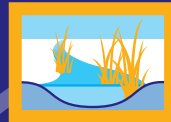


stowa

# ECOLOGISCHE SLEUTELFACTOREN BUFFERZONE EN WATERPLANTEN ⇒ TUSSENRAPPORTAGE



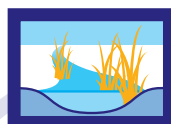
2018  
28



**stowa**

# ECOLOGISCHE SLEUTELFACTOREN BUFFERZONE EN WATERPLANTEN

⇒ TUSSENRAPPORTAGE



---

# INHOUDSOPGAVE

---

<b>H1</b>	<b>INLEIDING</b>	<b>4</b>
1.1	Aanleiding	5
1.2	Doel	6
1.3	Randvoorwaarden en afbakening	8
1.4	Methode	10
1.5	Leeswijzer	12
<b>H2</b>	<b>RELATIES ROND BUFFERZONE EN WATERPLANTEN</b>	<b>14</b>
2.1	Bestaande relatiesystemen	15
2.2	Milieufactoren voor biologische groepen	18
2.3	Informatie STOWA	19
2.4	Benoeming relaties	21
<b>H3</b>	<b>LITERATUURSTUDIE</b>	<b>24</b>
3.1	Licht	25
3.2	Droogval	30
3.3	Stroming	37
3.4	Bodemsubstraat	43
3.5	Nutriënten	44
3.6	Koolstof	48
3.7	Verwijdering	51
3.8	Vegetatie als structuur	58
3.9	Zuurstof	60
3.10	Temperatuur	62
3.11	Blad en dood hout	68
3.12	Laterale connectiviteit	71
<b>H4</b>	<b>QUICK SCAN</b>	<b>74</b>
4.1	Gegevens verzamelen	75
4.2	Relatief belang van de aspecten	77
4.3	Eerste indruk ESF's bufferzone en waterplanten	77

---

---

<b>H5</b>	<b>GLOBALE ANALYSE</b>	<b>80</b>
5.1	Licht	82
5.2	Droogval	84
5.3	Stroming	86
5.4	Bodemsubstraat	87
5.5	Nutriënten	88
5.6	Koolstof	90
5.7	Verwijdering	91
5.8	Vegetatie als structuur	92
5.9	Zuurstof	93
5.10	Temperatuur	94
5.11	Blad en dood hout	95
5.12	Laterale connectiviteit	97
5.13	Overzicht	97
<b>H6</b>	<b>TOOLS NADERE ANALYSE</b>	<b>100</b>
6.1	Tool 1: SHADE2	102
6.2	Tool 2: SKK	102
6.3	Tool 3: Model Pitlo en Griffioen	104
6.4	Tool 4: Lijst van Hill	105
6.5	Tool 5: ITEM	105
6.6	Tool 6: Droogval	106
6.7	Tool 7: AqMaD	106
6.8	Tool 8: Model Johnson & Wilby	107
	<b>BIJLAGEN</b>	<b>108</b>
Bijlage 1	Literatuur	109
Bijlage 2	Algoritmen Model SHADE2	116
Bijlage 3	Lijst van Hill, ITEM en droogval	120
Bijlage 4	Case Drentse Aa	125

---

# H1 INLEIDING



---

## 1.1 AANLEIDING

Met de komst van de KRW zijn maatlatten ontwikkeld waarmee de ecologische toestand aan de hand van voorkomende planten en dieren kan worden beoordeeld. Deze maatlatten geven echter alleen een kwaliteitsoordeel: de toestand is goed, matig, onvoldoende of slecht. Er wordt geen diagnose gesteld en geen analyse van het ecosysteem gemaakt. Er wordt, met andere woorden, geen indicatie gegeven over de aard van de oorzaken van een onvoldoende kwaliteit. Daarmee wordt het ook moeilijk om maatregelen te formuleren om de kwaliteit te verbeteren. Wat is immers het knelpunt? (Wiki ecologische waterbeoordeling, 2018).

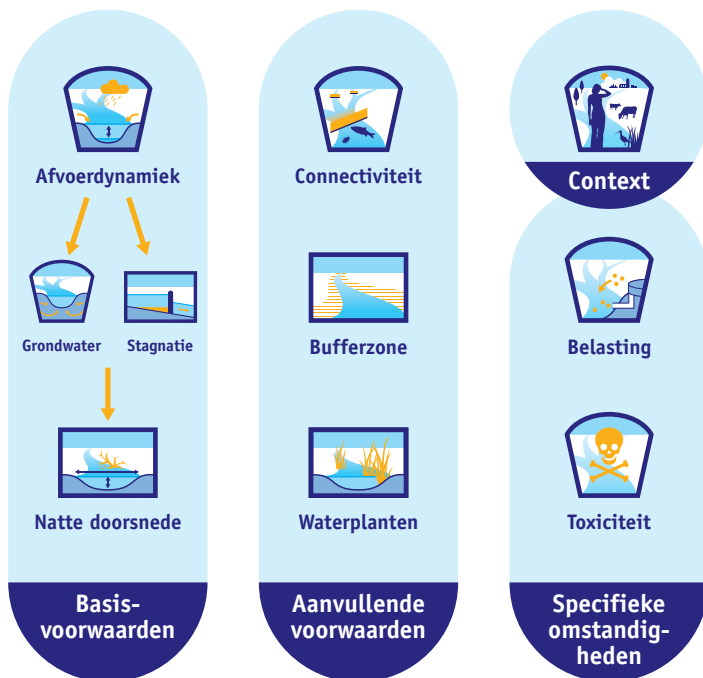
Om het proces van ecologische watersysteemanalyses te ondersteunen, heeft STOWA de methodiek van 'ecologische sleutelfactoren' (ESF's) geïntroduceerd. De ecologische sleutelfactoren maken inzichtelijk welke oorzakelijke factoren en processen het meest de ecologische toestand bepalen. Daarnaast vormen ze het vertrekpunt om te bepalen met welke maatregelen de ecologische kwaliteit kan worden verbeterd. De ecologische sleutelfactoren stellen waterbeheerders in staat een goede ecologische systeemanalyse te doen van een watersysteem. Ze geven een antwoord op de vragen: waarom is de ecologische toestand zoals het is, en wat moeten we doen om verbetering te bewerkstelligen? Ze vormen zo een goede aanvulling op de kennis en methoden die er zijn om de ecologische toestand in beeld te brengen (STOWA, 2018)

Er zijn negen ESF's voor stilstaande wateren en tien ESF's voor stromende wateren.

### **De ESF's voor stromende wateren zijn:**

- 1 Afvoerdynamiek
- 2 Grondwater
- 3 Connectiviteit
- 4 Belasting
- 5 Toxiciteit
- 6 Natte doorsnede
- 7 Bufferzone
- 8 Waterplanten
- 9 Stagnatie
- 10 Context

## ESF STROMENDE WATEREN



Een deel van deze ESF's is reeds uitgewerkt. STOWA heeft Bureau Waardenburg opdracht gegeven twee ESF's voor stromende wateren uit te werken:

- Bufferzone
- Waterplanten

Voorliggend document is de uitwerking van deze twee ESF's.

### 1.2 DOEL

Het doel is de ESF's bufferzone en waterplanten zodanig uit te werken dat op basis van wetenschappelijke kennis en expertise een bruikbaar instrument voor waterbeheerders beschikbaar wordt gesteld dat zij kunnen gebruiken bij de ecosysteem-

analyse van stromende wateren. Via dit instrument moet de waterbeheerder kunnen vaststellen of de ESF's bufferzone en waterplanten al of niet op rood staan.

**TABEL 1 KRW-WATERTYPEN STROMENDE WATEREN MET CRITERIA VOOR INDELING**

*De typen R9 en R10 (rood weergegeven) komen niet in Nederland voor. Bron: Elbersen et al. (2003).*

Oorsprong; verhang (stroom- snelheid)	Geologie stroom- gebied	Breedte watergang (oppervlak stroomgebied)	Permanentie; Getijden	Code	Naam		
Uittredend grondwater			Droogvallend	R1	Droogvallende bron		
			Permanent	R2	Permanente bron		
< 1m/km (< 50 cm/s)	>50% Kiezelhoudend	0-3 m (0-10 km <sup>2</sup> )	Droogvallend	R3	Droogvallende langzaam stromende bovenloop op zand		
			Permanent	R4	Permanente langzaam stromende bovenloop op zand		
		3-8 m (10-100 km <sup>2</sup> )			R5	Langzaam stromende midden/benedenloop op zand	
		8-25 m (100-2000 km <sup>2</sup> )			R6	Langzaam stromend riviertje op zand/klei	
		>25 m (>200 km <sup>2</sup> )	Zonder getijden	R7	Langzaam stromende rivier/nevenguel op zand/klei		
			Met getijden	R8	Zoet getijdenwater (uitlopers rivier) op zand/klei		
		>50% Kalkhoudend	0-3 m (0-10 km <sup>2</sup> )			R9	Langzaam stromende bovenloop op kalkhoudende bodem
			3-8 m (10-100 km <sup>2</sup> )			R10	Langzaam stromende middenloop op kalkhoudende bodem
	Organisch	0-3 m (0-10 km <sup>2</sup> )			R11	Langzaam stromende bovenloop op veenbodem	
		3-8 m (10-100 km <sup>2</sup> )			R12	Langzaam stromende midden/benedenloop op veenbodem	
	>1 m/km (>50 cm/s)	Kiezelhoudend	0-3 m (0-10 km <sup>2</sup> )		R13	Snelstromende bovenloop op zand	
			3-8 m (10-100 km <sup>2</sup> )		R14	Snelstromende midden/benedenloop op zand	
8-25 m (100-2000 km <sup>2</sup> )				R15	Snelstromend riviertje op zand		
>25 (>200 km <sup>2</sup> )				R16	Snelstromende rivier/nevenguel op zand of grind		
Kalkhoudend		0-3 m (0-10 km <sup>2</sup> )			R17	Snelstromende bovenloop op kalkhoudende bodem	
		3-8 m (10-100 km <sup>2</sup> )			R18	Snelstromende midden/benedenloop op kalkhoudende bodem	



---

*Let op: Het oordeel over een ESF is niet hetzelfde als een KRW-oordeel. Als de ESF waterplanten niet op rood staat, wil dat nog niet automatisch zeggen dat de KRW-doelstelling voor macrofyten gehaald wordt. Een analyse aan de hand van ESF's helpt alleen om het functioneren van een aquatisch ecosysteem (in dit geval van een stromend water) te begrijpen, zodat zinvolle maatregelen voor verbetering geformuleerd kunnen worden. Een ESF geeft geen kwaliteitsoordeel.*

### 1.3 RANDVOORWAARDEN EN AFBAKENING

#### Beek- en riviertype

De uitwerking van de ESF's bufferzone en waterplanten richt zich op de meeste KRW-typen van stromende wateren. In [Tabel 1](#) is een overzicht gegeven van alle stromende watertypen met de indelingscriteria (Elbersen *et al.*, 2003). In voorliggend rapport worden alle genoemde stromend-watertypen behandeld, met uitzondering van:

- R1, droogvallende bron,
- R2, permanente bron,
- R8, zoet getijdewater,
- R9, langzaam stromende bovenloop op kalkhoudende bodem (dit watertype komt niet in Nederland voor),
- R10, langzaam stromende middenloop op kalkhoudende bodem (dit watertype komt niet in Nederland voor).

#### Ruimtelijke begrenzing

Bij de bufferzone gaat het om twee verschillende aspecten:

- De directe oever van de beek of rivier. Hierbij gaat het dan om de aan- of afwezigheid van houtige gewassen die zorgen voor beschaduwing van het water, en voor inval van bladeren en dood hout.
- Een bredere zone, grenzend aan de beek of de rivier, waar (onder natuurlijke omstandigheden) inundaties (zouden) plaatsvinden.

Onder waterplanten verstaan we planten die in het water groeien, maar ook de oeverplanten die direct onder invloed van het water van de beek of de rivier tot ontwikkeling komen. In sommige beken en rivieren is er een relatief grote variatie in waterstand. Dat betekent dat delen van de oever periodiek droog kunnen vallen. Hier groeien soms amfibische plantensoorten. Ook deze groep wordt bij de uitwerking van ESF waterplanten betrokken.

---

Het komt overigens voor dat bepaalde aspecten zowel onder ESF bufferzone als onder ESF waterplanten vallen, bijvoorbeeld het effect van beschaduwning op de groei van waterplanten,.

### **Drie niveaus**

Bij aanvang van het project heeft STOWA aangegeven dat het wenselijk is de ESF's op drie niveaus uit te werken, te weten:

- Quick Scan
- Globale analyse
- Nadere analyse

Aan deze wens is zo goed mogelijk invulling gegeven. De Globale analyse is hierin de centrale analyse geworden. De Quick Scan gaat vooral over het verzamelen van gegevens en een eerste indruk van de belangrijke en minder belangrijke aspecten binnen de ESF's bufferzone en waterplanten. In de Nadere analyse worden bestaande tools behandeld waarmee verschillende (maar niet alle) aspecten van de ESF's bufferzone en waterplanten in detail kunnen worden uitgewerkt.

### **Samenhang met andere ESF's**

Bij de ecosysteemanalyse van stromende wateren moeten alle ESF's in onderlinge samenhang onderzocht worden. Bij zowel ESF bufferzone als ESF waterplanten zijn er relaties met andere ESF's. Bij de uitwerking van de tools voor de ESF's bufferzone en waterplanten wordt regelmatig naar andere relevante ESF's verwezen.

### **Wetenschappelijk en praktisch**

De STOWA streeft bij de producten die ze beschikbaar stellen voor waterbeheerder naar twee dingen:

- Wetenschappelijk onderbouwd,
- Praktisch toepasbaar.

Bij de uitwerking van de ESF's bufferzone en waterplanten is er naar gestreefd beide aspecten tot hun recht te laten komen. Wat het wetenschappelijke aspect betreft wordt opgemerkt dat er geen (nieuw) wetenschappelijk onderzoek is uitgevoerd. Wel is zoveel mogelijk gezocht naar onderbouwing op basis van wetenschappelijke publicaties. Hiertoe rekenen wij niet alleen publicaties in wetenschappelijke tijdschriften, maar ook publicaties van gerenommeerde instituten,

---

en/of opgesteld door personen met een wetenschappelijke opleiding. Indien een dergelijke wetenschappelijke onderbouwing niet kon worden gevonden, zijn keuzes gemaakt op basis van expertise. Om deze reden zijn experts op het gebied van bufferzone en waterplanten zoveel mogelijk bij de uitwerking van de ESF's bufferzone betrokken, zowel in het projectteam als extern (interviews). [Hoofdstuk 3](#) geeft een overzicht van de wetenschappelijke kennis met betrekking tot de ESF's bufferzone en waterplanten. Verder biedt [hoofdstuk 6](#) (nadere analyse) specifieke, wetenschappelijke tools om een of enkele aspecten nader te onderzoeken.

Voor de ontwikkeling van praktische tools is eerst aan het eind van elke paragraaf in [hoofdstuk 3](#) getracht algemene vuistregels te formuleren op basis van de verzamelde wetenschappelijke informatie. De Quick Scan ([hoofdstuk 4](#)) geeft praktische aanwijzingen om met de analyse van de ESF's bufferzone en waterplanten te beginnen. In [hoofdstuk 5](#) (globale analyse) is de wetenschappelijke kennis die in [hoofdstuk 3](#) is gepresenteerd, vertaald naar praktische beslisschema's waarmee vastgesteld kan worden of de verschillende aspecten rond de ESF's bufferzone en/of ESF waterplanten al of niet op rood staan en waarom. Om praktische beslisschema's te krijgen, is het vaak noodzakelijk generieke regels te formuleren, waarbij uitzonderingen, samenhang met andere factoren etc., min of meer buiten beschouwing worden gelaten.

### **Groeivorm of soorten**

De relaties tussen milieufactoren en waterplanten en de relaties tussen waterplanten en fauna zijn niet tot op soortniveau uitgewerkt. Dat betekent dat het gaat om groeivormen (groeistrategieën), vegetatiepatronen, bedekkingen, etc. In enkele gevallen zijn soorten als voorbeelden genoemd. Het definiëren van stromendwatertypen of beïnvloedingsreeksen van die typen op basis van soortensamenstelling macrofyten is dus geen onderdeel van de uitwerking ESF waterplanten.

## **1.4 METHODE**

De methode voor het uitwerken van de ESF's bufferzone en waterplanten bestaat uit de volgende onderdelen:

- Het benoemen en afbakenen van aspecten die van belang zijn in relatie tot de bufferzone en waterplanten;
- Verzamelen wetenschappelijke informatie;
- Vertaling naar praktisch toepasbare tools.

---

## **Benoemen relevante aspecten**

Voor het benoemen van relevante aspecten is de informatie die de STOWA reeds heeft ontwikkeld voor de ESF's stromende wateren gebruikt. Verder zijn bestaande systematieken uit de literatuur gebruikt, zoals het 5-S-model en het River Continuum Concept. Het resultaat is een lijst van twaalf aspecten die voor de ESF's bufferzone en waterplanten zijn uitgewerkt.

## **Verzamelen wetenschappelijk informatie**

Van alle bovengenoemde aspecten is wetenschappelijke informatie verzameld. Hiervoor is literatuur verzameld en zijn twee interviews met experts gehouden. De experts zijn Liesbeth Bakker (NIOO, expert op het gebied van vraat en effect op waterplanten) en Jonas Schoeninck (Universiteit van Antwerpen, expert op het gebied van stroming en waterplanten). Ook is gezocht naar bestaande tools die de het betreffende aspect in detail analyseren.

Bij elk aspect zijn (waar mogelijk) gekwantificeerde vuistregels of criteria benoemd op basis van de verzamelde wetenschappelijke informatie. Dit is de eerste stap in de vertaling van wetenschappelijke informatie naar praktische tools.

## **Praktische tools**

De verzamelde wetenschappelijke informatie is uitgewerkt naar tools waarmee de waterbeheerder in de praktijksituatie de ESF's bufferzone en waterplanten kan analyseren. De tools zijn op drie niveaus uitgewerkt:

- 1 Quick scan. Hierin worden gegevens verzameld en wordt een eerste indruk verkregen van de ESF's bufferzone en waterplanten, en welke aspecten het meest relevant zijn en welke minder. Dit leidt nog niet naar het oordeel of een (aspect van een) ESF op rood staat of niet.
- 2 Globale analyse. Dit bestaat uit beslisschema's voor alle twaalf benoemde aspecten. Elk beslisschema kan tot de conclusie leiden dat ESF bufferzone en/of ESF waterplanten op "rood" staat.
- 3 Tools nadere analyse. Dit zijn bestaande tools waarmee één aspect in meer detail onderzocht kan worden.

## **Case Drentse Aa**

De ontwikkelde Quick Scan, Globale analyse en de Nadere analyse zijn in een case uitgewerkt. Het doel hiervan is om de praktische toepasbaarheid uit te testen. Als case is de Drentse Aa (Waterschap Hunze en Aa's) gekozen.

---

## 1.5 LEESWIJZER

In [hoofdstuk 2](#) worden de relevante aspecten rond bufferzone en waterplanten benoemd. Daarbij wordt aangegeven op basis van welke informatie dat gebeurt is.

In [hoofdstuk 3](#) wordt de verzamelde wetenschappelijke informatie van genoemde aspecten weergegeven. Hierin wordt ook de samenvatting van die informatie in praktische vuistregels of gekwantificeerde criteria behandeld.

In [hoofdstuk 4, 5 en 6](#) worden de praktische uitwerkingen van de ESF bufferzone en waterplanten gegeven. Eerst als Quick Scan ([hoofdstuk 4](#)), vervolgens als Globale Analyse ([hoofdstuk 5](#)). Tot slot worden bestaande tools waarmee verschillende aspecten nader onderzocht kunnen worden behandeld in [hoofdstuk 6](#).

De uitwerking van de case Drentse Aa is in [Bijlage 4](#) uitgewerkt.

.....

---

## H2 RELATIES ROND BUFFERZONE EN WATERPLANTEN

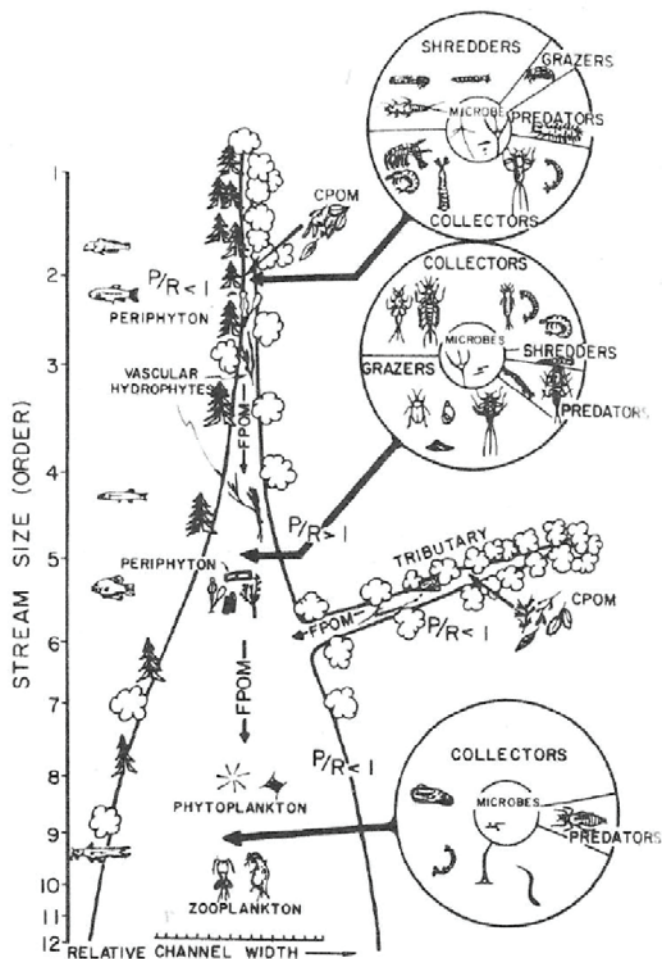
## 2.1 BESTAANDE RELATIESYSTEMEN

### River Continuum Concept

Het River Continuum Concept is ontwikkeld door Vannote et al., (1980). De kern van dit concept is in **Figuur 1** weergegeven. Dit is een kopie uit de oorspronkelijke publicatie; tegenwoordig zijn er diverse, opgemaakte en gekleurde versies op internet te vinden.

**FIG 1 RIVER CONTINUUM CONCEPT**

*Vannote et al (1980).*





---

Belangrijke aspecten uit het River Continuum Concept in relatie tot ESF's bufferzone en waterplanten zijn:

- In natuurlijke bovenlopen vindt vrijwel geen primaire productie in het water plaats. De voedselbron voor fauna is ingevallen blad en is van allochtone oorsprong.
- In grote rivieren is de belangrijkste primaire producent het fytoplankton.
- Daartussen (van middenloop tot klein riviertje) zijn vaatplanten en epifyten (aangroeiende algen, waaronder draadwieren en diatomeeën) belangrijke producenten.

Dat betekent dat de ESF waterplanten zowel in natuurlijke bovenlopen als in grote rivieren minder relevant is als het gaat om primaire productie. Aan de andere kant is de bufferzone in (natuurlijke) bovenlopen wat betreft de primaire productie van groot belang. Verder stroomafwaarts wordt het belang van de oeverzone (wat betreft primaire productie) steeds minder belangrijk.

### **5-S-model**

In Verdonchot (1995) is voor het eerst het 5-S-model gepresenteerd (Figuur 2). Het 5-S-model is ontwikkeld om ecologische relaties tussen biologische en abiotische parameters in stromende wateren weer te geven. Belangrijke uitgangspunten daarbij zijn:

- Parameters spelen op verschillende schalen, zowel in ruimte als tijd.
- Er is een zekere hiërarchie: systeemkenmerken zijn grootschalige sturende parameters voor abiotische parameters op kleiner schaalniveau (stroming, structuren en stoffen). Deze laatste groep zijn sturende parameters voor soorten (flora en fauna).
- Menselijke beïnvloeding (pressures) kan op elk schaalniveau en op alle parameters betrekking hebben.

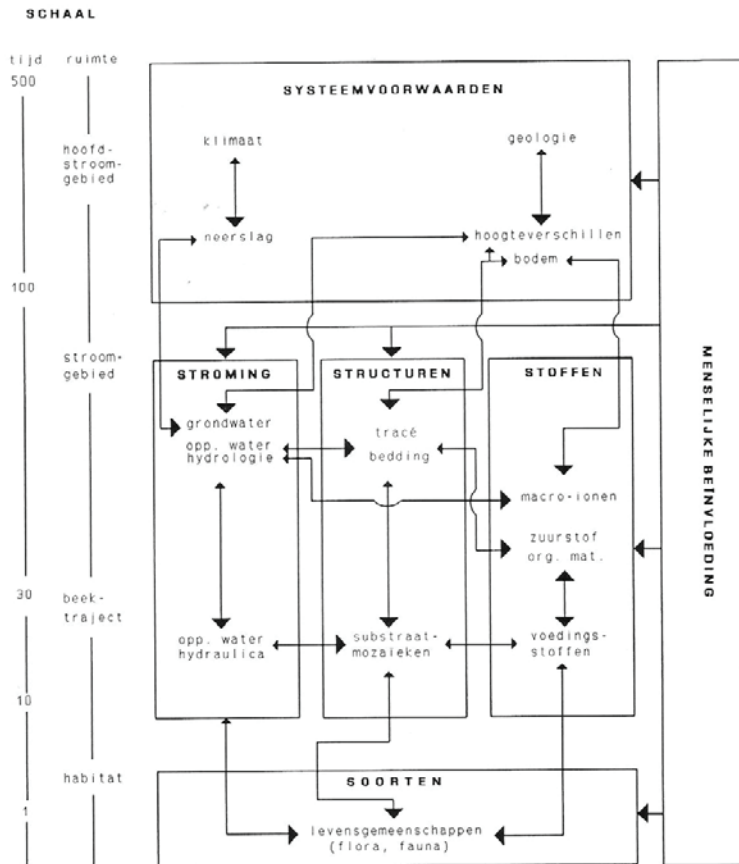
Ten aanzien van de ESF's bufferzone en waterplanten zijn de volgende zaken van belang:

- De bufferzone wordt in dit schema niet expliciet benoemd. De bufferzone speelt wel een rol bij de factoren hydrologie, bedding en stoffen.
- Waterplanten worden in dit schema vooral gezien als volgvariabele op milieufactoren. De invloed van waterplanten op fauna (en vice versa) wordt in dit schema niet expliciet aangegeven.

- Belangrijke milieufactoren voor waterplanten zijn stroming, structuren en stoffen.

Vanuit het 5-S-model is de benoeming van bufferzone en waterplanten als Ecologische Sleutelfactoren misschien niet logisch. De benoeming van de ESF's voor stromende wateren is echter wel in de geest van het 5-S-model, bijvoorbeeld wat betreft schaal (de ESF's maken ook onderscheid tussen stroomgebied- en trajectniveau) en menselijke beïnvloeding (pressures).

**FIG 2** 5-S-MODEL  
Verdonschot (red.) (1995)



## Beekdal, uiterwaard en bufferzone

Recent is het belang van het beekdal in relatie tot de ecologie van de beek zelf steeds meer in beeld gekomen. Dit is bijvoorbeeld het geval bij Beekdalbreed hermeanderen (Verdonschot et al., 2012). Hierin is de rol van de inundatiezone (experimenteel) onderzocht, evenals het belang van dood hout (dat onder natuurlijke omstandigheden afkomstig is van de oeverzone). Ook in latere publicaties en onderzoeken krijgen de inundatiezone en het beekdal in brede zin steeds meer aandacht (Eekhout & Hoitink, 2014; Makaske & Maas, 2015; Besselink *et al.*, 2017). In principe geldt hetzelfde voor uiterwaarden.

## 2.2 MILIEUFACTOREN VOOR BIOLOGISCHE GROEPEN

Door Verdonschot (2015) zijn twaalf milieufactoren onderscheiden die van belang zijn voor verschillende organismengroepen. In sessies met experts is het belang van deze factoren vastgesteld en uitgedrukt in een getal (1=sterk, 10=zwak - Tabel 2).

**TABEL 2 OVERZICHT VAN MILIEUFACTOREN EN WEGINGSFACTOR**

*Overzicht van milieufactoren en wegingsfactor per KRW organismengroep voor de langzaam stromende (L) en snel stromende (S) beken en rivieren (1=sterk, 10=zwak). Verdonschot 2015.*

	Beektype	Temperatuur	Licht	Droogval	Stroming	Connectiviteit	Substraat	Zuurgraad	Macro-ionen	Organisch materiaal	Zuurstof	Voedingsstoffen	Macrofyten
Waterplanten	L	5	1	3	2-3		2-3	3	3			1-2	
	S	5	1	3	1		1					2-3	
Macrofauna	L	1	8	1	1-2		2-3	1		3-4	2-3		3
	S	1-5		1	1-2		3			4	1		3
Vissen	L	4	1	1	1	2	1	5			2		2
	S	3			1	1	1				1		3

Merk op dat waterplanten in deze tabel twee keer voorkomen: als biologische groep (eerste rijen) en als milieufactor (laatste kolom). Volgens deze tabel zijn be-

---

langrijke milieufactoren voor waterplanten: licht, droogval, stroming, substraat, zuurgraad, macro-ionen en voedingsstoffen. Temperatuur is matig belangrijk terwijl connectiviteit, organisch materiaal en zuurstof als onbelangrijke milieufactoren voor waterplanten worden gekenschetst.

### 2.3 INFORMATIE STOWA

De ecologische sleutelfactoren zijn door de STOWA gedefinieerd op het kruispunt van stressoren en milieufactoren. De stressoren vormen de link naar menselijk handelen en daarmee naar beleid en beheer. De milieufactoren vormen de link naar de directe leefomgeving van aquatische organismen en daarmee naar de ecologische toestand. Voor elke ESF is een schema opgezet waarin de relatie tussen stressoren en milieufactoren is aangegeven.

Reeze & Buijse (2015) geven bij de ESF's bufferzone en waterplanten de volgende toelichting:

#### **ESF bufferzone**

De sleutelfactor bufferzone heeft betrekking op het landgebruik en het ecologisch functioneren van de strook langs de waterloop. Deze bufferzone is enkele tot tientallen meters breed (beken) of nog breder (uiterwaarden langs rivieren) en bestaat in de natuurlijke situatie grotendeels uit bos (broekbos of oobos) of (zegge-)moeras. Deze sleutelfactor heeft betrekking op de zogenaamde 'laterale connectiviteit', de verbinding tussen water en oever in de breedte.

De bufferzone is direct van invloed op het temperatuurregime en het lichtregime, de aanvoer van organisch materiaal (blad) en de groei van waterplanten in de waterloop. Daarmee is het ook van invloed op de substraatvariatie en het zuurstofregime. Bomen en boomwortels in de oever en ingevallen takken zijn van invloed op het stromingsregime. De bufferzone speelt ook een rol bij het voorkómen van oevererosie en afspoeling van nutriënten naar de waterloop. Buiten de waterloop biedt de bufferzone extra habitats en refugia voor organismen van stromend water (in de overstromingsvlakte: substraatvariatie).

#### **ESF waterplanten**

De sleutelfactor waterplanten heeft betrekking op de ontwikkeling van water- en oeverplanten in de waterloop. (voor het gemak wordt gesproken van waterplan-

ten). Waterplanten groeien in de aanwezigheid van voldoende licht, nutriënten, geschikt substraat en stromingscondities. In hoogdynamische milieus, bij regelmatige droogval en bij grotere waterdieptes komen waterplanten nauwelijks tot ontwikkeling.

De omstandigheden kunnen, afhankelijk van de soort, verbeteren of verslechteren door aantasting van de oever, kanalisatie en verstuwning, belasting met nutriënten en verandering van de hydrologie (lage afvoeren). De groei van waterplanten zorgt bovendien voor opstuwning bij de aan- en afvoer van water.

**TABEL 3 ASPECTEN DIE UITGEWERKT WORDEN ONDER ESF'S BUFFERZONE EN WATERPLANTEN**

Nr. Aspect	ESF bufferzone		ESF waterplanten		Relatie met andere ESF's
	Milieufactor voor vegetatie	Milieufactor voor fauna	Milieufactor voor vegetatie	Milieufactor voor fauna	
1. Licht	X		X		
2. Droogval			X		Hydromorfologie
3. Stroming			X		Hydromorfologie
4. Bodemsubstraat			X		Hydromorfologie
5. Nutriënten			X		Belasting
6. Koolstof			X		
7. Verwijdering			X		
8. Vegetatie als structuur				X	
9. Zuurstof				X	Belasting
10. Temperatuur	X	X	X		
11. Blad en dood hout		X			
12. Laterale connectiviteit		X			Connectiviteit

Maaibeheer, dat er op is gericht om de minimaal benodigde afvoercapaciteit bij maatgevende afvoeren te garanderen, is ook van invloed op de ecologische kwaliteit. Waterplanten vormen zelf een substraat voor andere aquatische organismen en zijn lokaal van invloed op de stroomsnelheden, substraatvariatie en het lichtregime. Daarnaast vormen ze een bron van organisch materiaal. In situaties met

overvloedige groei zijn waterplanten sturend op het zuurstofregime (dag- nachtritme).

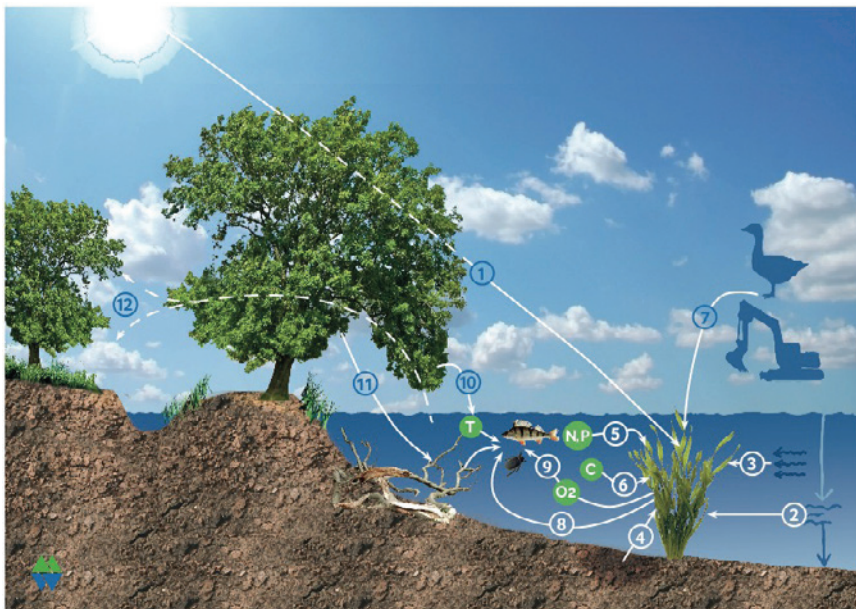
## 2.4 BENOEMING RELATIES

Op basis van de informatie uit de vorige paragrafen van dit hoofdstuk is gekomen tot een lijst van relaties die voor de ESF's bufferzone en waterplanten uitgewerkt wordt (Tabel 3) en een visualisatie van de aspecten (Figuur 3). In de tabel is ook aangegeven of het aspect valt onder ESF bufferzone, ESF waterplanten en of er een relatie is met andere ESF's.

De aspecten 1 t/m 7 gaan over milieufactoren die van invloed zijn op waterplanten. De aspecten 8 t/m 12 gaan over milieufactoren die van invloed zijn op fauna. Daar is één uitzondering op: aspect 10 (temperatuur) gaat over het effect van de milieufactor temperatuur op zowel vegetatie als fauna.

### FIG 3 VISUALISATIE BEHANDELDE ASPECTEN

Visualisatie van de aspecten die onder de ESF's bufferzone en waterplanten behandeld worden. Voor betekenis van de cijfers: zie Tabel 3 en tekst.



---

*Let op: Uiteraard zijn er meer relaties rond deze aspecten te definiëren. Droogval, stroming en bodemsubstraat hebben ook invloed op fauna. Deze relaties vallen echter buiten de scope van de ESF's bufferzone en waterplanten. In het schema zijn alleen de relaties aangegeven die binnen de ESF's bufferzone en waterplanten worden uitgewerkt.*

### *1 Licht*

Dit aspect gaat over het effect van beschaduwning op de groei van waterplanten in het water. Dit aspect valt zowel onder ESF bufferzone als ESF waterplanten.

### *2 Droogval*

Hierbij gaat het om gehele droogval van beken en om droogval van oevers van grote rivieren en de gevolgen daarvan op de groei van waterplanten.

### *3 Stroming*

Dit aspect gaat over de invloed van stroming op de groei van waterplanten. Er is een relatie met de ESF hydromorfologie: de hydromorfologie bepaalt de stroomsnelheid en heeft daarmee gevolgen voor waterplanten. Tegelijkertijd leveren waterplanten weerstand en beïnvloeden daarmee de hydrologie. Dit laatste aspect wordt niet onder de ESF waterplanten uitgewerkt, maar valt onder de ESF hydrologie en morfologie.

### *4 Bodemsubstraat*

Hierbij gaat het om het belang van het type bodemsubstraat (slib, zand, grind, etc.) op de groei van waterplanten. Andere substraten worden behandeld onder aspect 8 (vegetatie als structuur) en aspect 11 (blad en dood hout).

### *5 Nutriënten*

Dit gaat over de invloed van nutriënten in het water op de groei van waterplanten en epifyten. Hoe nutriënten in het water komen is onderdeel van de ESF belasting. De concentratie van nutriënten in het water wordt bij de ESF waterplanten als gegeven beschouwd.

### *6 Koolstof*

Hierbij gaat het om de beschikbaarheid van koolstof en het effect daarvan op de vegetatie.

---

### *7 Verwijdering*

Dit aspect gaat over de verwijdering van waterplanten door maaibeheer of door vraat.

### *8 Vegetatie als structuur*

Hierbij wordt de vegetatie als milieufactor voor fauna (macrofauna en vis) beschouwd. Het gaat om het bieden van substraat, schuilmogelijkheden en bron van voedsel.

### *9 Zuurstof*

Dit gaat over de invloed van waterplanten op het zuurstofgehalte. Bij dit aspect wordt zuurstof gezien als milieufactor voor fauna.

### *10 Temperatuur*

Hierbij gaat het om het effect van beschaduwning door houtige gewassen op de temperatuur van het water en vervolgens over de invloed van temperatuur op waterplanten en fauna.

### *11 Blad en dood hout*

Hierbij gaat het om de inval van bladeren en dood hout in het water, en het belang daarvan voor fauna in het water.

### *12 Laterale connectiviteit*

Laterale connectiviteit gaat over de migratie-mogelijkheden voor fauna tussen het water en de oeverzone. Hierbij spelen oeverplanten en structuren en habitats in de bufferzone een rol. De oeverplanten vallen onder ESF waterplanten, de overige begroeiing en habitats onder ESF bufferzone. Er is een relatie met ESF connectiviteit.



# H3 LITERATUURSTUDIE



---

In dit hoofdstuk wordt het resultaat gepresenteerd van de literatuurstudie naar de twaalf aspecten die een relatie hebben met ESF bufferzone en/of ESF waterplanten.

### 3.1 LICHT

Licht is essentieel voor water- en oeverplanten: licht is de enige energiebron waarmee planten, via fotosynthese, groei realiseren. In brede watergangen (bijvoorbeeld rivieren) heeft beschaduwing een minder groot effect dan in smalle watergangen (bijvoorbeeld boven- en middenlopen van beken). Bij nevengeulen van rivieren en sprangen speelt beschaduwing mogelijk wel een grote rol.

Veel soorten waterplanten zijn 'lichtplanten' die alleen goed groeien bij maximale beschikbaarheid van licht. Het effect van schaduw laat zich daarbij onmiddellijk merken, ongeacht hoe sterk de reductie van licht is. Een minderheid aan soorten kan wel groeien in de schaduw en verdraagt zelfs volle zonlicht niet goed. Deze 'schaduwplanten' kunnen domineren op trajecten waar voldoende schaduw is en de reductie van licht niet al te sterk is.

Vrijwel alle soorten die een hoge dichtheid kunnen bereiken (woekerende soorten) zijn lichtplanten. Deze soorten kunnen ook bij lage lichtintensiteit groeien, maar bereiken dan geen grote dichtheid. Licht is dus meestal de groeibeperkende factor indien er voldoende fosfaat en stikstof in het water aanwezig is, wat in Nederland in de regel het geval is.

Voor waterplanten kan de beschikbaarheid van licht door meerdere factoren worden gereduceerd:

- 1 beschaduwing door oevervegetatie, met name door struiken en bomen,
- 2 beschaduwing door drijvende waterplanten,
- 3 beschaduwing door perifitische algen,
- 4 reflectie, extinctie en troebeling van het water.

Deze lijst geeft een opvolgend effect aan: oevervegetatie reduceert ook de mogelijkheden voor de groei van drijvende planten waardoor die zelf weer minder aan de totale reductie kunnen bijdragen.

#### *1. Beschaduwing oevervegetatie*

De mate van beschaduwing die oevervegetatie kan veroorzaken wordt door diverse

---

factoren bepaald:

- De hoogte van de oevervegetatie,
- De positie ten opzichte van de zon,
- De afstand tot het water,
- De breedte van de watergang,
- De dichtheid van de vegetatie
- Wel/niet bladverliezend.

Voor het berekenen van de mate van beschaduwing door oevervegetatie zijn verschillende modellen gemaakt, waarvan het model SHADE2 ook met veldmetingen kan worden getoetst (Li *et al.*, 2012); zie [hoofdstuk 6](#), tools voor nadere analyse.

De hoogte van de oeverbegroeiing moet op onze breedtegraad minimaal het dubbele zijn van de breedte van de waterloop om direct zonlicht op het wateroppervlak te blokkeren. Bij watergangen die breder zijn dan een meter zijn daarom alleen bomen en/of hoge struiken beperkend voor direct zonlicht op het wateroppervlak.

Bij oost-west georiënteerde watergangen kan een beplanting met bomen aan de zuidkant, indien hoog genoeg en dicht genoeg bij het water, direct zonlicht op het wateroppervlak vrijwel volledig wegnemen. De lichtreductie van zo'n eenzijdig beplanting kan tot 70% oplopen, indien deze voldoende dicht is. Voldoende dicht betekent dat er niet alleen door de boomkroon, maar ook zijdelings nauwelijks licht door de beplanting doordringt. Dit kan worden bereikt bij een breedte van minimaal 7 meter beplanting (parallel aan de watergang), waarbij ook ondergroei aanwezig is (DeWalle, 2010). Uit metingen van Verdonschot *et al.*, 2017 (H2O 28-8) blijkt dat de begroeiing in de waterloop, uitgedrukt in totale bedekking, met ongeveer hetzelfde percentage afneemt als het licht bij een oost-west georiënteerde waterloop, bij een noord-zuid georiënteerde waterloop is er tot 75% schaduw nodig voor halvering van de begroeiing.

Tweezijdige beplanting en de daardoor mogelijke volledige overkoepeling van de watergang kan de reductie van licht nog veel verder doen oplopen omdat dan ook minder diffuus licht tot het water doordringt. In diverse projecten waar tweezijdige beplanting wordt aangebracht blijkt de bedekking van kruidachtige begroeiing, zowel in het water als op de oever te reduceren tot hoogstens enkele procenten zodra de houtige beplanting sluit. Alleen schaduwminnende amfibische soorten

---

blijven stand houden in lage dichtheden (o.a. van Willemswaard en Vugts, 2000); vaak zijn dat vooral mossen. Overkluizing met bomen leidt meestal tot het verdwijnen van alle ondergedoken waterplanten.

Beschaduwning door kruidachtige begroeiing langs de oever kan alleen effectief zijn als de beek zeer smal is en de begroeiing hoog en dicht op de beek staat. Begroeiingen met liesgras en rietgras kunnen een dergelijke effect teweegbrengen. Deze soorten kunnen echter alleen zo'n hoge dichtheid bereiken als de standplaats (zeer) voedselrijk is en ze zelf niet beschaduwd worden door bomen en struiken. Dergelijke smalle beken zijn meestal ook erg ondiep. De begroeiing zal dan het gehele profiel van de beek vullen waardoor een doorstroomsysteem ontstaat.

Bladverliezende beplanting op de oever geeft in het groeiseizoen meer beschaduwning dan daarbuiten. Omdat het groeiseizoen van oeverbeplanting grotendeels samenvalt met het groeiseizoen van waterplanten (of zelfs eerder begint), is het verschil tussen bladhoudende of bladverliezende oevervegetatie wat betreft het effect op waterplanten waarschijnlijk gering.

## *2. Beschaduwning door drijvende vegetatie*

Kroossoorten en andere drijvende, niet wortelende soorten (zoals parelvederkruid en grote waternavel), zijn in staat een zeer dichte laag te vormen op het water waardoor de plantengroei daaronder sterk wordt geremd door gebrek aan licht. In stromende wateren kunnen kroossoorten een dergelijke dichtheid echter niet bereiken omdat ze wegspoelen. Alleen in zeer langzaam stromende (veelal: gestuwde) beken kunnen drijvende, niet wortelende waterplanten een probleem worden.

Vastzittende planten met drijfbladen komen in stromende wateren wel voor en geven ook schaduw. Van drijvend fonteinkruid en witte waterlelie is aangetoond dat het de groei van ondergedoken waterplanten afremt. De schaduw die deze soorten geven blijkt in de praktijk echter te gering om de groei van ondergedoken waterplanten geheel tegen te gaan. Toepassing van drijfbladplanten als beheersmaatregel om stromingsweerstand door ondergedoken vegetatie tegen te gaan, blijkt daarom geen effectieve beheersmaatregel te zijn (Pitlo, 1982).

## *3. Beschaduwning door perifytische algen*

Bij een toenemende fosfaatconcentratie in het water kan algenontwikkeling op

---

en rond de bladeren van de waterplanten plaatsvinden. Door de toename van perifytische algen vermindert de hoeveelheid beschikbaar licht voor ondergedoken waterplanten waardoor de groei van deze planten geremd wordt en waardoor deze planten zelfs geheel kunnen afsterven en verdwijnen (Philips *et al.* 1978; Van Vierssen *et al.* 1994, Hilton *et al.* 2006).

#### *4. Reflectie, extinctie en troebeling*

Afhankelijk van de stand van de zon weerkaatst tot wel meer dan de helft van het zonlicht op het wateroppervlak (reflectie). Het licht dat in het water doordringt wordt door het water zelf sterk uitgedoofd (extinctie), met name licht van lange golflengte (rood licht) (Kirk, 1994). Ondergedoken waterplanten zijn daardoor nog veel gevoeliger voor beschaduwning dan drijvende planten en oeverplanten.

Daarnaast speelt troebeling van het water een rol. Water kan door allerlei oorzaken troebel worden. De meest voorkomende natuurlijke oorzaak van troebel water in beken is afspoeling van slib uit het instroomgebied of door erosie van oevers. In landbouwgebieden kan dat nog versterkt zijn, maar daar kan ook lozing van slibrijk materiaal een belangrijke oorzaak zijn. In rivieren maar ook in zeer langzaam stromende (veelal gestuwde) beken kan ook de groei van fytoplankton (vrij zwevende algen) oorzaak van troebeling zijn. Voor zeer langzaam stromende wateren kan voor de ecologische analyse ook gebruik worden gemaakt van de ESF's van stilstaande wateren: ESF Productiviteit water en ESF Lichtklimaat.

Troebeling van water leidt tot een groeistrategie van de waterplanten waarbij de bladeren zoveel mogelijk boven in de waterkolom worden gepositioneerd. (Roelofs & Bloemendaal, 1988). Dat is volgens Baattrup-Pedersen *et al.*, (2015) ook in eutrofe milieus het geval, maar dan wordt eutrofie verondersteld samen te gaan met troebelheid, wat in stilstaande wateren doorgaans het geval is, maar in stromend water niet per sé. Ondergedoken soorten die deze strategie volgen zijn schedefon- teinkruid en de meeste sterrenkroos-soorten, maar ook de soorten die drijfbladen kunnen vormen zijn in zulke situaties in het voordeel (drijvend fonteinkruid, gele plomp, kleine egelskop, pijlkruid).

Zie voor verdere informatie over dit onderwerp ook ESF Lichtklimaat (stilstaande wateren).

---

### Schaal

Naast een verminderde hoeveelheid zonlicht dat doordringt tot de planten moet in de praktijk op een groter schaalniveau ook worden gerekend met een verminderd oppervlakte waar het zonlicht ongehinderd doordringt. Veelal zijn beken en rivieren niet monotoon begroeid op de oevers, maar wisselen trajecten met schaduw gevende begroeiing af met open stukken.

De natuurlijke verhouding waarin beschaduwde en onbeschaduwde trajecten voorkomen, wisselt per watertype. Volgens de referentiebeschrijving van de KRW (Van der Molen *et al.* 2012) is het effect van schaduw relevant als tussen 50% en 100% (R4), tussen 60% en 100% (R5, R6, R14, R15 en R18) of tussen 70% en 100% (R13 en R17) van de oeverlengte bebost is. Dat komt globaal overeen met Verdonschot *et al.*, (2017) die stellen dat exacte getallen zouden ontbreken maar 75% bebost waarschijnlijk optimaal zou zijn. Dit betekent dus dat 25% van de lengte van de watergang wel een sterke waterplantengroei zou kunnen hebben. De beboste delen kennen dan hetzij een matige groei als de bebossing voldoende schaduw geeft, hetzij helemaal geen waterplanten en maar weinig oeverplanten bij overkluizing door de boomkroon. Als beschaduwde en open delen elkaar snel afwisselen kunnen de snelgroeiende soorten echter ook in de trajecten met schaduw worden aangetroffen, zij het meestal in lage dichtheid

### Vuistregels

- Onder schaduw gevende oeverbegroeiing wordt een begroeiing verstaan die minstens 70% reductie van instraling oplevert. Plantengroei is dan nog wel mogelijk, ook in het water, maar er wordt geen hoge dichtheid gevormd. Ook het aantal soorten dat in de schaduw groeit is beperkt.
- De hoogte van de oeverbegroeiing moet op onze breedtegraad minimaal het dubbele zijn van de breedte van de waterloop om direct zonlicht op het wateroppervlak te blokkeren.
- Kruidachtige vegetatie (een rietkraag) kan alleen effectieve beschaduwing geven in beken smaller dan 1 meter. In bredere wateren kunnen alleen struiken en bomen voor een effectieve beschaduwing zorgen.
- Voor 50 % schaduw op een 10 m brede beek zijn bomen nodig op de zuidoever van 12 meter hoogte, als deze op 5 m van de beek staan (Johnson & Wilby 2015).
- Een dichte, hoge bufferzone (30 m) van 12 meter breed geeft 80 % beschaduwing op kleine beekjes (tot 6 m) (DeWalle 2010).

- 
- Een gesloten bladerdek boven een beek (meestal alleen te bereiken bij tweezijdige beplanting) leidt tot een sterke reductie van de plantengroei. In het water komen vrijwel geen planten voor, op de oever schaduwminnende soorten zoals mossen.
  - Bufferzones voor oost-west georiënteerde beken moeten minimaal 6-7 meter breed zijn voor een effectieve beschaduwning. Voor noord-zuid georiënteerde beken is dat 18-20 meter. Voor meanderende beken minimaal 12 meter. (Kalny *et al.* 2017).Bagus123

Tools voor nadere analyse:

- SHADE2 (paragraaf 6.1)

### 3.2 DROOGVAL

Stromende wateren kunnen door allerlei oorzaken (zie de ESF's rond hydrologie en morfologie) periodiek droogvallen. De droogval kan ook alleen delen van de oever betreffen. Met name in de grote rivieren is dit een belangrijke sturende factor voor de ontwikkeling van vegetatie. Bekken en rivieren worden hieronder apart behandeld.

Periodieke uitdroging selecteert op soorten die aangepast zijn aan droogtestress (Franklin *et al.* 2008). Droogval is een signaal voor de ontkieming van diverse soorten oeverplanten (Sarneel *et al.* 2014) en verandert onder andere door de invloed op kieming ook de vegetatiesamenstelling. Het signaal voor de ontkieming van plantenzaden is een combinatie van temperatuur, zuurstof en nitraatbeschikbaarheid. Droogval verandert ook het sediment, zowel fysisch door bijvoorbeeld uitdroging als via biogeochemische processen.

Droogval heeft op waterplanten direct en indirect effect. Het directe effect treedt op door het wegvallen van het water en de directe blootstelling van de planten aan zuurstof. Het indirecte effect treedt op via processen die in het bodemsediment plaatsvinden. Met name afbraakprocessen zijn hierbij van belang. Door de afbraakprocessen neemt de concentratie van nutriënten in de bodem toe en die van zuurstof af.

Waterplanten hebben verschillende strategieën om perioden van droogval te overleven (Bornette & Puijalon 2011):

- 
- Tolerantie; vaak zijn er wel morfologische aanpassingen,
  - Afsterven bovengrondse biomassa. Na inundatie kan deze weer uitgroeien.
  - Bloei en zaadproductie, gevolgd door afsterven. De gevormde zaadbank kan later bij inundatie voor nieuwe planten zorgen.

### **Beken**

Veel Nederlandse beken zijn in de vorige eeuw gekanaliseerd en genormaliseerd waardoor ze neerslag snel afvoeren. Daardoor is in beken sprake van een hoge afvoerdynamiek: hoge afvoeren na regen en lage afvoeren in droge tijden. Wateronttrekking door industrie, drinkwaterwinning en landbouw verbruiken in de zomer ook water. Om daling van de waterstand (gestuwde beektrajecten) of zelfs droogval te voorkomen wordt soms bovenstrooms water ingelaten. Hiermee wordt het peil gehandhaafd en droogval voorkomen, maar het ingelaten water heeft vaak een andere chemische samenstelling. Dit kan ecologische gevolgen hebben (biochemische processen, andere soortensamenstelling).

Beken die diep in insnijden kunnen drainerend werken waardoor grondwater niet in het maaiveld langs de beek opwelt en via een moerasbeek of doorstroommoeras wordt afgevoerd, maar rechtstreeks naar de beek uitstroomt en wordt afgevoerd. De drainerende werking van diep ingesneden beken werkt verdrogend op de bufferzone rondom de beek en vermindert de kansen voor broekbos of kwelvegetaties langs beken.

Bij diepe droogval (> 10-15 cm beneden de bodem van de beek of rivier) is het voor de meeste waterplanten onmogelijk om te groeien. De bodem droogt uit, vooral op zand en minder snel op klei, en biedt weinig mogelijkheden voor plantengroei. Als deze omstandigheden voor een langere periode voorkomen dan profiteren vooral droogtetolerante soorten en ook ruderaal soorten. Bodems met een hoog gehalte aan organisch stof (zoals veen) drogen minder uit en bieden meer kansen voor plantengroei. In droogvallende, maar modderige bodems kunnen waterplanten zoals smalle waterpest wekenlange droogval tolereren (Barrat-Segretain & Cellot 2007).

Amfibische plantensoorten hebben strategieën ontwikkeld om perioden van droogval te overleven. Drijvende waterweegbree heeft een droogtetolerante alternatieve groeivorm met kortgesteeld blad. Bij droogval gaan de planten bloeien en



---

de zaden van deze soort kiemen bij droogval. (Lucassen *et al.* 2010). De soort, die indicatief is voor kwel, kan zich dus ook bij droogval handhaven. Ook andere amfibische, kwelgerelateerde plantensoorten zijn in staat om door aanpassingen te overleven in droogvallende omstandigheden. Door de aanpassingen tegen droogval hebben zij een competitief voordeel ten opzichte van waterplanten die zouden domineren in niet-droogvallende wateren. Kunstmatige opzet van het waterpeil is dus nadelig voor deze amfibische, vaak kwelgerelateerde soorten. Het kunstmatige opzet van het waterpeil brengt nog andere risico's met zich mee die nadelig kunnen zijn voor de kwelsoorten, zoals het optreden van interne eutrofiering en het wegdrukken van de kwel.

Droogval van beken in de winter kan ook plaatsvinden. Dit komt door actief peilbeheer, vergelijkbaar met omgekeerd peilbeheer in slootssystemen. Door droogval in de winter kunnen soorten in de winter bevroren en in het groeiseizoen verdrinken.

#### *Vuistregels:*

- Droogval vindt voornamelijk plaats in de zomer en is stressvol voor diverse waterplanten. Voor sommige amfibische soorten of oeversorten biedt het kansen.
- Gebrek aan grondwaterinvloed en daaruit volgende droogval halveert de soortenrijkdom van waterplanten (Jansson *et al.* 2007).
- Eenmalige droogval van maximaal enkele weken is te overleven voor de meeste waterplanten. Eventueel meerdere kortdurende periodes droogval ook.
- Droogval tot net onder maaiveld (waterbodem) bevordert de kieming van water- en oeverplanten (Sarneel *et al.* 2014).
- Elk jaar matige droogval (kort en ondiep) heeft een gunstig effect op de soortensamenstelling van waterplanten doordat het dominantie van een enkele soort voortkomt.
- Zware droogval (langdurig en diep) die eens in de zoveel jaren voorkomt heeft een sterk versturend effect op de vegetatie. Soorten die dit niet overleven moeten het drooggevallen habitat herkoloniseren.
- Droogval bevordert wortelende waterplanten. Ongewenste en minder wortelende soorten als waterpest zullen eerder afsterven.

#### *Tools voor nadere analyse*

Door Deltares is de gevoeligheid van soorten voor droogval bepaald. Dit is geba-

---

seerd op onderzoek in het IJsselmeer en het Markermeer (Wortelboer, 2017). Voor voorliggend rapport is de soortenlijst uitgebreid. Zie [paragraaf 6.6](#).

## Rivieren

In deze paragraaf worden de effecten van peilfluctuaties op water- en oeverplanten in de hoofdstroom van grote rivieren als de Rijn en Maas (KRW-type R7) besproken. Hierbij ligt de nadruk van het belang van seizoensmatige en jaarlijkse fluctuaties op de boven- en middenloop van de Rijn en Maas; de water- en oevervegetatie in geïsoleerde uiterwaardplassen (M5), die alleen tijdens hoge rivierpeilen overstroomd worden door de rivier, vallen buiten het kader van dit rapport.

Fluctuaties van het waterpeil behoren tot één van de belangrijkste drijvende krachten achter de ontwikkeling van waterplanten in rivieren (Haslam, 2006; Keddy, 2010). Hierbij zijn niet alleen de peilfluctuaties binnen een jaar, maar ook de fluctuaties tussen jaren van belang. Wisselingen in het waterpeil gaan gepaard met extremen in abiotische condities. Bij hoge rivierpeilen ontvangen waterplanten te weinig licht of kunnen ze geen zuurstof meer vanuit de buitenlucht naar de wortels pompen. Bij lage rivierpeilen daarentegen kunnen planten uitdrogen, of juist uitbreiden door vegetatieve uitlopers of ontkieming van zaden. Tussen soorten zijn er grote verschillen in toleranties tegen deze extremen. Als gevolg hiervan vertoont de samenstelling van water- en oevervegetaties een duidelijk zoneringspatroon, dat het gevolg is van de wisselwerking tussen het peilregime en de waterdiepte.

Voor de bedekking van waterplanten zijn verschillende parameters van belang die samenhangen met peilfluctuaties, namelijk:

- de waterdiepte tijdens de start van het groeiseizoen;
- de tijdsduur dat in het groeiseizoen water aanwezig is;
- de mate van uitdroging van de standplaats bij droogval;
- de maximale peilstijging tijdens het groeiseizoen;
- de stabiliteit van bovengenoemde factoren gedurende achtereenvolgende jaren.
- periode van het jaar (seizoen) waarin droogval plaatsvindt.

Omdat het belang van deze factoren tussen de water- en oevervegetatie verschilt, wordt deze onderstaand voor beide groepen afzonderlijk toegelicht. Vervolgens

---

wordt ingegaan op welke manier deze factoren de verschillen tussen riviertrajecten verklaren.

#### *Ondergedoken en nymphaeide soorten*

Voor echte waterplanten is de waterdiepte in mei een belangrijke factor. Deze factor is direct gerelateerd aan de helderheid van het water, omdat tijdens de start van het groeiseizoen - wanneer de waterplanten nog klein zijn - voldoende licht op de bodem moet doordringen. Soorten als schedefonteinkruid, rivierfonteinkruid en gele plomp hebben dan hun optimum bij een gemiddelde waterdiepte tussen de 0,50 - 1,50 meter. Het maximum van de waterdiepte in mei waarop ondergedoken en nymphaeide vegetaties voorkomen bedraagt 1,90 meter.

Naast de waterdiepte is de tijdsduur dat water aanwezig is een belangrijke factor voor vegetatiegroei. Aangenomen wordt dat er gedurende minimaal drie opeenvolgende maanden (mei t/m juli) water aanwezig moet zijn op een groeilocatie voor succesvolle vestiging en handhaving. De waterdiepte in mei kan weliswaar binnen de geschikte range voor waterplantengroei vallen, maar een te sterke peildaling in daarop volgende maanden kan vroegtijdige sterfte veroorzaken. Bij een te snelle daling van de waterstand valt de locatie namelijk in juni of juli droog, waardoor het vegetatieseizoen te kort is voor de ontwikkeling van waterplanten. Waterplanten zijn dan niet in staat om voldoende reserves aan te leggen (in de vorm van zaden of ondergrondse biomassa), en kunnen in het volgende groeiseizoen niet hergroeien. Diverse waterplantensoorten hebben aanpassingen voor tijdelijke droogval, maar ook voor deze soorten geldt dat het groeiseizoen voldoende lang moet zijn voor hun ontwikkeling.

Soms kunnen groeiplaatsen in mei droogstaan, maar in daaropvolgende maanden voor tenminste drie maanden overstroomd zijn. Voor deze groeiplaatsen is de hoogteligging ten opzichte van het rivierpeil van belang. Uit onderzoek blijkt dat waterplanten niet voorkomen wanneer de groeiplaats in mei meer dan 50 cm boven het wateroppervlak uitstak. Mogelijk hangt dit samen met uitdroging (en bijgevolg sterfte) van de wortels van waterplanten. Deze limiet zal mede afhankelijk zijn van het bodemtype, maar hiervoor ontbreken de benodigde gegevens.

Daarnaast is voor vegetatie ook de maximale peilstijging tussen mei en juli van belang. In de gebruikte tijdperiodes van Van Geest & Teurlincxs (2012) komen ech-

---

ter geen extreme zomerhoogwaters voor, waardoor deze limiet niet berekend kan worden. Opvallend is echter dat waterplanten in deze periodes nog steeds talrijk voorkomen ondanks forse peilstijgingen (tot 1,40 meter) tussen het gemiddeld waterpeil in mei en juli.

Tot slot is de stabiliteit van bovengenoemde factoren gedurende achtereenvolgende jaren van belang. De data-analyse toont namelijk aan dat waterplanten pas hoge bedekkingen bereiken, wanneer voor tenminste 8 van de 10 jaar op een locatie aan bovengenoemde tolerantielimieten wordt voldaan. Deze tijdsduur stemt ook goed overeen met het feit dat waterplanten pas circa 10 jaar na aanleg van de nevengeulen bij Gameren en Vreugderijkerwaard hoge bedekkingen bereiken.

#### *Verschillen tussen riviertrajecten*

De noodzaak voor een stabiel waterpeil in het groeiseizoen over meerdere jaren biedt een goede verklaring voor de verschillen in bedekking van waterplanten tussen de riviertrajecten. In Nederland bestaan tussen de Rijntakken grote verschillen in peilregime van de rivier. Nabij Lobith heeft de Rijn de grootste verschillen in rivierpeil, zowel binnen één groeiseizoen als tussen groeiseizoenen van opeenvolgende jaren. Langs de Waal en IJssel dempen deze fluctuaties in stroomafwaartse richting uit. Van oorsprong was dit ook het geval in de Nederrijn en Lek, maar langs dit riviertraject is de variatie van het waterpeil sterk gedempt door drie stuwen, die in de jaren zestig van voorgaande eeuw zijn gebouwd. Deze gradiënt in peilfluctuaties bood de mogelijkheid om de bovenstaande tolerantielimieten voor waterplanten af te leiden. Uit de analyses blijkt namelijk dat alleen op plaatsen met relatief kleine verschillen in peildynamiek tussen jaren waterplanten een hoge bedekking kunnen bereiken. In recente jaren is het rivierpeil alleen op stroomafwaarts gelegen delen van de hoofdstroom (en permanent verbonden geulen) voldoende stabiel voor de ontwikkeling van hoge bedekkingen van waterplanten. Dit geldt bijvoorbeeld voor de IJssel stroomafwaarts van Zwolle. Dit neemt niet weg dat waterplanten zich soms ook kunnen vestigen in de riviertrajecten die als ‘niet of minder geschikt voor waterplantengroei’ te boek staan. Dit betreffen de Waal en het traject van de IJssel tussen Arnhem en Zwolle. In sommige afzonderlijke jaren is het waterpeil in deze riviertrajecten namelijk ook stabiel genoeg. In deze jaren kan de eerste vestiging van waterplanten optreden, zoals blijkt uit de lage bedekkingen van waterplanten langs deze riviertrajecten in sommige jaren. Echter, in de daarop volgende jaren zijn de peilfluctuaties langs deze trajecten

---

weer te groot, waardoor de groeilocatie dan te diep is of te vroeg droogvalt. Hierdoor verdwijnen eventueel gevestigde waterplanten op deze locaties en worden geen hoge vegetatiebedekkingen bereikt.

Lage bedekkingen (lager dan verwacht) in de stuwpannen van de Nederrijn en Lek worden waarschijnlijk veroorzaakt door de schoksgewijze peilveranderingen ten gevolge van het stuwregime van deze rivier, al dan niet in combinatie met vogelvaart van waterplanten (Liefveld & Bak, 2013). Ook in het bovenstroomse deel van de IJssel (Arnhem - Zwolle) groeien minder waterplanten dan verwacht. Mogelijk ondervinden waterplanten hinder van de stenen bestorting van de ondiepe IJsseloevers. De groei van waterplanten kan eveneens verhinderd zijn door intensieve scheepvaart (Vermaat & de Bruyne, 1993), vaart door vogels, en de opkomst van verschillende invasieve exoten, zoals diverse kreeftensoorten (Roessink *et al.*, 2010) en Chinese wolhandkrabben (*Eriocheir sinensis*). Al deze aspecten zijn niet meegenomen in de analyses van Van Geest & Teurlincxs (2012). Aanvullend onderzoek zal nodig zijn om het relatieve belang van deze factoren ten opzichte van het peilregime te bepalen.

#### *Verschillen tussen de hoofdstroom, nevengeulen en eenzijdig verbonden wateren*

Hieronder zijn criteria (vuistregel) voor de groei van waterplanten in rivieren geformuleerd. Deze criteria gelden voor de hoofdstroom van de rivier, evenals van wateren die hiermee permanent zijn verbonden, zoals nevengeulen (die aan beide zijden met de rivier zijn verbonden) en eenzijdig met de rivier verbonden wateren. In de hoofdstroom beperkt de vegetatie zich vooral tot soorten als schedefonteinkruid en rivierfonteinkruid; deze soorten zijn - mede door hun wortelknollen of -stokken - goed bestand tegen golfslag en sedimentomwoeling die veroorzaakt wordt door scheepvaart.

In nevengeulen wordt deze soortenlijst aangevuld met soorten als aarvederkruid en (incidenteel) doorgroeid fonteinkruid. Op rustige plaatsen kunnen ook soorten van stagnante wateren groeien. In eenzijdig aangetakte wateren daarentegen ontbreken tegenwoordig waterplanten, ook langs de riviertrajecten waar het waterpeil gunstig is voor waterplantengroei. Dit staat in schril contrast met de situatie in de jaren vijftig van voorgaande eeuw, toen vele eenzijdig verbonden strangen begroeid waren met soorten als watergentiaan, veenwortel en brede waterpest. De reden hiervoor is onduidelijk, mogelijk speelt golfslag door scheepvaart hier ook

---

een rol, evenals graas door geïntroduceerde kreeftsoorten (die tegenwoordig algemeen voorkomen langs de Rijn), de Chinese wolhandkrab of vogels.

### *Vuistregels*

Voor de groei en ontwikkeling van ondergedoken waterplanten en nymphaeiden gelden in de grote rivieren de volgende grenswaarden:

- Waterdiepte tijdens de start van het groeiseizoen:
  - optimum tussen 0,5 - 1,5 meter;
  - maximale diepte tot 1,9 meter;
- Tijdsduur dat in het groeiseizoen water aanwezig is;
  - tenminste drie maanden (startend vanaf mei);
- Mate van uitdroging van de standplaats bij droogval:
  - Groeiplaats in mei niet meer dan 50 cm boven het gemiddeld waterpeil;
- Peilstijging tijdens het groeiseizoen:
  - Waarschijnlijk maximaal 1,40 meter;
- Stabiliteit van bovengenoemde factoren gedurende achtereenvolgende jaren:
  - In tenminste 8 van de 10 aaneengesloten jaren moeten waterpeilen binnen bovengenoemde grenswaarden vallen.

### *Tools voor nadere analyse*

- Gevoeligheid van soorten voor droogval. [Paragraaf 6.6](#)

## **3.3 STROMING**

### **Inleiding**

Voor waterplanten zijn stromende wateren fysiek stressvoller dan stilstaande wateren en de stroming is daarin van primaire belang (Bornette & Puijalon 2011). De hydrodynamische krachten die wordt uitgeoefend op planten hangt onder andere af van de planteigenschappen en deze bepaalt of waterplanten kunnen overleven. De stroomsnelheid varieert over tijd (tussen jaren, gedurende het seizoen, laag in zomer en hoog in winter) en ruimte (over beddingprofiel: middengeul versus oever, verticaal profiel: waterbodem versus wateroppervlak) (Merritt *et al.* 2010) en is ook wederzijds afhankelijk van de biomassa en samenstelling van waterplanten (zie ESF cluster Hydrologie en morfologie). Voor een goed begrip van hoe waterplanten reageren op de stroomsnelheid moet de variatie in tijd en ruimte van de stroomsnelheid ook meegenomen worden.

---

Overigens is stroming niet allen maar negatief of stressvol: in stilstaand water ontstaat een stilstaande laag water (grenslaag) om de plant. Hieruit kan de plant voedingsstoffen opnemen, maar deze laag kan uitgeput raken. Gassen diffunderen namelijk langzaam onderwater, waardoor bijvoorbeeld CO<sub>2</sub> eenvoudig limiterend kan worden. In stromend water krimpt de grenslaag door stroming (vooral nabij vegetatieranden), waardoor planten profiteren van een verhoogde beschikbaarheid en opname van voedingsstoffen (tussen 0 - 0.1 m s<sup>-1</sup>) (Madsen *et al.* 2001). Daarnaast wordt de aangroei van epifyten geremd bij hoge stroomsnelheden (Hilton *et al.*, 2006).

#### *Gevoeligheid van soorten voor stroming*

De gevoeligheid van soorten die in de IJssel zijn waargenomen, is door Wortelboer (2017) bepaald. Zie Tabel 4.

#### *Stroomsnelheid en biomassa*

Over het algemeen is de totale plantenbiomassa het hoogst bij nagenoeg stilstaand of langzaam stromend water ( $\sim 0.01 \text{ m s}^{-1}$ ) en neemt af naarmate de stroomsnelheid toeneemt tot 1 m s<sup>-1</sup> (Chambers *et al.* 1991). Echter, afhankelijk van de aanwezige soorten kan de biomassa ook pieken bij stroomsnelheden van 0.3 - 0.5 m s<sup>-1</sup>, vooral als de concentratie nutriënten zoals koolstof limiterend is bij lage stroomsnelheden (Riis & Biggs 2003). Bij een toenemende stroomsnelheid kunnen enkel stromingstolerante waterplanten voorkomen en daalt de hoeveelheid plantenbiomassa door stress en het wegspoelen van waterplanten (Riis & Biggs 2003). Duidelijk is dat boven een stroomsnelheid van 1 m s<sup>-1</sup> waterplanten niet of nauwelijks voorkomen (Chambers *et al.* 1991). Kortom, bij een lage stroomsnelheid en lage variatie in de stroomsnelheid ontwikkelt zich een hoge biomassa, terwijl de biomassa het kleinst is bij hoge stroomsnelheden en hoge variatie in stroomsnelheid (Riis *et al.* 2008). Waterplanten tolereren hoge stroomsnelheden beter indien ze vestigen en wortelen in periodes van lage stroomsnelheden.

Zodra waterplanten homogene vegetaties van hoge dichtheden bereiken daalt hun groeisnelheid, doordat er geringere aanvoer is van voedingsstoffen. Een pleksgewijze groei daarentegen, verhoogt de stroomsnelheid op het grensvlak van de waterplanten en stimuleert de groei.

Een alternatieve manier om te bepalen of waterplanten, en zo ja welke soorten,

voor kunnen komen in beken en rivieren is door het berekenen van de specifieke stroomkracht (SSK), zie tools nadere analyse, hoofdstuk 6.

**TABEL 4 PREFERENTIE WAARGENOMEN SOORTEN MACROFYTEN VOOR STROOMSNELHEID**

*Preferentie van in de IJssel waargenomen soorten macrofyten voor stroomsnelheid. De blauwe vlakken geven aan bij welke waarde van de milieufactor de soorten in het verleden is waargenomen.*

WetenschappelijkeNaam	Stroomsnelheid (m/s)					
	0-0.1	0.1-0.3	0.3-0.5	0.5-0.8	0.8-2	>2
Alisma plantago-aquatica	1	1	1	0	0	0
Bolboschoenus maritimus	1	1	1	1	1	1
Butomus umbellatus	1	1	0	0	0	0
Ceratophyllum demersum	1	1	0	0	0	0
Eleocharis acicularis	1	1	1	0	0	0
Eleocharis palustris	1	0	0	0	0	0
Elodea nuttallii	1	1	1	0	0	0
Iris pseudacorus	1	1	0	0	0	0
Juncus articulatus	1	0	0	0	0	0
Mentha aquatica	1	1	1	1	0	0
Myriophyllum spicatum	1	1	1	1	1	0
Nuphar lutea	1	1	0	0	0	0
Nymphoides peltata	1	1	0	0	0	0
Persicaria amphibia	1	1	0	0	0	0
Phalaris arundinacea	1	1	1	1	1	1
Phragmites australis	1	1	0	0	0	0
Potamogeton crispus	1	1	1	0	0	0
Potamogeton pectinatus	1	1	1	1	1	1
Potamogeton perfoliatus	1	1	1	1	1	1
Potamogeton pusillus	1	1	0	0	0	0
Ranunculus sceleratus	1	1	0	0	0	0
Rorippa amphibia	1	1	0	0	0	0
Rumex hydrolapathum	1	1	0	0	0	0
Sagittaria sagittifolia	1	1	1	1	0	0
Sparganium emersum	1	1	1	1	0	0
Sparganium erectum	1	1	1	0	0	0
Typha angustifolia	1	0	0	0	0	0
Typha latifolia	1	1	0	0	0	0
Veronica catenata	1	1	1	1	1	1
Zannichellia palustris	1	1	0	0	0	0



---

### *Hydrologische weerstand en groeivormen*

Bij toenemende stroomsnelheden zullen waterplanten eerder ontwortelen of afbreken (Riis & Biggs 2003). Plantensoorten verschillen echter sterk in hun gevoeligheid voor hoge stroomsnelheden. Gevoelige soorten hebben een lage wortelkracht (weinig energie nodig voor ontworteling), een hoge hydrologische weerstand en breken relatief snel (Bal *et al.* 2011). Daarnaast varieert de kracht waarmee een soort wortelt gedurende het groeiseizoen, maar er is ook variatie tussen verschillende soorten.

Reofiele plantensoorten, met aanpassingen aan stromend water, hebben één van de twee strategieën om afbreken te voorkomen: verminderen of tolereren van hydrologische weerstand (Puijalon *et al.* 2011).

- 1 De eerste groep plantensoorten heeft morfologische aanpassingen ontwikkeld om de hydrologische weerstand te verminderen: lange, dunne bladeren en simpele, gestroomlijnde groeivormen en vaak buigzame stengels waardoor de weerstand afneemt (Bornette & Puijalon 2011). Door het buigen van de stengels wordt de 'drag' (weerstand) tot 50 % verminderd (Sand-Jensen & Madsen 1991). Ook de positionering van de biomassa is variabel: bij hoge stroomsnelheden is het omwille van de weerstand voordeliger om de biomassa over de gehele waterkolom te verdelen dan de biomassa te concentreren bij het wateroppervlak (Bal *et al.* 2011; Puijalon *et al.* 2011).
- 2 De tweede groep soorten vergroot de stengelstevigheid en diameter waardoor de benodigde breekkracht toeneemt zodat ze een snelle stroming kunnen weerstaan (Bornette & Puijalon 2011; Puijalon *et al.* 2011).

Op basis van aanpassingen aan hoge stroomsnelheden zijn waterplanten te classificeren op basis van hun soorteigenschappen (Gurnell *et al.* 2010; Janauer *et al.* 2010; O'Hare, MT 2015). Globaal zijn dat in afnemende mate van tolerantie van stroomsnelheid:

- A. Ondergedoken bodembedekkend (Mossen; 0,6 - 0,9 m s<sup>-1</sup>)
- B. Ondergedoken enkelvoudig, rozet, buigzaam (Vallisneria; 0,4 - 0,7 m s<sup>-1</sup>)
- C. Ondergedoken vertakt, biomassa verdeeld, buigzaam (Callitriche; 0,2 - 0,5 m s<sup>-1</sup>)
- D. Ondergedoken vertakt, biomassa wateroppervlak, buigzaam (Elodea; 0,1 - 0,4 m s<sup>-1</sup>)
- E. Helofyten (Sparganium; 0,1 - 0,2 m s<sup>-1</sup>)
- F. Drijfbladplanten met grote rhizomen (Nuphar; 0,05 m s<sup>-1</sup>)
- G. Vrij drijvende soorten (Lemna; 0,02 m s<sup>-1</sup>)

---

Bovenstaande waarden zijn slechts indicatief. Soorten kunnen al profiteren van lokaal heersende stroomsnelheden. Vrij drijvende soorten kunnen bijvoorbeeld tussen andere waterplanten of langs de oever voorkomen aangezien de stroomsnelheid daar vaak gering is.

#### *Dynamiek*

De soorten die voorkomen in beken en rivieren moeten tolerant zijn voor de heersende dynamiek. Door aanpassingen in de hydrologie en morfologie is in sommige Nederlandse beken de basisafvoer relatief laag, maar zijn de piekafvoeren juist relatief hoog (zie verder ESF's gerelateerd aan hydrologie en morfologie).

Hoge zomerse stroomsnelheden, liefst kortstondig, zijn gunstig voor stromingsminnende soorten doordat sterke aangroei van epifyten losraakt en wegspoelt (Franklin *et al.* 2008). Waarschijnlijk heeft dit (ook) te maken met het wegspoelen van opgehoopt slib en plantenresten tussen de waterplanten (De la Haye, 1994).

De meeste waterplanten sterven grotendeels af in de winter en behouden enkel hun wortellaag met soms een kleine hoeveelheid bovengrondse biomassa (Bornette & Puijalon 2011). Dit is gunstig voor deze soorten vanwege de hoge afvoeren in de winter, waardoor waterplanten een hoge kans zouden hebben om ontworteld te raken.

Bij tijdelijk hoge afvoeren zullen waterplanten eerder afbreken. De hoeveelheid hangt af van de soort maar ook van snelheid, duur en timing van de afvoer. Watermunt verloor biomassa bij winterse stroomsnelheden tot  $1,6 \text{ m s}^{-1}$ , terwijl soorten als drijvend fonteinkruid en teer vederkruid geen biomassa verloren (Keruzoré & Willby 2014). In een andere studie verloren soorten slechts 1 % biomassa door afbreken bij hoge stroomsnelheden ( $1,5 \text{ m s}^{-1}$ ). Bij deze 'sterke' soorten is ontworteling mogelijk een belangrijker mechanisme dan afbreken (Riis & Biggs 2003). Bij afvoeren van 2,5 x gemiddelde afvoer verloren dominante waterplanten (zoals aarvederkruid) weinig biomassa, maar bij 4 x gemiddelde afvoer werd de helft weggespoeld en braken delen van stengels af (Riis & Biggs 2003).

#### *Buiging door stroomsnelheid en licht*

Ondergedoken waterplanten buigen met de stroming mee naarmate de stroomsnelheid toeneemt (Sand-Jensen & Madsen 1991). Door deze buiging komen de

---

planten dieper in het water te liggen. Daardoor ontvangen ze minder licht en neemt de fotosynthesesnelheid af (Bal. 2011). Daarentegen zijn oeverplanten, met name emergente soorten, weinig buigzaam en profiteert dit type plant bij lage stroomsnelheden (tot ongeveer 0,1 m s<sup>-1</sup>) van een efficiëntere licht invang vergeleken met ondergedoken waterplanten.

#### *Stroomsnelheid en soortenrijkdom*

Van nature varieert de stroomsnelheid in beken en rivieren, zowel in de tijd als in de ruimte. Door kanalisatie en normalisatie verdwijnt een deel van deze variatie, waardoor de diversiteit aan waterplanten in afneemt (Baatrup-Pedersen *et al.* 2016).

#### *Vuistregels*

Op basis van de overheersende stroomsnelheid kunnen verschillende vegetatiepatronen onderscheiden worden (mondelinge mededeling J. Schoelincx, Universiteit van Antwerpen):

- Bij stroomsnelheden beneden ca. 0,2 m s<sup>-1</sup> kunnen watergangen geheel begroeid raken met waterplanten.
- Bij stroomsnelheden tussen ca. 0,2 en 0,4 m s<sup>-1</sup> ontstaat een pleksgewijs patroon van vegetatie met een min of meer open geul kronkelend tussen de vegetatieplekken waarin het grootste deel van het watertransport plaatsvindt en daartussen dichte vegetaties waar veel minder watertransport plaatsvindt.
- Bij stroomsnelheden tussen ca. 0,4 en 1,0 m s<sup>-1</sup> wordt de vegetatie veel ijler. Alleen soorten die zich aan hoge stroming kunnen aanpassen komen voor.
- Bij stroomsnelheden hoger dan ca. 1,0 m s<sup>-1</sup> komen vrijwel geen waterplanten voor.

De gegeven waarden zijn indicatief en gelden voor de gemiddelde (meest voorkomende) situatie in het groeiseizoen. Deze klassegrenzen zijn afgeleid voor R4-5-6 en snelstromende (heuvelland) typen. Voor toepassing in andere beek- en riviertypen kunnen andere klassegrenzen voor stroomsnelheid gelden, bijvoorbeeld omdat het substraat, de helderheid van het water of de voedselrijkdom verschillend is.

Tools voor nadere analyse

- SKK (paragraaf 6.2)

---

### 3.4 BODEMSUBSTRAAT

Dit aspect gaat alleen over substraattypen van de bodem. Waterplanten, bladeren en dood hout als substraat worden bij andere aspecten behandeld, namelijk aspect 8 (vegetatie als structuur) en aspect 11 (blad en dood hout).

Het type bodemsubstraat bepaalt mede welke soorten kunnen voorkomen. Het type bodemsubstraat hangt in sterke mate samen met de stroming en andere aspecten gerelateerd aan hydrologie en morfologie. In snel stromende wateren komen geen zachte bodemsubstraten voor of zijn ze beperkt tot de luwste delen van de waterloop. Stroming is dus eigenlijk een belangrijke sturende factor voor bodemsubstraat.

In grote rivieren telt ook golfslag (door wind en door schepen) mee in de dynamiek van de waterbeweging en daarmee de mogelijkheden voor bodemsubstraat.

De volgende drie opmerkingen zijn vooraf van belang:

- Het type bodemsubstraat, en de ruimtelijke (en temporele) variatie daarin wordt bepaald door de hydrologie en de morfologie (zie ESF's gerelateerd aan hydrologie en morfologie).
- De voedselrijkdom van het substraat speelt een belangrijke rol. Zie daarvoor [paragraaf 3.5 \(Nutriënten\)](#).
- Droogval speelt een rol bij de relatie tussen substraattypen en groei van waterplanten. Zie hiervoor [paragraaf 3.2](#) over droogval.

Afhankelijk van de hydromorfologie kan een variatie aan bodemsubstraten ontstaan. Wateren met een diversere morfologie kennen ook een diverse bodem en daarop volgt een grotere soortenrijkdom (Baatrup-Pedersen & Riis, 1999). Daarnaast is er in dergelijke wateren ook een relatieve toename van soorten met (per soort) verschillende bladvormen, vermoedelijk als aanpassing aan sterkere (temporele) variatie in omstandigheden (Baatrup-Pedersen *et al.*, 2016 SOTTE). Voorbeelden van soorten met verschillende bladvormen zijn gewoon- en haaksterrenkroos, grote- en fijne watterranonkel en rossig fonteinkruid.

Vooraf de substraten met organische stoffen kunnen door waterplanten begroeid raken. Deze zijn voedselrijker en liggen bovendien vaak in luwte delen van het profiel, bijvoorbeeld in binnenbochten. Afhankelijk van de voedselrijkdom is een

---

reeks te beschrijven van amfibische kruiden via rietgras naar liesgras. Droogval (mate, frequentie en duur) speelt ook een rol bij ontwikkeling van de bodem.

Bij lagere stroomsnelheid ontstaat vaak meer slib over de hele beekbodem. Hier verschijnen eutrafente soorten (soorten met een voorkeur voor eutroof water) van stilstaande en langzaam stromende wateren. Afhankelijk van de voedselrijkdom van het slib, en ook van het water, is een trofiereeks te beschrijven van eutrafente soorten via smalbladige waterpest naar uiteindelijk kroos of draadwier. Zie hiervoor tekst [paragraaf 3.5](#) (nutriënten).

Behalve de korrelgrootte van het substraat is ook de aard van het basismateriaal in de bodem van invloed op de soortensamenstelling. Zo is er duidelijk onderscheid tussen soorten van kalkrijke bodem, van neutrale en zure minerale bodem, en van organische bodem. Haslam (1987) beschrijft deze relatie uitvoerig voor veel Europese landen. In Nederland is neutraal zand verreweg het meest voorkomende basismateriaal. In Limburg komen beken op kalkrijke bodem voor. In West-Nederland komen riviertjes en rivieren op veen en klei voor. Beken op kleigebieden, met name in het gebied van de grote rivieren, hebben een lutumrijke bodem en daardoor een groter absorptievermogen voor P en zijn dus potentieel voedselrijker (Smolders *et al*, 2017).

#### *Vuistregels*

- Het type bodem wordt vooral bepaald door de stroming en de hydromorfologie
- Op grind- en zandbodem groeien voornamelijk soorten die ondiep wortelen en de wortels voornamelijk gebruiken om zich te hechten.
- De meeste biomassa aan waterplanten ontstaat op slibrijke bodem
- De soortensamenstelling op slibrijke bodem wordt vooral bepaald door de voedselrijkdom van het slib en door het heersende beheer en onderhoud.

### **3.5 NUTRIËNTEN**

Voor groei hebben planten naast licht en koolstof ook vooral stikstof en fosfor nodig. In de meeste stromende wateren is vooral fosfor het mineraal die bij groei het eerst opdraakt en is daarmee de groei beperkende factor, mits er voldoende licht is. Toename van de beschikbaarheid van fosfor is de belangrijkste oorzaak van eutrofiëring. Dit kan leiden tot een sterkere groei van waterplanten (hogere biomassa), maar ook om verandering van de soortensamenstelling. Toename van biomassa

---

van waterranonkelsoorten door toename van fosfor in het water werd in de UK aangetoond door O'Hare *et al.*, (2010). Bij sterke mate van eutrofiëring kunnen, afhankelijk van de stroomsnelheid, soorten als waterpest, hoornblad of draadwier gaan domineren.

#### *Bodem of water?*

Stikstof en fosfor zijn voor waterplanten beschikbaar in het water maar ook in de bodem. Lange tijd is onduidelijkheid geweest over de vraag welke van deze twee de belangrijkste bron van mineralen voor waterplanten is. Sommige onderzoekers meenden aan te tonen dat het water de belangrijkste voedselbron is, andere dat de bodem dat is. Beide komt echter voor. Waterplanten zijn wat dit betreft flexibel (Eugelink, 1998) en de opname is sterk afhankelijk van waar de fosfor en stikstof beschikbaar is (Carignan, 1982). Mineralen uit de bodem zijn beter beschikbaar voor waterplanten met een goed ontwikkeld wortelstelsel zoals aarvederkruid. Deze soorten zijn dus in het voordeel als er weinig nutriënten in het water aanwezig zijn. Soorten die geen of alleen hechtwortels hebben, zoals smalle waterpest, grof hoornblad en groot blaasjeskruid, en soorten die (vrijwel) geheel drijven, zoals kroossoorten en grote waternavel, nemen mineralen vooral uit het water op. Mineralen uit de bodem kunnen voor deze soorten wel als bron van belang zijn, maar alleen als er een goede uitwisseling met het bovenstaande water is. Geheel drijvende waterplanten of waterplanten zonder noemenswaardige wortels, komen echter alleen in stilstaand of zeer langzaam stromend water in grote hoeveelheden voor.

In stromend water is de beschikbaarheid van mineralen in het water veel hoger dan uit de concentratie zou worden afgeleid, als dat wordt vergeleken met stilstaande wateren. Dit komt doordat het water langs de planten stroomt en dus continu ververst wordt. Waarschijnlijk is om die reden in stromend water het water in plaats van de bodem vaak de belangrijkste bron van nutriënten voor waterplanten. Veel soorten, waaronder diverse soorten sterrenkroos- en waterranonkelsoorten, gebruiken daarbij hun wortels vooral voor de noodzakelijke hechting om wegstromen te voorkomen (Thiébaut, 2008). Toch blijkt uit studies dat de concentraties (totaal) P en (totaal) N in stromende wateren hoger zijn dan in stilstaande wateren bij de zelfde trofie-status. Dat komt doordat in stromende wateren fytoplankton door uitspoeling niet de kans krijgt een hoge dichtheid te bereiken en de concurrentie om licht alleen met epifytische algen wordt gevoerd (Hilton, *et al.*, 2006). De

---

grenswaarden voor een goede ecologische toestand liggen voor beken ook hoger dan voor meren (Molen *et al.*, 2012).

In stromend water kunnen ook draadwieren voorkomen. Deze groep wortelt niet, maar kan zich wel hechten aan substraten en kan dus ook enige stroming verdragen. Draadwieren halen de nutriënten geheel uit het water en reageren dus sterk op de beschikbaarheid in het water zelf. Draadwieren kunnen in het voorjaar sterk tot ontwikkeling komen bij een relatief lage temperatuur in combinatie met veel licht. Zodra de concentratie aan nutriënten daalt als gevolg van opname door andere planten verdwijnen de draadwieren weer grotendeels (Simons *et al.*, 1999). In de nazomer kunnen draadalgen opnieuw tot ontwikkeling komen als de waterplanten afsterven en de nutriënten weer vrijkomen. In zeer voedselrijk water kunnen draadwieren zich eter in stand houden ten koste van hogere waterplanten (Hilton, *et al.*, 2006; Spink *et al.*, 1993).

Emergente waterplanten en oeverplanten hebben altijd een goed ontwikkeld wortelstelsel en nemen alle mineralen voornamelijk uit de bodem op.

#### *Organisch substraat (zie ook bodemsubstraat)*

Luwere delen in het stroombed (bijvoorbeeld binnenbochten) hebben meestal een hoger gehalte aan organische stof in de bodem doordat allerlei materiaal hier wordt afgezet. Daardoor zijn er ook meer nutriënten beschikbaar en kunnen wortelende waterplanten hier beter groeien. Dat leidt tot een patchy groeipatroon (pleksgewijze begroeiing met waterplanten) omdat binnen deze begroeiing de luwte verder versterkt wordt.

Overigens hebben de meeste genormaliseerde beken in Nederland een dermate ruim profiel dat de stroomsnelheid in de zomer afneemt tot een niveau waarbij bezinking van slib in het gehele bed optreedt. Ook ondergedoken waterplanten kunnen daarvan profiteren. In het riviereengebied kan dat nog worden versterkt door een relatief hoog gehalte aan lutum dat ook veel P absorbeert (Smolders *et al.*, 2017).

Op ondiepe organische substraten kunnen amfibische kruiden zoals kleine watereppe, moerasvergeet-mij-nietje, witte waterkers of beekpunge gemakkelijk tot ontwikkeling komen. Deze soorten zijn aangepast aan een zekere mate van droog-

---

val. Bij toename van de voedselrijkdom en van het organische stof-gehalte in het substraat treedt een verschuiving op naar gele waterkers en rietgras en uiteindelijke liesgras (Schaminée *et al.* 1995).

#### *Interactie oeverzone en N en P in het water*

Oeverzones kunnen wezenlijk bijdragen aan de reductie van mineralen in het water, maar de meeste studies die dat aantonen gaan over reductie van stikstof en bovendien betreft het vrijwel altijd oeverzones met moerasbos (Lowrance *et al.*, 1984, Peterjohn and Correll 1984, Hill 1996, Trust, 2016). Bovendien gaat het vaak niet over een zuiverende werking van het rivierwater, maar over reductie van de afstroming van het aangrenzende land. Mineralen die zich eenmaal in de waterloop bevinden stromen voornamelijk uit. De oeverzone kan weliswaar slib invangen en (daarmee) nutriënten invangen, maar kan deze in andere delen van het jaar ook weer afgeven. In landbouwgebieden kan het nutriëntengehalte in het water ook zo hoog zijn dat dat een eutrofiërend effect heeft op de vegetatie van de oeverlanden bij overstroming (Baattrup-Pedersen, 2013 FWB).

#### *Indicatie rijkdom aan N en P op basis van soortensamenstelling*

In diverse studies is een correlatie aangetoond tussen het voorkomen van soorten en een relatief hoge of juiste lage gemeten concentratie van stikstof of fosfor (Bloemendaal en Roelofs, 1988; Thiébaud, 2008). Een compilatie van diverse studies ten behoeve van beoordeling volgens de Kaderrichtlijn Water is gebruikt voor de internationale afstemming (intercalibratie) (Birk & Willby, 2010) waarbij een indexwaarde voor trofie van alle soorten is opgesteld (ITEM, Index of Trophy for European Macrophytes; Birk *et al.*, 2007). Specifieke voorkeuren van soorten voor een hoge of juist lage ammonium/nitrat verhouding is onder andere gevonden door Steffen *et al.* (2014). ITEM wordt als tool voor nadere analyse in paragraaf 0 toegelicht.

#### *Groei van epifyten*

Op waterplanten groeien algen, zoals diatomeeën. Bij toename van nutriënten in het water kunnen deze epifyten (of epifyten) sterk gaan groeien en uiteindelijk het licht voor de waterplanten waar ze op groeien, wegnemen. Deze worden dan in hun groei geremd en kunnen zelfs geheel afsterven. Dit verschijnsel is ook al in paragraaf 3.1 (licht) genoemd.



---

### *Vuistregels*

- Voedselrijkdom in stromende wateren wordt vooral bepaald door landgebruik in het beekdal; landbouw levert veel meer afspoeling van nutriënten dan bos.
- De bufferzone kan veel nutriënten afvangen voordat ze in de beek komen.
- Waterplanten kunnen P en N uit het water halen en uit de bodem. In de praktijk wordt door wortelende waterplanten de bron gebruikt met de meeste beschikbare mineralen.
- Ondergedoken waterplanten halen in stromende wateren met minerale bodem meestal hun nutriënten uit het water,
- Slibrijke- en lutumrijke bodems, die kunnen bestaan in luwten en bij lage stroomsnelheid, kunnen een flinke bijdrage geven aan de beschikbaarheid van P voor de waterplanten,
- Planten met een sterk ontwikkeld wortelstelsel (meestal emergente soorten) kunnen het meeste profiteren van een voedselrijke bodem,
- Bij zeer lage stroomsnelheid in de zomer kunnen in voedselrijk water ook submerse waterplanten die weinig wortels hebben of los drijven zich massaal ontwikkelen.

### *Tools voor nadere analyse:*

- ITEM (paragraaf 6.5)
- AqMaD (paragraaf 6.7)
- Hill (paragraaf 6.4)
- Bij zeer lage stroomsnelheid in de zomer kunnen ook de tools van ESF Productiviteit Water voor stilstaand water worden gebruikt.

## **3.6 KOOLSTOF**

Naast nutriënten is de concentratie van anorganisch koolstof ook van groot belang voor waterplanten. Anorganisch koolstof is namelijk onmisbaar voor de fotosynthese van waterplanten. De belangrijkste bronnen van anorganisch koolstof in het oppervlaktewater zijn kooldioxide uit de lucht en carbonaten uit de bodem. Daarnaast is CO<sub>2</sub> afkomstig van respiratie van biota en afbraak van organisch materiaal.

Atmosferisch kooldioxide komt in het oppervlaktewater terecht via diffusie of is opgelost in neerslag. De mate waarin de atmosfeer koolstof kan leveren aan het wateren is echter klein, vanwege de lage diffusiesnelheid van CO<sub>2</sub> in water. Dit betekent dat toevoer van carbonaten uit de bodem van nature vaak een belangrijke

---

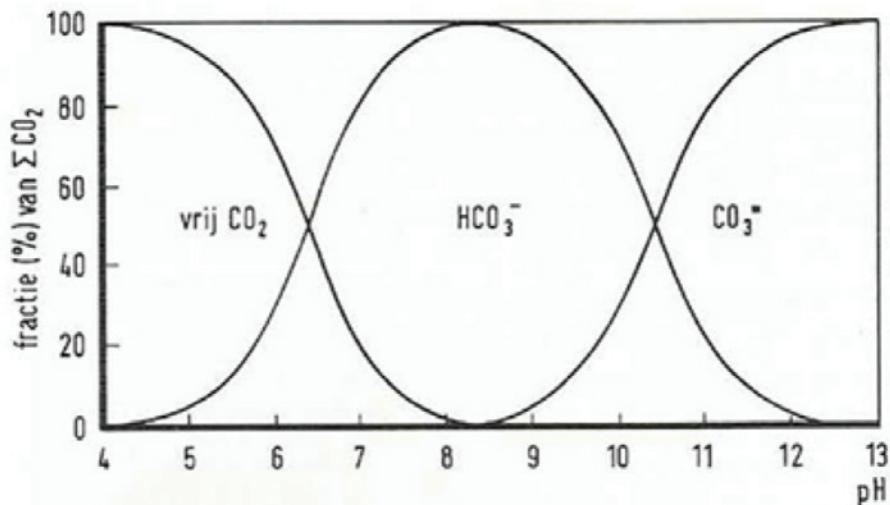
bijdrage levert aan de concentratie van anorganische koolstof in beken.

Wanneer de concentratie van koolstof ( $\text{CO}_2$  of  $\text{HCO}_3^-$ ) laag is, dan kan deze limiterend worden voor waterplantengroei. In deze wateren kunnen alleen soorten groeien die aanpassingen hebben voor lage koolstofconcentraties in het water. Voorbeelden van dergelijke soorten in Nederlandse beken zijn drijvende waterweegbree (een Natura2000 habitatrictlijnsoort), teer vederkruid, duizendknoopfonteinkruid en grote waterranonkel. Andere aanpassingen zijn opname van koolstof via boven het water uitstekende delen, opname via de wortels of opname van organisch koolstof zoals bij blaasjeskruid.

Het anorganisch koolstofgehalte van het water is gerelateerd aan het begrip alkaliniteit. Bovengenoemde soorten zijn in beken vrijwel beperkt tot een alkaliniteit binnen de range van 0,2 - 20 mmol/liter. Beneden de 0,2 mmol/liter is de concentratie van anorganisch koolstof ook voor bovengenoemde soorten te laag, en bij een alkaliniteit boven 2 mmol/liter worden de soorten weg geconcurrerd door andere, sneller groeiende soorten. Daarnaast is voor deze soorten ook de pH van belang. De vorm waarin koolstof voorkomt, is namelijk direct afhankelijk van de pH (Figuur 4). Bij een pH lager dan 6,7 bestaat het merendeel van anorganisch koolstof uit  $\text{CO}_2$ , terwijl bij hogere pH's respectievelijk  $\text{HCO}_3^-$  en  $\text{CO}_3^{2-}$  domineren (Figuur 1). Bovengenoemde soorten kunnen echter alleen  $\text{CO}_2$  uit het water opnemen, en niet of nauwelijks  $\text{HCO}_3^-$  en  $\text{CO}_3^{2-}$ . Als gevolg hiervan beperken deze soorten zich vrijwel geheel tot wateren met een pH in de range van 5 - 6,7. De meeste andere soorten waterplanten kunnen ook  $\text{HCO}_3^-$  opnemen en hebben dus een veel bredere pH-range waarbij ze voor kunnen komen.

Van oorsprong waren veel (boven- en middenlopen van) beken op de (veelal carbonaatarme) pleistocene zandgronden in Nederland zwak gebufferd, met slechts lage concentraties van anorganisch koolstof. Door verschillende oorzaken zijn de pH en de alkaliniteit tegenwoordig toegenomen. Zo wordt er veel effluent vanuit rioolwaterzuiveringsinstallaties (RWZI's) op beken geloosd. In RWZI's vinden afbraakprocessen plaats, waarbij veel  $\text{CO}_3^{2-}$  wordt gevormd en de alkaliniteit hoog is. Via inlaatwater kan ook bicarbonaatrijk water aangevoerd worden, evenals door bekalking van landbouwgronden in het stroomgebied van de beek. Een hoge stikstoflast (vanuit directe inspoeling of atmosferische depositie) kan eveneens de alkaliniteit verhogen, omdat tijdens de denitrificatie bicarbonaat wordt gevormd.

**FIG 4 DE RELATIE TUSSEN PH EN DE VERDELING VAN VERSCHILLENDE OPGELOSTE VORMEN VAN ANORGANISCH KOOLSTOF IN WATE**



Hiernaast leidt opstuwing van het beekpeil tot een verminderde toevoer van (zwak gebufferd) grondwater dat via kwel wordt aangevoerd, waardoor de alkaliniteit eveneens toeneemt.

Verder stroomafwaarts (benedenlopen en rivieren) en in boven- en middenlopen van beken op andere bodemtypen komen van nature geen omstandigheden met een lage buffercapaciteit en zwak zuur water voor.

#### *Vuistregels*

Voorwaarden voor het voorkomen van typische soorten zoals drijvende waterweegbree, teer vederkruid, duizendknoopfonteinkruid en grote waterranonkel zijn:

- alkaliniteit tussen 0,2 - 2 mmol/liter
- pH tussen 5,0 - 6,7

#### *Tools voor nadere analyse*

- Hill (paragraaf 6.4)
- AqMaD (paragraaf 6.7)

---

### 3.7 VERWIJDERING

Verwijdering is het fysiek verwijderen van waterplanten. Dit kan door de mens (maaien) maar ook door dieren (vraat, herbivorie). Beide aspecten worden hieronder uitgewerkt.

#### **Maaien**

Maaien is het fysiek verwijderen van waterplanten of delen ervan. Strikt genomen betreft maaien alleen het afknippen van bovengrondse delen, maar in de praktijk worden ook andere methoden die één tot enkele keren per jaar de fysieke beschadiging van waterplanten bewerkstelligen tot maaien gerekend.

Onder natuurlijke omstandigheden worden stromende wateren niet gemaaid. Maaien vindt meestal plaats voor de kwantiteitsfunctie (wateraan- en -afvoer).

Als er waterplanten groeien dan hebben die invloed op de stroming, maar die invloed is wederkerig en de hoeveelheid planten wordt in evenwicht gehouden door de hydrologie van de beek of de rivier. Bij een toename van waterplanten in de watergang stijgt de weerstand en daarmee de waterstand en de druk. Toename van die druk reduceert de plantengroei en leidt uiteindelijk tot uitspoeling. In stilstaande wateren ontbreekt deze interactie waardoor de begroeiing massaler kan worden dan in stromende wateren. Zie aspect stroming, [paragraaf 3.3](#).

Afname van de afvoer in de zomer leidt tot waterstandsval en droogval van tenminste delen van de bedding. Dat beperkt de mogelijkheden voor waterplanten, maar biedt juist mogelijkheden aan oeverplanten om het stroombed te koloniseren. Zie aspect droogval, [paragraaf 3.2](#).

#### *Effect van maaien*

Waterplanten reageren heel verschillend op de manier, het tijdstip en de frequentie van maaien, afhankelijk van hun groeistrategie. Als gevolg daarvan past de soortensamenstelling zich aan: de soorten die het best bestand zijn tegen maaien worden bevoordeeld boven andere soorten. In veel gevallen neemt door het toemen van de bedekking van deze soorten ook de behoefte om te maaien toe.

#### *Methode van maaien*

Er zijn verschillende methoden van maaien. Wij onderscheiden:

- 
1. hoog maaien,
  2. laag maaien,
  3. schoffelen / vegen
  4. ontwortelen
  5. handmatig selectief verwijderen

### 1. Hoog maaien

Bij deze methode van maaien wordt de begroeiing ruim boven de bodem afge-  
maaid. Dat kan bijvoorbeeld met een maaikorf of met een maaiboot waarbij de  
messenbalk ruim boven de bodem wordt ingesteld. Deze manier van maaien heeft  
de minste impact op alle soorten waterplanten, maar is vooral voordelig voor  
soorten met wortelstandige lintbladen zoals mannagrass (*Glyceria fluitans*), kleine  
egelskop (*Sparganium emersum*) en pijlkruid (*Sagittaria sagittifolia*). Het gebruik van  
een maaiboot brengt soms ook andere problemen met zich mee, namelijk het op-  
woelen van bodemslib door schroefwater. Hierdoor kan tijdelijk zuurstofloosheid  
ontstaan, met negatieve gevolgen voor fauna.

### 2. Laag maaien

Bij deze methode van maaien wordt de begroeiing vlak boven de bodem afge-  
maaid. Dat kan bijvoorbeeld met een maaikorf of met een maaiboot. Deze manier  
van maaien heeft vooral impact op waterplanten die tijdens het maaien maximaal  
geïnvesteed hebben in de bovengrondse biomassa. Dat is daardoor niet alleen af-  
hankelijk van de soort, maar vooral ook van het tijdstip van maaien.

Liesgras (*Glyceria maxima*) reageert op deze manier van maaien in het groeisei-  
zoen door alle energie te investeren in de bovengrondse biomassa. Dit levert een  
groot concurrentievoordeel op bij het vullen van het profiel (Sundblad & Robert-  
son, 1988). Dit verklaart waarom riet (*Phragmites australis*), dat op zich wel tegen  
maaien kan, in oeverzones toch wordt verdrongen door liesgras als er 's zomers  
wordt gemaaid. Dit geldt althans op zand- en veenbodem; op kleibodem is riet  
sterk genoeg om ook zomermaaien te doorstaan.

### 3. Schoffelen / 'vegen'

Bij deze methode van maaien wordt de begroeiing op de bodem afgesneden. Dat  
kan bijvoorbeeld met een veegmes die met een giek aan een trekker is bevestigd of  
achter een boot wordt gesleept (veegboot). Deze manier van maaien heeft vooral

---

impact op soorten die voor hun groei afhankelijk zijn van hun wortels, soorten als smalle waterpest (*Elodea nuttallii*) en grof hoornblad (*Ceratophyllum demersum*) ondervinden slechts kortstondig hinder van deze manier van maaien. Bij intensief of hoog frequent schoffelen/vegen worden deze soorten dan ook bevoordeeld (Ensing, 1988).

#### 4. Ontwortelen

Bij deze methode wordt de begroeiing met wortel en al uit de bodem getrokken of gespoten. Voor de waterbegroeiing kan dat worden gedaan met een bodemhark of baggerploeg die achter een boot is bevestigd of met een baggerboot die niet zuigt maar blaast (hydroventuri-techniek). Overigens is deze methode ook wel uitgevoerd met een maaikorf, door deze als een graafmachine te gebruiken. In de amphibische zone van de beek kan met een bandhark worden geharkt. Een bandhark is bedoeld voor het verzamelen van maaisel, maar kan ook in ondiep water de vegetatie uit een zachte bodem verwijderen. De impact van deze manier van maaien onderscheidt zich vooral van schoffelen bij soorten die diep groeiende wortelsystemen hebben, zoals waterwaaier en vederkruiden (Nicholson, 1981).

#### 5. Handmatig selectief verwijderen

Deze methode is vergelijkbaar met wieden. Planten worden selectief na herkenning van de ongewenste soort verwijderd. Dit is vooral van toepassing wanneer exoten zijn waargenomen en een poging wordt gedaan deze uit te roeien voordat ze zich met een te grote populatie hebben gevestigd. Andere vormen van handmatig maaien zijn in essentie niet anders dan de methoden die eerder zijn besproken, hoogstens minder snel of effectief als deze niet machinaal worden aangedreven.

#### *Tijdstip van maaien*

Hoogers en Van Weij (1971) hebben een indeling gemaakt van soorten die vroeger of later hun optimum hebben. Dit heeft consequenties voor hun mogelijkheden tot herstel na maaien. Diverse auteurs beschrijven dat soorten het gemakkelijkst herstellen van maaien als dat plaatsvindt in de fase waarin de biomassa het sterkst toeneemt. Westlake & Dawson (1982, 1986) vonden een groot effect van het tijdstip van maaien op de hergroei van waterranonkels. Kuysters (1986) stelde vast dat het maaien van smalle waterpest in het voorjaar niet zinvol is omdat de sterke hergroei het verlies binnen enkele weken kan compenseren. Hoogers (1966) stelde dat het verwijderen van waterranonkel en sterrenkroos in het voorjaar veel meer kans

---

geeft aan de zich later ontwikkelde smalle waterpest om in de zomer een hoge biomassa te ontwikkelen. Tussen de fonteinkruiden zijn ook verschillen: tener fonteinkruid verdraagt beschadiging over het algemeen goed en handhaaft zich bij zomermaaien, sommige breedbladige soorten zoals glanzig fonteinkruid en doorgroeid fonteinkruid verdragen zomermaaien aanzienlijk minder goed.

De lijst van Hoogers en Van Weij (1971) is weliswaar gebaseerd op bevindingen in poldersloten, maar publicaties van andere onderzoekers sluiten hier goed bij aan omdat ze laten zien dat het maaitijdstip de mate van hergroei sterk bepaalt.

Globaal kan worden gezegd dat, wat het tijdstip van maaien betreft, het vooral van belang is of de (eerste) maaibeurt plaatsvindt voor of na juni. Een vroege maaibeurt doet vooral de vroege soorten uit het systeem verdwijnen. Dit levert een ander eindbeeld op dan de situatie waarin alleen vanaf juni gemaaid wordt.

#### *Frequentie van maaien*

Naast het tijdstip is ook de frequentie van maaien van belang. De frequentie wordt vooral belangrijk als er vaker dan twee keer gemaaid wordt en de intervallen bovendien kort zijn. In Denemarken bleek bij een hogere frequentie van maaien (juli, augustus, september, in plaats van alleen juli) het aandeel waterranonkel toe te nemen en het aandeel drijvend fonteinkruid af te nemen (Baattrup-Pedersen en Riis, 2004). Bij nog vaker maaien blijken maar enkele soorten over te blijven, vooral smalle waterpest en in stilstaand water ook klein kroos (Ensing, 1988; Pot, 1993).

#### *Gevoeligheid van soorten*

In het algemeen zijn soorten die wortelstandige bladen vormen het minst gevoelig voor het afmaaien boven de bodem. Er worden dan steeds nieuwe bladen gevormd vanuit een onbeschadigd groeipunt. Soorten die vooral in de top groeien worden bij maaien veel sterker geraakt. Bij waterplanten is er echter ook een categorie soorten die niet sterk afhankelijk zijn van hun wortels, zelfs helemaal geen wortels hebben, niet in de bodem wortelen, of gemakkelijk wortels vormen op stengelfragmenten. Deze soorten zijn weinig gevoelig voor maaien, ongeacht de methode van maaien.

Soorten die het minst gevoelig zijn voor de gehanteerde manier en het tijdstip van maaien kunnen voordeel hebben bij maaien door het wegvallen van concurrentie

---

van andere soorten. Bij intensief maaibeheer ontstaat een vegetatie met soorten die veelal een lagere ecologische kwaliteit hebben (KRW-score) en bovendien grotere kans op waterstuwing geven.

Daarnaast kunnen concurrentieverhoudingen op afstand worden beïnvloed wanneer een gedeelte van de begroeiing wordt gemaaid. Maaien van trajecten kan invloed hebben op de benedenstroomse begroeiing en maaien in zones kan invloed hebben op de begroeiing die wordt ontzien bij het maaien (Baattrup-Pedersen en Riis, 2004; Hendriks *et al.*, 2016).

#### *Vuistregels*

- Na 1 juni beginnen met maaien -> toename van sterrenkroos en waterranonkel.
- Meer dan 2 keer per jaar maaien -> dominantie van smalle waterpest.
- Maaien van oever voor oktober (geldt niet in kleigebieden) -> riet wordt vervangen door liesgras.
- Maaien met veegmes -> dominantie van smalle waterpest of grof hoornblad.
- Hoog boven de bodem maaien -> toename van soorten met lintbladen.
- Alleen maaien in najaar -> toename van soorten, onder andere met breedbladige fonteinkruiden.

### **Herbivorie**

#### *Inleiding*

Waterplanten zijn een belangrijke voedselbron voor een breed scala aan vissen, watervogels, macrofauna en zoogdieren (Wood *et al.* 2017). Herbivoren zijn dan ook een functionele groep die van nature vooral in de midden- of benedenloop van beken voorkomen. Herbivorie of vraat kan in sterke mate de samenstelling en biomassa van de aquatische plantengemeenschap bepalen (O'HARE *et al.* 2007; Wood *et al.* 2012; Wood *et al.* 2017). Hogere dichtheden herbivoren verlagen in stilstaande wateren de kritische nutriëntenvrucht voor omslag van helder naar troebel water (van Altena *et al.* 2016). Voor stromende wateren is die relatie (nog) niet aangetoond.

#### *Belangrijkste herbivoren in stromende wateren*

De belangrijkste herbivoren van stromende wateren in Nederland zijn: Chinese wolhandkrab, uitheemse kreeften, bevers, knobbelzwaan, meerkoet, muskusratten, eenden, ganzen, vissen (persoonlijke communicatie Liesbeth Bakker). Van



---

deze soorten eten ganzen en muskusratten vooral oeverplanten, terwijl de andere taxa vooral waterplanten eten.

Ook onder de macrofauna bevinden zich veel grazers, vooral foeragerend op epifyten. Omdat macrofauna een beperkte invloed heeft op waterplanten (Wood *et al.* 2017) wordt deze groep verder niet besproken.

#### *Effect herbivorie op plantenbiomassa*

Over het algemeen is het effect van vraat positief gekoppeld aan de biomassa van herbivoren (Wood *et al.* 2012; Wood *et al.* 2017). In toenemende mate van de impact op planten: insecten < watervogels < grote kreeftachtigen < vissen < zoogdieren (Wood *et al.* 2017), waarbij vooral grote herbivoren de vegetatie compleet weg kunnen eten. Het is de vraag of dit ook voor de Nederlandse stromende wateren geldt. Waarschijnlijk is in de Nederlandse stromende wateren de invloed van zoogdieren en ook van vissen geringer dan die van watervogels. Over het algemeen verlagen herbivoren de biomassa van waterplanten met 47 % (mediaan) (Wood *et al.* 2017). Of dit ook voor de Nederlandse situatie en stromende wateren geldt, is niet bekend.

In hoge dichtheden kunnen knobbelzwanen de dichtheid aan waterplanten met 49 % verlagen in benedenstroomse gedeeltes van rivieren (O'HARE *et al.* 2007). Een dergelijke graasdruk verlaagt de Manning's weerstand en de waterdiepte sterk, met een waterstandsdeling tot gevolg waardoor in de zomer het beschikbare habitat voor vissen en macrofauna kan verkleinen. Belangrijk is dat ook de vegetatie zelf als habitat voor fauna verdwijnt. Daarnaast is er een directe impact van herbivorie op de populatie macrofauna: onbedoeld eet de zwaan ook macrofauna die zich op of tussen de planten bevindt (O'HARE *et al.* 2007). Ondanks het grote effect op de plantenbiomassa binnen een jaar, heeft vraat geen gevolgen op de plantenbiomassa in het volgende jaar (Wood *et al.* 2016). Dit hangt waarschijnlijk samen met het standaard wegspoelen van afstervende of rustende planten tijdens piekafvoeren in najaar en winter (Chambers *et al.* 1991; Madsen *et al.* 2001; Franklin *et al.* 2008).

#### *Effect op soortensamenstelling*

Waterplanten verschillen in hun eetbaarheid voor herbivoren (Grutters, B *et al.* 2017) en ook zijn sommige waterplanten beter in staat om van vraat te herstellen dan andere soorten. Daardoor beïnvloedt herbivorie de soortensamenstelling van de vegetatie sterk. Een hoge graasdruk bevordert, net als hoge maaidruk (zie voor-

---

gaande teksten over maaien), snelgroeiende waterplanten die hergroeien vanuit meerdere groeipunten en/of soorten met een lage eetbaarheid (Baattrup-Pedersen *et al.* 2002; Wood *et al.* 2012; Wood *et al.* 2017). Voorbeeldsoorten van vraattolerante soorten zijn waterranonkels en waterpesten.

#### *Seizoen en herbivorie*

Het effect van begrazing door watervogels neemt toe naarmate de zomer vordert, naar gelang watervogels overschakelen van graslanden naar waterplanten (Wood *et al.* 2012). De overschakeling van habitats hangt samen met de stroomsnelheid. Hoge stroomsnelheden kosten herbivoren meer energie, waardoor ze voornamelijk in de zomer, bij lagere stroomsnelheden, waterplanten eten (Wood *et al.* 2013; Wood *et al.* 2016). De lengte van het vraatseizoen voor watervogels wordt daarom voornamelijk bepaald door de duur van seizoensveranderingen in de stroomsnelheid (Wood *et al.* 2016).

Hoewel de graasdruk van watervogels en zoogdieren een sterke seizoensfluctuatie vertoont, oefenen watergebonden soorten zoals vis of kreeftachtigen een hogere, constantere graasdruk uit (Bakker *et al.* 2016).

#### *Trofie en herbivorie*

De impact van vraat op waterplanten neemt toe naarmate het watersysteem voedselrijker is (persoonlijke communicatie Liesbeth Bakker). Een belangrijke oorzaak daarvan is de verhoogde hoeveelheid eiwitten en voedingsstoffen in waterplanten bij hogere voedselrijkdom van water en waterbodems.

#### *Vraat door grote grazers*

Grote grazers (rund, paard) kunnen door vraat of vertrapping een effect hebben op de ontwikkeling van de oevervegetatie van stromende wateren. Enerzijds kan dit als een ongewenst effect gezien worden (de oevervegetatie wordt verstoord); anderzijds levert de begrazing en vertrapping meer variatie en is vanuit dat oogpunt gewenst. Het uitrasteren van de beekoever kan begrazing en vertrapping van de oevers voorkomen.

#### *Vuistregels en grenswaarden*

Algemene vuistregels voor vraat zijn nog niet te geven. Bovendien is vraat waarschijnlijk in stromende wateren een minder belangrijke factor vergeleken met stilstaande wateren.

---

### 3.8 VEGETATIE ALS STRUCTUUR

In veel zoete wateren, variërend van plassen en sloten tot langzaam stromende laaglandbeken en rivieren, zijn macrofyten in het algemeen de belangrijkste habitat vormende structuur en ondersteunen ze een significant diverse macrofaunage-meenschap, vergeleken met niet begroeide wateren (Wolters *et al.*, 2017). Processen die van belang zijn voor effect van vegetatiestructuur op fauna:

- Er treedt een ruimtelijke variatie in stroomsnelheid op.
- Stengels en bladeren leiden tot toename in habitatstructuren en daarmee koloniseerbare microhabitats. De vegetatiestructuur biedt betere schuilmogelijkheden tegen predatie.
- Er is meer groei van epifyten, en daarmee een toename van voedselbron voor diverse faunasoorten. (Wolters *et al.*, 2017).

#### *Stroming*

Er is een terugkoppel mechanisme tussen stroming en vegetatie. Meer vegetatie betekent remming en daarmee stagnatie van het water. Door de toenemend waterstand bovenstrooms, zal de druk op waterplanten toenemen en de hoeveelheid waterplanten afnemen. Daardoor daalt de waterstand, neemt de druk af en kan de hoeveelheid waterplanten weer toenemen.

In [paragraaf 3.3](#) is aangegeven wat de invloed van stroming op waterplanten is. Bij de ESF's gerelateerd aan hydrologie en morfologie is aangegeven wat de invloed van waterplanten op de stroomsnelheid is.

Afhankelijk van het type begroeiing (eenvormig, met stroomdraad of losse patches) kan er een ruimtelijke variatie in stroming ontstaan. Binnen de vegetatie is de stroming lager, daarbuiten hoger. Tussen de vegetatie ontstaan een geschikt habitat voor limnofiele faunasoorten, daarbuiten voor reofiele soorten.

#### *Structuur*

Waterplanten bieden onderwaterstructuren en zorgen daarmee voor beschutting en microhabitats voor macrofauna (Warfe, DM & Barmuta 2006; Warfe, D *et al.* 2008; Barnes *et al.* 2013). De aanwezigheid van waterplanten verandert de macrofaunasamenstelling en verhoogt gemiddeld genomen de abundantie en diversiteit aan fauna (Verdonschot, RC *et al.* 2012). Deels loopt dit effect via een verhoogde voedselvoorziening.

---

Waterplanten verschillen in de geboden mate van structuur door verschillen in de architectuur (Warfe, D *et al.* 2008). Concreet bieden complexe waterplanten meer structuur en/of meer oppervlak dan simpele waterplanten (Warfe, DM & Barmuta 2004; McAbendroth *et al.* 2005).

Naast de mate van de complexiteit van planten is ook de vegetatiedichtheid een belangrijke parameter in het effect van waterplanten op fauna. Dichtere vegetaties bieden macrofauna en vis meer beschutting tegen predatoren en verhogen soortabundanties, vooral bij stugge waterplanten (Warfe, DM & Barmuta 2004; Grutters, BM *et al.* 2015). De vegetatiedichtheid en de vegetatiestructuur wordt mede bepaald door de stroomsnelheid, bijvoorbeeld voor variatie in open stroomdraad en vegetatiepatches. Zie hiervoor ook het aspect stroming ([paragraaf 3.3](#)).

De aanwezigheid van waterplanten verhoogt het waterpeil (wordt besproken bij de ESF's gerelateerd rond hydrologie en morfologie). Een verhoging van het waterpeil kan vooral in de lente en zomer de kans vergroten dat er voldoende waterdiepte is voor de overleving van (larven van) macrofauna en vissen (Trust 2016). De aanwezigheid van veel waterplanten kan ook leiden tot stagnatie en heeft dan een negatief effect op de beekfauna.

### *Voedsel*

Vegetatie biedt op verschillende manieren voedsel aan fauna:

1. De levende planten zelf,
2. Afgestorven planten,
3. Epifyten.

#### *1. Planten*

Waterplanten vormen een belangrijke voedselbron voor herbivoren (Bakker *et al.* 2016; Wood *et al.* 2017). De aanwezigheid van waterplanten werkt positief uit op de macrofaunasoorten die levende planten eten.

#### *2. Afgestorven planten*

Zodra waterplanten afsterven vormen ze een belangrijke bron van detritus. Aangezien detritus onderdeel is van het bodemsubstraat, wordt dit onderdeel in [paragraaf 4.3](#) besproken.

---

### 3. Epifyten

Waterplanten vormen een belangrijke structuur voor de aangroei van epifyten (Verdonschot, R *et al.* 2011; Grutters, B 2017). De mate van aangroei van epifyten wordt bepaald door het oppervlak aan waterplanten (Warfe, D *et al.* 2008), de voedselrijkdom van het water, de hoeveelheid instralend licht en hangt in kleinere mate af van de plantensoort (Hinojosa-Garro *et al.* 2010).

#### *Vuistregels*

- Complexe planten geven meer oppervlak voor aangroei van epifyten en meer microhabitats en hogere mate van bescherming tegen predatie.
- Waterplanten bieden beschutting en voedsel voor fauna. Een hoge bedekking met waterplanten kan negatieve effecten hebben op beekfauna, via een hoge zuurstofdynamiek en stagnatie van water. De optimale hoeveelheid waterplanten verschilt per watertype.
- (Schultz & Dibble 2012) noemen 40-60% vegetatiebedekking optimaal als habitat voor fauna in beken. Dit geldt waarschijnlijk niet voor bovenlopen en ook niet voor rivieren. Voor de optimum hoeveelheid per watertype kan ook gekeken worden naar de normen volgens de KRW-maatlatten.
- Traject: Pleksgewijze aanwezigheid van waterplanten bevordert de productie en verandert de samenstelling van de macrofauna. Streef naar heterogeniteit in waterplantenbedekking waar mogelijk door te spelen met beschaduwing (invloed op lichtbehoefte).

## 3.9 ZUURSTOF

### **Inleiding**

Vissen en andere aquatische organismen zoals macrofauna hebben zuurstof nodig om te kunnen overleven. Voor veel typische soorten van stromend water geldt, dat zij een relatief hoge zuurstofbehoefte hebben.

Sommige soorten kunnen zuurstof uit de lucht tot zich nemen, maar (lang) niet alle soorten kunnen dat. In dat geval moet de zuurstof die in het water opgelost is via kieuwen of andere ademhalingsorganen (voor sommige soorten via de huid) in het bloed worden opgenomen. Dit proces vindt plaats door diffusie en is dus afhankelijk van een concentratiegradiënt tussen het water en het organisme. Om deze reden is dit proces alleen efficiënt als zuurstof boven een bepaalde concentratie in het water aanwezig is. Er moet een minimum concentratie aan zuurstof in

---

het water zijn voor overleving. Hiernaast wordt zuurstof ook gebruikt door microbiële processen, zoals de afbraak van organisch materiaal en andere biologische en chemische processen.

### *Processen*

Het zuurstofgehalte in beken en rivieren wordt gestuurd door verschillende processen en parameters:

- turbulentie,
- fotosynthese en respiratie,
- temperatuur.

Wanneer het water turbulent is, komt er meer water in contact met lucht waardoor er meer zuurstof in het water oplost en de evenwichtsconcentratie sneller wordt bereikt. Dit is bijvoorbeeld het geval bij een hoge stroomsnelheid van het water, of bij water dat over een stuw valt. De zuurstofconcentratie in de lucht is 21%, wat veel hoger is dan de concentratie in het water (ca. 1%)<sup>1</sup>. Dit grote concentratieverschil is verantwoordelijk voor transport van zuurstof vanuit de lucht naar het water, totdat zich een evenwicht heeft ingesteld.

Daarnaast wordt de zuurstofconcentratie in het water gestuurd door fotosynthese van waterplanten en algen (waarbij zuurstof wordt gevormd) en door consumptie ('ademhaling' van organismen en afbraakprocessen waarbij zuurstof wordt opgenomen). Omdat fotosynthese afhankelijk is van licht, treedt zuurstofproductie alleen tijdens daglicht op. Respiratie en decompositie treden daarentegen 24 uur per dag op en zijn meer continue processen. Als gevolg hiervan kan de concentratie van zuurstof sterk variëren. Gedurende de nacht, als de consumptie van zuurstof door respiratie en decompositie niet gecompenseerd wordt door fotosynthese, kan het zuurstofgehalte van het water duidelijk dalen. De laagste concentraties worden veelal gemeten vlak voor zonsopgang, juist op het ogenblik dat de fotosynthese weer begint. Naast waterplanten heeft de organische belasting (door lozingen, maar ook door bladval e.d.) een grote invloed op de zuurstofhuishouding van stromende wateren. Zie hiervoor ESF belasting.

---

<sup>1</sup> Dit percentage geeft de concentratie van zuurstof in water. Dit ligt normaliter rond de 10 mg/l, wat neerkomt op ca. 10 mg/1000 mg, ofwel ca.1%. Het verzadigingspercentage is een andere parameter: die vergelijkt de actuele concentratie met de verzadigingsconcentratie.

---

Tot slot is de watertemperatuur bepalend voor de oplosbaarheid van gassen en dus ook zuurstof in het water. Koud water kan meer gas bevatten dan warm water. Dit zorgt ervoor dat tijdens de zomermaanden, als het water warmer is, de maximale concentratie lager is dan tijdens de winter. Zo is de maximale oplosbaarheid van zuurstof in water van 20°C slechts 80% vergeleken met water van 10°C. Daarnaast zorgt een hogere watertemperatuur ook voor een toegenomen biologische activiteit (zoals groei, productie, respiratie en decompositie), waardoor zuurstof sneller wordt geproduceerd en geconsumeerd. Tijdens het zomerseizoen neemt de stroomsnelheid af, waardoor de zuurstofinbreng door reaeratie afneemt. Door deze processen tezamen is de kans op grote fluctuaties met lage zuurstofgehalten het grootste aan het einde van de zomermaanden.

#### *Invloed van waterplanten*

De invloed van waterplanten op de zuurstofhuishouding van beken en rivieren hangt sterk af van de invloed die andere factoren uitoefenen. In geëutrofiëerde, stagnante beken kan de zuurstofconcentratie sterker variëren dan in minder voedselrijke beken. In beken van Waterschap Rijn en IJssel is de zuurstofhuishouding sterk verbeterd nadat verontreinigingsbronnen gesaneerd waren. Dit betrof zowel beken met stromend water, als waterplantenrijke beken die door verstuwings en overdimensionering van het profiel (vrijwel) stilstaand water hebben (Lenssen *et al.*, 2010). In deze beken leidde de aanwezigheid van waterplanten niet tot dermate lage zuurstofconcentraties dat macrofauna hier problemen van ondervond. Vermoedelijk treden lage zuurstofgehalten als gevolg van een dichte plantenmassa alleen lokaal op in beektrajecten die verstuwd zijn. In dergelijke beektrajecten lijkt de zuurstofhuishouding min of meer op die van stilstaande wateren.

#### *Vuistregels*

Zie hiervoor de tools die voor ESF belasting ontwikkeld zijn. Daarbij wordt ook ingegaan op grenswaarden voor zuurstof voor fauna.

### **3.10 TEMPERATUUR**

In deze paragraaf worden drie aspecten behandeld:

1. De invloed van beschaduwings op de temperatuur van het water (onderdeel ESF bufferzone),
2. De invloed van de temperatuur op fauna (eveneens onderdeel ESF bufferzone),
3. De invloed van de temperatuur van het water op de groei van waterplanten (onderdeel ESF waterplanten).

---

## 1. Het effect van beschaduwing op de temperatuur van het water.

Beschaduwing van beken kan tot demping van de dagfluctuatie van de temperatuur leiden en daardoor tot een algehele daling van de temperatuur. Dit is door verschillende auteurs aangetoond (o.a. Kirstensen *et al.*, 2013; Verdonschot *et al.*, 2014; Browne *et al.*, 2016; Verdonschot *et al.*, 2016). De grootte van dit effect hangt af van diverse factoren (Johnson & Wilby 2015):

- Parameters oeverzone
  - Breedte zone bomen,
  - Dichtheid bladerdek (seizoensvariatie),
  - Dichtheid boomstammen,
  - Hoogte bomen,
  - Mate waarin bladerdek/bomen over beek hangen,
  - Lengte rivier/beek waarover beschaduwing optreedt,
  - Hoek van instraling (afhankelijk van seizoen en breedtegraad),
  - Afstand van bomen tot de watergang.
- Parameters watergang
  - Invloed grondwater,
  - Debiet,
  - Stroomsnelheid (Ryan, D *et al.* 2013),
  - Breedte en diepte van watergang,
  - Richting/expositie watergang (noord-zuid, west-oost),
- Parameters landschap
  - Percentage schaduw in landschap (invloed op luchttemperatuur) (Dugdale *et al.* 2018)

Een exacte voorspelling van de grootte van het effect van beschaduwing op de watertemperatuur is nog niet te geven (Verdonschot *et al.*, 2014 en Browne, 2016); daarvoor is het aantal factoren te groot. Er zijn in de literatuur over enkele factoren wel uitspraken over de grootte van het effect gemaakt.

### *Mate van beschaduwing*

- Beschaduwing van 20% is voldoende om fluctuatie te dempen en temperatuur te reduceren. Dit hangt ook af van het debiet (volume water). Het grootste effect is te vinden bij bedekkingen hoger dan 75% (Kristensen *et al.*, 2013).
- Effect is groter als er een brede strook bomen is, vergeleken met een enkele rij



---

(Browne *et al.*, 2016)

- Door het bos wordt ook de luchttemperatuur lager (Kristensen *et al.*, 2013).
- Bufferzones voor oost-west georiënteerde beken moeten minimaal 6-7 meter breed zijn. Voor noord-zuid georiënteerde beken is dat 18-20 meter. Voor meanderende beken minimaal 12 meter. (Kalny *et al.* 2017)
- Een dichte, hoge bufferzone (30 m) van 12 meter breed geeft 80 % beschaduwing op kleine beekjes (tot 6 m) (DeWalle 2010).

#### *Lengte van het beschaduwde traject*

- Verdonschot (2014) onderscheidt grofweg drie type van effecten: Een temperatuur daling gevolgd door stabilisatie op een bepaalde waarde; een lineaire, vaak trage afkoeling, en trajecten zonder duidelijke afkoeling
- Eerste effect treedt al na 100 meter op: 1 oC temperatuur daling. Temperatuur blijft verder dalen als beek bebost traject verder in stroomt. Dit kan oplopen tot 2-3 oC na 500 m (Kristensen *et al.*, 2013).

#### *Breedte van de beek*

- Beken met een hoger aandeel beschaduwing bovenstrooms hebben een lagere maximale watertemperatuur. Voor trajecten breder dan 8 meter is deze relatie er niet (Verdonschot *et al.*, 2016)
- Hoe breder de beek, hoe geringer het effect. Bij R6 is nauwelijks sprake van verkoelend effect (Browne *et al.*, 2016).

#### *Vuistregels*

##### *Standplaats*

- 20 m - 30 m nodig voor fysieke, chemische en biologische bescherming van beekjes (Sweeney & Newbold 2014).
- Een verlaging van de maximumtemperatuur kan op veel plekken al bereikt worden door op strategische plekken een bescheiden oevervegetatie te planten (Garner *et al.* 2017).
- Een dichte, hoge bufferzone (30 m) van 12 meter breed geeft 80 % beschaduwing op smalle beekjes (tot 6 m) (DeWalle 2010).
- Voor 50 % schaduw op een 10 m brede beek zijn bomen nodig op de zuidoever van 12 meter hoogte, als deze op 5 m van de beek staan (Johnson & Wilby 2015).
- Des te langzamer de beek stroomt en des te geringer de diepte, des te waardevoller is beschaduwing om de opwarming te beperken.

---

### Traject

- Zorg dat er open plekken van 200 meter bestaan tussen beschaduwde trajecten van maximaal 1.5 kilometer.
- Afhankelijk van de stroomsnelheid en afvoer van de beek (dimensies), is het nodig om 0.5 - 1.1 km traject volledig te beschaduwten om de temperatuur met 1.8 graden Celsius te verlagen.

## 2. Het effect van temperatuur op fauna

Er is een effect van temperatuur op fauna te verwachten via de relatie met het zuurstofgehalte. De effecten van temperatuur en zuurstofdynamiek versterken elkaar in hun effect op fauna. Enerzijds daalt de zuurstofbeschikbaarheid, want er lossen minder gassen op in warm water, waaronder zuurstof. Anderzijds stijgt de zuurstofbehoefte van fauna in warm water (Verberk *et al.* 2016). Een lage zuurstofbeschikbaarheid verlaagt daarom het thermisch maximum van macrofauna (Verberk *et al.* 2016). Browne *et al.*, (2016) vinden geen relatie tussen beschaduwing en zuurstof, waarschijnlijk omdat er te veel andere factoren zijn die deze relatie beïnvloeden.

Verschot *et al.*, (2014) tonen een verschuiving in soortensamenstelling aan bij beektrajecten die door beschaduwing koeler zijn: minder warm-stenotherme soorten en meer bronbeeksoorten. In het onderzoek van Verdonschot *et al.*, (2016) wordt geen relatie met warmteminnende macrofaunasoorten gevonden, waarschijnlijk vanwege de relatief hoge watertemperatuur in de onderzochte beken.

Exotische macrofauna en vissen profiteren van de verhoogde temperatuur van grote rivieren (Leuven *et al.* 2011; Verbrugge *et al.* 2012). Inheemse macrofauna en vissen zouden daarom baat hebben bij de aanleg van koudere refugia.

Daarnaast kunnen vissen en macrofauna ook schade ondervinden van direct zonlicht en hoge temperaturen (Webb & Crisp 2006; Everall *et al.* 2012). Hoewel hier nog weinig onderzoek naar is gedaan, blijkt dat beschaduwing (zelfs van enkele bomen) aan vissen zoals zalm de optie biedt om te schuilen bij een hoge zonintensiteit (Johnson & Wilby 2015). Dit voorkomt dat dieren stress ondervinden van direct zonlicht dat het lichaam van vissen en macrofauna verwarmt (Everall *et al.* 2012).

---

Exotische macrofauna en vissen profiteren van de verhoogde temperatuur van grote rivieren (Leuven *et al.* 2011; Verbrugge *et al.* 2012). Inheemse macrofauna en vissen zouden daarom baat hebben bij de aanleg van koudere refugia.

De effecten van temperatuur en zuurstofdynamiek versterken elkaar in hun effect op fauna. Enerzijds daalt de zuurstofbeschikbaarheid, want er lossen minder gasen op in warm water, waaronder zuurstof. Anderzijds stijgt de zuurstofbehoefte van fauna in warm water (Verberk *et al.* 2016). Een lage zuurstofbeschikbaarheid verlaagt daarom het thermisch maximum van macrofauna (Verberk *et al.* 2016).

### **3. Het effect van temperatuur op waterplanten**

Waterplanten ontwikkelen zich binnen zekere bandbreedte van de watertemperatuur, beneden de minimumtemperatuur is geen plantengroei mogelijk, boven de maximumtemperatuur stagneert de groei ook. Die bandbreedte verschilt per soort en wordt weerspiegeld in de geografische verspreiding van de soort (Pip, 1989). Meestal ligt er een scherpe grens rond het vriespunt: sommige soorten verdragen vorst, andere niet.

Koudeminnende soorten zijn over het algemeen trage groeiers die in ons klimaat al vroeg in het voorjaar beginnen uit te lopen. Warmteminnende soorten komen pas later op gang en kunnen sneller groeien in warm water.

Sommige soorten waterplanten hebben de neiging in de winter groen te blijven. Dit komt zowel voor bij sommige koudeminnende soorten (deze soorten kunnen in zachte winters door blijven groeien) als bij sommige warmteminnende soorten (deze soorten vertonen nauwelijks seizoensritme). (Santamaria en Van Vierssen, 1997).

De ontwikkeling van waterplanten volgt de ontwikkeling van de temperatuur:

#### *Seizoen*

Koudeminnende soorten beginnen eerder in het seizoen te groeien. Voorbeelden daarvan zijn sterrenkroos-soorten die vaak al in de winter beginnen met groeien. Warmteminnende soorten beginnen pas in het voorjaar te groeien als de watertemperatuur (ruim) boven 10 °C is gekomen. Voorbeelden daarvan zijn smalle waterpest en grote waterranonkel (Hoogers en Van Weij, 1971). Er kan concurrentie

---

plaatsvinden in het voorjaar als de temperatuur oploopt. Soorten die vroeg zijn, remmen de ontwikkeling van late soorten af, meestal door beschaduwning van de kiemplanten door grotere planten, en/of door uitputting van nutriënten. Dat voordeel kan worden verstoord door andere invloeden, zoals maaien.

#### *Beschaduwning*

Schaduwgevende bomen boven een beek verminderen niet alleen de hoeveelheid licht die de waterplanten kunnen opnemen maar beperken ook de opwarming in de zomer. Ook dat vertraagt de groei en heeft invloed op de soortensamenstelling. Het effect is bovenstrooms het sterkst en vlakkt naar beneden af in onbeschaduwde trajecten en onder invloed van omgevingstemperatuur.

#### *Kwel*

De temperatuur van grondwater is veel constanter dan van oppervlaktewater. Als het aandeel van grondwater in het beekwater relatief groot is, zal de temperatuur in de zomer minder snel oplopen, maar in de winter juist minder snel dalen. Dat heeft duidelijke consequenties voor de soortensamenstelling en groeisnelheid van de waterplanten. Het meest typische voorbeeld hiervan is goudveil. Beide soorten (paarbladig en verspreidbladig goudveil) worden uitsluitend bij beschaduwde bronnen gevonden (deze soorten stellen ook nog eisen aan de waterkwaliteit).

#### *Warmwaterlozing*

Warmwaterlozingen kunnen een sterke invloed hebben op het temperatuurverloop. Bekende bronnen van warm water zijn koelwatersystemen bij energiecentrales en effluenten van rwzi's. Ook lozing van diep grondwater is soms de oorzaak van opwarming zoals in de rivier de Erft nabij de bruinkoolmijnen bij Düsseldorf (Hussner, 2014).

#### *Vuistregels / Grenswaarden:*

- Effecten van temperatuur op de waterplantengroei kunnen alleen worden verwacht bij sterke beschaduwning, overheersend koud kwelwater (in brongebieden) of lozing van warm water.
- Bij beschaduwning en koud kwelwater hebben andere factoren (namelijk licht en nutriënten) een groter effect op de vegetatie dan de temperatuur zelf.
- Temperatuurgevoeligheid bepaalt grotendeels de verschillen in de start van het groeizoen van de verschillende soorten.

---

Tools voor nadere analyse:

- Model Johnson & Wilby (paragraaf 6.8)

### 3.11 BLAD EN DOOD HOUT

Deze paragraaf gaat over het effect van bladeren en dood hout op de ecologie stromend water. Bladeren en dood hout kunnen afkomstig zijn van op de oever groeiende bomen en struiken. Dood hout kan ook actief worden ingebracht.

#### Beken

Bladeren vormen naast slib, zand en grind een van de typen bodemsubstraten. Bladpakketten dragen daarom bij aan een grotere substraatvariatie, wat van belang is voor de soortensamenstelling van de macrofaunagemeenschap. Bladeren zijn voedselbron voor sommige macrofaunasoorten (knippers). Daarnaast gebruiken sommige soorten kokerjuffers bladeren voor de bouw van hun huisjes. In beken met bladpakketten komen meer reofiele soorten en meer KRW-indicatoren voor (Verdonschot *et al.*, 2016). Deze relatie werd niet gevonden op meetpuntschaal, wel op trajectschaal. Dit betekent dat deze soorten langere trajecten met beekbegeleidende beplanting prefereren.

Bladeren komen bij een stroomsnelheid van 3,7 tot 5,0 cm/s in beweging (Brouwer *et al.*, 2017). Obstatels, zoals dood hout, zijn daarom bij hogere stroomsnelheden (die vaak voorkomen) van belang om bladpakketten vast te houden. Dood-houtpakketten vormen driedimensionale structuren in het water, vergroten de habitat heterogeniteit (Forward 1984), creëren poelen en stroomversnellingen en daarmee variatie in stroomsnelheid en habitats, dat weer leidt tot een grotere soortdiversiteit (Tolkamp, 1980).

Functies van dood hout voor aquatische fauna zijn (Verdonschot *et al.*, 2016):

- Overlevingsmogelijkheden voor veel soorten. Stabiel, stromingsluw, koel habitat voor vis,
- Begrazing door macrofauna van aanwezige biofilm en ingevangen detritus,
- Voedsel voor mineerders (soorten die gangen in bladeren en stengels graven),
- Schuilplaats,
- Ei-afzetting,
- Aanhechtingsplaats,
- Bouwmateriaal huisjes,

- 
- Bieden van route van land/lucht naar water en vice versa (van belang voor emergentie, zoals libellenlarven die via stengels het water uitkruipen en uitsluipen en voor ei-afzetting).

Het inbrengen van dood hout is een zeer effectieve methode om plaatselijk de habitatheterogeniteit en stromingsvariatie in de beek te verhogen. Daarmee neemt ook de biodiversiteit van de macrofauna toe (Till & Davy, 2000). Eén jaar na houtinbreng begint duidelijk te worden dat de veranderde habitatcondities gevolgen hebben voor de macrofaunagemeenschap. Inbrengen van dood hout biedt daarmee veel perspectief voor ecologisch beekherstel. Na ruim een jaar blijkt (resultaten hier niet opgenomen) dat het aantal individuen toeneemt en dat het habitat van deze soorten sterk is toegenomen. Over het algemeen is daarmee de robuustheid van het beekstelsel sterk vergroot (Verdonschot *et al.*, 2012).

Houtige begroeiing op de oevers leidt in midden- en benedenlopen tot grotere differentiatie van substraten op de beekbodem. Dit leidt tot meer KRW-indicatoren (R4-R6), en meer reofiele soorten (Verdonschot *et al.*, 2016). Deze relatie werd niet gevonden op meetpunt-schaal, wel op trajectschaal. Dit betekent dat deze soorten langere trajecten met beekbegeleidende beplanting prefereren. Bovendien heeft bos meer soorten van harde substraten als meerwaarde. Dit kan komen doordat er meer hout in de beek valt, maar ook doordat het onderhoud extensiever is.

Het onderzoek binnen het project Beekdalbreed Hermeanderen (een Innovatieproject van Agentschap NL) heeft aangetoond dat het inbrengen van dood hout structuren zorgt voor de variatie in stromingsprocessen en diverse leefmilieus oplevert. Beide leiden tot een versterking van de macrofauna en plaatselijk diversiteit van macrofyten. Dood hout en materiaal dat dood hout invangt dient als voedsel voor de fauna in het beekecosysteem. Dood hout verbetert de habitatheterogeniteit en voedselaanvoer en verhoogt daarmee het leefmilieu van beekorganismen en dus de ecologische waterkwaliteit. Het leefmilieu van veel positieve KRW-indicatoren en de gehele water- en natuurkwaliteit worden hiermee verbeterd. De gestelde KRW doelen zullen in deze beektrajecten veel gemakkelijker gehaald kunnen worden (Verdonschot & Besse, z.j.). Kail *et al.*, (2007) vinden een statistisch verband tussen dood hout in de beek en vishabitats en concluderen uit evaluatie van 50 experimenten met dood hout in Duitse en Oostenrijkse beken dat er ook een positief effect op de visgemeenschap is (meer en betere vishabitats).

---

Naast het verhogen van de ecologische waarden van de beek, zijn positieve neveneffecten van het aanbrengen van dood hout in de beek het vergroten van de retentie van de beek en het verhogen van de beekbodem, waardoor de drainerende werking van diepe insnijding wordt tegengegaan (Verdonschot & Besse, z.j.).

Het dood hout kan in alle beken worden ingebracht mits randvoorwaarden zoals stroming en waterkwaliteit al op basiskwaliteitsniveau zijn. Juist in gekanaliseerde beken (met enige stroming) wordt met deze maatregel de meeste ecologische winst behaald (Verdonschot & Besse, z.j.).

### *Vuistregels*

Verdonschot & Besse (z.j.) geven vuistregels voor het inbrengen van dood hout. Samengevat zijn deze regels:

- Hoeveelheid: grote pakketten (minimaal 10-15 m<sup>2</sup>) ten minste 75% van de beekbreedte, minimale hoeveelheid: 20-25% van oppervlak
- Positionering: dwars op stroomrichting; bij hoog water stroming over pakket.
- Kwaliteit: bij voorkeur hardhout; dikke takken tot en met de boomkruin.
- Minimale lengte beektraject: 500 m.

### **Rivieren**

Door Rijkswaterstaat Oost Nederland zijn experimenten uitgevoerd met dood hout in de Nederrijn-Lek en de IJssel. De effecten hiervan op macrofauna en vis zijn gedurende 4 jaar gemonitord (Liefveld *et al.*, 2017). De resultaten zijn als volgt:

### *Macrofauna*

Hoewel de macrofaunagemeenschap gedomineerd wordt door exoten, zowel op het rivierhout als op de stenen, zijn juist ook op het rivierhout op de meeste locaties hogere aantallen kenmerkende riviersoorten gevonden. Het zijn vooral dansmuggen en kokerjuffers die duidelijk meer voorkomen op hout dan op stortsteen en kale bodem. Er zijn zelfs enkele soorten gevonden waarvan gedacht werd dat ze in Nederland uitgestorven waren. De totale soortenrijkdom op het rivierhout is niet significant hoger in vergelijking met de andere habitats, maar de gemiddelde EKR-score is dat wel (m.u.v. locatie Aersoldweerde). De combinatie van rivierhout en helder stromend water (vistrap Maurik) levert de grootste bijdrage aan de KRW (hoogste EKR-score). De eerste drie jaar van kolonisatie verloopt dus voorspoedig terwijl er nog maar heel weinig rivierhout aanwezig is. (Liefveld *et al.*, 2017).

---

## Vis

Op de ondiepe locaties zijn bij het rivierhout, vooral in de buurt van de takken, hoge concentraties juveniele vissen gevonden. De visgemeenschap nabij kribben wordt gedomineerd door de uitheemse zwartbekgrondel. De visgemeenschap rondom de bomen is gelijkmatiger verdeeld, en bevat meer inheemse soorten, waardoor de biodiversiteit hoger is. De vissen gebruiken de bomen om er te schuilen en te eten. Er zijn ook paaiende vissen waargenomen en de bomen lijken een functie te hebben voor winterclustering. (Liefveld *et al.*, 2017)

### 3.12 LATERALE CONNECTIVITEIT

Beken en rivieren zijn sterk verbonden in de lengteas (longitudinaal), maar ook laterale verbindingen met naburige landschapselementen zijn van grote invloed op de kwaliteit van stromende wateren. Door een verhoogde (piek)afvoer groeit de dimensie van beken en rivieren gedurende een deel van het jaar. Zij bezetten dan overstromingsvlaktes of uiterwaarden en raken verbonden met nevengeulen, meren, poelen, plassen en moerassen. Inundatie van beken vindt tegenwoordig nauwelijks meer plaats. Uiterwaarden van grote rivieren inunderen wel.

Beekbegeleidende vegetatie stabiliseert de oever en creëert heterogeniteit. Bevers en otters profiteren van brede wortelzones van beekbegeleidende bossen (Trust 2016) en ook vis en macrofauna benutten deze structuren (Ryan, DK & Kelly Quinn 2016).

Meerdere factoren bepalen de kwalitatieve toestand van de laterale connectiviteit. Ten eerste speelt het landgebruik en habitatdiversiteit grenzend aan het stromende water een rol. De aanwezigheid van oeverbegroeiing, bos, nevengeulen, poelen, moerassen en vochtige hooilanden bepalen welke fauna leefgebied vindt in en om de beek en rivier.

Ten tweede speelt de mate van verbondenheid van het stromende water met deze habitats een rol. Deze verbondenheid is op te delen in een hydrologisch en een niet-hydrologisch deel. Als een overstromingsvlakte aanwezig is dan verhoogt dit de laterale connectiviteit. Vliegende of lopende fauna vereisen geen hydrologische verbondenheid. Voor die groepen is het landgebruik en de habitatdiversiteit (oeverbegroeiing, bos, hooiland versus agrarisch weiland of akker) rondom een beek of rivier van belang. Soorten stellen verschillende eisen aan de laterale connectiviteit



---

en type habitats, maar in het algemeen zorgt een hoge heterogeniteit aan (semi-) natuurlijke habitattypes (bos, nat hooiland, moeras) gelegen binnen een brede overstromingsvlakte voor de hoogste biodiversiteit in en om beken en rivieren.

In Nederland zijn overstromingsvlakten echter vaak afwezig in de meeste beekdalen en ook de grote rivieren hebben een beperkte laterale verbondenheid met de uiterwaard en oorspronkelijk verbonden aquatische systemen door de aanwezigheid van zomer- en winterkades. Door de noodzaak voor klimaatbestendige beken en rivieren, vooral voor waterberging, zijn er in toenemende mate mogelijkheden om overstromingsvlakten terug te laten keren in beekdalen en uiterwaarden.

Overigens is het soms gewenst dat wateren in de uiterwaarden geïsoleerd blijven vanwege de gevoeligheid van daarin aanwezige doelsoorten (bijvoorbeeld grote modderkruiper, kamsalamander of groene kikker). Laterale connectiviteit met het stromende water is dan ongewenst.

*Vuistregels:*

- De aanwezigheid van een overstromingsvlakte bevordert de laterale connectiviteit.
- De aanwezigheid van (semi-)natuurlijke landgebruik in plaats van agrarisch of stedelijk landgebruik verhoogt de laterale connectiviteit in het landschap.
- De aanwezigheid van structuurrijke habitats grenzend aan stromende wateren (bos, moeras, ruig nat hooiland) verhoogt de biodiversiteit in en om beek en rivier.

.....

---

# H4 QUICK SCAN



---

De wetenschappelijk informatie over de twaalf gedefinieerde aspecten zijn tot praktisch toepasbare tools verwerkt. Centraal daarbij staan de beslisschema's die in [hoofdstuk 5](#) (globale analyse) gepresenteerd worden. Voorafgaand aan deze globale analyse kan door de waterbeheerder een Quick Scan worden uitgevoerd. Deze Quick Scan heeft de volgende doelen:

- Verzamelen van basisgegevens. Dit geeft tevens inzicht in de beschikbaarheid van gegevens. Een conclusie kan bijvoorbeeld zijn dat eerst meer metingen verricht moeten worden, voordat een Globale Analyse (of een Nadere Analyse) van de belangrijke aspecten uitgevoerd kan worden.
- Vaststellen welke aspecten meer van belang zijn en welke minder (bijvoorbeeld afhankelijk van het beek- of riviertype). Op basis daarvan kan prioritering of accentuering (focus) in de volgende stap, de Globale Analyse, aangebracht worden. Aan de belangrijke aspecten kan in de Globale Analyse meer aandacht worden besteed dan aan de minder belangrijke aspecten
- Eerste indruk van het ecologisch functioneren: wat kunnen redenen zijn waarom ESF bufferzone en/of ESF waterplanten op 'rood' staan.

Het verzamelen van gegevens wordt in [paragraaf 4.1](#) toegelicht. In [paragraaf 4.2](#) wordt aangegeven wanneer welke aspecten belangrijk zijn en wanneer minder belangrijk. In [paragraaf 4.3](#) staat aangegeven hoe een eerste indruk van het functioneren van de ESF's bufferzone en waterplanten verkregen wordt.

#### **4.1 GEGEVENS VERZAMELEN**

Het verzamelen van gegevens is een activiteit die niet alleen voor de ESF's bufferzone en waterplanten van belang is, maar feitelijk voor alle ESF's. Een deel van onderstaande gegevens heeft dus een bredere toepassing dan alleen de ESF's bufferzone en waterplanten.

Een eerste punt van aandacht is de begrenzing van het aandachtsgebied. Idealiter is dit het hele stroomgebied. Is men geïnteresseerd in een kleiner traject, dat moet in ieder geval het gehele bovenstroomse gedeelte van dat traject worden meegenomen. In het geval van grote stroomgebieden moet uit praktische overwegingen een logische 'rand' worden gezocht. De omvang van het aandachtsgebied verschilt dus van geval tot geval en is een blijvend aandachtspunt tijdens de hele systeem-analyse.

---

Daarnaast worden de beschikbaarheid en kwaliteit van gegevens ten behoeve van de Globale Analyse geïnventariseerd. Ten slotte worden bestaande rapporten en studies over het gebied die ‘op de plank liggen’ (rijp en groen) verzameld.

De minimaal te verzamelen gegevens voor ESF's bufferzone en waterplanten zijn:

- Kaarten: hydrologische situatie, bodemkaart, hoogtekaart
- Landgebruik beekdal/uiterwaarden
- Beschaduwning
- Hydrologie (droogval, inundaties, stroomregime). Zie ook de ESF's over hydrologie en morfologie.
- Fysisch-chemische parameters: temperatuur, N, P, O<sub>2</sub>, pH. Zie ook ESF belasting.
- Maaibeheer van waterplanten of oevergebieden
- Resultaten vegetatie-opnamen.

De snelheid waarmee deze gegevens verzameld kunnen worden, hangt natuurlijk af van de manier waarop gegevens opgeslagen zijn, maar ook van bestaande praktijkkennis van het watersysteem.

Het is verstandig om na het verzamelen van gegevens een startbijeenkomst met een aanvullend veldbezoek te organiseren. Het veldbezoek heeft als doel de indruk die met de verzamelde gegevens is verkregen en zo nodig in het veld te checken.

Voor de systeemanalyse met ESF's en dus ook voor het veldbezoek zijn verschillende disciplines nodig. In ieder geval zouden bij de Quick Scan de volgende medewerkers betrokken moeten worden:

- ecooloog,
- hydroloog,
- medewerker onderhoud (peilbeheer, maaibeheer).

Verder kan bij een globale analyse gedacht worden aan:

- medewerker waterkwaliteit,
- hydrobiologisch analist,
- medewerker planvorming,
- beleidsmedewerker.

## 4.2 RELATIEF BELANG VAN DE ASPECTEN

Niet alle twaalf aspecten zijn altijd relevant; dit is onder andere afhankelijk van de plaats van het stromende water in het hydrologisch systeem (van bovenloop tot en met grote rivier). Zie Tabel 5.

TABEL 5 AANDUIDING WELKE ASPECTEN WANNEER VAN BELANG ZIJN

Aspect		Bovenlopen	Middenlopen	Benedenlopen	Kleine riviertjes	Grote rivieren
1	Licht	X				
2	Droogval	X	X			X
3	Stroming	X	X	X	X	?
4	Nutriënten	X	X	X	X	X
5	Koolstof	X	X			
6	Substraat	X	X	X	X	
7	Verwijdering	X	X	X		
8	Vegetatie als structuur	X	X	X	X	X
9	Zuurstof	X	X	X		
10	Temperatuur	X	X			
11	Blad en dood hout	X	X	X	X	X
12	Laterale connectiviteit	X	X	X	X	X

Door het watertype van elk traject in het aandachtsgebied te bepalen, wordt met behulp van deze tabel duidelijk welke aspecten van belang zijn en welke aspecten van minder belang.

## 4.3 EERSTE INDRUK ESF'S BUFFERZONE EN WATERPLANTEN

In de globale analyse zijn voor alle twaalf de aspecten beslisschema's opgenomen, waarmee bepaald kan worden of ESF bufferzone en/of waterplanten op rood staat, en waarom.

---

Voor de quick scan is het verstandig eerst de volgende vragen te beantwoorden. Hiermee wordt de eerste richting gegeven aan de interpretatie van beide ESF's:

Hoeveel vegetatie is globaal in de beek/rivier aanwezig? Kun je de aan- of afwezigheid verklaren aan de hand van de volgende vragen:

- **Stroming:** Is er sprake van een sterke stroming in het groeiseizoen die de groei van waterplanten beperkt of is er sprake van piekafvoeren die aanwezige vegetatie verwijderd? Zijn er stuwen of is er om andere reden sprake van zeer langzaam stromend water, zodat waterplanten zich goed kunnen ontwikkelen?
- **Licht:** Is er sprake van een sterke beschaduwing die de groei van waterplanten remt? Is er sprake van troebel water in het voorjaar, waardoor licht niet tot op de bodem kan doordringen en waterplanten niet tot ontwikkeling kunnen komen?
- **Peilfluctuaties/droogval:** Vallen (delen van) de oever of zelfs de hele beek in de zomer langdurig droog, waardoor waterplanten die eventueel in het voorjaar tot ontwikkeling zijn gekomen, 's zomers afsterven. Of hoort de droogval bij het systeem, waardoor zaden de kans krijgen te kiemen?
- **Verwijdering:** Is er sprake van een intensief onderhoud, bijvoorbeeld meerdere keren per jaar maaien van de hele watergang? Zijn er faunasoorten die een sterke begrazingsdruk uitoefenen? Denk aan: ongewervelden (Chinese wolhandkrab), vissen (graskarpers, boedemwoelende vissoorten), watervogels, bevers.
- **Nutriënten:** Is het water of (vooral van belang) de bodem voedselrijk?

.....



---

## H5 GLOBALE ANALYSE

---

De Globale analyse is het centrale deel van de praktische uitwerking van de ESF's bufferzone en waterplanten. De Globale analyse wordt uitgevoerd aan de hand van beslisschema's met toelichting. De systematiek is opgebouwd aan de hand van stoplichten. Elk aspect kan er toe leiden dat of ESF bufferzone en/of ESF waterplanten op rood komt te staan. Dit betekent dat de bufferzone of de waterplanten een knelpunt vormen voor het gezond ecologisch functioneren van de beek of de rivier. Het kan echter ook betekenen dat de bufferzone of de waterplanten een indicatie geven dat andere (ecologische) sleutelfactoren, zoals de ESF's gerelateerd aan hydrologie en morfologie niet op orde zijn. De ESF's bufferzone en waterplanten hebben in dat geval een signaalfunctie.

Omdat er meerdere (namelijk twaalf) aspecten zijn en even zoveel beslisschema's, kunnen er meerdere redenen zijn waarom een of beide ESF's op rood staan. Alleen als op basis van alle aspecten niet één keer rood is toegekend, staat de ESF op groen (*one out, all out*, cf KRW). Zie [Tabel 3](#) om te zien welke aspecten per ESF van belang zijn.

In de beslisschema's hebben de kleuren van de vakjes de volgende betekenis:

- Grijs-zwart: voorselectie: wanneer moet het beslisschema (of een deel daarvan) doorlopen worden en wanneer niet. Vaak is deze keuze afhankelijk van het watertype (zie ook paragraaf 0 over het belang van de verschillende aspecten)
- Blauw: keuze onderdelen. Hier moet op basis van (meestal gekwantificeerde) criteria een keuze worden gemaakt.
- Rood: uitkomst van de keuze-onderdelen, waarbij het oordeel is dat een ESF op rood staat.
- Groen: uitkomst van de keuze-onderdelen, die niet leidt tot het oordeel dat een ESF op rood staat.

### **Natuurlijke situatie**

In meerdere beslisschema's wordt de vraag gesteld of de geconstateerde situatie overeenkomt met de natuurlijke situatie. Hiervoor kan de Goede Ecologische Toestand (GET) als beeld gebruikt worden, met de bijbehorende normen vanuit de KRW. Er kan ook gekozen worden om de Zeer Goede Ecologische Toestand (ZGET) of zelfs de Referentie als beeld voor de natuurlijke situatie te gebruiken. Veelal zal er sprake zijn van een sterk veranderde beek, zodat niet het GET maar het GEP (Goed Ecologisch Potentieel) de KRW-doelstelling is. Het is echter belangrijk om

---

bij de ecosysteemanalyse aan de hand van de sleutelfactoren de actuele situatie te vergelijken met natuurlijke situatie. De analyse met behulp van ecologische sleutelfactoren is immers bedoeld om het functioneren van het aquatisch ecosysteem te begrijpen en inzicht te krijgen in de belangrijkste factoren die sturend zijn voor de actuele ecologische toestand. Beleidsmatig kan gekozen worden toe te werken richting natuurlijke situatie met GET als doelstelling of een zekere afwijking daarvan te accepteren en het GEP als doel te stellen. De analyse aan de hand van ESF's is dan een hulpmiddel om ecologisch zinvolle maatregelen te formuleren.

Voor een definitie van de natuurlijke situatie is soms het resultaat van de analyse van andere ESF's nodig, met name de ESF's gerelateerd aan morfologie. Daarnaast is de bedekking met waterplanten en de bedekking met bomen op de oever van belang bij vergelijking met de natuurlijke situatie. In [Tabel 6](#) zijn de GET-normen voor de bedekkingen weergegeven. Desgewenst kunnen ook normen voor de Zeer Goede Ecologische Toestand (ZGET) of de referentie gebruikt worden. Deze zijn in de maatlatten (Van der Molen *et al.* 2012 en Van der Molen *et al.*, 2013) te vinden.

### **Groeiseizoen**

In de beslisschema's en/of bijbehorende tekst wordt soms de term groeiseizoen genoemd. Wat het groeiseizoen precies is, kan per soort verschillen. Er zijn zelfs soorten die twee generaties per jaar hebben en een biomassapijk en voor- en na-jaar vertonen, maar in de tussenliggende periode (juni-juli) vrijwel onzichtbaar zijn (Bijkerk, 2010). Voor de analyse met ecologische sleutelfactoren wordt globaal de periode mei-augustus aangehouden als groeiseizoen van waterplanten.

## **5.1 LICHT**

Via onderstaand beslisschema kan onderzocht worden in hoeverre plantengroei in de beek geremd wordt door beschaduwning als gevolg van oeverbegroeiing. De analyse van beschaduwning door epifytische algen wordt behandeld in het schema onder nutriënten ([paragraaf 5.5](#)).

In brede stromende wateren geven bomen op de oever niet zoveel schaduw dat waterplanten in hun groei sterk geremd worden. Als grens tussen smalle en brede watergangen is 8 meter genomen. Dit is de grens tussen de KRW-typen van midden/benedenlopen (3-8 m) en riviertjes (8-25 m).

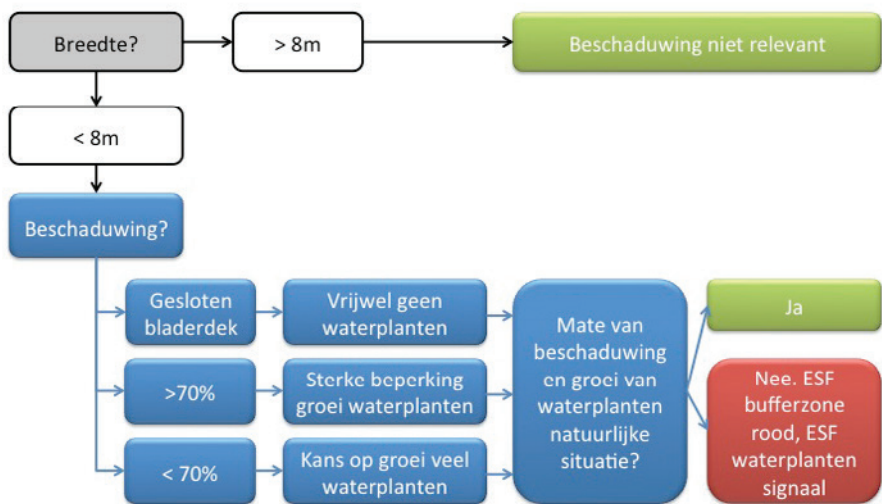
**TABEL 6 NORMEN GET VOOR BEDEKKING VEGETATIE STROMENDE WATEREN**

Bron: Van der Molen et al. (2012), Van der Molen et al. (2013). Let op: de normen voor bomen (oever) voor de typen R6 en R15 staan in de errata bij Van der Molen et al. (2012).

Breedte watergang	KRW-watertype	Norm GET						
		Submers	Drijvend	Emers	Flab	Kroos	Oever-bomen	Oever-kruiden
n.v.t.	R1 Droogvallende bron	5-30%		5-75%	<10%	<10%	-	30-75%
	R2 Permanente bron	5-50%		3-30%	<10%	<10%	(X)	30-75%
0-3 m	R3 Droogvallende langzaam stromende bovenloop op zand	5-30%		5-75%	<10%	<10%	(X)	30-75%
	R4 Permanente langzaam stromende bovenloop op zand	>10%		3-30%	<10%	<5%	>50%	
	R11 Langzaam stromende bovenloop op veenbodem	5-50%	-	-	<10%	<10%	20-80%	>60%
	R13 Snelstromende bovenloop op zand	-	-	-	<1%	<1%	>50%	-
3-8 m	R17 Snelstromende bovenloop op kalkhoudende bodem				<1%	<1%	>50%	-
	R5 Langzaam stromende midden/benedenloop op zand	>5%		3-30%	<10%	<10%	>40%	-
	R12 Langzaam stromende midden/benedenloop op veenbodem	>5%	>1%	5-50%	<10%	<10%	-	-
	R14 Snelstromende midden/benedenloop op zand	>2%		1-20%	<5%	<5%	>40%	-
	R18 Snelstromende midden/benedenloop op kalkhoudende bodem	>2%		1-20%	<5%	<5%	>40%	-
	R6 Langzaam stromend riviertje op zand/klei	>5%	>10%	5-75%	<10%	<10%	>40%	-
8-25 m	R15 Snelstromend riviertje op zand	>2%		1-20%	<5%	<5%	>40%	-
>25 m	R7 Langzaam stromende rivier/nevenguel op zand/klei	>1%		-	-	-	-	-
	R8 Zoet-getijdenwater (uitlopers rivier) op zand/klei	>2%		-	-	-	-	>15%
	R16 Snelstromende rivier/nevenguel op zand of grind	>10%		-	<5%	-	-	-

**Legenda:**

Kleine wateren (komen wel in Nederland voor, maar niet als KRW-waterlichaam)  
 (X) = soms aanwezig, geen normen voor opgesteld.



In watergangen tot 8 meter (bronnen tot en met middenlopen) kan de beschaduwing zo sterk zijn dat de groei van waterplanten sterk geremd wordt. Er zijn in onderstaand beslisschema drie situaties onderscheiden: een gesloten bladerdek, een beschaduwing van meer dan 70% en een beschaduwing van minder dan 70. Dit levert respectievelijk geen, zeer weinig en potentieel veel waterplantengroei.

De centrale vraag die leidt tot de conclusie of de ESF's bufferzone en waterplanten al dan niet op rood staan, is of de mate van beschaduwing en de bijbehorende hoeveelheid waterplanten overeenkomen met de natuurlijke situatie. Zoals in [hoofdstuk 2](#) is aangegeven, kan hiervoor de Goede Ecologische Toestand gebruikt worden. Zie hiervoor [Tabel 6](#).

## 5.2 DROOGVAL

In onderstaand schema is de analyse van het aquatisch ecosysteem voor het aspect droogval weergegeven.

Het eerste onderscheid is op basis van watertypen:

- Boven- en middenlopen kunnen (vrijwel) geheel droogvallen, wat consequenties heeft voor de groei van waterplanten.
- Bij grote rivieren is de dynamiek van droogval van de oevers bepalend voor de

ontwikkeling van waterplanten.

- In de tussenliggende typen (qua grootte: benedenlopen en kleine riviertjes) is het aspect droogval minder van belang. Gehele droogval zoals in boven- en middenlopen komt van nature in Nederland niet voor. Droogval van de oevers is vergeleken met grote rivieren van nature minder grootschalig en heeft daarom een geringer effect op de ontwikkeling van waterplanten.



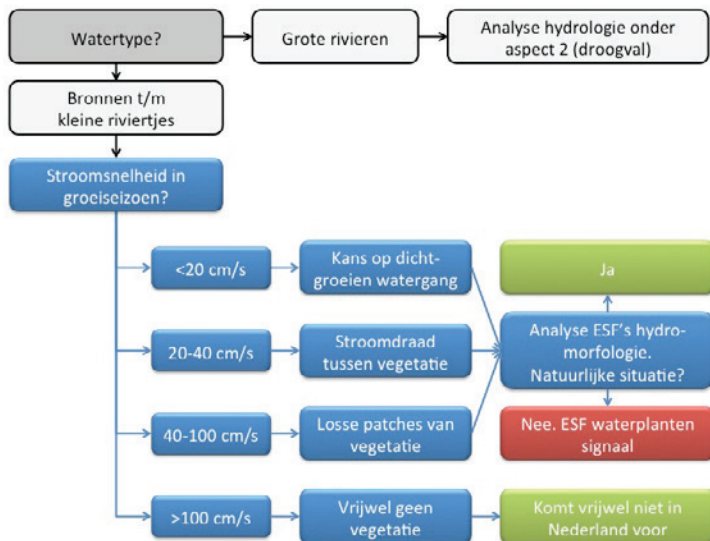
Boven- en eventueel middenlopen kunnen periodiek geheel droogvallen. Als dat meer dan 1x per jaar is gedurende meer dan 2 weken, dan vindt er een verschuiving plaats van soorten met een andere groeistrategie. Hoe die soortverschuiving is, kan afgeleid worden uit de soortenlijst met indicatieve waarden voor droogval (zie tool 6, paragraaf 6.6). Of ESF waterplanten dan op rood staat of niet, hangt af van de vraag of de frequentie en duur van droogval de natuurlijke situatie is, of dat deze door veranderingen in de hydrologie en morfologie niet natuurlijk is. In het laatste geval staat ESF waterplanten op rood met een signaalfunctie: de sleutelfactoren rond hydrologie en morfologie zijn niet op orde, zoals blijkt uit een afwijkende begroeiing ten opzichte van de natuurlijke situatie.

In grote rivieren kan een te grote dynamiek ertoe leiden dat er helemaal geen waterplanten tot ontwikkeling komen. In dat geval staat de ESF waterplanten op rood met een signaalfunctie. De hydrologie staat op rood en dat uit zich in een afwijkende begroeiing ten opzicht van de natuurlijke situatie. De dynamiek is op orde als aan de volgende waarden wordt voldaan:

- Waterdiepte tijdens de start van het groeiseizoen: maximaal 1,9 meter,
- Tijdsduur dat in het groeiseizoen water aanwezig is: tenminste drie maanden (startend vanaf mei),
- Mate van uitdroging van de standplaats bij droogval: Groeiplaats in mei niet meer dan 50 cm boven het gemiddeld waterpeil,
- Peilstijging tijdens het groeiseizoen: maximaal 1,40 meter,
- Stabiliteit van bovengenoemde factoren gedurende achtereenvolgende jaren: In tenminste 8 van de 10 aaneengesloten jaren moeten waterpeilen binnen bovengenoemde grenswaarden vallen.

### 5.3 STROMING

Voor grote rivieren is de stroomsnelheid niet apart in beschouwing genomen. De hydrologische aspecten in relatie tot waterplanten in grote rivieren zijn behandeld onder het aspect “droogval” (zie [paragraaf 5.2](#)). Het beslisschema voor de overige typen stromend water is hieronder gegeven.



In bovenlopen tot en met kleine riviertjes is de gemiddelde stroomsnelheid in het groeiseizoen als bepalende factor beschouwd. Afhankelijk van deze stroomsnelheid kunnen verschillende groeivormen van waterplanten onderscheiden worden. De vraag of ESF waterplanten op rood staat of niet, is afhankelijk van de vraag of de stroomsnelheid past bij de natuurlijke situatie. Is de hydrologie en/of morfologie gewijzigd, waardoor de stroomsnelheid niet meer de natuurlijke is, dan ontstaan er andere groeivormen van de vegetatie, en staat ESF waterplanten op rood met een signaalfunctie.

#### 5.4 BODEMSUBSTRAAT

Dit aspect gaat alleen over substraattypen van de bodem. Waterplanten, bladeren en dood hout vormen ook substraat (voor fauna) maar worden bij andere aspecten behandeld, namelijk aspect 8 (vegetatie als structuur) en aspect 11 (blad en dood hout).

In onderstaand schema is de analyse van het aspect bodemsubstraat weergegeven.



Voor het aspect bodemsubstraat zijn verschillende substraattypen onderscheiden: slib, organisch materiaal, kalkrijk en kalkarm zand, en grind. Elk substraatype



---

heeft zijn eigen groep waterplanten met bijbehorende groeistrategie. De belangrijkste vertegenwoordigers van deze soort(groepen) zijn:

- voor slib: waterpest, grof hoornblad, schedefonteinkruid
- voor organische bodems: stomphoekig sterrenkroos, gele waterkers, pijlkruid, liesgras,
- voor kalkarme zandbodems: stomp fonteinkruid, haaksterrenkruid, waterpostelein, teer vederkruid,
- voor kalkrijke zandbodems: gesteelde zannichellia, vlottende waterranonkel

De vraag of ESF waterplanten op basis van substraat op rood staat of niet, hangt af van de vraag of de verdeling van de verschillende substraten overeenkomt met de natuurlijke situatie. Zijn de hydrologie en/of de morfologie echter gewijzigd, waardoor er een andere verdeling van substraten ontstaat, dan ontstaat er ook een ander type vegetatie en staat ESF waterplanten op rood met een signaalfunctie (hydromorfologie niet op orde).

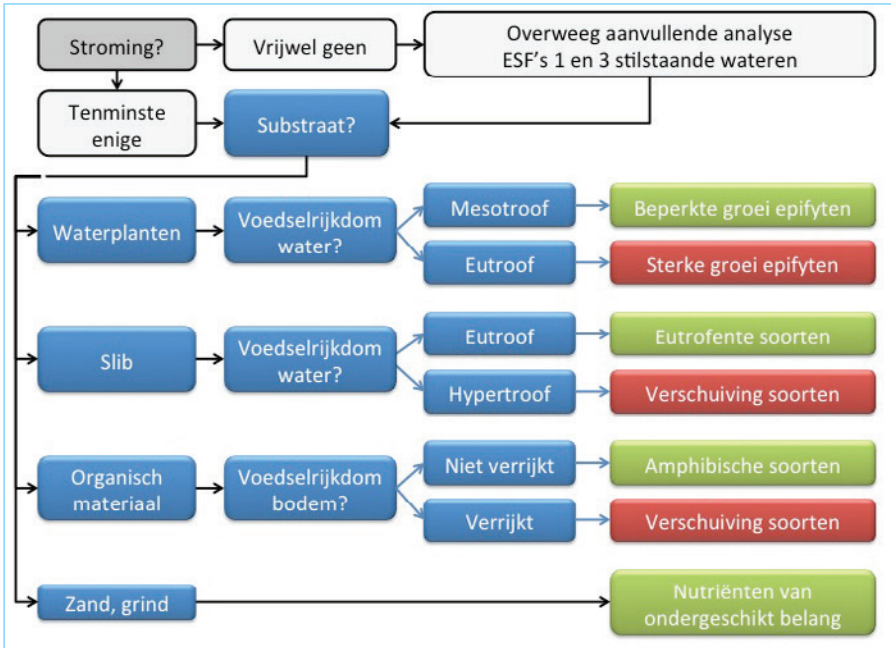
## 5.5 NUTRIËNTEN

Voor het aspect nutriënten kan bij zeer langzaam stromende beken, bijvoorbeeld overgedimensioneerde en gestuwde beken met vrijwel stilstaand water, ook gebruik worden gemaakt van de ESF's van stilstaande wateren: ESF Productiviteit water en ESF Productiviteit bodem. Het gebruik van die ESF's geeft antwoord op de vragen of algengroei al dan niet de groei van waterplanten belemmeren en of de bodem niet zo rijk is dat er een homogene begroeiing van eutrafente soorten ontstaat. De analyse met de ESF's van stilstaande wateren zou aanvullend, dus naast die van stromende wateren, uitgevoerd kunnen worden.

In het schema hiernaast is de analyse van het aspect nutriënten (voor stromende wateren) weergegeven.

Bij de analyse spelen zowel de voedselrijkdom van het water als die van de bodem een rol. De mate van invloed is afhankelijk van het substraat. Als substraat worden onderscheiden: slib, organisch materiaal, zand en grind (substraat voor waterplanten), en waterplanten zelf (als substraat voor epifyten).

Bij waterplanten als substraat voor epifyten is de voedselrijkdom van het water van belang. Sterke verrijking van het water kan sterke groei van epifyten tot gevolg



hebben, waardoor de waterplanten zelf te weinig licht ontvangen en daardoor in hun groei afremmen of zelf geheel afsterven.

De voedselrijkdom van het water is verder van belang bij lagere stroomsnelheden, waarbij slib het belangrijkste substraattype is. Als het water niet zeer voedselrijk is, komen eutrafente soorten zoals waterpest, grof hoornblad en schedefonteinkruid voor. Bij sterke verrijking van het water met nutriënten (hypertrofie) treedt een verschuiving op naar kroos (alleen bij zeer lage stroming) of flab. De sterke verrijking van het water wordt veroorzaakt door belasting van het water met puntbronnen en/of diffuse bronnen. ESF waterplanten staat dan op rood met een signaalfunctie. Merk op dat het voorkomen van (vrijwel) alleen slib op de bodem met bijbehorende vegetatie bij de analyse van het aspect bodemsubstraat (paragraaf 5.4) al geleid kan hebben tot ESF waterplanten op rood.

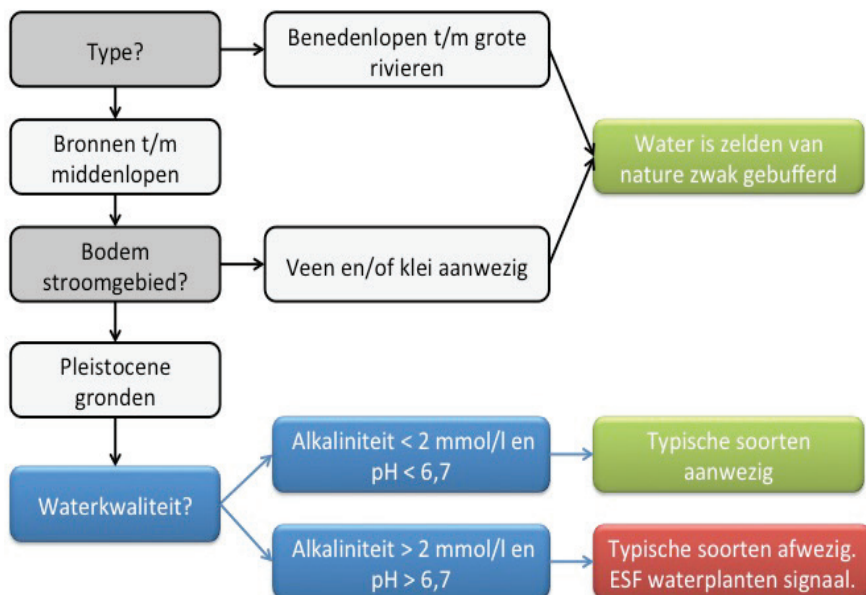
De voedselrijkdom van de bodem speelt vooral een rol bij organische bodem. Organische bodems kunnen begroeid raken met amfibische soorten zoals gele wa-

terkers. Bij verrijking van deze bodem vindt verschuiving plaats naar rietgras en uiteindelijk liesgras. Verrijking van de bodem vindt plaats door externe belasting. ESF waterplanten staat bij verrijking van de bodem op rood met een signaalfunctie naar ESF belasting.

De substraattypen zand en grind komen alleen bij hogere stroomsnelheden voor. De groei van waterplanten is bij deze substraten en bij deze stroomsnelheden minder uitbundig omdat de groeiomstandigheden stessvol zijn. De voedselrijkdom van het water of de bodem speelt daarbij een ondergeschikte rol.

## 5.6 KOOLSTOF

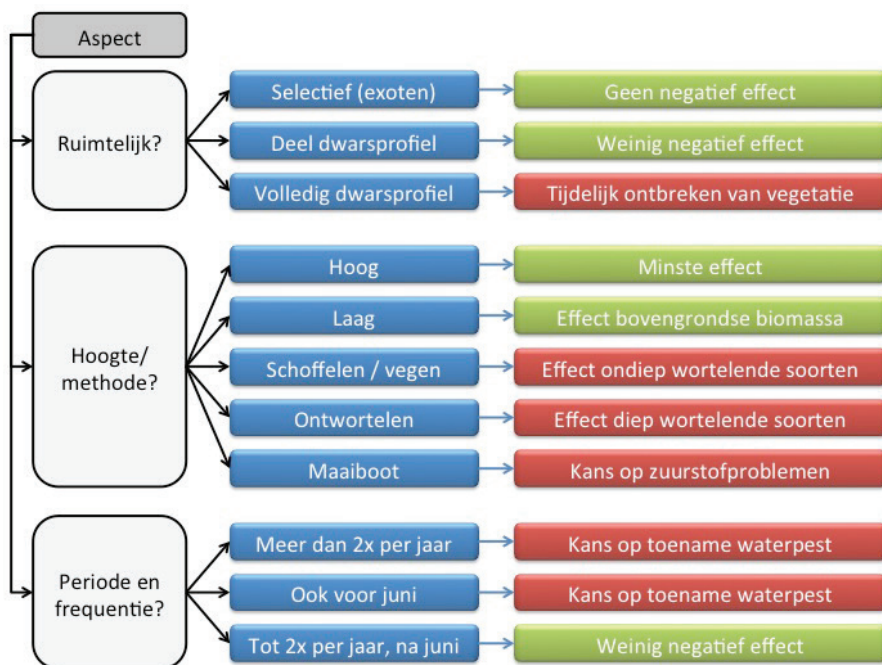
Bij het aspect koolstof gaat het om de aanwezigheid van typische soorten die onder zwak gebufferde en zwak zure omstandigheden tot ontwikkeling komen, zoals drijvende waterweegbree, teer vederkruid, duizendknoopfonteinkruid en grote waterranonkel. Van nature kwam deze situatie veel vaker in Nederland voor dan tegenwoordig. Het kwam echter alleen voor in boven- of middenlopen op pleistocene gronden. Onderstaand schema voor analyse van het aspect koolstof begint dan ook met de selectie van boven t/m middenlopen op pleistocene gronden.



Als bij deze beektypen geen zwak gebufferd en zwak zuur water is, komen de typische soorten niet voor. Bufferstoffen en verhoging van de zuurgraad worden veroorzaakt door veranderingen in de hydrologie of door verontreiniging. Te denken valt aan ontwatering in het brongebied, verhogen van het waterpeil in de zomer, landbouwkundig gebruik in het brongebied. Het ontbreken van genoemde plantensoorten is dus een indicatie dat ESF's rond hydrologie en/of ESF belasting op rood staan. ESF waterplanten staat op rood met een signaalfunctie.

## 5.7 VERWIJDERING

Voor verwijdering is alleen een beslisschema gemaakt voor het maaibeheer. Voor vraat zijn nog geen vuistregels te geven en kan dus geen beslisschema gemaakt worden. Het beslisschema voor maaibeheer is hieronder weergegeven.



Onder natuurlijke omstandigheden wordt de vegetatie in beken niet gemaaid. Vanuit dit oogpunt zou elke vorm en frequentie van maaibeheer leiden tot ESF waterplanten op rood. Gekozen is echter om alleen de vormen van maaibeheer die

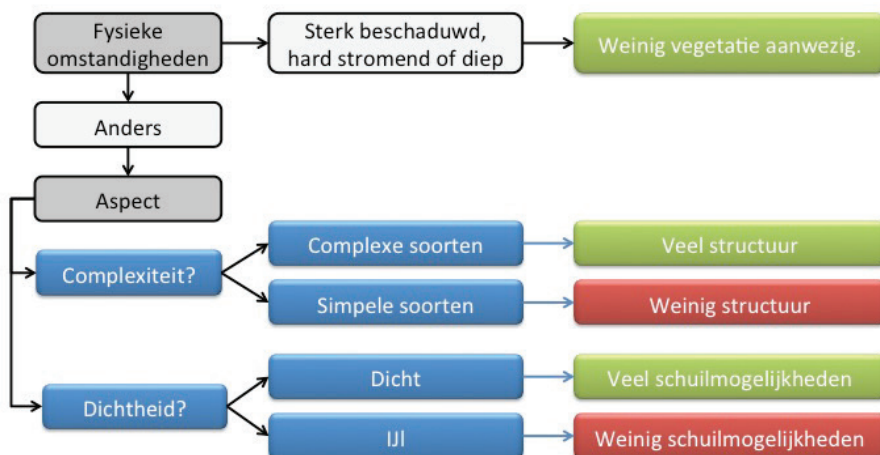
tot een grote wijziging van de vegetatie leiden, te benoemen als ESF waterplanten op rood. Deze vormen van maaibeheer zijn:

- volledig dwarsprofiel maaien
- schoffelen/vegen,
- ontwortelen
- meer dan 2x per jaar maaien
- ook voor juni maaien.

Verder is het maaien met een maaiboot als ongewenst aangegeven (ESF waterplanten op rood), vanwege het risico van opwoeling van bodemsediment en kans op zuurstofloosheid van het water.

## 5.8 VEGETATIE ALS STRUCTUUR

Waterplanten bieden structuur aan fauna. Beoordeling van de kwaliteit van die structuur is alleen zinnig in beektypen waar vegetatie aanwezig is. Dit betekent dat het aspect “vegetatie als structuur” niet beoordeeld wordt in sterk beschaduwde, hard stromende of diepe stromende wateren. Het beslisschema is hieronder weergegeven.



Bij de analyse speelt de complexiteit en de dichtheid van de vegetatie een rol. De complexiteit van waterplanten betreft de mate van detail (vertakking) van blade-

---

ren en stengels. Een parameter om de complexiteit te meten is de Fractal dimensie<sup>2</sup>. Hier zijn wel tools voor (optische analyse van foto's van waterplanten), maar eenvoudiger is het om te letten op de mate van vertakking van de stengels en de vorm van de bladeren (enkelvoudig of samengesteld). Voorbeelden van complexe waterplanten zijn aarvederkruid en glanzend fonteinkruid. Voorbeelden van simpele waterplanten zijn gele plomp en de stengels van emergente soorten zoals riet en liesgras. De dichtheid van de vegetatie betreft de combinatie van de bedekking (horizontaal vlak) als de mate van vulling van de waterkolom (verticaal vlak). Als maat wordt wel het PVI (Percentage Volume Invested) gebruikt. Dit is het quotiënt van het volume van een waterplant en het volume water waarin de plant groeit. De dichtheid van een soort kan variëren, afhankelijk van de milieumomstandigheden (voedselrijkdom, stroming, licht, etc.). Typische dichte waterplanten zijn waterpest, sterrenkroos. Een typische ijle soort is gele plomp.

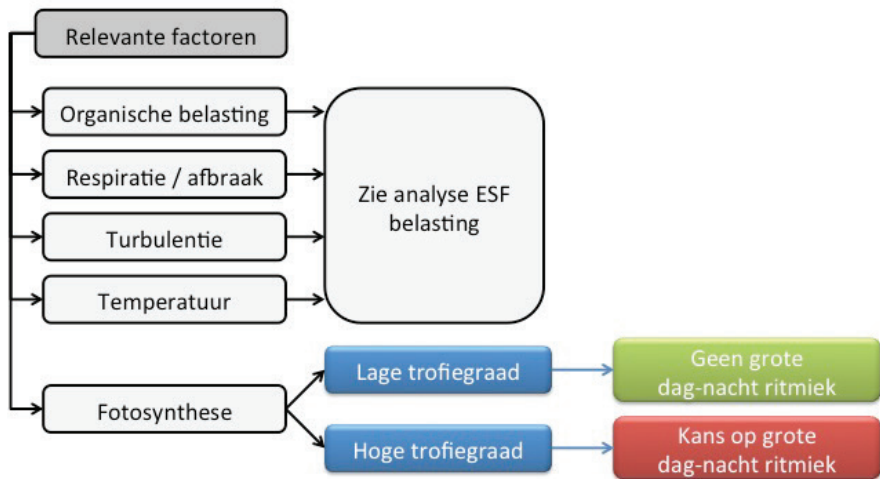
Complexe soorten en dichte vegetaties bieden de meeste structuur. Dit betekent dat de aanwezigheid van alleen simpele soorten en/of ijle vegetaties leiden tot ESF waterplanten op rood.

## 5.9 ZUURSTOF

Het zuurstofgehalte, en de ritmiek daarin, is voor fauna van belang. Het zuurstofgehalte wordt door meerdere factoren bepaald, zoals organische belasting, respiratie/afbraak, fotosynthese, turbulentie en temperatuur. De meeste van deze factoren vallen niet onder ESF bufferzone, maar onder ESF belasting. Alleen de fotosynthese door planten of algen, valt onder ESF waterplanten.

In het schema op de volgende pagina is de analyse voor zuurstof weergegeven.

Een hoge trofiegraad leidt tot een sterke primaire productie (door planten en algen) overdag, waardoor de kans bestaat op een grote dag-nachtritmiek in het zuurstofgehalte. Dit betekent dat het zuurstofgehalte 's nachts en in de vroege ochtend zo laag kan worden, dat fauna daarvan hinder ondervindt. Als norm voor het zuurstofgehalte kunnen de KRW-normen gebruikt worden. Zie verder ook ESF belasting. Hoe groot de dag-nachtritmiek is en hoe ver het zuurstofgehalte daalt, kan



met een specifiek meetprogramma onderzocht worden, bijvoorbeeld met continu-metingen waarbij de elektroden op verschillende waterdiepten geplaatst worden (dicht bij de bodem daalt het zuurstofgehalte sneller dan nabij het wateroppervlak). Bij een te grote dag-nacht ritmiek (met onderscheiding van de minimumnorm) staat ESF waterplanten op rood met een signaalfunctie naar ESF belasting.

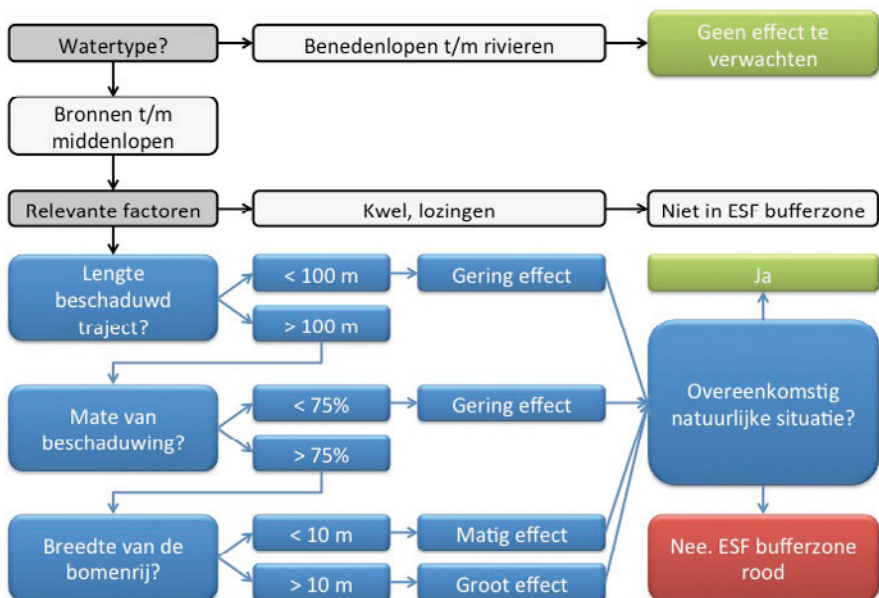
### 5.10 TEMPERATUUR

De temperatuur van het water wordt door verschillende factoren bepaald: de luchttemperatuur (met seizoensfluctuatie daarin), het volume van het water, kwel, lozingen en beschaduwning. De laatste drie zijn vormen van antropogene beïnvloeding (pressures). Bij de analyse van ESF bufferzone wordt alleen naar de factor beschaduwning gekeken.

Het beslisschema is hiernaast weergegeven.

Temperatuurdemping door beschaduwning kan voorkomen in boven- en middenlopen. Grotere stromende wateren zijn te groot voor een effectieve temperatuurdaling door beschaduwning.

Het effect op de temperatuur is in boven- en middenlopen alleen merkbaar als de beschaduwning minimaal 75% bedraagt over een lengte van tenminste 100 meter.



Als de schaduwgevende zone breder is dan 10 meter is er een relatief groot effect op de temperatuur. Een smallere zone geeft een matig effect. Het effect van de beschaduwing is een daling van de watertemperatuur. Ecologisch heeft dit vooral een effect op de fauna, in veel mindere mate op vegetatie. Of ESF bufferzone op rood staat of niet, hangt af van de vraag of de mate van beschaduwing overeenkomt met de natuurlijke situatie of niet. Voor een beschrijving van de natuurlijke situatie kunnen de KRW-referenties en -maatlatten (bijvoorbeeld normen voor het GET) gebruikt worden. Zie hiervoor de inleidende tekst op hoofdstuk 5.

### 5.11 BLAD EN DOOD HOUT

Bladpakketten en dood hout kunnen in principe in alle typen stromend water voorkomen. Op de volgende pagina is het beslisschema voor de analyse gegeven.

Van nature komen hout- en bladpakketten in het water vanuit bomen op de oever. Als die er niet staan, kan dood hout kunstmatig worden ingebracht, maar dat gebeurt in de praktijk niet voor bladeren. Ontbreken van bomen langs de oever betekent in ieder geval dat voor bladpakketten ESF bufferzone op rood staat. Als er wel

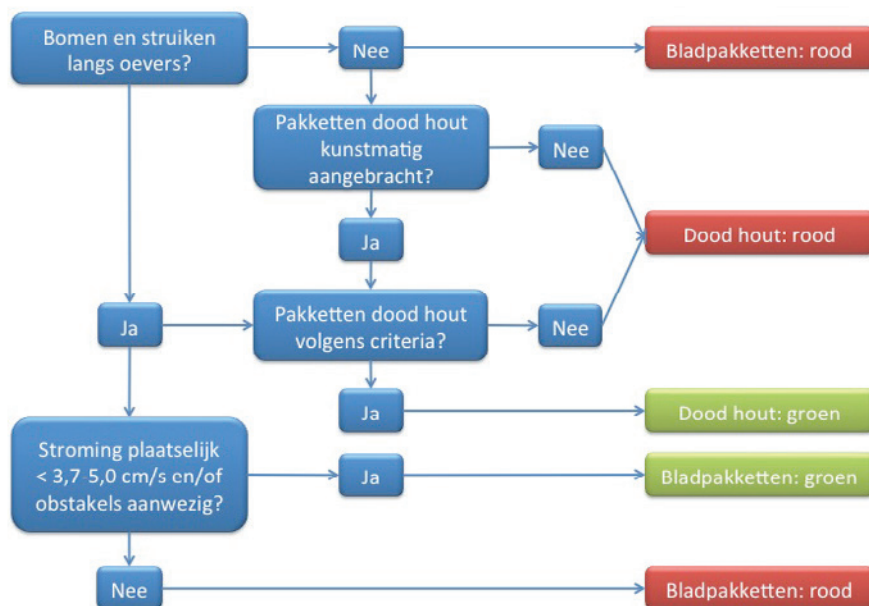


bomen staan, maar de stroomsnelheid is in het hele dwarsprofiel hoog en er zijn geen obstakels waarachter bladeren zich kunnen ophopen, staat ESF bufferzone voor bladpakketten ook op rood.

Wat betreft dood hout, staat ESF bufferzone op rood als deze ontbreken, maar ook als ze onvoldoende structuur geven. De criteria daarvoor zijn:

- Hoeveelheid: grote pakketten (minimaal 10-15 m<sup>2</sup>) ten minste 75% van de beekbreedte, minimale hoeveelheid: 20-25% van oppervlak
- Positionering: dwars op stroomrichting; bij hoog water stroming over pakket
- Kwaliteit: bij voorkeur hardhout; dikke takken tot en met de boomkruin
- Minimale lengte traject: 500 m.

Als aan deze criteria wordt voldaan, staat ESF bufferzone voor dood hout op groen (of zijn er effectieve mitigerende maatregelen genomen).



## 5.12 LATERALE CONNECTIVITEIT

Bij laterale connectiviteit gaat het om migratie van soorten vanuit het water naar de oeverzone. De oeverzone wordt hier ruim gezien: het beekdal of de uiterwaard. Migratie over nog langere afstand valt echter niet onder ESF bufferzone, maar onder ESF connectiviteit.



Voor een goede laterale connectiviteit is het nodig dat dieren de bufferzone kunnen bereiken. Een natuurlijke inrichting van de oever kan daar aan bijdragen. Ook inundaties van de bufferzone zijn gunstig voor de laterale connectiviteit.

Een andere voorwaarde is dat er in de bufferzone geschikte habitats zijn. Welke habitats dat precies zijn, is per soort verschillend. In het algemeen kan gezegd worden dat een natuurlijk landgebruik positief is. Agrarisch landgebruik en zeker stedelijk landgebruik scoren minder. Daarnaast kan beoordeeld worden of er geschikte habitats in de bufferzone aanwezig zijn, zoals ecologisch gezonde sloten, poelen en nevengeulen. Maar ook de aanwezigheid van bomen en bosschages zijn als habitat belangrijk, bijvoorbeeld voor (uit)vliegende insecten die als larve in de beek of de rivier voorkomen.

## 5.13 OVERZICHT

In de vorige paragrafen van dit hoofdstuk zijn beslisschema's gepresenteerd die aangegeven wanneer ESF bufferzone of ESF waterplanten op rood staan of niet.

---

Hieronder is een overzicht gegeven van alle mogelijke situaties waarin de ESF's op rood kunnen staan.

**ESF bufferzone** staat op rood als één of meer van de volgende situaties zich voordoen:

- Ontbreken van schaduw gevende begroeiing op de oevers van bovenlopen waardoor meer groei van waterplanten dan onder natuurlijke omstandigheden.
- Te weinig beschaduwing of beschaduwing over een te kort traject waardoor geen buffering van de temperatuurschommeling met nadelig effect op fauna.
- Ontbreken dood hout en/of ontbreken bladpakketten, met nadelig effect op fauna.
- Geen natuurlijke oevers en ontbreken inundaties, met nadelig effect op laterale connectiviteit.
- Agrarisch of stedelijk landgebruik in het beekdal of de uiterwaard.
- Ontbreken structuurrijke habitats in het beekdal of de uiterwaard.

**ESF waterplanten** staat op rood als één of meer van de volgende situaties zich voordoen:

- Minder beschaduwing dan onder natuurlijke omstandigheden, waardoor meer groei van waterplanten dan onder natuurlijke omstandigheden.
- Beïnvloeding van de hydrologie waardoor een boven- of middenloop vaker of juist minder vaak dan onder natuurlijke omstandigheden droogvalt.
- Het ontbreken van waterplanten in grote rivieren door een te grote dynamiek in de hydrologie (peilverschil).
- Beïnvloeding van de hydrologie van bovenlopen tot en met kleine riviertjes waardoor de stroming lager is dan onder natuurlijke omstandigheden en er daardoor een ander type begroeiing (vegetatie-patroon) aanwezig is.
- Beïnvloeding van de hydrologie waardoor een andere verdeling van de substraten slib, organisch materiaal, zand en grind; en daardoor een ander type begroeiing dan onder natuurlijke omstandigheden het geval zou zijn.
- Hypertroof water, waardoor verschuiving naar kroos of flab.
- Organische bodem verrijkt met nutriënten, waardoor verschuiving naar rietgras en liesgras.
- Hoge alkaliniteit in combinatie met hoge pH is boven- en middenlopen op pleistocene gronden, waardoor verdwijnen van typische soorten.
- Maaien van volledig dwarsprofiel; maaien door schoffelen, vegen of ontwor-

---

telen, meer dan 2x per jaar maaien, en/of ook maaien voor 1 juni, waardoor wijziging bedekking waterplanten en wijziging soortensamenstelling.

- Maaien met een maaiboot waardoor kans op opwoeling bodemsubstraat en lage zuurstofgehalten.
- Vegetatie met simpele soorten met eenvoudige structuur en ijle vegetatie waardoor geen optimale structuur voor fauna aanwezig.
- Hoge trofiegraad waardoor veel primaire productie en kans op grote dag-nacht ritmiek in zuurstofgehalte.

---

## H6 TOOLS NADERE ANALYSE

## Inleiding

In deze paragraaf worden bestaande tools besproken, die gebruikt kunnen worden voor een Nadere analyse. In Tabel 7 is een overzicht gepresenteerd van de tools die in de volgende paragrafen zijn uitgewerkt. In de tabel is ook aangegeven op welke van de twaalf aspecten de tool betrekking heeft. Soms heeft een tool op meer dan één aspect betrekking. Er zijn ook aspecten waarvoor geen geschikte tool gevonden is.

Alle tools zijn in principe te gebruiken in zowel beken als rivieren. Niet elk aspect is echter in rivieren van belang. De analyse van licht (beschaduwung), koolstof en temperatuur is in rivieren niet zinvol. De genoemde tools voor deze aspecten zullen dus zelden in rivieren nuttig toegepast kunnen worden.

**TABEL 7 OVERZICHT TOOLS VOOR NADERE ANALYSE**

Nr	Naam	1. Licht	2. Droogval	3. Strooming	4. Substraat	5. Nutriënten	6. Koolstof	7. Verwijdering	8. Vegetatie als structuur	9. Zuurstof	10. Temperatuur	11. Blad en dood hout	12. Laterale connectiviteit
1	SHADE2	X											
2	SKK			X									
3	Model Pitlo en Griffioen			X									
4	Lijst van Hill	X				X	X						
5	ITEM					X							
6	Droogval		X										
7	AqMaD					X	X						
8	Model Johnson & Wilby	X									X		

---

## 6.1 TOOL 1: SHADE2

Te gebruiken bij aspect: licht.

SHADE2 is gepubliceerd in Li *et al* (2012). Het model SHADE berekent het percentage van het wateroppervlak dat beschaduwd wordt (dus niet direct door de zon beschenen wordt) door oevers en oevervegetatie, als functie van datum, tijd, locatie, beek/ riviergeometrie, n vegetatie-karakteristieken.

De formule is:

$$r = \frac{B_L + B_R + S_L * D_L + S_R * D_R}{W}$$

waarin (zie ook [Figuur 5](#)):

r = percentage beschaduwing (%)

BL = breedte van beschaduwing door linker oever (m)

BR = breedte van beschaduwing door rechter oever (m)

SL = breedte van beschaduwing door vegetatie op linker oever (m)

SR = breedte van beschaduwing door vegetatie op rechter oever (m)

DL = kroondichtheid van de vegetatie op linker oever

DR = kroondichtheid van vegetatie op rechter oever

W = breedte van de watergang

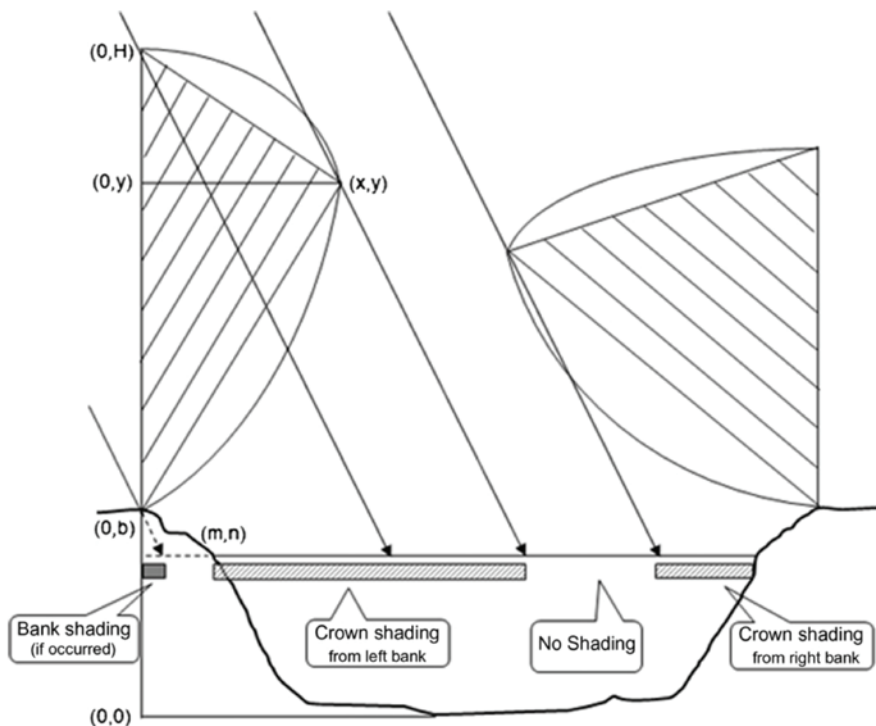
## 6.2 TOOL 2: SKK

Te gebruiken bij aspect: stroming

Een alternatieve manier om te bepalen of waterplanten, en zo ja welke soorten, voor kunnen komen in beken en rivieren is door het berekenen van de specifieke stroomkracht (SSK). Hierbij geldt dat vanaf circa 350 W m<sup>2</sup> zich nauwelijks waterplanten ontwikkelen en boven 100 W m<sup>2</sup> ontwikkelen sommige type waterplanten zich, maar dan in lage bedekkingen (O'hare, J *et al.* 2011) (zie box 1). Abundante plantengroei komt vooral voor bij een extreem lage SSK (0 - 10 W m<sup>2</sup>) (Gurnell *et al.* 2010).

**FIG 5 PARAMETERS VOOR HET MODEL SCHADE2**

(Li et al, 2012) Voor de model-algoritmen: zie Bijlage 2.



De berekeningen voor de SKK zijn als volgt:

Totale stroomkracht wordt gedefinieerd als:

$$\Omega = QS$$

waarbij:

$\Omega$  = totale stroomkracht per lengte-eenheid van watergang ( $W m^{-1}$ )

= soortelijk gewicht van water ( $9807 N m^{-3}$ )

$Q$  = afvoer ( $m^3 s^{-1}$ )

$S$  = energie gradiënt ( $m m^{-1}$ )



---

(Knighton, 1999; Lawler *et al.*, 1999; Barker *et al.*, 2009). We chose the median annual maximum flood peak, QMED (i.e. the 1 in 2 year flood) as a characteristic high flow at which to calculate stream power. It is particularly suitable because of the link between ‘dominant discharge, most effective discharge and bankfull discharge, with a supposed recurrence interval of about 1–2 years’ (Knighton, 1999, p 164). It is preferred as an index flood over other alternatives such as mean annual maximum flood as it is a more stable index, less affected by the presence of extreme values in the dataset

In order to standardize stream power across stream channels of different size, we calculated unit or SSK across the bankfull channel width as our characteristic measure of stream energy:

$$= \Omega W^{-1}$$

Waarbij:

= specifieke stroomkracht of SSK ( $W m^{-2}$ )

$\Omega$  = totale stroomkracht per lengte-eenheid van watergang ( $W m^{-1}$ )

$W$  = the bankfull width of the channel (m)

### 6.3 TOOL 3: MODEL PITLO EN GRIFFIOEN

Te gebruiken bij aspect: stroming.

Recentelijk is door de STOWA het al langer bestaande model van Pitlo en Griffioen gepubliceerd (Griffioen, 2017). Met dit model kan het peilverloop in begroeide watergangen berekend worden. Het peilverloop is in dit model een functie van de afmetingen van de waterloop, het debiet, het (stuw)peil aan de benedenstroomse zijde en de soort en de mate van begroeiing. Daarnaast kunnen de effecten berekend worden van een aantal onderhoudsingrepen zoals het geheel schonen van de waterloop, het maaien van een baan en het eenzijdig maaien van de watergang (Griffioen, 2017).

Op de website van de STOWA is de handleiding te downloaden, alsmede een Excel-tabel waarmee de berekeningen uitgevoerd kunnen worden.

---

#### 6.4 TOOL 4: LIJST VAN HILL

Te gebruiken bij aspect licht, nutriënten en koolstof (zuurgraad).

Ellenberg *et al.* (1991) publiceerden een lijst met indexwaarden voor macrofyten; voor de milieufactoren licht, temperatuur, zee/continent, vocht, zuurgraad, stikstof, zout en resistentie voor zware metalen. Helaas is deze lijst voor waterplanten weinig differentiërend. Hill *et al.* (1999) hebben de indexen van Ellenberg aangepast voor de Britse eilanden. Deze aanpassingen sluiten, met name voor veel waterplanten, vaak beter aan bij de Nederlandse omstandigheden.

De waarden zijn, althans voor waterplanten, vooral geschikt als index voor trofiegraad, ondanks dat deze uitgaat van stikstof, terwijl fosfor vaak de groeibeperkende factor is in beken, en voor zuurgraad. De index is goed bruikbaar door waarden voor de aangetroffen soorten in een beek te middelen.

De volledige lijst met indicatieve waarden is te vinden in Hill *et al.* (1999). Een selectie van deze lijst, namelijk alleen de waterplanten, is gegeven in [Bijlage 3](#). In deze bijlage staan ook de indicatieve waarden van soorten voor de tools 5 (ITEM) en 6 (droogval) weergegeven. De tabel is als los Excel-bestand te downloaden.

#### 6.5 TOOL 5: ITEM

Te gebruiken bij aspect: nutriënten.

Birk *et al.* (2007) hebben een lijst met indicatieve waarden voor plantensoorten ontwikkeld. Deze lijst is (ITEM; Index of Trophy for European Macrophytes) ontwikkeld op basis van meerdere beoordelingsmethoden die in centraal Europa zijn ontwikkeld in het kader van de KRW voor beken en kleine rivieren. De waarden voor de soorten zijn geheel gebaseerd op trofiegraad die de soorten indiceren en daarmee impliciet de waterkwaliteit. Nadien zijn ook andere aspecten betrokken in de onderlinge vergelijking van de beoordelingsmethoden voor waterkwaliteit van de deelnemende lidstaten (intercalibratie). ITEM is goed bruikbaar als indicatie voor de trofiegraad door de ITEM-waarde van aangetroffen soorten in een beek te middelen.

De volledige lijst met indicatieve waarden is te vinden in Birk *et al.* (2007). Een selectie van deze lijst, namelijk alleen de waterplanten, is gegeven in [Bijlage 3](#). In

---

deze bijlage staan ook de indicatieve waarden van soorten voor de tools 4 (Hill) en 6 (droogval). De tabel is als los Excel-bestand te downloaden.

### 6.6 **TOOL 6: DROOGVAL**

Gebaseerd op onderzoek in het IJsselmeer en het Markermeer is door Deltares de gevoeligheid van ca. 30 plantensoorten voor droogval bepaald (Wortelboer, 2017). Voor voorliggende rapportage is deze lijst uitgebreid tot in totaal 170 soorten. Deze lijst met gevoeligheid van soorten voor droogval is weergegeven in 0Bijlage 3. In deze bijlage zijn ook de indicatieve waarde van de soorten voor de tools 4 (Hill) en 5 (ITEM) weergegeven. De tabel is als los Excel-bestand te downloaden.

### 6.7 **TOOL 7: AQMAD**

Te gebruiken bij aspect: nutriënten en koolstof.

Onderstaande tekst is overgenomen van de website van de STOWA.

AqMaD is een rekenmodel gebaseerd op MS Excel voor diagnose van waterkwaliteits- en inrichtingsproblemen. AqMaD vergelijkt de aanwezige vegetatie met het gekozen referentiebeeld (KRW- watertype) voor een bepaald waterlichaam. Deze vergelijking tussen soorten die aanwezig zijn en soorten van het referentiebeeld gebeurt in termen van milieufactoren. Het huidige milieu (de biotoop voor de aanwezige planten) wordt vergeleken met het gewenste milieu (de gewenste biotoop). 'Het milieu' wordt in het model beschreven aan de hand van meer dan dertig fysische en chemische parameters.

AqMaD identificeert knelpunten van een waterlichaam door de eisen van de aangetroffen water- en/of oeverplanten te vergelijken met de eisen van de referentievegetatie. Deze referentievegetatie kan een KRW-type zijn, maar ook een soortenlijst die de gebruiker zelf kan samenstellen.

#### **Twee modellen**

AqMaD bestaat uit twee modellen: AqMaD en AqMaD-Respons.

AqMaD kan voor de volgende toepassingen worden gebruikt:

- Het identificeren van fysische en chemische knelpunten in een waterlichaam

---

aan de hand van de soortensamenstelling van water- en oeverplanten. Dit biedt de mogelijkheid om mogelijke oorzaken op te sporen en gericht maatregelenpakketten op te stellen.

- Het monitoren van de effecten van genomen maatregelen (worden knelpunten inderdaad opgelost en komen er geen nieuwe knelpunten voor in de plaats?).

AqMaD-Respons kan van een groot aantal milieuvariabelen zogeheten responscurves berekenen. Hierbij zijn de volgende toepassingen mogelijk:

- Bepalen welk percentage van het gewenste referentiebeeld bereikt kan worden bij een bepaalde zomergemiddelde waarde van de betreffende variabele.
- Aanpassen van het referentiebeeld (bijvoorbeeld een andere soortensamenstelling kiezen voor het GEP), zodanig dat het nieuwe referentiebeeld niet onhaalbaar wordt als gevolg van onomkeerbare knelpunten in het watersysteem.

Op de website van de STOWA is de laatste versie van AqMaD te downloaden.

## 6.8 TOOL 8: MODEL JOHNSON & WILBY

Te gebruiken voor aspect temperatuur in combinatie met licht (beschaduwning).

Met dit model (Johnson & Wilby 2015) kan het effect van beschaduwning op de temperatuur van het water berekend worden.

Onderstaande tekst is uit Johnson & Wilby (2015).

*Shade maps were produced using the solar radiation function of Fu and Rich [2002], which uses global standard solar geometry equations to calculate solar radiation receipt across a DEM, based on site latitude and longitude, date, time of day, and slope angle. Calculation resolution was set to 14 days with the visible sky (skysize) divided into 512 discrete solar regions, which was deemed sufficient for monthly, catchment-scale radiation maps (see Fu & Rich, 2002 for more details).*



---

# BIJLAGEN

---

## BIJLAGE 1 LITERATUUR

---

- van Altena, C., E.S. Bakker, J.J. Kuiper & W.M. Mooij, 2016. The impact of bird herbivory on macrophytes and the resilience of the clear-water state in shallow lakes: a model study. *Hydrobiologia* 777(1): 197-207.
- Baatrup-Pedersen, A., S.E. Larsen & T. Riis, 2002. Long-term effects of stream management on plant communities in two Danish lowland streams. *Hydrobiologia* 481(1): 33-45.
- Baatrup-Pedersen, A., E. Göthe, T. Riis & M.T. O'Hare, 2016. Functional trait composition of aquatic plants can serve to disentangle multiple interacting stressors in lowland streams. *Science of the Total Environment* 543: 230-238.
- Bakker, E.S., R. Arthur & T. Alcoverro, 2016. Assessing the role of large herbivores in the structuring and functioning of freshwater and marine angiosperm ecosystems. *Ecography* 39(2): 162-179.
- Bakker, E.S., K.A. Wood, J.F. Pagès, G.C. Veen, M.J. Christianen, L. Santamaría, B.A. Nolet & S. Hilt, 2016. Herbivory on freshwater and marine macrophytes: A review and perspective. *Aquatic Botany* 135: 18-36.
- Bal, K.D., T.J. Bouma, K. Buis, E. Struyf, S. Jonas, H. Backx & P. Meire, 2011. Trade off between drag reduction and light interception of macrophytes: comparing five aquatic plants with contrasting morphology. *Functional Ecology* 25(6): 1197-1205.
- Barnes, J.B., I.P. Vaughan & S.J. Ormerod, 2013. Reappraising the effects of habitat structure on river macroinvertebrates. *Freshwater Biology* 58(10): 2154-2167.
- Barrat-Segretain, M.-H. & B. Cellot, 2007. Response of invasive macrophyte species to drawdown: The case of *Elodea* sp. *Aquatic Botany* 87(4): 255-261.
- Besselink, D., D. Logeman, H. van de Werfhorst, A. Jansen & B. Reeze (2017). Handboek ecohydrologische systeemanalyse beekdallandschappen. STOWA-rapport 2017-05
- Birk, S., N. Willby, C. Chauvin, H. Coops, L. Denys, D. Galoux, A. Kolada, K. Pall, I. Pardo, R. Pot, D. Stelzer (2007): Report on the Central Baltic River GIG Macrophyte Intercalibration Exercise. ANNEX I.
- Bornette, G. & S. Puijalón, 2011. Response of aquatic plants to abiotic factors: a review. *Aquatic Sciences* 73(1): 1-14.
- Brouwer J.H.F., J.P.C. Eekhout, A.A. Besse-Lototskaya, A.J.F. Hoeitink, C.J.F. ter Braak,

- 
2017. Flow thresholds for leaf retention in hydrodynamic wakes downstream of obstacles. *Ecohydrology*, June 2017.
- Browne, G., P. De Kwaadsteniet, G. Schmidt & J. Van Kempen (2016). Werken aan klimaatbestendige beken – Wat is het effect van beekbegeleidende beplanting op beektemperatuur? H2O online.
- Chambers, P., E. Prepas, H. Hamilton & M. Bothwell, 1991. Current velocity and its effect on aquatic macrophytes in flowing waters. *Ecological Applications* 1(3): 249-257.
- DeWalle, D.R., 2010. Modeling stream shade: riparian buffer height and density as important as buffer width. *JAWRA Journal of the American Water Resources Association* 46(2): 323-333.
- Dugdale, S.J., I.A. Malcolm, K. Kantola & D.M. Hannah, 2018. Stream temperature under contrasting riparian forest cover: Understanding thermal dynamics and heat exchange processes. *Science of The Total Environment* 610: 1375-1389.
- Elbersen, J.W.H., P.F.M. Verdonchot, B. Roels & J.G. Hartholt (2003). Definitiestudie Kaderrichtlijn Water (KRW). I. Typologie Nederlandse oppervlaktewateren. Alterra-rapport 669.
- Ellenberg, H.; Weber, H.E.; Duell, R.; Wirth, V.; Werner, W. & Paulissen, D., 1991: Zeigerwerte von Pflanzen in Mitteleuropa. *Scripta Geobotanica* 18, 1-248.
- Everall, N.C., A. Farmer, A.F. Heath, T.E. Jacklin & R.L. Wilby, 2012. Ecological benefits of creating messy rivers. *Area* 44(4): 470-478.
- Franklin, P., M. Dunbar & P. Whitehead, 2008. Flow controls on lowland river macrophytes: a review. *Science of the Total Environment* 400(1): 369-378.
- Garner, G., I.A. Malcolm, J.P. Sadler & D.M. Hannah, 2017. The role of riparian vegetation density, channel orientation and water velocity in determining river temperature dynamics. *Journal of Hydrology*.
- Griffioen, C. (2017). Peilverloop in begroede watergangen. Handleiding spreadsheet tool voor het rekenen met het model van Pitlo en Griffioen. STOWA-rapport 2017-43.
- Grutters, B., Y.O. Roijendijk, W.C. Verberk & E.S. Bakker, 2017. Plant traits and plant biogeography control the biotic resistance provided by generalist herbivores. *Functional Ecology*.
- Grutters, B.M., B.J. Pollux, W.C. Verberk & E.S. Bakker, 2015. Native and non-native plants provide similar refuge to invertebrate prey, but less than artificial plants. *PLoS One* 10(4): e0124455.
- Gurnell, A., J. O'Hare, M. O'Hare, M. Dunbar & P. Scarlett, 2010. An exploration of

- 
- associations between assemblages of aquatic plant morphotypes and channel geomorphological properties within British rivers. *Geomorphology* 116(1): 135-144.
- Haye, M.A.A. de la, 1994. De invloed van stroomsnelheid op de aangroei van bentische algen en de aanhechting van Maasslib op kunstmatig substraat in stroomgoten. Report of the project “ Ecological Rehabilitatief of the River Meuse” EHM nr 19-1994. Aquasense.
- Hill, M.O.; Mouwntford, J.O.; Roy, D.B.; Bunce, R.G.H., 1999: Ellenberg’s indicator values for British plants. ECOFACT Volume 2 Technical Annex. Huntingdon, Institute of Terrestrial Ecology, 46pp.
- Hinojosa-Garro, D., C.F. Mason & G.J. Underwood, 2010. Influence of macrophyte spatial architecture on periphyton and macroinvertebrate community structure in shallow water bodies under contrasting land management. *Fundamental and Applied Limnology/Archiv für Hydrobiologie* 177(1): 19-37.
- Janauer, G.A., U. Schmidt-Mumm & B. Schmidt, 2010. Aquatic macrophytes and water current velocity in the Danube River. *Ecological Engineering* 36(9): 1138-1145.
- Jansson, R., H. Laudon, E. Johansson & C. Augspurger, 2007. The importance of groundwater discharge for plant species number in riparian zones. *Ecology* 88(1): 131-139.
- Johnson, M.F. & R.L. Wilby, 2015. Seeing the landscape for the trees: Metrics to guide riparian shade management in river catchments. *Water Resources Research* 51(5): 3754-3769.
- Kail, J., D. Hering, S. Muhar, M. Gerhard & S. Preis (2007). The use of large wood in stream restauration: experiences from 50 projects in Germany and Austria. *Journal of Applied Ecology* 44 (200): 1145-1155.
- Kalny, G., G. Laaha, A. Melcher, H. Trimmel, P. Weihs & H.P. Rauch, 2017. The influence of riparian vegetation shading on water temperature during low flow conditions in a medium sized river. *Knowledge & Management of Aquatic Ecosystems*.(418): 5.
- Keruzoré, A.A. & N.J. Willby, 2014. Avoidance of hydrological disturbance by aquatic vegetation in the floodplain of a large upland river. *Aquatic botany* 116: 19-26.
- Kristensen, PB, EA Kristensen, T Riis, AJ Baisner, SE Larsen, PFM Verdonschot & A Baatrup-Pedersen (2013). Riparian forest as a management tool for moderating future thermal conditions of lowland temperate streams. *Hydrology and*



- 
- Earth's System Sciences Discussions, 10: 6081-6106.
- Leuven, R., A. Hendriks, M. Huijbregts, H. Lenders, J. Matthews & G.V.D. Velde, 2011. Differences in sensitivity of native and exotic fish species to changes in river temperature. *Current Zoology* 57(6): 852-862.
- Liefveld, W.M., M. Dorenbosch, N. Van Kessel & A.G. Klink. Evaluatie pilot rivierhout (2017). Effecten op vis, macrofauna en bodem (2014-2016). Rijkswaterstaat Oost Nederland.
- Lucassen, E., P. Munckhof, A. Smolders & J. Roelofs, 2010. Mogelijkheden tot herstel drijvende waterweegbree.
- Madsen, J.D., P.A. Chambers, W.F. James, E.W. Koch & D.F. Westlake, 2001. The interaction between water movement, sediment dynamics and submersed macrophytes. *Hydrobiologia* 444(1): 71-84.
- McAbendroth, L., P. Ramsay, A. Foggo, S. Rundle & D. Bilton, 2005. Does macrophyte fractal complexity drive invertebrate diversity, biomass and body size distributions? *Oikos* 111(2): 279-290.
- Merritt, D.M., M.L. Scott, P. LeROY, G.T. Auble & D.A. Lytle, 2010. Theory, methods and tools for determining environmental flows for riparian vegetation: riparian vegetation flow response guilds. *Freshwater Biology* 55(1): 206-225.
- O'hare, J., M. O'hare, A. Gurnell, M. Dunbar, P. Scarlett & C. Laize, 2011. Physical constraints on the distribution of macrophytes linked with flow and sediment dynamics in British rivers. *River Research and Applications* 27(6): 671-683.
- O'Hare, M.T., 2015. Aquatic vegetation—a primer for hydrodynamic specialists. *Journal of Hydraulic Research* 53(6): 687-698.
- O'HARE, M.T., R.A. Stillman, J. McDonnell & L.R. Wood, 2007. Effects of mute swan grazing on a keystone macrophyte. *Freshwater Biology* 52(12): 2463-2475.
- Puijalón, S., T.J. Bouma, C.J. Douady, J. van Groenendael, N.P. Anten, E. Martel & G. Bornette, 2011. Plant resistance to mechanical stress: evidence of an avoidance–tolerance trade off. *New Phytologist* 191(4): 1141-1149.
- Riis, T. & B.J. Biggs, 2003. Hydrologic and hydraulic control of macrophyte establishment and performance in streams. *Limnology and oceanography* 48(4): 1488-1497.
- Riis, T., A.M. Suren, B. Clausen & K. SAND JENSEN, 2008. Vegetation and flow regime in lowland streams. *Freshwater Biology* 53(8): 1531-1543.
- Ryan, D., J. Yearsley & M. Kelly Quinn, 2013. Quantifying the effect of semi natural riparian cover on stream temperatures: implications for salmonid habitat management. *Fisheries Management and Ecology* 20(6): 494-507.

- 
- Ryan, D.K. & M. Kelly Quinn, 2016. Riparian vegetation management for water temperature regulation: implications for the production of macroinvertebrate prey of salmonids. *Fisheries Management and Ecology* 23(6): 519-530.
- Sand-Jensen, K. & T.V. Madsen, 1991. Minimum light requirements of submerged freshwater macrophytes in laboratory growth experiments. *The Journal of Ecology*. 749-764.
- Sarneel, J.M., R.H. Janssen, W.J. Rip, I. Bender & E.S. Bakker, 2014. Windows of opportunity for germination of riparian species after restoring water level fluctuations: a field experiment with controlled seed banks. *Journal of Applied Ecology* 51(4): 1006-1014.
- Schultz, R. & E. Dibble, 2012. Effects of invasive macrophytes on freshwater fish and macroinvertebrate communities: the role of invasive plant traits. *Hydrobiologia* 684(1): 1-14.
- Sweeney, B.W. & J.D. Newbold, 2014. Streamside forest buffer width needed to protect stream water quality, habitat, and organisms: a literature review. *JAWRA Journal of the American Water Resources Association* 50(3): 560-584.
- Till, B. & A. Davy (2000). Riparian demonstration/Evaluation Project The Importance of Large Woody Debris in Sandy River Systems.
- Trust, W.T., 2016. Management of Riparian and Instream Vegetation.
- Van der Molen, D.T., R. Pot & C.H.M. Evers (red) (2013). Referenties en maatlatten voor natuurlijke watertypen voor de Kaderrichtlijn Water 2015-2021. STOWA-rapport 2012-31.
- Van der Molen, D.T., R. Pot, C.H.M. Evers, R. Buskens & F.C.J. van Herpen (red) (2013). Referenties en maatlatten voor overige wateren (geen KRW-waterlichamen). STOWA-rapport 2013-14.
- Van Vierssen, W., Hootsmans M.J.M. & Vermaat J.E. (eds), 1994. Lake Veluwe, a macrophyte-dominated system under eutrophication stress. *Geobotany* 21, Kluwer, The Netherlands. 480 pp.
- Vannote, R.L., G. W. Minshall, K.W. Cummins, J.R. Sedell & C.E. Cushing (1980). The River Continuum Concept. *Can. J. Fish. Aquat. Sci.* 37: 130-137.
- Verberk, W.C., I. Durance, I.P. Vaughan & S.J. Ormerod, 2016. Field and laboratory studies reveal interacting effects of stream oxygenation and warming on aquatic ectotherms. *Global change biology* 22(5): 1769-1778.
- Verbrugge, L.N., A.M. Schipper, M.A. Huijbregts, G. Van der Velde & R.S. Leuven, 2012. Sensitivity of native and non-native mollusc species to changing river water temperature and salinity. *Biological Invasions* 14(6): 1187-1199.

- 
- Verdonschot, P. (red.), 1995. Beken stromen. Leidraad voor ecologisch beekherstel. STOWA-rapport 95-03. WEW-rapport 06.
- Verdonschot, P., A. Besse, J. de Brouwer, J. Eekhout & R. Fraaije (2012). Beekdalbred hermeanderen: bouwstenen voor de "Leidraad voor innovatief beek- en beekdalherstel". STOWA-rapport 2012-36.
- Verdonschot, P.F.M., R.C.M. Verdonschot, B. Brugmans, A. Dees, M. Kits, M. Moeleker, J. de Hoog, M. Scheepens, I. Barten, D. Coenen, A. van Vugt & S. Roovers (2016). Kennisoverzicht kleinschalige maatregelen in Brabantse beken. STOWA, Amersfoort, STOWA-rapportnummer 2016-33.
- Verdonschot, R., H.E. Keizer vlek & P.F. Verdonschot, 2011. Biodiversity value of agricultural drainage ditches: a comparative analysis of the aquatic invertebrate fauna of ditches and small lakes. *Aquatic Conservation: Marine and Freshwater Ecosystems* 21(7): 715-727.
- Verdonschot, R.C., K. Didderen & P.F. Verdonschot, 2012. Importance of habitat structure as a determinant of the taxonomic and functional composition of lentic macroinvertebrate assemblages. *Limnologica-Ecology and Management of Inland Waters* 42(1): 31-42.
- Verdonschot, R., B. Brugmans, M. Scheepers, D. Coenen & P. Verdonschot (2016). Invloed van beekbegeleidende bomen op de ecologische kwaliteit van Noord-Brabantse beken. H2O
- Warfe, D., L. Barmuta & S. Wotherspoon, 2008. Quantifying habitat structure: surface convolution and living space for species in complex environments. *Oikos* 117(12): 1764-1773.
- Warfe, D.M. & L.A. Barmuta, 2004. Habitat structural complexity mediates the foraging success of multiple predator species. *Oecologia* 141(1): 171-178.
- Warfe, D.M. & L.A. Barmuta, 2006. Habitat structural complexity mediates food web dynamics in a freshwater macrophyte community. *Oecologia* 150(1): 141-154.
- Webb, B. & D. Crisp, 2006. Afforestation and stream temperature in a temperate maritime environment. *Hydrological Processes* 20(1): 51-66.
- Wolters, J.W., R.C.M. Verdonschot, J. Schoelynck, P.F.M. Verdonschot, P. Meire (2017). The role of macrophyte structural complexity and water flow velocity in determining the epiphytic macroinvertebrate community composition in a lowland stream. *Hydrobiologia*.
- Wood, K.A., R.A. Stillman, R.T. Clarke, F. Daunt & M.T. O'Hare, 2012. Understanding plant community responses to combinations of biotic and abiotic factors in

- 
- different phases of the plant growth cycle. *PLoS One* 7(11): e49824.
- Wood, K.A., R.A. Stillman, R.T. Clarke, F. Daunt & M.T. O'Hare, 2012. The impact of waterfowl herbivory on plant standing crop: a meta-analysis. *Hydrobiologia* 686(1): 157-167.
- Wood, K.A., R.A. Stillman, R.T. Clarke, F. Daunt & M.T. O'Hare, 2016. Water velocity limits the temporal extent of herbivore effects on aquatic plants in a lowland river. *Hydrobiologia*. 1-11.
- Wood, K.A., M.T. O'Hare, C. McDonald, K.R. Searle, F. Daunt & R.A. Stillman, 2017. Herbivore regulation of plant abundance in aquatic ecosystems. *Biological Reviews* 92(2): 1128-1141.
- Wood, K.A., R.A. Stillman, D. Wheeler, S. Groves, C. Hambly, J.R. Speakman, F. Daunt & M.T. O'Hare, 2013. Go with the flow: water velocity regulates herbivore foraging decisions in river catchments. *Oikos* 122(12): 1720-1729.
- Wortelboer, R. (2017). EKR-berekeningen voor de Rijswateren met behulp van milieufactoren. Uitwerking voor IJssel en Markermeer. Deltares.

---

## BIJLAGE 2 ALGORITMEN MODEL SHADE2

---

Onderstaande tekst is overgenomen uit Li *et al.* (2012).

### Model algorithms

From the model conceptualization it is apparent that the shadow model involved two sets of parameters. The first set of parameters consisted of those in the time domain that vary with time, including solar altitude and solar aspect. The second set of parameters consisted of those in the spatial domain that are site specific, including stream location (i.e. longitude and latitude), stream orientation angle, stream trapezoidal cross-section dimensions, stream width (active channel width), and vegetation heights (Figuur 5 and Figuur 6). The details of how to prepare and utilize these parameters to derive shadow lengths are described below.

### Solar altitude

The solar altitude angle was calculated using the following equation (Li, 2006),

$$\sin \psi = \sin \alpha \sin \beta - \cos \alpha \cos \beta \cos \omega \tau$$

where  $\psi$  is the solar altitude angle (rad),  $\alpha$  is the solar declination angle, negative for south hemisphere (rad),  $\beta$  is the site latitude, negative for south hemisphere (rad),  $\omega$  is the earth angular velocity (2 $\pi$ /day) and  $\tau$  is the true solar time (numerical day).

The above equation requires two time domain variables to be calculated: Solar declination  $\alpha$  and true solar time  $\tau$ .

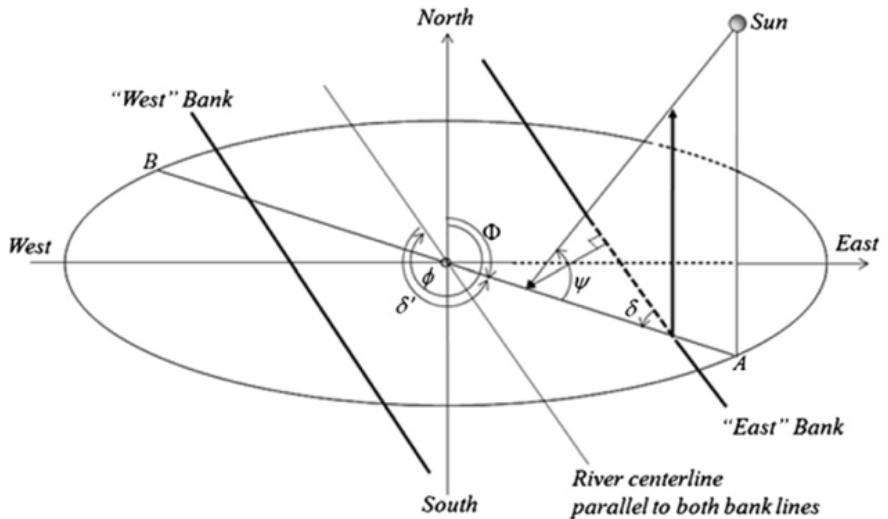
The solar declination was calculated as below (Bourges, 1985; Garg and Datta, 1993),

$$\alpha = 34,45 \frac{\pi}{180} \sin\left(\frac{2\pi(N + 284)}{365,25}\right)$$

where  $\alpha$  is in radians, and N is the day number of the year.

**FIG 6 ILLUSTRATION OF RIPARIAN VEGETATION SHADING OVER STREAM SURFACE**

Thick black lines represent channel banks; vertical arrow on east bank represents a tree; The orthogonal area from the east bank represents the effective tree shadow perpendicular to channel bank;  $\Psi$  is stream azimuth angle form true north;  $\Phi$  is solar azimuth angle form true north;  $\delta'$  is the difference between solar azimuth angle and stream azimuth angle ( $\delta' = \Phi - \psi$ );  $\delta$  is the acute angle between bank line and solar beam at horizontal plane. Note that “east”/“west” bank is a relative concept and is related to stream azimuth angle. It is defined so that (1) for azimuth = 0o, “east” bank is on the east site; (2) for azimuth = 90o, “east” bank is on the south side; (3) for azimuth = 180o, “east” bank is on the west site; (4) for azimuth = 270o, “east” bank is on the north side.



The true solar time,  $\tau$ , which is the time in a time reckoning system that the sun returns to the local meridian at exactly 12:00 noon, was computed by adding the Equation of Time (EOT) to the Mean Solar Time (MST):

$$\tau = MST + EOT$$

The MST is the average time as indicated by well-regulated clocks. For a specific given location, the MST was computed from the local clock time and the location longitude using following formula:

$$MST = T_{local\ clock\ time} + \frac{\lambda^{\circ} - TimeZone * 15^{\circ}}{361^{\circ}}$$

where MST and  $T_{local\ clock\ time}$  are in numerical day (e.g. 0 = 12:00 midnight, 0.5 = 12:00 noon, and etc.),  $\lambda$  is observed longitude of the location in degrees (negative for west hemisphere), Time Zone is the zone which the local clock time is based on (negative for west hemisphere), and 361 is the approximate rotation angle of the Earth in a day. If daylight saving time is in practice in the local clock time, simply add 1 zone to the time zone or subtract 1hr from the local clock time.

The EOT is the difference between the true solar time and the Mean Solar Time. The following commonly used formula was adopted (Garg and Prakash, 2000):

$$EOT = \frac{9.87 \sin 2B - 7.53 \cos B - 1.5 \sin B}{60 * 24}$$

where EOT is in numerical day,  $B = (2\pi/364) * (N - 81)$ , and N is the day number of the year.

### Solar azimuth

The solar azimuth, U, defined as clockwise from true north in radius (Figuur 6Figuur 6), was calculated using following equation (Li, 2006):

$$\phi = \frac{\pi}{2} \pm \arccos\left(\frac{\cos \alpha * \sin \omega \tau}{\cos \psi}\right)$$

The plus sign was used when the sun moves from azimuth 90 to azimuth 270, and minus sign used in the very early morning (<90 to 90) and late evening (270 to >270). In a rare case should the solar altitude W be exactly 90 or 270, a very small angle was added so that the above equation would still work.

### The angle between solar azimuth and stream orientation

The angle between solar azimuth and stream orientation (Figuur 6),  $d$  is to be used to derive the effective shadow length on the stream from the actual shadow length. While it seems to be simply the difference between the solar azimuth ang-

le and the stream orientation angle as indicated by  $\delta'$ , the proper handling of this included angle must be performed so that the model can tell whether the shadow is towards the river side (if  $\sin(\delta) > 0$ ) or the bank side (otherwise). The angle was handled as below.

For “east” bank shading:

Calculate the difference:  $\delta' = \alpha - \phi$ .

If  $\delta' < 0$ , then  $\delta = \pi + \text{mod}(|\delta'|, 2\pi)$ .

$\delta = \text{mod}(\delta, 2\pi)$ .

For “west” bank shading:

Reverse “east” bank  $\delta$ : If  $\delta < \pi$ ,  $\delta = \delta + \pi$ , otherwise,  $\delta = \delta - \pi$ .

### Shadow length

The effective shadow length of vegetation on one side of the stream can be calculated as below (refer to the solar beam line passing through point [0,H] in [Figuur 5](#)) where we let  $H_e$  denote the riparian vegetation height plus bank height above water surface,  $S_a$  the actual shadow length, and  $S_e$  the effective shadow length perpendicular to stream bank respectively:

$$S_e = S_a * \sin \delta = H_e * \cot \Psi * \sin \delta$$

Using the same method, the effective shadow length with overhanging crown (refer to the solar beam line passing through point [x,y] in [Figuur 5](#)) was also computed. The final effective shading length by riparian vegetation was the maximum of the two. Similarly, the bank shading, if it occurred, was based on the shadow length shown by the solar beam passing through point (0,b).



---

## BIJLAGE 3

### LIJST VAN HILL, ITEM EN DROOGVAL

---

Deze tabel hoort bij de tools 4 (Hill), 5 (ITEM) en 6 (droogval). De tabel is als los Excel-bestand te downloaden.

#### Toelichting:

- In de lijst zijn alleen waterplanten opgenomen.
- De bronnen zijn:
  - voor Hill: Hill *et al.* (1999)
  - voor ITEM: Birk *et al.* (2007)
  - voor droogval: Wortelboer (2017), aangevuld met expert kennis Rick Wortelboer en Gerben van Geest.
- De kolom KRW-NL geeft met een X aan of de soort voor soortensamenstelling een rol speelt op de maatlat van tenminste één KRW-type.
- De indicatieaarden van de lijst van Hill liggen op een schaal van 1 tot 9 met de volgende betekenissen:
  - bij licht: 1 = diepe schaduw, 9 = vol in het licht,
  - bij zuurgraad: 1 = zeer zuur, 9 = basisch,
  - bij stikstof: 1 = zeer schraal, 9 = zeer rijk.
- De waarden van ITEM liggen op een schaal van 1 tot 10 met de volgende betekenis: 1 = zeer lage trofiegraad, 9 = zeer hoge trofiegraad.
- Bij droogval worden vier situaties onderscheiden: nooit droogvallend (“geen”), kort, matig en lang droogvallend. Een 1 betekent dat de soort bij die situatie voor kan komen; een 0 betekent dat de soort niet bij die situatie voor kan komen. Een 0 bij “geen” betekent dat de soort verplicht moet droogvallen. Er worden in totaal zes maten voor gevoeligheid onderscheiden:

Geen	Kort	Matig	Lang	Betekenis
1	1	1	1	Verdraagt lang droogval
1	1	1	0	Verdraagt matig droogval
1	1	0	0	Verdraagt kort droogval
1	0	0	0	Verdraagt een droogval
0	1	1	1	Vereist kort droogval
0	0	1	1	Vereist matig droogval

Latijnse naam	Nederlandse naam	KRW-NL	Hill				Droogval				
			Licht	Zuurgraad	Silicof	Troefe (ITEM)	Geen	Kort	Matig	Lang	Omschrijving
Acorus calamus	Kalmoes	X	8	7	7	8,0	1	1	1	1	Facultatief lang
Aegopodium podagraria	Zevenblad	X	6	6	7						
Agrostis stolonifera	Fioringras	X	7	7	6	4,2	1	1	1	1	Facultatief lang
Alisma gramineum	Smalle waterweegbree	X	7	7	4		1	1	1	1	Facultatief lang
Alisma lanceolatum	Slanke waterweegbree	X	8	7	7	6,5	1	1	1	1	Facultatief lang
Alisma plantago-aquatica	Grote waterweegbree	X	7	7	7	6,1	1	1	1	1	Facultatief lang
Alnus glutinosa	Zwarte els	X	5	6	6						
Alopecurus geniculatus	Geknikte vossenstaart	X	8	7	5	5,6					
Angelica sylvestris	Gewone engelwortel	X	7	6	5						
Anthriscus sylvestris	Fluitenkruid	X	6	7	7						
Apium inundatum	Ondergedoken moerasscherm	X	7	6	4	3,2	1	1	1	1	Facultatief lang
Apium nodiflorum	Groot moerasscherm	X	7	6	4	6,3	1	1	1	1	Facultatief lang
Athyrium filix-femina	Wijfjesvaren	X	5	5	6						
Azolla filiculoides	Grote kroosvaren	X	7	8	8	7,6	1	0	0	0	Geen
Azolla mexicana	Kleine kroosvaren						1	0	0	0	Geen
Baldellia ranunculoides	Stijve moerasweegbree	X	8	6	2	4,6	1	1	1	0	Facultatief matig
Berula erecta	Kleine waterpeppe	X	7	7	7	6,1	1	1	1	1	Facultatief lang
Bidens tripartita	Veerdelig tandzaad	X	8	7	7						
Bolboschoenus maritimus	Heen	X	8	8	7	6,6	1	1	1	1	Facultatief lang
Brachythecium rivulare	Beekdikkopmos	X				2,9					
Butomus umbellatus	Zwanenbloem	X	7	7	7	6,8	1	1	1	1	Facultatief lang
Cabomba caroliniana	Waterwaaier						1	0	0	0	Geen
Calamagrostis canescens	Hennegras	X	7	7	5						
Calligonella cuspidata	Gewoon puntmos	X				3,0					
Callitriche brutia	Haaksterrenkroos	X	8	5	5	3,0	1	1	1	0	Facultatief matig
Callitriche cophocarpa	Gekield sterrenmos	X				5,2					
Callitriche hermaphroditica	Rond sterrenkroos						1	0	0	0	Geen
Callitriche obtusangula	Stomphoekig sterrenkroos	X	7	7	6	6,2	1	1	0	0	Facultatief kort
Callitriche palustris	Klein sterrenkroos						1	1	1	1	Facultatief lang
Callitriche platycarpa	Gewoon sterrenkroos	X	6	7	7	5,6	1	1	1	1	Facultatief lang
Callitriche species	Sterrenkroos (genus)						1	1	1	1	Facultatief lang
Callitriche stagnalis	Geveugeld sterrenkroos	X	7	6	6	5,1	1	1	1	1	Facultatief lang
Callitriche truncata	Doorschijnend sterrenkroos	X	7	7	7	6,0					
Caltha palustris	Gewone dotterbloem	X	7	6	4	3,6					
Cardamine amara	Bittere veldkers	X	6	7	6	4,5	1	1	1	1	Facultatief lang
Cardamine flexuosa	Bosveldkers	X	5	6	6						
Carex acuta	Scherme zegge	X	7	7	5	5,6					
Carex acutiformis	Moeraszegge	X	7	7	6	6,4					
Carex curta	Zompzegge	X	8	3	2						
Carex elata	Stijve zegge						0	1	1	1	Obligaat kort
Carex elongata	Eizenzegge	X	5	6	6						
Carex paniculata	Pluimzegge	X	6	6	6	5,7					
Carex pendula	Hangende zegge	X	5	7	6	5,9					
Carex pseudocyperus	Hoge cyperzegge	X	7	6	6	5,7					
Carex remota	Ijle zegge	X	4	6	6						
Carex riparia	Oeverzegge	X	7	7	7	6,7					
Carex rostrata	Snavelzegge	X	8	4	2	3,4	1	1	1	1	Facultatief lang
Carex vesicaria	Blaaszegge	X	8	5	4	4,1					
Catabrosa aquatica	Watergras	X	8	7	7	6,0	1	1	1	1	Facultatief lang
Ceratophyllum demersum	Grof hoornblad	X	7	7	7	8,4	1	0	0	0	Geen
Ceratophyllum submersum	Fijn hoornblad	X	7	8	8	8,2	1	0	0	0	Geen
Chara	Kransblad (genus)	X				3,2					
Chara globularis	Breekbaar kransblad					4,0	1	1	0	0	Facultatief kort
Chara hispida	Stekelharig kransblad						1	1	0	0	Facultatief kort
Chara vulgaris	Gewoon kransblad					4,2	1	1	0	0	Facultatief kort
Chiloscyphus polyanthos	Lippenmos	X				2,6					
Chrysosplenium alternifolium	Verspreidbladig goudveil	X	5	6	6						
Chrysosplenium oppositifolium	Paarbladig goudveil	X	5	5	5		0	1	1	1	Obligaat kort
Cicuta virosa	Waterscheerling	X	7	7	5	4,6	1	1	1	1	Facultatief lang
Cirsium palustre	Kale jonker	X	7	5	4						
Cladium mariscus	Galigaan						1	1	1	1	Facultatief lang
Comarum palustre	Wateraardbei	X	8	5	3	2,4	1	1	1	1	Facultatief lang
Cratoneuron filicinum	Gewoon diknerfmos	X				3,2					

Latijnse naam	Nederlandse naam	KRW-NL	Hill				Droogval				
			Licht	Zuurgraad	Stikstof	Trofie (ITEM)	Geen	Kort	Matig	Lang	Omschrijving
<i>Dryopteris carthusiana</i>	Smalle stekeelvaren	X	6	5	4						
<i>Dryopteris dilatata</i>	Brede stekeelvaren	X	5	4	5						
<i>Egeria densa</i>	Egeria						1	0	0	0	Geen
<i>Elatine hexandra</i>	Gesteeld glaskroos	X	7	5	4	3,5	1	1	1	1	Facultatief lang
<i>Eleocharis acicularis</i>	Naaldwaterbies	X	7	7	5	5,5	1	1	1	1	Facultatief lang
<i>Eleocharis multicaulis</i>	Veelstengelige waterbies	X	8	4	1	2,4	1	1	1	1	Facultatief lang
<i>Eleocharis palustris</i>	Gewone waterbies	X	8	6	4	4,3	1	1	1	1	Facultatief lang
<i>Eleocharis uniglumis</i>	Slanke waterbies						0	1	1	1	Obligaat kort
<i>Eleogiton fluitans</i>	Viottende bies	X	8	4	2	2,1	1	1	1	0	Facultatief matig
<i>Elodea canadensis</i>	Brede waterpest	X	7	7	6	6,0	1	0	0	0	Geen
<i>Elodea nuttallii</i>	Smalle waterpest	X	6	7	7	7,3	1	0	0	0	Geen
<i>Elodea</i>	Waterpest (genus)						1	0	0	0	Geen
<i>Epilobium hirsutum</i>	Harig wilgenroosje	X	7	7	7	6,7					
<i>Epilobium obscurum</i>	Donkergroene basterdwederik	X	6	5	5						
<i>Epilobium palustre</i>	Moerasbasterdwederik	X	7	5	3						
<i>Epilobium parviflorum</i>	Viltige basterdwederik	X	7	7	5						
<i>Equisetum arvense</i>	Heermoes	X	7	6	6						
<i>Equisetum fluviatile</i>	Holpijp	X	8	6	4	3,4	1	1	1	1	Facultatief lang
<i>Equisetum palustre</i>	Lidrus	X	7	6	3	4,6					
<i>Equisetum telmateia</i>	Reuzenpaardenstaart	X	6	7	6						
<i>Eriophorum angustifolium</i>	Veenpluis						0	0	1	1	Obligaat lang
<i>Eupatorium cannabinum</i>	Koninginnenkruid	X	7	6	7						
<i>Filipendula ulmaria</i>	Moerasspirea	X	7	6	5						
<i>Fissidens</i>	Vedermos (genus)	X				4,7					
<i>Fontinalis antipyretica</i>	Bronmos	X				4,9	1	0	0	0	Geen
<i>Galium palustre</i>	Moeraswalstro	X	7	5	4	3,1					
<i>Glechoma hederacea</i>	Hondsdrif	X	6	7	7						
<i>Glyceria fluitans</i>	Mannagras	X	7	6	6	4,1	1	1	1	1	Facultatief lang
<i>Glyceria fluitans</i> (beekvorm)	Mannagras						1	1	0	0	Facultatief kort
<i>Glyceria maxima</i>	Liesgras	X	7	7	8	8,1	1	1	1	1	Facultatief lang
<i>Glyceria maxima</i> (beekvorm)	Liesgras						1	1	1	0	Facultatief matig
<i>Glyceria notata</i>	Stomp vlotgras	X	7	6	7	6,6	1	1	1	1	Facultatief lang
<i>Groenlandia densa</i>	Paarbladig fonteinkruid	X	8	8	5	5,3	1	0	0	0	Geen
<i>Hippuris vulgaris</i>	Lidsteng	X	7	6	4	4,7	1	1	1	1	Facultatief lang
<i>Hottonia palustris</i>	Waterviolier	X	7	7	5	5,0	1	1	1	0	Facultatief matig
<i>Hydrocharis morsus-ranae</i>	Kikkerbeet	X	7	7	7	5,7	1	1	0	0	Facultatief kort
<i>Hydrocotyle ranunculoides</i>	Grote waternavel						1	1	1	1	Facultatief lang
<i>Hydrocotyle vulgaris</i>	Gewone waternavel	X	8	6	3	3,7	1	1	1	1	Facultatief lang
<i>Hydrodictyon reticulatum</i>	Waternetje						1	0	0	0	Geen
<i>Hypericum elodes</i>	Moerashertshooi	X	8	3	2	2,6	1	1	1	0	Facultatief matig
<i>Impatiens noli-tangere</i>	Groot springzaad	X	4	7	6						
<i>Iris pseudacorus</i>	Gele lis	X	7	6	6	5,3	1	1	1	1	Facultatief lang
<i>Isoetes echinospora</i>	Kleine biesvaren						1	1	0	0	Facultatief kort
<i>Isoetes lacustris</i>	Grote biesvaren						1	0	0	0	Geen
<i>Isolepis setacea</i>	Borstelbies	X	7	5	3						
<i>Juncus acutiflorus</i>	Veldrus	X	8	4	2	3,1					
<i>Juncus articulatus</i>	Zomprus	X	8	6	3	2,7	1	1	1	1	Facultatief lang
<i>Juncus bufonius</i>	Greppelrus	X	7	6	5						
<i>Juncus bulbosus</i>	Knolrus	X	7	4	2	1,8	1	1	1	0	Facultatief matig
<i>Juncus effusus</i>	Pitrus	X	7	4	4	3,4					
<i>Lemna gibba</i>	Bultkroos	X	7	7	8	8,4	1	0	0	0	Geen
<i>Lemna gibba</i> + <i>L. minor</i>	Bultkroos en Klein kroos						1	1	0	0	Facultatief kort
<i>Lemna minor</i>	Klein kroos	X	7	7	6	7,6	1	1	0	0	Facultatief kort
<i>Lemna minuta</i>	Dwergkroos	0				7,3	1	0	0	0	Geen
<i>Lemna trisulca</i>	Puntkroos	X	7	7	5	6,0	1	0	0	0	Geen
<i>Littorella uniflora</i>	Oeverkruid	X	8	5	3	3,2	1	1	1	0	Facultatief matig
<i>Lobelia dortmanna</i>	Waterlobelia						1	1	0	0	Facultatief kort
<i>Lotus pedunculatus</i>	Moerasrolklaver	X	7	6	4						
<i>Ludwigia palustris</i>	Waterlepelkje	X	8	4	4		0	1	1	1	Obligaat kort
<i>Luronium natans</i>	Drijvende waterweegbree	X	8	5	3	4,1	1	1	1	0	Facultatief matig
<i>Lychnis flos-cuculi</i>	Echte koekoeksbloem	X	7	6	4						
<i>Lycopus europaeus</i>	Wolfspoot	X	7	7	6	6,0					
<i>Lysimachia nummularia</i>	Penningkruid	X	5	5	5						

Latijnse naam	Nederlandse naam	KRW-NL	Hill				Droogval				Omschrijving	
			Licht	Zuurgraad	Stikstof	Trofie (ITEM)	Geen	Kort	Matig	Lang		
Lysimachia thyrsoiflora	Moeraswederik	X	8	4	3	4,1						
Lysimachia vulgaris	Grote wederik	X	7	7	5	5,6						
Lythrum hyssopifolia	Kleine kattenstaart	X	8	6	4							
Lythrum portula	Waterpostelein	X	8	5	3	4,5	0	1	1	1		Obligaat kort
Lythrum salicaria	Grote kattenstaart	X	7	7	5	5,9						
Mentha aquatica	Watermunt	X	7	7	5	5,3	0	1	1	1	1	Obligaat kort
Menyanthes trifoliata	Waterdrieblad						0	1	1	1		
Montia fontana	Groot bronkruid	X	7	5	3	3,0	1	1	1	1		Facultatief lang
Myosotis laxa	Zompvergeet-mij-nietje					4,0						
Myosotis scorpioides	Moerasvergeet-mij-nietje	X	7	6	6	5,6	1	1	1	1	1	Facultatief lang
Myrica gale	Wilde gagele	X	8	3	2							
Myriophyllum alterniflorum	Teer vederkruid	X	7	5	3	3,2	1	0	0	0	0	Geen
Myriophyllum aquaticum	Parelvederkruid						1	1	0	0	0	Facultatief kort
Myriophyllum spicatum	Aarvederkruid	X	7	7	7	6,9	1	1	0	0	0	Facultatief kort
Myriophyllum verticillatum	Kransvederkruid	X	7	7	7	5,4	1	0	0	0	0	Geen
Najas marina	Groot nimfkruid					7,5	1	0	0	0	0	Geen
Najas minor	Klein nimfkruid						1	0	0	0	0	Geen
Narthecium ossifragum	Beenbreek	X	7	6	5							
Nasturtium microphyllum	Slanke waterkers	X	7	7	6		1	1	1	1	1	Facultatief lang
Nasturtium officinale	Witte waterkers	X	7	7	7	5,1	1	1	1	1	1	Facultatief lang
Nitella	Glanswier (genus)					3,8						
Nitella flexilis	Buigzaam glanswier	X				3,9	1	1	0	0	0	Facultatief kort
Nitella mucronata	Puntdragend glanswier	X				5,4						
Nitelopsis obtusa	Sterkranswier						1	0	0	0	0	Geen
Nuphar lutea	Gele plomp	X	7	7	6	7,2	1	1	0	0	0	Facultatief kort
Nymphaea alba	Witte waterlelie	X	7	6	4	4,7	1	1	1	1	1	Facultatief matig
Nymphaea candida	Noordelijke waterlelie						1	0	0	0	0	Geen
Nymphoides peltata	Watergentiaan	X	8	7	6	6,6	1	1	1	1	1	Facultatief matig
Oenanthe aquatica	Watertorkruid	X	7	7	6	5,2	1	1	1	1	1	Facultatief lang
Oenanthe fistulosa	Pijptorkruid	X	7	7	6	6,6	1	1	1	1	1	Facultatief lang
Pellia epiphylla	Gewoon plakkaatmos	X				3,0						
Persicaria amphibia	Veenwortel	X	7	6	6	6,4	1	1	1	1	1	Facultatief lang
Persicaria hydropiper	Waterpeper	X	7	6	6	6,1	1	1	1	1	1	Facultatief lang
Persicaria minor	Kleine duizendknoop	X	7	5	8							
Persicaria mitis	Zachte duizendknoop	X				5,5						
Peucedanum palustre	Melkpeper	X	7	7	5	5,4						
Phalaris arundinacea	Rietgras	X	7	7	7	6,7	1	1	1	1	1	Facultatief lang
Phragmites australis	Riet	X	7	7	6	6,2	1	1	1	1	1	Facultatief lang
Pilularia globulifera	Pilvaren	X	8	4	2		1	1	1	1	1	Facultatief lang
Potamogeton acutifolius	Spits fonteinkruid					5,2	1	0	0	0	0	Geen
Potamogeton alpinus	Rossig fonteinkruid	X	7	6	5	3,7	1	1	0	0	0	Facultatief kort
Potamogeton berchtoldii	Klein fonteinkruid	X	7	6	5	5,9	1	0	0	0	0	Geen
Potamogeton coloratus	Weegbreefonteinkruid						1	1	0	0	0	Facultatief kort
Potamogeton compressus	Plat fonteinkruid	X	7	7	4	6,9	1	0	0	0	0	Geen
Potamogeton crispus	Gekroesd fonteinkruid	X	7	7	6	7,1	1	0	0	0	0	Geen
Potamogeton gramineus	Ongelijkbladig fonteinkruid	X	7	6	3	3,8	1	1	0	0	0	Facultatief kort
Potamogeton lucens	Glanzig fonteinkruid	X	7	6	6	6,8	1	0	0	0	0	Geen
Potamogeton lucens x perfoliatus	Wilgfonteinkruid						1	0	0	0	0	Geen
Potamogeton mucronatus	Puntig fonteinkruid	X	7	7	5	6,7	1	0	0	0	0	Geen
Potamogeton natans	Drijvend fonteinkruid	X	7	6	4	5,1	1	1	0	0	0	Facultatief kort
Potamogeton nodosus	Rivierfonteinkruid	X	6	8	5	7,5	1	1	0	0	0	Facultatief kort
Potamogeton obtusifolius	Stomp fonteinkruid					5,3	1	0	0	0	0	Geen
Potamogeton pectinatus	Schedefonteinkruid	X	6	7	7	8,5	1	0	0	0	0	Geen
Potamogeton perfoliatus	Doorgroeid fonteinkruid	X	7	6	5	6,3	1	0	0	0	0	Geen
Potamogeton polygonifolius	Duizendknoopfonteinkruid	X	8	4	2	1,7	1	1	1	1	0	Facultatief matig
Potamogeton praelongus	Langstengelig fonteinkruid	X	7	7	5	5,2	1	0	0	0	0	Geen
Potamogeton pusillus	Tenger fonteinkruid	X	7	7	6	6,2	1	0	0	0	0	Geen
Potamogeton trichoides	Haarfonteinkruid	X	6	7	6	7,0	1	0	0	0	0	Geen
Potamogeton x fluitans	Vlottend fonteinkruid						1	0	0	0	0	Geen
Potamogeton x zizii	Gegolfd fonteinkruid	X					1	0	0	0	0	Geen
Primula elatior	Slanke sleutelbloem	X	4	7	6							
Ranunculus aquatilis	Fijne waterranonkel	X	7	7	5	5,1	1	1	1	1	0	Facultatief matig

Latijnse naam	Nederlandse naam	KRW-NL	Hill				Droogval				Omschrijving
			Licht	Zuurgraad	Stikstof	Trofie (TEM)	Geen	Kort	Matig	Lang	
Ranunculus aquatilis v. diffusus	Kleine wateranonkel						1	1	1	0	Facultatief matig
Ranunculus baudotii	Zilte wateranonkel						1	1	1	1	Facultatief lang
Ranunculus circinatus	Stijve wateranonkel	X	7	7	7	6,5	1	1	1	0	Facultatief matig
Ranunculus flammula	Egelboterbloem	X	7	5	3	2,9	1	1	1	1	Facultatief lang
Ranunculus fluitans	Viottende wateranonkel	X	7	7	6	5,6	1	0	0	0	Geen
Ranunculus hederaceus	Klimopwateranonkel	X	7	5	5	4,7	1	1	1	1	Facultatief lang
Ranunculus lingua	Grote boterbloem	X	7	6	7	4,6	1	1	1	1	Facultatief lang
Ranunculus ololeucos	Witte wateranonkel	X				1,9	1	1	1	0	Facultatief matig
Ranunculus peltatus	Grote wateranonkel	X	7	5	6	5,4	1	1	1	0	Facultatief matig
Ranunculus peltatus v. heterophyllus	Penseelbladige wateranonkel	X	7	8	5	5,8	1	1	1	0	Facultatief matig
Ranunculus peltatus v. peltatus	Grote wateranonkel (var. peltatus)						1	1	1	0	Facultatief matig
Ranunculus repens	Kruipende boterbloek	X	6	6	7						
Ranunculus sceleratus	Blaartrekkende boterbloem	X	8	8	8	7,8	1	1	1	1	Facultatief lang
Ranunculus tripartitus	Driedelige wateranonkel						1	1	1	1	Facultatief lang
Riccia fluitans	Watervorkje					6,0	1	0	0	0	Geen
Rorippa amphibia	Gele waterkers	X	8	7	8	7,0	1	1	1	1	Facultatief lang
Rorippa palustris	Moeraskers	X	8	7	7	5,9					
Rumex hydrolapathum	Waterzuring	X	7	7	6	6,6	1	1	1	1	Facultatief lang
Rumex palustris	Moeraszuring	X	7	7	8						
Ruppia cirrhosa	Spiraalruppia						1	0	0	0	Geen
Ruppia maritima	Snavelruppia						1	0	0	0	Geen
Sagittaria sagittifolia	Pijlkruid	X	7	7	6	7,4	1	1	1	0	Facultatief matig
Sagittaria sagittifolia f. vallisneriifolia	Pijlkruid						1	0	0	0	Geen
Salvinia natans	Kleine vlotvaren						1	0	0	0	Geen
Schoenoplectus lacustris	Mattenbies	X	8	7	6	6,6	1	1	1	1	Facultatief lang
Schoenoplectus pungens	Stekende bies	X	8	7	7						
Schoenoplectus tabernaemontani	Ruwe bies	X	9	8	7	6,0	1	1	1	1	Facultatief lang
Schoenoplectus triquetet	Driekantige bies	X	8	7	7		1	1	1	1	Facultatief lang
Scirpus sylvaticus	Bosbies	X	6	6	6						
Sium latifolium	Grote waterpeppe	X	7	7	7	4,8	1	1	1	1	Facultatief lang
Solanum dulcamara	Bitterzoet	X	7	7	7	6,5					
Sparganium angustifolium	Drijvende egelskop						1	1	0	0	Facultatief kort
Sparganium emersum	Kleine egelskop	X	7	7	6	6,8	1	1	1	0	Facultatief matig
Sparganium erectum	Grote egelskop	X	7	7	7	7,1	1	1	1	1	Facultatief lang
Sparganium natans	Kleinste egelskop						1	1	0	0	Facultatief kort
Spirodela polyrhiza	Veelwortelig kroos	X	7	7	7	7,7	1	1	0	0	Facultatief kort
Stachys palustris	Moerasandoorn	X	7	7	7	6,8					
Stellaria holostea	Grote muur	X	5	6	6						
Stellaria uliginosa	Moerasmuur	X	7	5	5						
Stratiotes aloides	Krabbenscheer	X	7	7	6	5,7	1	0	0	0	Geen
Subularia aquatica	Priemkruid						1	0	0	0	Geen
Thelypteris palustris	Moerasvaren	X	6	7	5						
Typha	Lisdodde (genus)						1	1	1	0	Facultatief matig
Typha angustifolia	Kleine lisdodde	X	8	7	7	6,9	1	1	1	1	Facultatief lang
Typha latifolia	Grote lisdodde	X	8	7	7	7,4	1	1	1	1	Facultatief lang
Urtica dioica	Grote brandnetel	X	6	7	8						
Utricularia australis	Loos blaasjeskruid						1	1	1	0	Facultatief matig
Utricularia australis + U. vulgaris	Loos en Groot blaasjeskruid						1	1	1	0	Facultatief matig
Utricularia intermedia	Plat blaasjeskruid						1	0	0	0	Geen
Utricularia minor	Klein blaasjeskruid						1	1	1	0	Facultatief matig
Utricularia ochroleuca	Bleekgeel blaasjeskruid						1	0	0	0	Geen
Utricularia vulgaris	Groot blaasjeskruid	X	7	7	4	4,8	1	0	0	0	Geen
Valeriana dioica	Kleine valeriaan	X	8	6	3						
Valeriana officinalis	Echte valeriaan	X	6	6	5						
Vallisneria spiralis	Vallisneria						1	0	0	0	Geen
Veronica anagallis-aquatica	Blauwe waterereprijs	X	7	7	7	5,8	1	1	1	1	Facultatief lang
Veronica beccabunga	Beekpunge	X	7	6	6	5,6	1	1	1	1	Facultatief lang
Veronica catenata	Rode waterereprijs	X	8	7	8	6,2	1	1	1	1	Facultatief lang
Viola palustris	Moerasviooltje	X	7	3	2						
Wolffia arrhiza	Wortelloos kroos					7,2	1	0	0	0	Geen
Zannichellia palustris	Zannichellia	X	7	8	7	7,9	1	0	0	0	Geen
Zannichellia	Zannichellia (genus)						1	0	0	0	Geen

---

## BIJLAGE 4 CASE DRENTSE AA

---

De ontwikkelde systematiek voor de ESF's bufferzone en waterplanten is uitgeprobeerd in een case-studie. Daarvoor is de oostelijke tak van de Drentse Aa geselecteerd. Van boven- naar benedenstrooms vallen hier onder: Andersche Diep, Rolderdiep en Gasterense Diep, tot aan samenvloeiing met Taarlosche Diep.

Eerst wordt een algemene beschrijving van deze beek gegeven. Daarna volgt een overzicht van aangeleverde basisgegevens. Vervolgens worden de twaalf aspecten gerelateerd aan ESF's bufferzone en waterplanten geanalyseerd. Tenslotte vindt een synthese plaats, waarbij eindconclusies over de ESF's bufferzone en waterplanten worden getrokken.

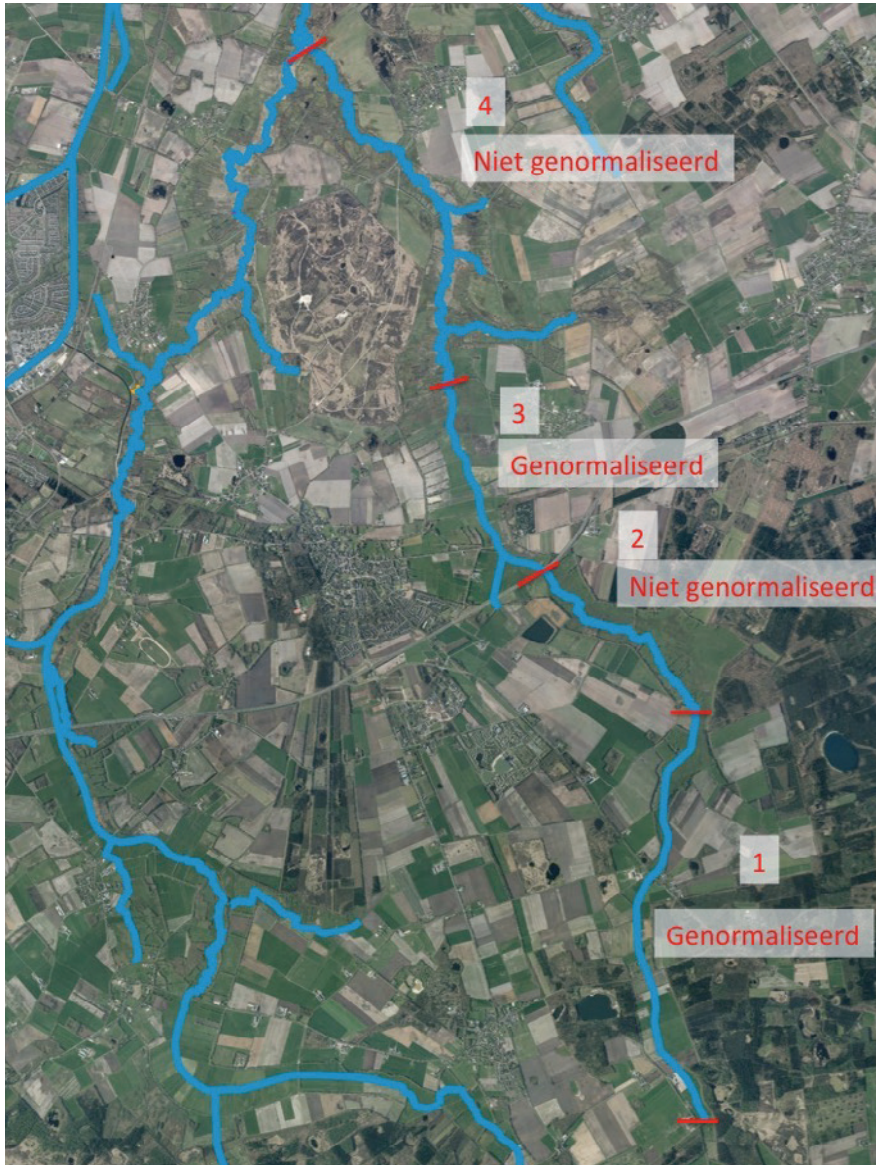
### ALGEMENE BESCHRIJVING

Het gebied is vrij afwaterend. Er staan enkele stuwen in de beek. Op de beek is geen waterinlaat mogelijk. Dit gedeelte van de Drentse Aa is afwisselend wel en niet genormaliseerd (Figuur 7 en Figuur 8). Deze indeling wordt gebruikt bij de verdere analyse:

1. Anderensche diep, genormaliseerd traject
2. Anderensche diep/Rolderdiep niet genormaliseerd traject
3. Rolderdiep, genormaliseerd traject
4. Rolderdiep/Gasterense diep, niet genormaliseerd traject.

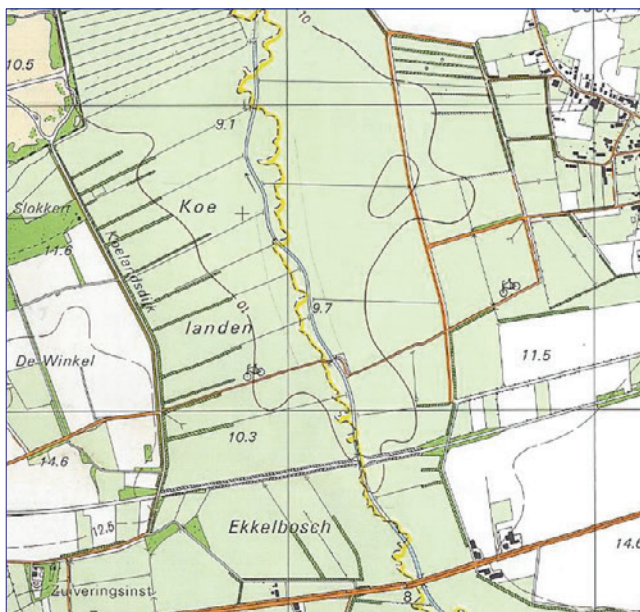
**FIG 7**    **TRAJECTEN OOSTELIJKE TAK DRENTSE AA**

Genormaliseerde en niet-genormaliseerde trajecten oostelijke tak Drentse Aa. De nummers zijn de trajectnummers die in de analyse worden onderscheiden.



**FIG 8**      **VOORBEELD GENORMALISEERD TRAJECT**

*De gemeentegrens (gele lijn) ligt nog op de plaats van de beek van vóór de normalisatie.*



**Gegevens**

*Metingen chemische waterkwaliteit en vegetatie*

Het Waterschap heeft in het beektraject van deze casus enkele meetpunten (Figuur 9). In Tabel 8 is een beschrijving van de meetpunten per traject gegeven.

**TABEL 8**      **MEETPUNTEN DRENTSE AA**

Nr	Omschrijving	Meetpunten
1	Anderensche diep, genormaliseerd	2209
2	Anderensche diep / Rolderdiep, niet genormaliseerd	2240
3	Rolderdiep, genormaliseerd	2205 / 2101-01
4	Rolderdiep / Gasterense diep, niet genormaliseerd	2114 2101-12 2241 / 2102-05



---

Chemische metingen vinden jaarlijks plaats. Het meeste biologisch onderzoek vindt in een roulerend meetnet plaats, waarbij in 3 jaar alle punten onderzocht worden. Bij de biologische metingen worden ook veldopnamen gemaakt van factoren zoals stroming, beschaduwing, waterdiepte en slibdikte.

In Tabel 9 is een samenvatting gegeven van de chemische metingen.

In Tabel 10 staat een overzicht van de veldopnamen bij de biologische metingen.

In Tabel 11 zijn per monsterpunt de meest voorkomende plantensoorten (met een gemiddelde Tansleycode van minimaal 3,0) gegeven.

---

**FIG 9** LIGGING MONSTERPUNTEN



**TABEL 9 OVERZICHT RESULTATEN CHEMISCHE ANALYSE***Weergegeven zijn de jaargemiddelde waarden uit de periode 1981-2017*

Traject (meet- punt)	O <sub>2</sub>	O <sub>2</sub>	pH	HCO <sub>3</sub>	NH <sub>4</sub>	NO <sub>3</sub>	NO <sub>2</sub>	N-Kj	N-tot	o-P	P-tot	Chlorofyl-a	Temperatuur
	mg/l	%		mg/l	mgN/l	mgN/l	mgN/l	mgN/l	mgN/l	mgP/l	mgP/l	ug/l	C
1 (2209)	8,5	77	7,2	120	0,2	1,2	0,0	1,3	2,5	0,02	0,11	17	11
2 (2240)	9,2	82	7,2	124	0,2	1,4	0,0	1,4	2,9	0,02	0,17	15	11
3 (2205)	9,9	88	7,1	88	0,2	2,3	0,0	1,3	3,1	0,04	0,14	8	11
4 (2241)	9,7	87	7,5	120	0,1	1,4	0,0	1,1	2,6	0,02	0,10	6	11

**TABEL 10 GEGEVENS VELDOPNAMEN EN VEGETATIE**

Traject (meetpunt)	Datum	Beschadwing	Stroomsnelheid	Diepte	Slib	Submers	Drijvend	Emers
		%	cm/s	cm	cm	%	%	%
1 (2209)	11-04-16	20	10	60	0 tot 40	12	2	2
2 (2240)	02-05-17	10	20	50	0 tot 10	20	0	8
2 (2240)	11-04-16	10	30	80	0 tot 10	3	3	2
3 (2101-01)	04-04-16	0	2	35	40	0	0	0
4 (2114)	12-apr	<10	20 tot 30	90	10 tot 40	5	0	1
4 (2101-05)	30-03-15	<10	>50	?	Var	0	0	2
4 (2101-05)	03-04-17	0	10	80	0 tot 50	5	0	2
4 (2101-12)	08-04-15	10	50	100	20	15	0	1

**TABEL 11 MEEST VOORKOMENDE PLANTENSOORTEN PER MONSTERPUNT**

De waarden zijn de gemiddelden van de Tansleycodes (waarbij  $r=1$ ,  $o=2$ ,  $lf=3$ ,  $f=4$ ,  $la=5$ ,  $a=6$ ,  $ld=7$ ,  $cd=8$  en  $d=9$ ). Alleen de soorten met een gemiddelde van 3,0 of hoger zijn weergegeven.

Traject 1 (2209_)	T
Glyceria fluitans	7,0
Poaceae	6,0
Agrostis stolonifera	5,0
Callitriche platycarpa	3,0
Eleocharis acicularis	3,0
Myosotis scorpioides	3,0
Ranunculus aquatilis	3,0
Sparganium emersum	3,0

Traject 2 (2140)	T
Poaceae	7,0
Sparganium emersum	6,0
Phragmites australis	5,0
Glyceria fluitans	4,0
Juncus acutiflorus	4,0
Potamogeton natans	4,0
Sparganium erectum	3,7
Agrostis stolonifera	3,0
Carex	3,0
Juncus articulatus	3,0
Nasturtium microphyllum	3,0
Persicaria hydropiper	3,0

Traject 3 (2101-01)	T
Poaceae	8,0
Glyceria fluitans	4,5
Glyceria maxima	4,5
Sparganium emersum	3,8
Potamogeton trichoides	3,5
Phalaris arundinacea	3,1
Callitriche	3,0
Callitriche platycarpa	3,0
Carex rostrata	3,0
Potamogeton pectinatus	3,0
Ranunculus repens	3,0
Rumex acetosa	3,0

Traject 4 (2114)	T
Phalaris arundinacea	8,0
Potamogeton pectinatus	5,5
Urtica dioica	5,0
Callitriche	4,5
Lemna minor	4,0
Sparganium erectum	4,0
Potamogeton natans	3,5
Rorippa amphibia	3,5
Agrostis stolonifera	3,0
Elodea nuttallii	3,0
Filipendula ulmaria	3,0
Myosotis scorpioides	3,0

Traject 4 (2101-12)	T
Potamogeton pectinatus	7,2
Phalaris arundinacea	5,6
Callitriche platycarpa	5,0
Carex	5,0
Poaceae	5,0
Callitriche	4,4
Carex acuta	4,0
Salix cinerea	4,0
Elodea nuttallii	3,7
Potamogeton natans	3,4
Rorippa amphibia	3,3
Ceratophyllum demersum	3,3
Alopecurus geniculatus	3,0
Berula erecta	3,0
Sparganium emersum	3,0

Traject 4 (2101-05)	T
Potamogeton pectinatus	6,8
Callitriche platycarpa	5,3
Potamogeton trichoides	5,0
Callitriche	4,8
Phalaris arundinacea	4,6
Poaceae	4,5
Elodea nuttallii	4,5
Ceratophyllum demersum	4,1
Glyceria notata	4,0
Lysimachia vulgaris	4,0
Glyceria maxima	3,8
Phragmites australis	3,5
Lemna minor	3,2
Rorippa amphibia	3,1
Epilobium	3,0
Myosotis	3,0

## Onderhoud

Het Waterschap kent drie basistypen van onderhoud (info: poster onderhoudsprofielen 2017, van waterschap). Deze zijn in onderstaande tekstbox beschreven.

### KADER BASISVORMEN VAN ONDERHOUD NAT PROFIEL:

- **Natuur +.** De taluds en de zijanten van het natte profiel worden zoveel mogelijk met rust gelaten. Het midden van de watergang (geul) worden intensief onderhouden voor peilbeheer.
- **Natuur +/-.** Bij dit tussenprofiel biedt het waterschap aan één kant ruimte aan de natuur. De andere kant wordt intensiever onderhouden. De intensief en extensief be-

---

heerde kanten wisselen jaarlijks.

- **Natuur -**. Bij kleine watergangen is begroeiing al gauw een probleem doordat er weinig ruimte in het natte profiel zit. De begroeiing lang laten staan is dan ook geen optie. Het waterschap onderhoudt deze watergangen dan ook intensief en voorkomt daarmee dat dieren er gaan schuilen en vogels er broeden.

Het natte profiel en de oevers worden in principe niet voor 1 juni gemaaid. Het natte profiel wordt gemaaid met gebruik van een knipmes (er blijft een paar cm staan, in principe wordt er niet gebaggerd).

Nadere omschrijving beheer nat profiel (uit: poster onderhoudsprofielen van het waterschap):

#### **Natuur +**

Natte profiel in het groeiseizoen: geul korven en aan weerszijden van het natte profiel 0,5 tot 1,0 meter (afhankelijk van de breedte van de watergang) vegetatie laten staan. Onderhoud groeiseizoen zo vaak als nodig is om de begroeiing voor hoog (maximaal 50%), basis (maximaal 70%) en laag (maximaal 90%) niet te overschrijden.

Bij de laatste ronde in het natte profiel alleen ca. 0,5 m tegen het overstaande talud laten staan. De rest van de watergang korven en eventueel natuurvriendelijk maaiharken.

#### **Natuur +/-**

Natte profiel: korven en eventueel natuurvriendelijk maai-harken zo vaak als nodig is om de begroeiing voor hoog (maximaal 50%), basis (maximaal 70) en laag (maximaal 90%) niet te overschrijden. Een strook begroeiing tegen het niet gemaaid talud van minder dan 0,5 m laten staan.

Laatste ronde: het talud met overstaande begroeiing maaien, ook de strook in het natte profiel. Het talud dat in de 1e ronde gemaaid is, laten staan met daarbij een strook in het natte profiel van minder dan 0,5 m.

#### **Natuur -**

Natte profiel schoon door tweezijdig te maaiharken of te maai-korven: zo vaak als nodig is om de begroeiing voor hoog (maximaal 50%), basis (maximaal 70%) en laag (maximaal 90%) niet te overschrijden.

---

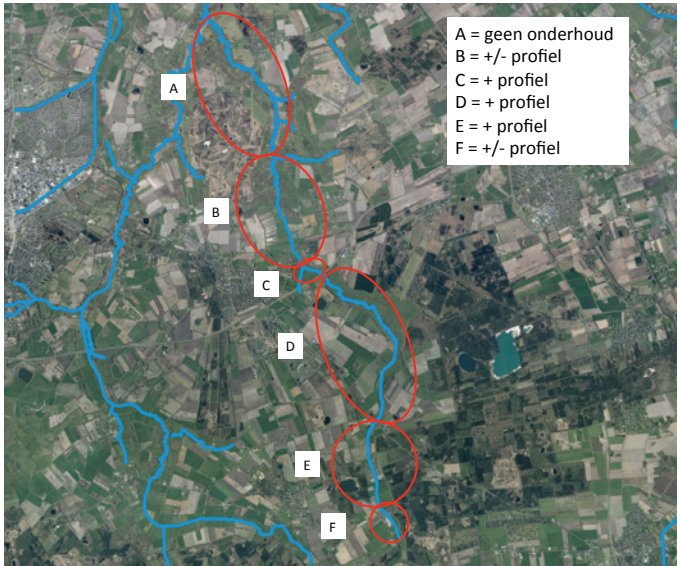
### Maaibeheer per traject

Zie onderstaande kaart.

- Het meest benedenstroomse deel (traject A; grotendeels niet genormaliseerd) wordt niet gemaaid.
- Het genormaliseerde stuk ten noordoosten van Rolde (traject B; grotendeels genormaliseerd) wordt gemaaid volgens profiel Natuur +/- . Dit geldt ook voor het meest bovenstroomse deel (traject F).
- Het grootste tussenliggende traject (op de kaart de trajecten C, D en E) worden natuurvriendelijk onderhouden (profiel Natuur +). Dit betreft zowel genormaliseerde als niet-genormaliseerde trajecten.

---

**FIG 1** ONDERHOUDSPROFIELEN



---

### ANALYSE ASPECT 1. LICHT

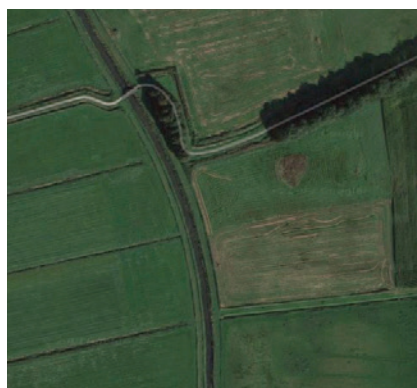
In het beslisschema bij aspect 1 (paragraaf 5.1) moet eerst de breedte van de beek bepaald worden. Aangezien de benedenloop tot R5 gerekend wordt en daarom smaller dan 8 meter is (of zou moeten zijn), moet voor alle trajecten van de pilot het aspect licht (beschaduwning) geanalyseerd worden.

De beschaduwing is bij alle meetpunten gering of zelfs geheel afwezig (Tabel 10). Alleen bij het niet-genormaliseerde deel van het Anderensche Diep komen plaatselijk bosschages langs de beek voor. Voor de rest staan er geen of slechts enkele bomen. Deze situatie komt niet overeen met de referentie of met de normen voor het GET. Geconcludeerd wordt dat de ESF's bufferzone en waterplanten voor het aspect licht op rood staan in alle trajecten.

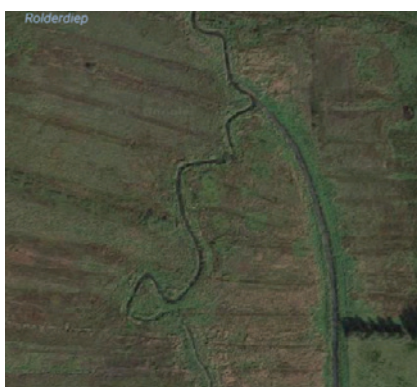
#### FIG 11 ENKELE SATELLIETBEELDEN



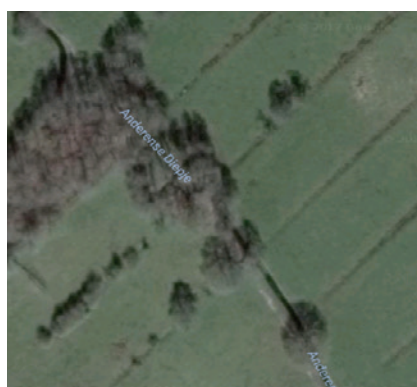
Deel van traject 4, Gasterense Diep



Deel van traject 3, Rolderdiep



Deel van traject 2, Anderensche Diep /Rolderdiep



Deel van traject 1, Anderensche Diep

---

## ANALYSE ASPECT 2. DROOGVAL

Volgens het beslisschema van aspect 2 (paragraaf 5.2) moet eerst de grootte van het stromend water bepaald worden. Er zijn drie categorieën: boven- tot middenloop, benedenloop tot kleine riviertjes en grote rivieren. Gekozen is traject 1, 2 en 3 onder de categorie bronnen tot middenloop te scharen en traject 4 onder benedenloop tot klein riviertje (ongeveer 4 meter breed). Voor deze laatste categorie wordt het aspect droogval niet beoordeeld. Voor traject 4 wordt dus geen uitspraak gedaan over het aspect droogval. Voor de trajecten 1 t/m 3 is de vraag of ze meer dan 1 keer per jaar gedurende meer dan 2 weken droogvallen of niet. Op dit moment valt geen van de trajecten droog. De volgende vraag is dan of dit de natuurlijke situatie is. Dit kan alleen bepaald worden door analyse van de hydromorfologie. Een uitspraak is op dit moment dus niet mogelijk. Het vermoeden is echter dat traject 1 van nature wel gedeeltelijk droog valt, maar de trajecten 2 en 3 niet. Dit betekent dat vanwege het ontbreken van droogval in traject 1 een ander type vegetatiebegroeiing aanwezig is en dat daarom ESF waterplanten daar op rood staat. ESF waterplanten staat vanwege het aspect droogval niet op rood in de trajecten 2 en 3. Traject 4 hoeft niet beoordeeld te worden op het aspect droogval

## ANALYSE ASPECT 3. STROMING

Voor analyse van het aspect stroming moet volgens het beslisschema (paragraaf 5.3) eerst de grootte van het stromend water bepaald worden. Voor grote rivieren wordt het effect van stroming (of hydrologie in het algemeen) op vegetatie behandeld onder aspect 2 Droogval. Aangezien alle beektrajecten van het pilotgebied kleiner zijn, kan de rest van het beslisschema doorlopen worden.

De vraag is vervolgens wat de heersende stroomsnelheid in het groeiseizoen is. Uit Tabel 10 blijkt dat de genormaliseerde trajecten 1 en 3 een relatief lage stroomsnelheid hebben (met name traject 3). De stroomsnelheid in de niet-genormaliseerde trajecten 2 en 4 is hoger (met name in traject 4). Dit heeft voor de vegetatie de volgende theoretische gevolgen:

- Traject 1 (klasse < 20 cm/s): kans op dichtgroeien van de beek.
- Traject 2 (klasse 20-40 cm/s): stroomdraad tussen vegetatie.
- Traject 3 (klasse < 20 cm/s): kans op dichtgroeien van de beek.
- Traject 4 (klasse > 40 cm/s): losse patches van vegetatie.

De vraag is vervolgens of de stroomsnelheid overeenkomt met de natuurlijke situ-

---

atie. Hiervoor is analyse van de ESF's gerelateerd aan hydrologie en morfologie nodig. De resultaten daarvan zijn op dit moment nog niet bekend. Voorlopig wordt aangenomen dat de stroomsnelheid bij de niet-genormaliseerde trajecten min of meer overeenkomt met de natuurlijke situatie en dat in de genormaliseerde trajecten de stroming thans lager is dan in de natuurlijke situatie en daardoor in een andere stroomklasse uit het beslisschema valt. Overigens blijkt in traject 4 de beek in onbeschaduwde situaties voor ca. 70% begroeid te kunnen raken met vegetatie. Periodiek is hier de stroomsnelheid hoger dan 40 cm/s. In die situaties zou een dergelijke hoge mate van begroeiing niet verwacht worden. Mogelijk dat de dichte begroeiing alleen voorkomt in langdurige perioden met lagere stroomsnelheden.

De conclusie is (voorlopig) dat ESF waterplanten op rood staat in de trajecten 1 en 3 vanwege een geringere stroming dan onder natuurlijke omstandigheden vanwege aanpassingen in de Hydro-morfologie. De analyse van traject 4 is onzeker: er is een te grote variatie in stroming om betrouwbare uitspraken te kunnen doen.

#### **ANALYSE ASPECT 4. BODEMSUBSTRAAT**

Helaas zijn geen gegevens over de verdeling van bodemsubstraattypen op tijd verzameld. Wel zijn er gegevens over de slibdikte (Tabel 10). Hieruit kan opgemaakt worden dat in de genormaliseerde trajecten (1 en 3) relatief veel slib ligt. In traject 2 ligt minder slib. De hoeveelheid slib in traject 4 is erg variabel. Dit laatste komt wellicht overeen met de Hydro morfologische omstandigheden in dat traject: een sterk bochtig verloop en grote variatie in dwarsprofiel en daaraan gerelateerd een grote ruimtelijke variatie in stroomsnelheid.

De conclusie is (voorlopig) dat ESF waterplanten in de trajecten 1 en 3 op rood staat vanwege het ontbreken aan voldoende variatie in bodemsubstraattypen.

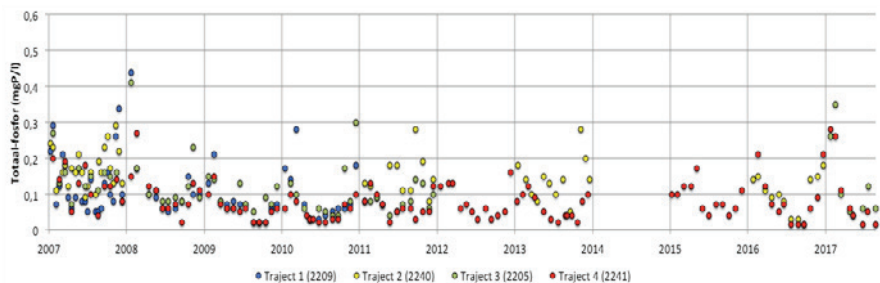
#### **ANALYSE ASPECT 5. NUTRIËNTEN**

Volgens het beslisschema voor het aspect nutriënten (paragraaf 5.5) moet eerst besloten worden of de analyse niet beter met de ESF's voor stilstaande wateren uitgevoerd kan worden. Voor traject 3 zou dit overwogen kunnen worden. In de overige trajecten is voldoende stroming om de analyse met de ESF voor stromend water uit te voeren. Gekozen is alle trajecten met het beslisschema voor stromende wateren te analyseren.



In gedeelten met minder hoge stroomsnelheid en veel slib moet naar de voedselrijkdom van het water gekeken worden. Gemiddelde waarden van nutriënten zijn gegeven in Tabel 9. In Figuur 12 is het verloop van het gehalte totaal-fosfor over de periode 2007-2017 gegeven. Uit deze figuur blijkt dat in de winter relatief hoge fosforgehalten voorkomen. In 2007 was het gehalte ook hoog vergeleken met de daarop volgende jaren. In de jaren vanaf 2008 ligt het gehalte totaal-fosfor 's zomers rond de 0,1 mgP/l. Dit laatste voldoet aan de KRW-normen voor het GET (0,11 mgP/l voor R4 - R6). Op basis daarvan kan geconcludeerd worden dat het water in het zomerhalfjaar niet voedselrijk is. Het fosfor dat 's winters in hoge concentraties aanwezig is, kan echter (tijdelijk) in het bodemsediment vastgelegd worden en dus ook 's zomers invloed hebben op de vegetatie. Voor verdere analyse is daarom ook naar de soortensamenstelling van de vegetatie gekeken.

**FIG 12 VERLOOP GEHALTE TOTAAL-FOSFOR IN DE PERIODE 2007-2017**



In voedselrijk water vindt een verschuiving plaats naar eutrafente soorten, zoals waterpest. Deze soorten worden soms in hoge bedekking aangetroffen (Tansleycode tot 8). Verrijkte organische bodems leiden tot een verschuiving naar rietgras en liesgras. In traject 3 wordt liesgras soms in hoge bedekking aangetroffen (Tansleycode tot 6).

De conclusie is (voorlopig) dat ESF waterplanten op rood staat vanwege hoge fosforgehalten in de winter en het voorkomen van eutrafente soorten waterplanten.

#### **ANALYSE ASPECT 6. KOOLSTOF**

Volgens het beslisschema van het aspect koolstof (paragraaf 5.6) is alleen analyse

van boven t/m middenlopen zinvol. Aangezien alle trajecten hieronder vallen, kan het beslisschema verder doorlopen worden.

De volgende vraag is of de bodem van het stroomgebied pleistocene gronden betreft of dat er sprake is van veen- en/of kleigrond. In dit deel van de Drentse Aa is sprake van pleistocene grond.

De laatste vraag betreft de chemische waterkwaliteit. Criteria zijn de alkaliniteit (waarde < 2 mmol/l) en de pH (<6,7). Gegevens over de alkaliniteit zijn niet beschikbaar. De pH-waarde ligt in alle trajecten gemiddeld boven de 7,0 (Tabel 9).

Als check is naar de soortensamenstelling gekeken. Typische soorten voor wateren met een lage alkaliniteit en lage pH zijn: drijvende waterweegbree, teer verderkruid, duizendknoopfonteinkruid en grote watterranonkel. Alleen teer verderkruid is in traject 4 één maal aangetroffen (in 2001). De overige soorten zijn in het traject nooit aangetroffen.

Meting van de alkaliniteit zou de analyse van koolstof beter kunnen onderbouwen.

#### ANALYSE ASPECT 7. VERWIJDERING

Alleen voor het aspect maaien is een beslisschema opgesteld (paragraaf 5.7). Er is geen beslisschema voor herbivorie (vraat). Volgens het beslisschema maaibeheer moet gekeken worden naar drie aspecten: ruimtelijk (welk deel van de watergang wordt gemaaid), hoogte van maaien en periode & frequentie van maaien.

Aan het begin van deze bijlage zijn gegevens over het maaibeheer gepresenteerd. Vertaling van deze gegevens naar de criteria uit het beslisschema zijn per traject in Tabel 12 weergegeven.

**TABEL 12 CRITERIA BIJ ANALYSE MAAIBEHEER PER TRAJECT**

Traject	Ruimtelijk	Hoogte	Periode, frequentie
1	Deel profiel	Laag maaien	Niet voor 1 juni
2	Deel profiel	Laag maaien	Niet voor 1 juni
3	Grootste deel profiel	Laag maaien	Niet voor 1 juni
4	Geen onderhoud		

---

Op basis van deze gegevens wordt het aspect verwijdering als volgt beoordeeld: ESF waterplanten staat op rood in traject 3, omdat het grootste deel van het profiel gemaaid wordt. In de overige trajecten staat ESF waterplanten niet vanwege verwijdering op rood.

#### **ANALYSE ASPECT 8. VEGETATIE ALS SUBSTRAAT**

Volgens het beslisschema bij het aspect “vegetatie als substraat” moet eerst vastgesteld worden of er geen sprake is van sterke beschaduwning, hard stromend of diep water. Alleen in traject 4 is periodiek sprake van hard stromend water maar ook perioden met lage stroomsnelheden, waardoor het toch veel waterplanten tot ontwikkeling kunnen komen. Dit betekent dat het beslisschema voor alle trajecten doorlopen moet worden.

Volgens het beslisschema (paragraaf 5.8) moet de vegetatie beoordeeld worden op de aspecten complexiteit en dichtheid. Concrete gegevens over deze aspecten, zoals analyse van de Fractal Dimensie of het Percentage Volume Invested, ontbreken. Daarom is gebruik gemaakt van de vegetatie-opnamen met soorten en bedekkingen. Per opname zijn gemiddeld 25 soorten water- en oeverplanten aangetroffen, met een maximum van 47. Slechts 6% van de opnamen heeft minder dan 10 soorten. Op het schaalniveau van trajecten (zoals voor deze pilot gedefinieerd) is de variatie aan soorten zo groot dat er voldoende complexiteit en dichtheid aanwezig is. Voorlopig wordt geconcludeerd dat ESF waterplanten in geen van de trajecten op rood staat vanwege het aspect “vegetatie als structuur”.

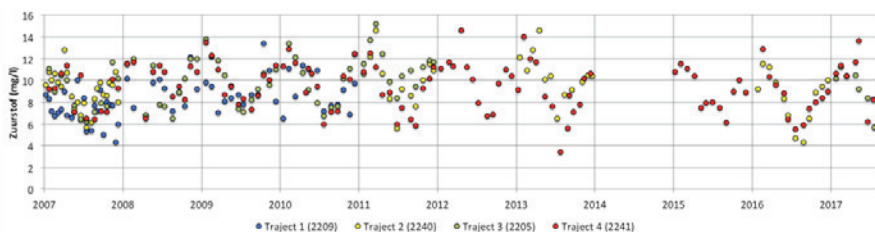
#### **ANALYSE ASPECT 9. ZUURSTOF**

Het zuurstofgehalte in het water wordt door verschillende factoren bepaald. Niet al deze factoren vallen onder de ESF bufferzone of waterplanten. Dit geldt voor turbulentie, respiratie/afbraak en temperatuur. Alleen de invloed van fotosynthese op het zuurstofgehalte valt onder de ESF waterplanten.

Volgens het beslisschema (paragraaf 5.9) Staat ESF waterplanten op rood als er een grote dag-nacht ritmiek in het zuurstofgehalte is vanwege een sterke fotosynthese. In Figuur 13 is het verloop van het zuurstofgehalte in de periode 2007-2017 weergegeven. Hieruit blijkt dat er wel een seizoensfluctuatie is ('s zomers lagere gehalten dan 's winters). Slechts sporadisch komen gehalten beneden 4 mg/l voor. Gegevens over dag-nacht ritmiek van het zuurstofgehalte ontbreken. Gezien de soms hoge

bedekking met waterplanten is er wel kans op een sterke dag-nachtritmiek. Zonder meetgegevens kan er echter geen goede analyse van het aspect zuurstof gemaakt kan worden. De beoordeling van dit aspect wordt niet ingevuld.

**FIG 13 VERLOOP ZUURSTOFGEHALTE IN DE PERIODE 2007-2017**



#### **ANALYSE ASPECT 10. TEMPERATUUR**

Dit aspect hoeft volgens het beslisschema (paragraaf 5.10) alleen geanalyseerd te worden in bovenlopen en middenlopen. Traject 4 is een middenloop van maximaal 5 meter breed. Dit betekent dat het beslisschema voor alle trajecten doorlopen moet worden.

In het beslisschema wordt het effect van beschaduwing op de temperatuur beoordeeld. In geen van de drie trajecten komt beschaduwing voor over een lengte groter dan 100 meter. Om die reden staat ESF bufferzone op rood in alle trajecten.

#### **ANALYSE ASPECT 11. BLAD EN DOOD HOUT**

Dit aspect speelt een rol in alle beektypen, van bovenloop tot en met rivier. In het beslisschema (paragraaf 5.11) is de eerste vraag of er bomen en struiken langs de oevers staan die tot vorming van bladpakketten in de beek kunnen leiden. De inschatting is dat dit onvoldoende het geval is ESF bufferzone staat in alle vier de traject op rood vanwege het ontbreken van bladpakketten.

Vervolgens is de vraag of er dood hout in de beek aanwezig is. Dood hout kan van bomen op de oever afkomstig zijn, maar kan ook kunstmatig ingebracht zijn. In traject 4 zijn drie gedeelten van 400 meter waar proeven met ingebrachte bomen worden uitgevoerd. Aangenomen is dat deze volgens de criteria (zie paragraaf 5.11)

---

zijn aangebracht. In de andere trajecten (1 t/m3) zijn geen experimenten met inbreng van dood hout uitgevoerd. Geconcludeerd wordt dat ESF bufferzone (dood hout) op groen staat in traject 4 en op rood in de andere trajecten.

### **ANALYSE ASPECT 12. LATERALE CONNECTIVITEIT**

Dit aspect speelt bij alle typen stromend water, van bovenloop tot en met rivier.

De eerste vraag uit het beslisschema (paragraaf 5.12) is of er natuurlijke oevers aanwezig zijn. De trajecten 1 en 3 zijn genormaliseerd en hebben (dus) een normprofiel. In deze trajecten staat ESF bufferzone voor de laterale connectiviteit op rood. De trajecten 2 en 4 hebben een natuurlijker profiel en geven geen aanleiding de ESF op rood te beoordelen.

Inundaties vinden alleen periodiek plaats in traject 4. Dat betekent dat voor de trajecten 1 t/m 3 ESF bufferzone op rood staat wat betreft inundaties.

Het landgebruik is bovenstrooms deels landbouwkundig. Langs de overige delen zijn de beekdalgronden in eigendom en beheer bij Staatsbosbeheer. Het beheer is hier gericht op ontwikkeling van beekdalvegetaties, waaronder dotterbloemhooilanden. Feitelijk zijn dit halfnatuurlijke vegetaties. Er komen echter ook structuren zoals sloten en bosschages voor. Ook bovenstrooms is dat het geval. Voor het aspect landgebruik en het voorkomen van structuren en habitats in het beekdal staat ESF laterale connectiviteit in geen van de trajecten op rood.

### **SYNTHESE ANALYSE ESF'S BUFFERZONE EN WATERPLANTEN**

In Tabel 13 zijn de resultaten van de analyses van de twaalf aspecten gerelateerd aan de ESF's bufferzone en waterplanten voor de vier trajecten van de Drentse Aa samengevat.

Op basis van de analyse kunnen de volgende conclusies getrokken worden:

1. In de hele loop ontbreekt sterke beschaduwning. Hierdoor kunnen waterplanten tot ontwikkeling komen, wat van nature veel minder het geval zou zijn.
2. Het ontbreken van bomen leidt ook tot het ontbreken van (natuurlijk) inval van bladeren en hout. In de benedenloop is kunstmatig hout ingebracht. Bij positieve resultaten zou die maatregel ook in de andere trajecten uitgevoerd kunnen worden.

**TABEL 13 OVERZICHT RESULTATEN ANALYSE**

Overzicht resultaten analyse van twaalf aspecten gerelateerd aan ESF's bufferzone en waterplanten voor vier trajecten van pilot Drentse Aa. R = ESF op rood, G = ESF niet op rood (groen), O = geen goede analyse mogelijk, - = analyse niet relevant.

ESF	ESF bufferzone				ESF waterplanten			
	1	2	3	4	1	2	3	4
Trajectnummer								
1. Licht	R	R	R	R	R	R	R	R
2. Droogval	-	-	-	-	R	G	G	-
3. Strooming	-	-	-	-	R	G	R	O
4. Bodemsubstraat	-	-	-	-	R	G	R	G
5 Nutriënten	-	-	-	-	R	R	R	R
6 Koolstof	-	-	-	-	R	R	R	R
7. Verwijdering	-	-	-	-	G	G	R	G
8. Vegetatie als substraat	-	-	-	-	G	G	G	G
9. Zuurstof	-	-	-	-	O	O	O	O
10. Temperatuur	R	R	R	R	-	-	-	-
11. Blad en dood hout	R	R	R	G	-	-	-	-
12. Laterale connectiviteit	R	R	R	G	-	-	-	-

- In de genormaliseerde gedeelten maar ook periodiek in het meest benedenstroomse deel is de stroomsnelheid te laag (checken met analyse ESF's hydro-morfologie). Hierdoor komen er te veel waterplanten tot ontwikkeling. Ook is daardoor de variatie aan bodemsubstraattypen niet optimaal. In de niet-genormaliseerde trajecten is de situatie beter.
- Er wordt in de trajecten 1 t/m 3 maaibeheer uitgevoerd, omdat hier te veel planten tot ontwikkeling komen. Dit komt door het ontbreken van beschaduwing, plaatselijk en tijdelijk een lage stroomsnelheid in combinatie met voedselrijk water. Het maaibeheer gebeurt echter op een manier die weinig schade toebrengt aan de vegetatie. Alleen in het genormaliseerde gedeelte van de Drentse Aa is er een negatief effect omdat bij het maaien het grootste gedeelte van de watergang geschoond wordt. In traject 4 komen ook veel planten tot ontwikkeling, maar hier wordt niet gemaaid. Hierdoor treden periodiek inundaties op. Omdat de geïnundeerde gronden in eigendom zijn van Staatsbosbeheer, is dat geen probleem.
- Het water is in ieder geval in de winter voedselrijk. Er komen ook eutrafente soorten voor.

- 
6. Op basis van de gegevens kan niet geconcludeerd worden of er problemen zijn met het zuurstofgehalte. Wel ontbreekt het typische zwakzure water met een lage alkaliniteit, die hier van nature aanwezig zou moeten zijn. Dit komt waarschijnlijk door ingrepen in de waterhuishouding.
  7. De laterale connectiviteit is in de trajecten 1 t/m 3 niet optimaal, omdat er geen natuurlijke oevers zijn (trajecten 1 en 3) en omdat inundaties ontbreken (trajecten 1 t/m 3).

Mogelijke maatregelen om de geconstateerde knelpunten op te lossen zijn:

1. Beschaduwning van de beekloop. Dit is waarschijnlijk lastig, omdat gronden deels in landbouwkundig gebruik zijn en omdat het in de natuurgebieden niet past bij de (cultuurhistorische) doelstelling van open beekdalen met dotterbloemhooilanden. Een zone van 10 meter langs beide oevers zou echter al voldoende zijn om het probleem op te lossen. Een houtwalbeek zou in het landschap niet misstaan.
2. Als er geen houtige gewassen langs de beekoever worden toegelaten, is het inbrengen van dood hout, wat nu al in traject 4 gebeurt, een goede maatregel in de trajecten 1 t/m 3 om meer structuur biedende substraten in de beek te krijgen.
3. Hermeandering van de genormaliseerde gedeelten om meer variatie in het bodemprofiel te krijgen, natuurlijkere oevers, een gemiddeld hogere stroomsnelheid.
4. Gefaseerd maaien van de beektrajecten waar nu alle vegetatie in het dwarsprofiel verwijderd wordt.
5. Verlaging van de alkaliniteit en de zuurgraad kan mogelijk bereikt worden door aanpassing in de hydrologie (ontwatering) in het hele stroomgebied, met name bovenstrooms. Ook het landgebruik (bemesting van landbouwgronden) moet hierbij betrokken worden.
6. Hydrologie en morfologie aanpassen zodat inundaties kunnen plaatsvinden (op plekken waar dat kan).

.....



---

## STOWA IN HET KORT

---

STOWA is het kenniscentrum van de regionale waterbeheerders (veelal de waterschappen) in Nederland. STOWA ontwikkelt, vergaart, verspreidt en implementeert toegepaste kennis die de waterbeheerders nodig hebben om de opgaven waar zij in hun werk voor staan, goed uit te voeren. Deze kennis kan liggen op toegepast technisch, natuurwetenschappelijk, bestuurlijk-juridisch of sociaalwetenschappelijk gebied.

STOWA werkt in hoge mate vraaggestuurd. We inventariseren nauwgezet welke kennisvragen waterschappen hebben en zetten die vragen uit bij de juiste kennisleveranciers. Het initiatief daarvoor ligt veelal bij de kennisvragende waterbeheerders, maar soms ook bij kennisinstellingen en het bedrijfsleven. Dit tweerichtingsverkeer stimuleert vernieuwing en innovatie.

Vraaggestuurd werken betekent ook dat we zelf voortdurend op zoek zijn naar de 'kennisvragen van morgen' - de vragen die we graag op de agenda zetten nog voordat iemand ze gesteld heeft - om optimaal voorbereid te zijn op de toekomst.

STOWA ontzorgt de waterbeheerders. Wij nemen de aanbesteding en begeleiding van de gezamenlijke kennisprojecten op ons. Wij zorgen ervoor dat waterbeheerders verbonden blijven met deze projecten en er ook 'eigenaar' van zijn. Dit om te waarborgen dat de juiste kennisvragen worden beantwoord. De projecten worden begeleid door commissies waar regionale waterbeheerders zelf deel van uitmaken. De grote onderzoeklijnen worden per werkveld uitgezet en verantwoord door speciale programmacommissies. Ook hierin hebben de regionale waterbeheerders zitting.

STOWA verbindt niet alleen kennisvragers en kennisleveranciers, maar ook de regionale waterbeheerders onderling. Door de samenwerking van de waterbeheerders binnen STOWA zijn zij samen verantwoordelijk voor de programmering, zetten zij gezamenlijk de koers uit, worden meerdere waterschappen bij één en het zelfde onderzoek betrokken en komen de resultaten sneller ten goede van alle waterschappen.

---

De grondbeginselen van STOWA zijn verwoord in onze missie:

Het samen met regionale waterbeheerders definiëren van hun kennisbehoeften op het gebied van het waterbeheer en het voor én met deze beheerders (laten) ontwikkelen, bijeenbrengen, beschikbaar maken, delen, verankeren en implementeren van de benodigde kennis.



### **STOWA**

Postbus 2180  
3800 CD Amersfoort

### **Bezoekadres**

Stationsplein 89, vierde etage  
3818 LE Amersfoort

t. 033 460 32 00  
e. [stowa@stowa.nl](mailto:stowa@stowa.nl)  
i. [www.stowa.nl](http://www.stowa.nl)

---

## COLOFON

---

Amersfoort, Juni 2018

### Uitgave

Stichting Toegepast Onderzoek Waterbeheer | Postbus 2180 | 3800 CD  
Amersfoort

### Auteurs

Reinder Torenbeek (bureau Waardenburg), Bart Grutters (bureau Waardenburg), Gerben van Geest (Deltares), Roelf Pot (Roelf Pot onderzoek en advies).

### Begeleidingscommissie Stromende wateren

Peter Paul Schollema (Waterschap Hunze en Aa's), Marco Beers (Waterschap Brabantse Delta), Ronald Gylstra (Waterschap Rivierenland), Gertie Schmidt (Waterschap Vechtstromen), Auke de Ridder (Waterschap Drents Overijsselse Delte), Marieke Ohm (RWS), Rob Fraaije (Waterschap Aa en Maas), Ineke Barten (Waterschap De Dommel), John Lenssen (Waterschap Rijn en IJssel), Bas van der Wal (STOWA).

### Referaat

De ecologische sleutelfactoren vormen een denkkader voor het uitvoeren van een ecologische watersysteemanalyse. Ze geven inzicht in het ecologisch functioneren van een watersysteem. Deze kennis is cruciaal voor het bepalen van realistische waterkwaliteitsdoelen en het vaststellen van effectieve maatregelen. De ecologische sleutelfactor uitgewerkt in dit rapport kijkt naar de bufferzone en waterplanten in stromende wateren. Wanneer deze ecologische sleutelfactor 'op groen' staat, is een goed functionerende bufferzone aanwezig en zijn waterplanten aanwezig in goede hoeveelheid en soortensamenstelling.

### Trefwoorden

Bufferzone, waterplanten, soortensamenstelling, ecologische sleutelfactoren, stromende wateren, watersysteemanalyse, waterkwaliteitsdoelen, maatregelen, hydrologische omstandigheden.

---

**Vormgeving** Shapeshifter.nl | Utrecht

**Druk** DPP | Houten

**STOWA** 2018-28

**ISBN** 978.90.5773.796.1

### Copyright

De informatie uit dit rapport mag worden overgenomen, mits met bronvermelding. De in het rapport ontwikkelde, dan wel verzamelde kennis is om niet verkrijgbaar. De eventuele kosten die STOWA voor publicaties in rekening brengt, zijn uitsluitend kosten voor het vormgeven, vermenigvuldigen en verzenden.

### Disclaimer

Dit rapport is gebaseerd op de meest recente inzichten in het vakgebied. Desalniettemin moeten bij toepassing ervan de resultaten te allen tijd kritisch worden beschouwd. De auteurs en STOWA kunnen niet aansprakelijk worden gesteld voor eventuele schade die ontstaat door toepassing van het gedachtegoed uit dit rapport.



**stowa**

STICHTING  
TOEGEPAST ONDERZOEK WATERBEHEER

[stowa@stowa.nl](mailto:stowa@stowa.nl) [www.stowa.nl](http://www.stowa.nl)  
TEL 033 460 32 00 FAX 033 460 32 01  
Stationsplein 89 3818 LE AMERSFOORT  
POSTBUS 2180 3800 CD AMERSFOORT

