variatie (+), gelijk (0), minder (-)
	org. materiaal (bagger)	De hoeveelheid organisch materiaal afkomstig van afgestorven plantemateriaal en/of ingezakte oevers.		Toename van org. materiaal (+), gelijk (0), minder (-)

