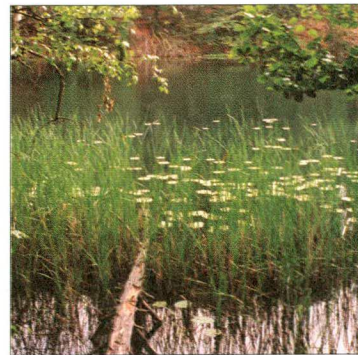


## **Analyse gevoeligheid & onzekerheid RHASIM 2.0**


### **Eindrapport**





**Analyse gevoeligheid &  
onzekerheid RHASIM 2.0****Eindrapport**

registratie	projectcode	status
SECI/KRUB/rap.003	Rw996-2	eindrapport
projectleider	projectdirecteur	datum
ir. M.Bergman	ir. Th.G.J. Witjes	19 december 2002

autorisatie	naam	paraaf
goedgekeurd	ir. M. Bergman	







<b>INHOUDSOPGAVE</b>	<b>blz.</b>
<b>SAMENVATTING</b>	<b>1</b>
<b>1. INLEIDING</b>	<b>5</b>
1.1. Achtergrond	5
1.2. Doel	6
1.3. Globale aanpak	6
1.4. Afbakening	7
<b>2. KORTE SYSTEEMBENADERING GRENSMAAS</b>	<b>8</b>
2.1. Grensmaas algemeen	8
2.2. Kenmerken van de Grensmaas	9
<b>3. HET RIVIER HABITAT SIMULATIEMODEL (RHASIM)</b>	<b>10</b>
3.1. Inleiding	10
3.2. Globale opzet RHASIM	10
3.3. Instellingen RHASIM	11
<b>4. GEVOELIGHEID EN ONZEKERHEID ABIOTIEK RHASIM</b>	<b>12</b>
4.1. Waterbeweging	12
4.2. Bodem Grensmaas	15
4.3. Zuurstofconcentratie	15
4.4. Temperatuur	15
4.5. Substraat	16
<b>5. GEVOELIGHEID EN ONZEKERHEID HGI'S</b>	<b>17</b>
5.1. Inleiding	17
5.2. Onderliggende data HGI Kopvoorn en Barbeel	17
5.3. HGI's in RHASIM	18
5.4. Uitgangspunten analyse	18
5.5. Resultaten en interpretatie	19
5.6. Keuze van de geaggregeerde HGI-geschikheidsdrempel	22
5.7. Resumé	23
<b>6. GEÏNTEGREERDE GEVOELIGHEID EN ONZEKERHEID RHASIM</b>	<b>24</b>
6.1. Inleiding	24
6.2. Onzekerheid en gevoeligheid doorvertaald in oppervlakte geschiktheid	24
<b>7. SAMENVATTENDE CONCLUSIES</b>	<b>26</b>
7.1. Abiotische benadering RHASIM2.0	26
7.2. Ecologische effectbepaling abiotiek in RHASIM2.0	26
7.3. Gevoeligheid en onzekerheid RHASIM samenvattend	27
<b>8. AANBEVELINGEN T.A.V. RHASIM</b>	<b>29</b>
8.1. Abiotiek	29
8.2. Ecologische effectbepaling abiotiek	29
8.3. Inzet van RHASIM	32
<b>9. REFERENTIES</b>	<b>33</b>
laatste bladzijde	<b>33</b>



## Bijlagen

- I Waterbeweging Grensmaas en RHASIM
- II Berekeningen onzekerheid HGI's

aantal bladzijden

9

15



## SAMENVATTING

*gesimuleerd*

RHASIM 2.0 (Rivier Habitat SimulatieModel) is een ecologisch voorspelmodel voor lage afvoeren. Met het model kan het totaal geschikt oppervlak van een soort worden voorspeld. Tevens wordt inzicht verkregen in de ruimtelijke verdeling van de afzonderlijke geschiktheden in termen van geschiktheid per abiotische parameter. Om nader inzicht te krijgen in de mate van betrouwbaarheid waarmee kan worden voorspeld is een uitgebreide onzekerheids- en gevoeligheidsanalyse uitgevoerd met het model. Het primaire doel van deze analyse is inzicht te krijgen in de onzekerheid en gevoeligheid van de diverse componenten waaruit RHASIM is opgebouwd alsmede het aanreiken van eventuele verbeterpunten hieromtrent.

Uit deze analyses is gebleken dat met name de waterbeweging van grote invloed is op het modelresultaat. Onbetrouwbaarheden in de waterbeweging leiden derhalve tot, relatief, grote onbetrouwbaarheden in het modelresultaat. De huidige modelonbetrouwbaarheid van de waterbeweging ligt in de orde van 10 tot 20 m<sup>3</sup>/s. De vertaling hiervan naar een onbetrouwbaarheid in de hoeveelheid geschikt habitat is niet eenduidig te geven omdat deze afhankelijk is van de soort en het levensstadium van de betreffende soort. De onbetrouwbaarheid van de waterbeweging kan variëren van 70-85% voor adulten tot 50% voor juvenielen en larven van de totale onbetrouwbaarheid. Globaal kan worden aangegeven dat van de totale modelonbetrouwbaarheid, in termen van het berekende oppervlak geschikt habitat, 50% tot 85% voor rekening komt van de waterbeweging. Verbeteringen van de waterbeweging zal dan ook leiden tot een aanzienlijke verbetering van het modelresultaat. Met behulp van bepaalde modelaanpassingen in de waterbeweging is de verwachting dat de modelonbetrouwbaarheid, als gevolg hiervan, kan worden gereduceerd tot een 5 tot 10 m<sup>3</sup>/s.

Naast de waterbeweging is de Habitat Geschiktheids Index (HGI) per soort een belangrijke factor in het model. Afwijkingen hierin vormen, welliswaar in mindere mate dan afwijkingen in de waterbeweging, een factor om rekenschap aan te geven. Bij juveniele en larvale stadia van Kopvoorn en Barbeel heeft een eventuele afwijking in de HGI's het grootste effect op de uitkomsten. Het is moeilijk in te schatten in hoeverre dergelijke afwijkingen daadwerkelijk voorkomen en derhalve gereduceerd kunnen worden. Het relatieve aandeel van afwijkingen in HGI in de totale onbetrouwbaarheid in het berekende oppervlak geschikt habitat wordt geschat op 15% tot 30%.

Afwijkingen in substraat, zuurstof en temperatuur hebben niet of nauwelijks een effect op het modelresultaat en behoeven derhalve geen directe nadere aandacht.

RHASIM is een ecologisch voorspelmodel waarmee scenario's op een adequate wijze kunnen worden doorgerekend. Hierbij dient wel rekening te worden gehouden met een bepaalde mate van onbetrouwbaarheid waarmee met het model kan worden gerekend. Rekening houdend met deze onbetrouwbaarheden kan het model bijvoorbeeld goed worden ingezet op inrichtingsvraagstukken.

*waar  
wat is  
de onbetrouw-  
baarheid*





## **inleiding**

In opdracht van RWS-RIZA heeft Witteveen+Bos het Rivier HABitat Simulatie Model (RHASIM, versie 2.0) geanalyseerd. Met RHASIM worden ecologische effecten bepaald als functie van abiotische systeemkenmerken (waterkwaliteit en -kwantiteit) tijdens lage afvoeren in de zomer van de Grensmaas, een voor Nederland uniek riviertraject.

Deze analyse behelst enerzijds het identificeren van onderdelen die een grote invloed hebben op eindresultaten (gevoeligheid), anderzijds het in kaart te brengen van de betrouwbaarheid (onzekerheid) van het model.

## **analyse gevoeligheid en onzekerheid RHASIM2.0**

De abiotische systeembenadering van de Grensmaas gedurende de zomermaanden (lage afvoeren) vormt de basis van RHASIM, en is reeds eerder vergeleken met SOBEK (RIZA, 2001). De ecologische effectbepaling is grotendeels tot stand gekomen op basis van theoretische inzichten (literatuur) en expert judgement, maar ook op basis van enkele meetcampagnes op de Grensmaas.

RHASIM bestaat concreet uit de volgende onderdelen:

- een waterbeweging;
- een bodemprofiel (bodemdiepte per gridcel);
- een substraatmodule;
- een zuurstofmodule (rekeninghoudend met temperatuurinvloeden) en;
- ecologische effectbepalingen m.b.v. zogenaamde Habitat Geschiktheid Index modellen (HGI's).

In deze analyse is onderscheid gemaakt tussen modelonzekerheid (onbetrouwbaarheid) en gevoeligheid (effect onzekerheid).

De waterbeweging is de basis van RHASIM. De betrouwbaarheid is beoordeeld op basis van gemeten afvoeren en waterstanden. Deze toetsing is doorgetrokken naar stroomsnelheid en waterdiepte (zie tabel 1). De HGI's zijn op betrouwbaarheid en gevoeligheid beoordeeld met behulp van bestaande literatuur.

In onderstaande tabel 1. zijn de belangrijkste bevindingen ten aanzien van de gevoeligheid en onzekerheid van het huidige model weergegeven. De ecologische effectbepaling is hier beperkt tot de meest relevant geachte vissoorten, namelijk de adulten Barbeel en Kopvoorn.





**Tabel 1. Gevoeligheid & betrouwbaarheid RHASIM2.0 per onderdeel weergegeven bij lage afvoeren in de zomer (5-80 m<sup>3</sup>/s). - -- is (zeer) klein, +/- is matig, + ++ is (zeer) groot**

onderdeel RHASIM2.0	onderdeel	gevoeligheid	betrouwbaarheid	mogelijke verbetering
waterbeweging <sup>a</sup>	stroomsnelheid	++	-	bijv. WAQUA
	waterdiepte	++	+/- <sup>b</sup>	bijv. meest actuele multi-beammetingen
waterkwaliteit	substraat	+/-	--	update
	zuurstof	-	+/-	meetcampagne (bodem)
	(temperatuur	+	+) )	
<b>adult Barbeel<sup>c</sup></b> (HGI-curves)	stroomsnelheid	+	+	meetcampagne
	waterdiepte	+	+	„
	substraat	--	++	„
	zuurstof	n.v.t. <sup>d</sup>	+	
	temperatuur	n.v.t. <sup>d</sup>	++	
<b>adult Kopvoorn<sup>c</sup></b> (HGI-curves)	stroomsnelheid	+	+/-	meetcampagne
	waterdiepte	+	+/-	„
	substraat	--	-	„
	zuurstof	n.v.t. <sup>d</sup>	+/-	
	temperatuur	n.v.t. <sup>d</sup>	+	

a toetsing met gemeten afvoeren en waterstanden;

b niet precies bepaald, ligt buiten onderhavig onderzoek; ?

c geschat op basis van literatuur en expert judgement, per stadium verschilt de gevoeligheid;

d zuurstof en temperatuur zijn onafhankelijk van het debiet in RHASIM.

Bovenstaande tabel 1. geeft aan dat de waterbeweging de grootste *gevoeligheid* onbetrouwbaarheid geeft. RHASIM lijkt tevens bij debieten vanaf 10-40 m<sup>3</sup>/s onbetrouwbare slibsedimentaties te berekenen. Afwijkingen in substraat, zuurstof en temperatuur hebben niet of nauwelijks een effect op het modelresultaat. De bepaalde betrouwbaarheid van de HGI's is beperkt, echter orde grootte klopt wel. Het effect van deze onzekerheid is over het algemeen niet te verwaarlozen. Bij juveniele en larvale stadia is de invloed van onzekerheden van HGI's zelfs (zeer) groot te noemen, bij adulten relatief gezien minder. De variabelen die van invloed zijn op lokale c.q. kleine schaal (1 tot enkele m<sup>2</sup>), zoals zuurstof en temperatuur, zijn door de grotere resolutie van RHASIM moeilijk te verdisconteren. Een goede zuurstofeffectbepaling vergt extra onderzoek, onder andere door op lokaal niveau metingen uit te voeren over de gehele waterkolom.

Volledigheidshalve volgen enkele algemene opmerkingen in verband met de interpretatie van eindresultaten RHASIM:

- de gevoeligheid kan slechts op gebiedsniveau geïnterpreteerd worden. Met RHASIM (gridcelgrootte is 0,1 ha) kunnen geen uitspraken op detailniveau gedaan worden, bijvoorbeeld de habitat achter een grote steen of in de monding van de Geul;
- ook wordt er geen inzicht in de duur van een effect gegeven. Afwezigheid van wetenschappelijk-empirisch inzicht maakt deze temporele component vooralsnog niet implementeerbaar in RHASIM.





## **verbeteringen van RHASIM**

### *ten aanzien van de waterbeweging*

De onbetrouwbaarheid van de waterbeweging, vertaalt naar spreiding in de afvoer, ligt in de orde van 10-20 m<sup>3</sup>/s. Daarnaast zijn er systematische afwijkingen waargenomen door afwezigheid van benaderde laterale toestroming van 0-10 m<sup>3</sup>/s. Het is, relatief eenvoudig, mogelijk de waterbeweging op een aantal belangrijke punten te aan te passen met de huidige inzichten en derhalve aanzienlijk te verbeteren. Verwacht wordt dat, als gevolg van het aanpassen van de waterbeweging met de huidige inzichten, de betrouwbaarheid van de waterbeweging minimaal 50% toe zal nemen. Dat komt neer op een afwijking in de afvoer van 5-10 m<sup>3</sup>/s. De systematische fout kan met het verdisconteren van laterale toestromingen opgeheven worden. Indien schattingstechnische problemen bij lage afvoeren geen noemenswaardige problemen opleveren, wordt het gebruik WAQUA als beste optie gezien om zowel de systematische als de algehele onbetrouwbaarheid te verbeteren.

### *ten aanzien van substraat*

Substraatberekeningen bij hogere afvoeren ( $Q > 40$  m<sup>3</sup>/s) laten onrealistische waarden zien. Substraat heeft, vermoedelijk als gevolg hiervan, nauwelijks effect op de geanalyseerde vissoorten. Mogelijk dat een aanpassing van de substraatmodule resulteert in een grotere gevoeligheid. Indien de HGI's betrouwbaar lijken (zoals bij Kopvoorn adult), kan een aanpassing van de substraatmodule mogelijk iets toevoegen. Vooralsnog worden verbeteringen hieromtrent minder belangrijk geacht dan verbeteringen in de waterbeweging en HGI.

### *ten aanzien van de HGI's*

De betrouwbaarheid van HGI's kunnen voornamelijk worden verbeterd door middel van aanvullende bemonsteringen op de Grensmaas. Onduidelijk is echter of hiermee een aantoonbare winst valt te behalen omdat HGI's zijn gebaseerd op bestaande kennis aangaande het opstellen van dergelijke relaties. Bij juveniele en larvale stadia van Kopvoorn en Barbeel heeft een eventuele afwijking in de HGI's het grootste effect op de uitkomsten.

### *ten aanzien van het aantal (kritische) soorten*

Het huidige aantal kritische soorten in RHASIM (Kopvoorn en Barbeel) is relatief beperkt waardoor uitspraken aangaande bepaalde effecten, gezien de diverse onbetrouwbaarheden in RHASIM, mogelijk minder stellig kunnen worden gemaakt dan is gewenst. Het aantal soorten alsmede welke soorten bepalen derhalve in sterke mate de kwaliteit van het modelresultaat en de bijbehorende onbetrouwbaarheid. Aanbevolen wordt om per soortgroep bijvoorbeeld 4 à 5 soorten op te nemen die kenmerkend zijn voor een bepaalde indicatie en bijvoorbeeld 1 à 2 storingsindicatoren. Ofwel de betrouwbaarheid van het modelresultaat neemt toe naarmate meer soorten van een bepaalde soortgroep dezelfde richting op wijzen.

## **inzet model RHASIM**

RHASIM is een ecologisch voerpelmodel waarmee scenario's op een adequate wijze kunnen worden doorgerekend. Hierbij dient wel rekening te worden gehouden met een bepaalde mate van onbetrouwbaarheid waarmee met het model kan worden gerekend. Rekening houdend met deze onbetrouwbaarheden kan het model bijvoorbeeld goed worden ingezet op eventuele herinrichtingsvraagstukken.

### *minimaal ecologisch verantwoorde afvoernorm Grensmaas*

Bij een modelmatige insteek zoals bijvoorbeeld RHASIM is de benadering van de waterbeweging een belangrijke beperkende factor. Een foutenmarge (onzekerheid) van 5 tot 10 m<sup>3</sup>/s is vermoedelijk het meest haalbare. Bij het bepalen van minimale afvoeren lijkt een aanpak op kleinschaliger niveau, zoals een monitoring bij representatieve locaties van vispopulaties en macrofauna (meetcampagne) een betrouwbare ondersteuning. Op deze wijze kan meer inzicht verkregen worden in lokale en temporele interacties tussen abiotiek en ecologie.





## 1. INLEIDING

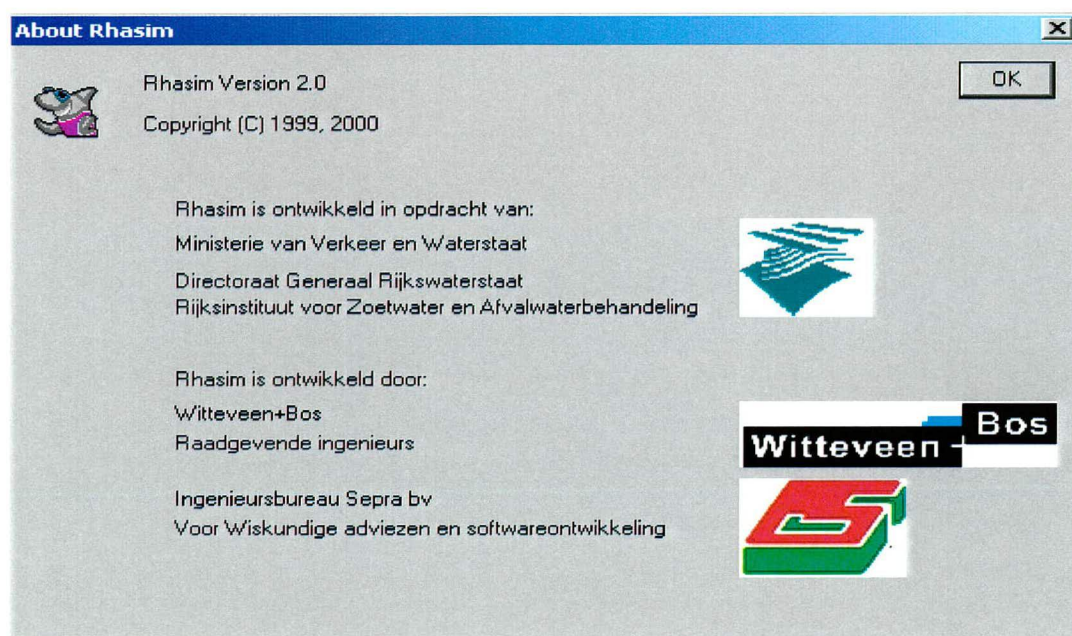
### 1.1. Achtergrond

In 1998 heeft Directie Limburg het RIZA gevraagd om een model te ontwikkelen om een ecologische onderbouwing te geven van een minimale afvoernorm op de Grensmaas. De huidige afvoernorm staat onder druk, doordat het gebruik van Maaswater voor de voeding van kanalen, verdrogingsbestrijding en drinkwaterwinning steeds verder toeneemt.

Het eerste model, RHASIM1.0, is grotendeels gebaseerd op het functioneel ontwerp dat in 1997 door Witteveen+Bos is ontwikkeld. Het model is in 1999 opgeleverd en met dit (concept)model zijn een aantal verkennende berekeningen uitgevoerd. De uitkomsten van deze eerste berekeningen met RHASIM komen in grote lijnen overeen met de verwachting, maar er waren een aantal verbeteringen noodzakelijk voordat het model kon worden ingezet om een norm voor lage afvoer op de Grensmaas te onderbouwen. In 2000/ 2001 zijn deze verbeteringen doorgevoerd en is op basis van het verbeterde model (RHASIM2.0, afbeelding 1.1) een voorstel voor een norm voor lage afvoer op de Grensmaas gedaan (RIZA, Pakes, U. et al., concept EHM nr. 37, 2001).

Aan het model kleven een groot aantal onzekerheden die voorheen alleen kwalitatief zijn omschreven, maar voor een goede inschatting van de waarde van de uitkomsten kwantitatief uitgewerkt dienen te worden.

**Afbeelding 1.1. RHASIM 2.0**



In opdracht van RWS-RIZA heeft Witteveen+Bos het Rivier HABitat Simulatie Model (RHASIM, versie 2.0) geanalyseerd. Deze analyse behelst enerzijds het identificeren van onderdelen die een grote 'impact' hebben op eindresultaten (gevoeligheid), anderzijds het in kaart te brengen van de betrouwbaarheid (onzekerheid) van het model.

Onderhavig project behelst een analyse van RHASIM, waardoor mogelijkheden en onmogelijkheden van het gebruik van RHASIM duidelijker in beeld komen. Op basis van de geconstateerde gevoeligheid & onzekerheid zijn concrete aanbevelingen gedaan voor verdere verbetering van het model.



## 1.2. Doel

Het doel van onderhavig onderzoek is tweeledig:

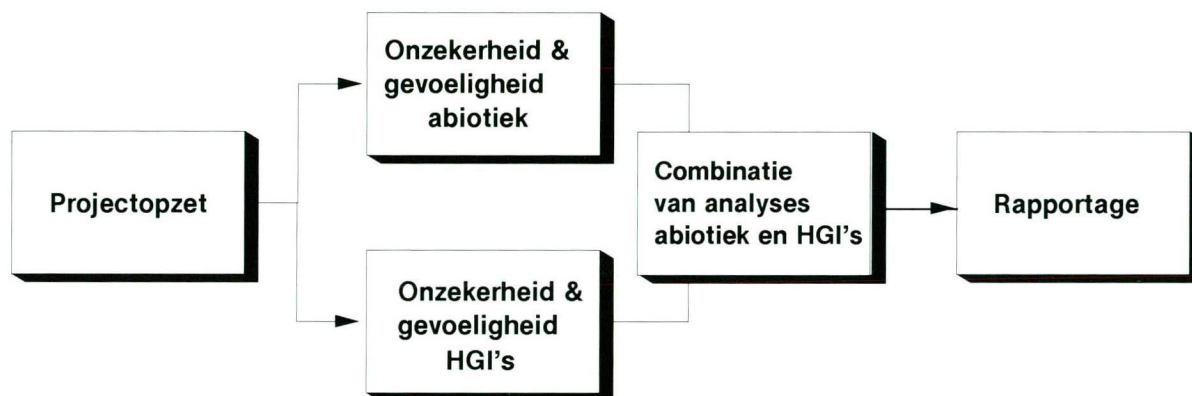
- het verkrijgen van een kwantitatief beeld van de invloed (gevoeligheid) van foutmarges (onzekerheid) in modules van RHASIM. Hierdoor wordt de (ecologische) interpretatie van uitkomsten van RHASIM duidelijker;
- inzicht verkrijgen in hoe eventuele onzekerheden van RHASIM gereduceerd kunnen worden door (een) modelaanpassing(en).

## 1.3. Globale aanpak

De onderhavige studie is in meerdere stappen uitgevoerd. De onderverdeling is (zie ook afbeelding 1.2.) als volgt:

1. uitwerking projectopzet;
2. onzekerheid & gevoeligheid waterkwantiteit en -kwaliteit;
3. onzekerheid & gevoeligheid HGI modellen (ecologische effectbepaling abiotiek);
4. combinatie onzekerheid & gevoeligheid abiotiek en HGI
5. rapportage.

**Afbeelding 1.2. Schematisatie globale aanpak**



Het projectopzet is de basis voor het onderzoek. Hierbij is de globale aanpak vastgesteld. Deze is ter acceptatie voorgelegd aan alle betrokken partijen.

### onzekerheid en gevoeligheid abiotiek

De analyse van abiotische randvoorwaarden in RHASIM geeft inzicht in de foutmarges die kunnen ontstaan als gevolg van benaderingen in de abiotiek (waterkwantiteit en waterkwaliteit) van de Grensmaas. Concreet gaat het bij de benadering van RHASIM van waterkwantiteit om afvoer, waterstand, stroomsnelheid en de bodemschematisatie. De waterkwaliteit behelst zuurstof, substraat en temperatuur.

In dit onderdeel is het accent gelegd op de validatie van de waterbeweging op basis van geobserveerde en berekende waterstanden en afvoeren. In hoofdstuk 4 is dit onderdeel nader uitgewerkt.

### onzekerheid en gevoeligheid ecologische effectbepaling

De analyse van HGI modellen geeft de onzekerheid en de invloed ervan (gevoeligheid) weer van de abiotiek (waterkwantiteit en waterkwaliteit) op de ecologie. Deze analyse geeft tevens duidelijkheid inzake de sterke punten, zwakke punten, onzekerheden en eventuele verbeterpunten aangaande de gebruikte HGI modellen en de gehanteerde soorten.





Het accent bij de HGI-analyse is gelegd op de HGI's van waterdiepte en stroomsnelheid. In hoofdstuk 5 is dit onderdeel nader uitgewerkt.

#### **combinatie onzekerheid & gevoeligheid abiotiek en HGI**

De analyseresultaten van de waterbeweging en de HGI's zijn gebruikt om een beeld te krijgen van de relatieve bijdrage van de belangrijkste foutenbronnen. Hierbij zijn berekeningen bij een in de zomer representatieve afvoer van  $Q=10 \text{ m}^3/\text{s}$  gebruikt ter illustratie. In hoofdstuk 6 is dit nader uitgewerkt.

#### **rapportage**

De rapportage omvat een beschrijving van de gehanteerde aanpak, methoden en technieken alsmede een beschrijving van de resultaten, conclusies en eventuele verbeterpunten. Het resultaat is onderhavige rapportage met twee bijlagen.

#### **1.4. Afbakening**

In onderhavig onderzoek zijn alleen lage afvoeren op de Grensmaas als basis meegenomen in de analyses, hier gedefinieerd als afvoeren van 5, 10, 20, 30, 40, 60 en  $80 \text{ m}^3/\text{s}$ .

Onderhavig project bevat slechts een kwantitatieve analyse van het model RHASIM2.0, met aanvullende aanbevelingen om benodigde modelverbeteringen te realiseren. Antwoord op beleidsmatige vraagstukken zoals hoe tot een ecologisch onderbouwde minimale afvoernorm op de Grensmaas te komen, wordt met dit rapport niet gegeven.



## 2. KORTE SYSTEEMBENADERING GRENSMAAS

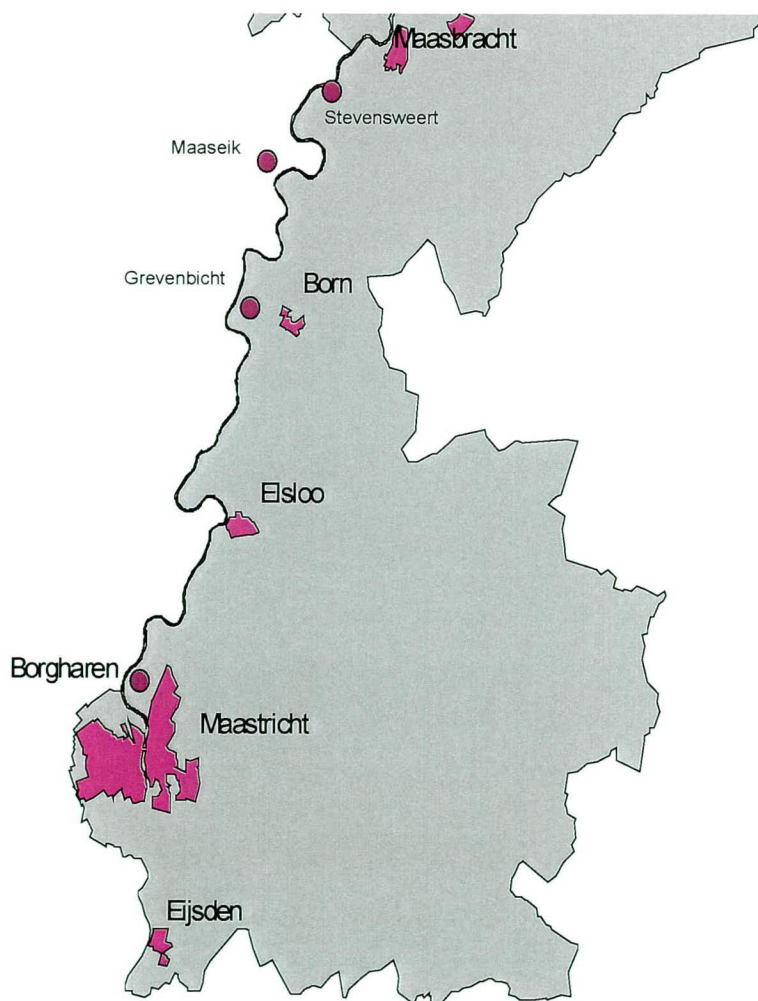
### 2.1. Grensmaas algemeen

De Grensmaas is het gedeelte van de Maas tussen de stuw te Borgharen-dorp en de stuw nabij Maasbracht dat de grens tussen Nederland en België vormt (zie afbeelding 2.1). De Grensmaas heeft een lengte van ongeveer 53 kilometer.

De Maas is een echte regenrivier. De afvoer wordt vooral bepaald door de neerslag die in het stroomgebied van de rivier valt en kan daarom sterk wisselen in een relatief korte periode.

De gemiddelde jaarafvoer van de rivier bij Borgharen-dorp bedraagt  $230 \text{ m}^3/\text{s}$ . In de zomer kunnen afvoeren voorkomen van  $5\text{-}20 \text{ m}^3/\text{s}$  of zelfs lager zoals in augustus 1998. In de winter kunnen door de neerslag in korte tijd piekafvoeren van  $2.000\text{-}3.000 \text{ m}^3/\text{s}$  voorkomen. Voorbeelden van dergelijke piekafvoeren zijn debieten die in december 1993 en in januari-februari 1995 zijn geconstateerd te Borgharen-dorp en te Maaseik (AWZ, Water nr. 99, 1998).

Afbeelding 2.1. Grensmaas





## 2.2. Kenmerken van de Grensmaas

De Grensmaas heeft een 'bakprofiel' met op dit moment nog te weinig variatie in verschillende dieptes die een min of meer natuurlijke rivier kenmerkt. In het kader van de herinrichting van de Grensmaas zal dit profiel in de toekomst waarschijnlijk worden aangepast.

Bij laag water, zoals in de zomermaanden voorkomt, ontstaat op de grindbodem een typisch profiel van *rifles* en *pooles*.

Bij een lage afvoer (0-60 m<sup>3</sup>/s) wordt de afvoer hoofdzakelijk geleid door het zomerbed van de rivier. Wanneer de afvoer toeneemt (> 60 m<sup>3</sup>/s) overstroomt ook de oeverzone.

Hieronder is een indicatie van de toestroming en afstroming op de Grensmaas in de zomer weergegeven, waarbij wordt uitgegaan van een afvoer van ongeveer 10 m<sup>3</sup>/s te Borgharen.

**Tabel 2.1. Indicatie zomerse toe- en afstroming Grensmaas (Q Borgharen=10 m<sup>3</sup>/s)\***

toestroming	percentage	afstroming	
Maas	50%	Grensmaas	>90%
Grondwateraanvulling	25%	Inlaatpunten	? %
Borgharen- Maaseik			
Geul	15%		
Lozing DSM	10%		
Restterm	0 %	Restterm	? %
Totaal	100%	Totaal	100%

\* op basis van gegevens van RWS-DLB, en analyses van IWACO (2000) en SIM (1997)

Thans komen in de Grensmaas ongeveer 27 vissoorten voor (Vriese, 1992). In RHASIM2.0 wordt bij analyses tot nu toe uitgegaan van de stroomminnende ofwel rheofiele soorten Barbeel en Kopvoorn.





### 3. HET RIVIER HABITAT SIMULATIEMODEL (RHASIM)

#### 3.1. Inleiding

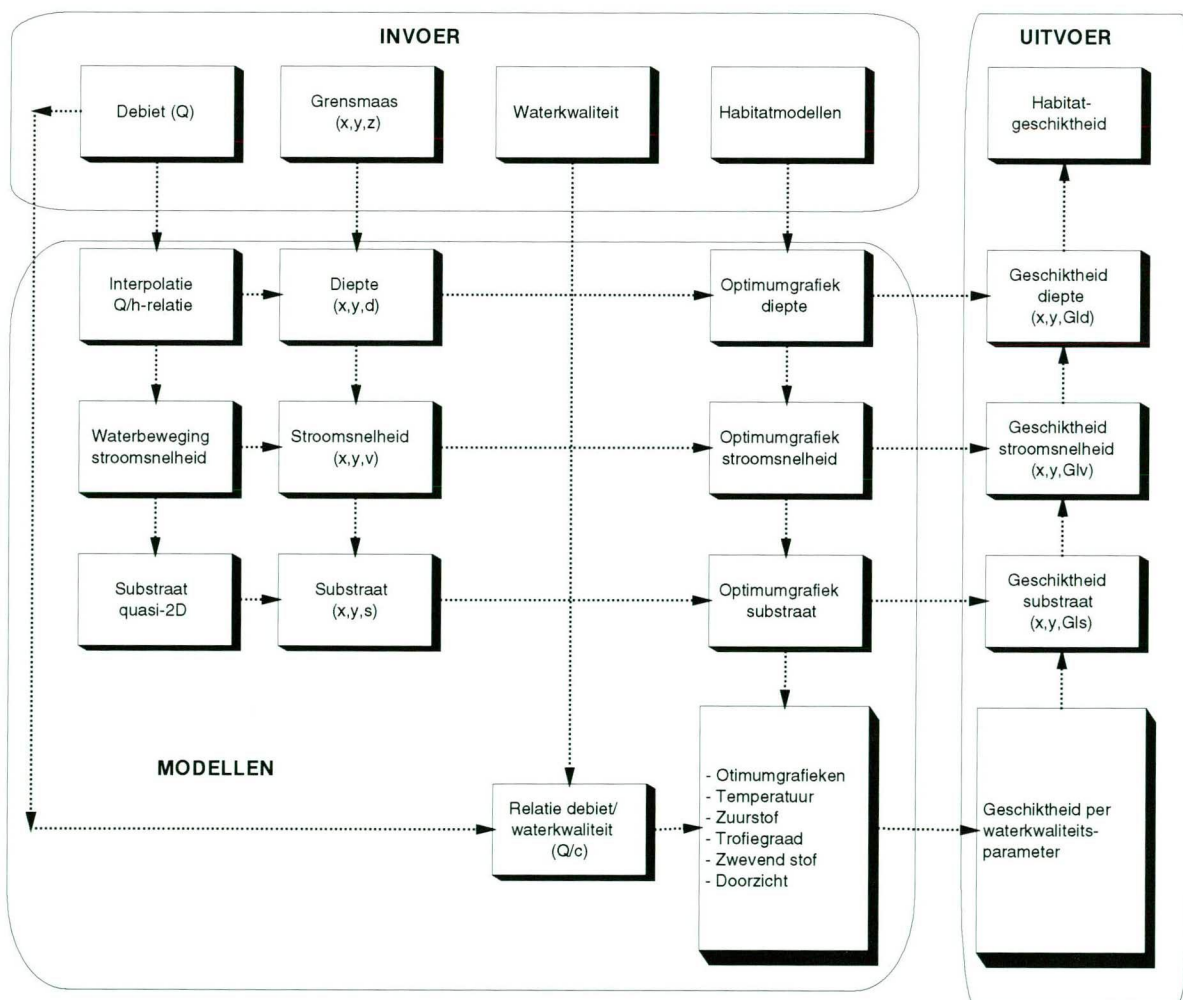
In dit hoofdstuk is RHASIM zij het beperkt toegelicht, zodat een algemene indruk verkregen wordt.

#### 3.2. Globale opzet RHASIM

Met behulp van een gedefinieerde abiotische situatie (waterkwantiteit en -kwaliteit) berekent het model RHASIM voor iedere relevante abiotische parameter de geschiktheid van de habitat voor een bepaalde vissoort, eventueel voor meerdere levensstadia.

Zoals in deze afbeelding is te zien bestaat RHASIM uit vijf hoofdcomponenten: invoermodule, habitat-module, waterbewegingsmodule (met droogvalprocedure), substraatmodule en uitvoermodule. RHASIM is generiek van opzet waardoor nieuwe inzichten en nieuwe of andere modellen relatief snel en eenvoudig kunnen worden geïmplementeerd.

Afbeelding 3.1. Opzet RHASIM



Voor meer technische informatie aangaande RHASIM wordt verwezen naar onder meer de rapportage 'ontwikkeling van een rivier habitat simulatiemodel RHASIM versie 2.0', Witteveen+Bos, november 2000.





### 3.3. Instellingen RHASIM

Bij de gevoeligheid- en onzekerheidsanalyse van RHASIM is gekozen voor een afbakening van de mogelijke instellingen per run. Hierbij is uitgegaan, voor zover mogelijk, van vaste instellingen, die reeds eerder zijn weergegeven in onder meer het concept EHM-rapport nr. 37 (RIZA; Pakes, Liefveld en Schulze; 2001).

In RHASIM kan de gebruiker per run instellingen opgeven bij de volgende onderdelen:

- run instellingen (met de waterbeweging als basis);
- sediment instellingen;
- hydraulische instellingen;
- gegevens zuurstofmodel (inclusief temperatuursinvloed);
- gewenste uitvoer (specificatie en selectie).

**Tabel 3.1. Vaste instellingen van RHASIM2.0 (uit Pakes et al., 2001)**

<b>run instellingen</b>	<b>debiet (<math>\text{m}^3/\text{s}</math>)</b>		<b>ruwheid (Chezy <math>\text{m/s}^{1/2}</math>)</b>	
	5		10	
	10		11	
	20		17	
	30		21	
	40		24	
	60		27	
	80		44	
<b>sediment instellingen</b>	de valsnelheid:		1 $\text{m}^2/\text{s}$	
	tau (sedimentatie):		0.06 $\text{N/m}^2$	
	sedimentatiedrempel:		0.043 $\text{kg/m}^2 \text{ dag}$	
<b>hydraulische instellingen</b>	stuwpeil Stuw Linne:		20.85 m + NAP	
	drempel droogval		1 m	
<b>gegevens zuurstofmodel</b>	maand:		augustus	
	temperatuur te Eijsden:		20 $^{\circ}\text{C}$	
	zuurstofgehalte te Eijsden:		2.8 $\text{mg/l}$	
	tijdstip op de dag:		8.00 uur	
<b>uitvoerspecificatie</b>	traject begin	0 m	stuw Borgharen	
	traject eind	55000 m	brug Maaseik	
<b>uitvoer selectie</b>	simulatieresultaten:		aan	
	HGI per cel:		aan	

De bovenstaande instellingen zijn bij elke run constant gehouden, tenzij de betreffende parameter of onderdeel geanalyseerd is. De ruwheid en minimale droogvaldrempel zijn gevarieerd om de gevoeligheid van deze parameters te kunnen beoordelen. Alleen de Chezy-factor kan hierbij per run worden ingesteld. De drempelwaarde voor de ingebouwde droogvalprocedure ligt per berekening (met maximaal 10 runs) vast.

Het bodemprofiel is in onderhavige analyse niet aangepast, maar dit kan via de invoerfile.

De HGI's van de waterdiepte, stroomsnelheid en substraat zijn aangepast via de invoerfile. De analyse van HGI's is in meer detail in hoofdstuk 5 beschreven. De aangepaste invoerfile voor de analyse van de belangrijkste HGI's (waterdiepte en stroomsnelheid) is in bijlage II terug te vinden.



## 4. GEVOELIGHEID EN ONZEKERHEID ABIOTIEK RHASIM

### 4.1. Waterbeweging

#### achtergrond

Toen RHASIM werd ontwikkeld bleek het WAQUA-schema (model voor tweedimensionale waterbeweging) ontoereikend, dat wil zeggen instabiel bij lage afvoeren. Daarom is destijds gekozen voor een zelf ontwikkelde quasi-tweedimensionale waterbeweging die specifiek ontworpen is voor het rekenen met lage afvoeren. Dit model gaat uit van een stationaire stroming en houdt geen rekening met zijdelingse toestroming.

De waterbewegingsmodule in RHASIM is reeds gevalideerd aan de hand van resultaten van berekeningen met het 1 dimensionale waterbewegingsmodel SOBEK. Hieruit bleek dat RHASIM en SOBEK redelijk vergelijkbare resultaten lieten zien aangaande de waterbeweging, vaak minder dan 10 cm verschil in waterstand bij verschillende lage debieten. Alleen bij piekafvoeren in de zomer bleek RHASIM meer af te wijken. De prestatie van SOBEK is gevalideerd, hieruit bleek dat 90% van de berekeningen gemiddeld minder dan 20 cm afwijken ten opzichte van de geobserveerde waterstanden (Pakes et al., 2001). Hierbij moet worden aangetekend dat het SOBEK-model vooral was afgesteld voor hoge afvoeren, ten bate van hoogtevoorspellingen.

De kwaliteit van de benaderde waterbeweging staat of valt met de afvoer, de op te geven chezy-factor en de natte doorsnede (bodemschematisatie) voor het stapsgewijs bepalen van de waterstand in het gehele traject. De afvoer wordt in RHASIM constant verondersteld in de gehele Grensmaas. De chezy-factor is bepaald met behulp van schattingen verkregen met de gevalideerde benadering van de waterbeweging van SOBEK. De natte doorsnede  $A$  is bepaald op basis van de afvoer en de bodemschematisatie. De Chezy-factor is constant gesteld voor het gehele traject, echter wel verschillend per afvoer.

De basis van RHASIM is de waterbewegingsmodule, waarin opgegeven afvoeren worden doorberekend naar onder meer waterstanden  $H$  en stroomsnelheden.

#### gevoeligheid waterbeweging

De waterbewegingsmodule is de basis van RHASIM. De onzekerheid van de benadering van de waterbeweging op de Grensmaas heeft bij lage afvoeren een relatief groot effect op de eindresultaten van RHASIM (grote gevoeligheid). Deze veronderstelling zal in de hieropvolgende twee hoofdstukken ondersteunt worden.

#### onzekerheid waterbeweging

De onzekerheid van de waterbeweging wordt aangetoond door te kijken naar de gemeten en berekende relatie tussen afvoer en waterstand (QH-relatie) op de Grensmaas bij lage afvoeren.

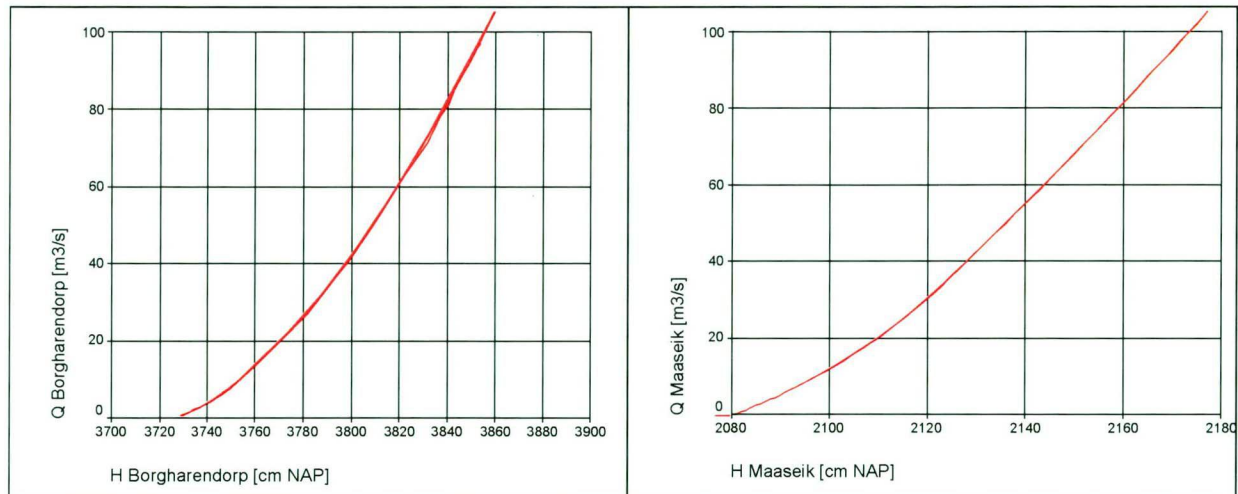
Een afwijking in de waterkwantiteit wordt doorvertaald naar een afwijking in ecologische output. Het effect van een afwijking in debiet van  $\Delta Q = 10 \text{ m}^3/\text{s}$ , en derhalve in stroomsnelheid ( $Q = A \cdot v$ ), wordt doorvertaald naar de HGI stroomsnelheid van alle meegenomen soorten.

Uit afbeelding 4.1. valt af te leiden dat een verschil van 1 cm in waterstand ( $\Delta H = 1 \text{ cm}$ ) een verschil in debiet  $Q$  oplevert van ongeveer  $\Delta Q = 1 \text{ m}^3/\text{s}$ . Een modelonnauwkeurigheid van  $\Delta H = 10 \text{ cm}$  levert derhalve een onnauwkeurigheid bij lage afvoeren op van ongeveer  $\Delta Q = 10 \text{ m}^3/\text{s}$ . In het bereik  $Q = 0-40 \text{ m}^3/\text{s}$  kan de verhouding  $\Delta Q [\text{m}^3/\text{s}] : \Delta H [\text{cm}]$  niet 1: 1 zijn maar 1: 2, echter afhankelijk van de locatie. Dit kan lokaal dus resulteren in kleinere onzekerheden in berekende afvoer dan in waterstanden.





**Afbeelding 4.1. QH-relatie te Borgharen-dorp en Maaseik\***



\* beschikbaar gesteld door DLB, op basis van metingen en QH-modellen

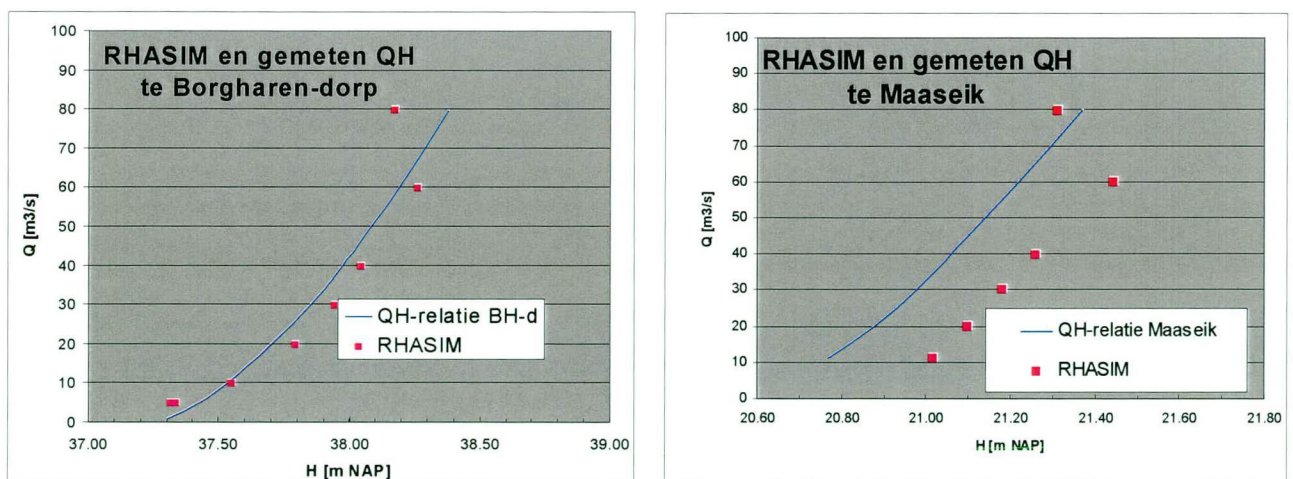
In afbeelding 4.2. zijn resultaten van de validatie te Borgharen-dorp en te Maaseik weergegeven. Dit zijn de enige locaties waar de afgeleide QH-relaties zijn gevalideerd. Huidige afwijkingen van RHASIM (onzekerheden) te Borgharen-dorp van de waterstanden zijn gemiddeld ongeveer  $\Delta H = 10$  cm, een onzekerheid in debiet van ongeveer  $\Delta Q = 8$   $\text{m}^3/\text{s}$ .

Huidige afwijkingen van RHASIM van de berekende waterstanden tegen gemeten waterstanden zijn te Maaseik gemiddeld ongeveer  $\Delta H = 20$  cm, overeenkomstig een onzekerheid in debiet van ongeveer  $\Delta Q = 28$   $\text{m}^3/\text{s}$ .

Bij deze vergelijking is gecorrigeerd voor de laterale toestroming, dat wil zeggen dat eventuele systematische afwijkingen niet aan de laterale toestroming kunnen worden toegewezen. Deze corrigerende houdt in dat bijvoorbeeld bij een opgegeven afvoer van  $Q = 10$   $\text{m}^3/\text{s}$  in RHASIM, zowel te Borgharen-dorp als te Maaseik een gemeten debiet van  $Q = 10$   $\text{m}^3/\text{s}$  is gebruikt voor een vergelijking met RHASIM.

Te Maaseik is sprake van een systematische overschatting van RHASIM. Dit is mogelijk te verklaren door de bepaling van de per afvoer constant veronderstelde chezy-factor. In bijlage I is een voorbeeld gegeven van het effect van verschillende Chezy-constanten bij eenzelfde afvoer.

**Afbeelding 4.2. Vergelijking tussen gemeten QH-relatie en gemeten Q met H van RHASIM**





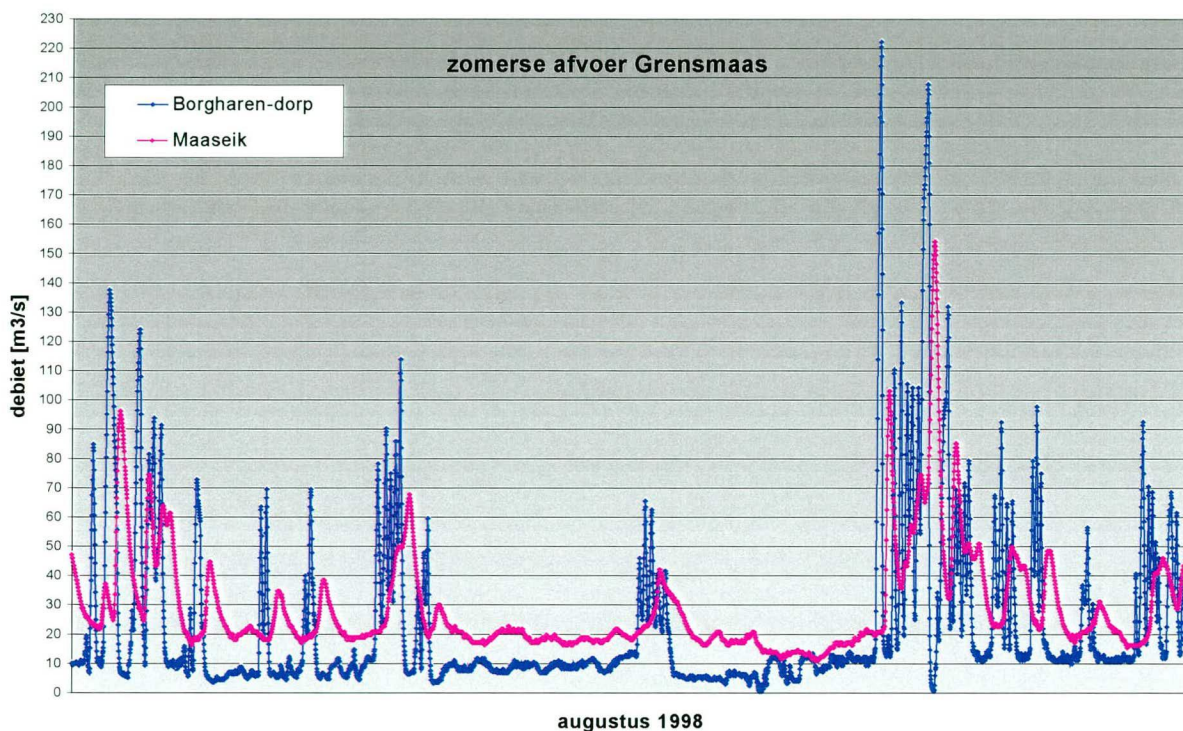


De locatie-afhankelijke onzekerheid van de berekende afvoer van de Grensmaas te Borgharen-dorp en te Maaseik is orde grootte ongeveer  $\Delta Q = 10\text{--}20 \text{ m}^3/\text{s}$ . Lokaal kan de afwijking slechts de meetfout zijn, maar ook groter dan  $Q = 30 \text{ m}^3/\text{s}$ . Bij de validatie van de waterbeweging is gecorrigeerd voor laterale toestromingen.

### verdere beperkingen benadering waterbeweging RHASIM

In RHASIM wordt op dit moment geen rekening gehouden met zijdelingse toestroming (grondwater, etc.). De toestroming in het 53 kilometer lange traject betekent al gauw een verschil van bijvoorbeeld  $Q = 10 \text{ m}^3/\text{s}$  tussen het debiet te Borgharen en te Maaseik. Zie ter illustratie de onderstaande afbeelding 4.3. met lage zomerse afvoeren van de Grensmaas, augustus 1998.

**Afbeelding 4.3. Gevalideerde afvoer Grensmaas in augustus 1998\***



\* beschikbaar gesteld door DLB, op basis van metingen en QH-modellen

Op de Grensmaas kan de lage afvoer niet constant worden verondersteld. Terwijl bijvoorbeeld te Borgharen orde grootte van lage afvoeren  $10 \text{ m}^3/\text{s}$  zijn, zijn in dezelfde periode (rekeninghoudend met vertragingseffecten c.q. looptijden van afvoerpieken) afvoeren te Maaseik ongeveer  $20 \text{ m}^3/\text{s}$ .

De meetonzekerheid van de gemeten afvoer is vermoedelijk orde grootte minstens enkele  $\text{m}^3/\text{s}$ . Dit is te wijten door enerzijds de benadering van de afvoer door een (gevalideerde) QH-relatie, zowel te Borgharen-dorp als te Maaseik. Anderzijds is de omzetting van NAP naar TAW niet eenduidig te Maaseik. Het precies kwantificeren van meetfouten valt buiten onderhavige studie. Meer details over de kwantificering van de onzekerheid van de benaderde waterbeweging is in bijlage I te vinden.

De verschillen in lage afvoer in het traject tussen Borgharen-dorp en Maaseik van ongeveer  $10 \text{ m}^3/\text{s}$  in de zomer duiden op significante toestromingen. Deze laterale toestromingen zijn niet in RHASIM verdisconteerd. Hiernaast zorgen meetfouten voor een extra onzekerheid van minstens enkele  $\text{m}^3/\text{s}$ .





#### 4.2. Bodem Grensmaas

De geometrie van het systeem is een belangrijke variabele. De in RHASIM gebruikte schematisatie is gebaseerd op een (single beam) opname uit 1995. Vooral nog is in onderhavige studie uitgegaan van het feit dat de bodem van 1995 representatief is voor 1998 en voldoet aan de gestelde nauwkeurigheidseisen.

In het onderzoek is geen rekening gehouden met een verschil ten opzichte van de nieuwe bodem uit 2000-2001. De verwachting is dat er de afgelopen jaren alleen verschillen van maximaal enkele centimeters zullen zijn.

In het onderzoek is geen rekening gehouden met een significant verschil tussen de huidige bodemschematisatie en de werkelijke of meest actuele schematisatie uit 2000-2001.

#### 4.3. Zuurstofconcentratie

Gemeten zuurstofconcentraties op de Grensmaas in de zomer zijn in de orde grootte 5-16 mg/l. Minimale waarden kleiner dan 5 mg/l komen slechts kort voor, bijvoorbeeld enkele uren vroeg in de ochtend. Zuurstofconcentraties op de Grensmaas kenmerken zich in de zomer door een sterk dagpatroon, veroorzaakt door algenactiviteit.

##### onzekerheid

Enkele kanttekeningen inzake zuurstof in relatie tot ecologie bij lage afvoeren in de Grensmaas zijn noodzakelijk:

- in de literatuur is weinig bruikbare informatie te vinden op het gebied van de effecten van zuurstof(tekorten) in ecosystemen. Langdurige lage zuurstofconcentraties, bijvoorbeeld enkele dagen een concentratie van minder dan 5 [mg/l], kunnen mogelijk een effect hebben op met name de macrofauna in de Grensmaas;
- metingen zijn overdag verricht, vanaf vroeg in de ochtend tot vroeg in de avond. Verondersteld wordt dat de metingen vroeg in de ochtend representatief zijn voor de lage waarden in de nacht. Lage waarden komen in de nacht voor door respiratie in de nacht;
- zuurstofmetingen zijn, voor zover bekend, niet verricht op de bodem (bijvoorbeeld op grindstenen) van de Grensmaas. Op de bodem kan het zuurstof veel lager zijn dan elders in de waterkolom, waar de stroomsnelheid veelal groter is. Een grote stroomsnelheid kan ervoor zorgen dat zuurstof in voldoende mate wordt aangeleverd.

##### gevoeligheid

Gewenste metingen op de bodem zijn dus niet volledig. Zuurstof is vermoedelijk niet of nauwelijks een beperkende factor op grote schaal (gebiedsniveau). De simulaties beschreven in het concept EHM-rapport nr. 37 (RIZA; Pakes, Liefveld en Schulze; 2001) en in onderhavige analyse geven een beeld van ongevoeligheid van zowel lage als hogere zuurstofconcentraties die gebruikt zijn.

De invloed die zuurstofconcentraties op ecologische processen in de Grensmaas hebben, is in ieder geval tijdsafhankelijk. RHASIM gaat uit van langdurige, min of meer constante situaties waarbij geen tijdsafhankelijk is verdisconteerd. Gezien de resolutie van RHASIM is de ongevoeligheid derhalve niet opvallend.

Indien de bestaande metingen representatief zijn voor het gehele ecosysteem De Grensmaas, dan lijkt zuurstof volgens de HGI's van kritische soorten een relatief verwaarloosbare invloed te hebben, en is dus niet gevoelig. Metingen op de bodem van de Grensmaas zijn echter vooral nog (voor zover bekend) niet uitgevoerd voor een compleet beeld.

#### 4.4. Temperatuur

Temperatuur is in de zomer een belangrijke verklarende variabele voor de zuurstofconcentratie in het water. In RHASIM is temperatuur in de abiotische basis indirect verwerkt als verklaring voor de zuurstofconcentratie in de Grensmaas. Op kleine schaal is temperatuur met name van belang, omdat bijvoorbeeld een ondiep gedeelte bij een zonnige dag relatief warmer is.





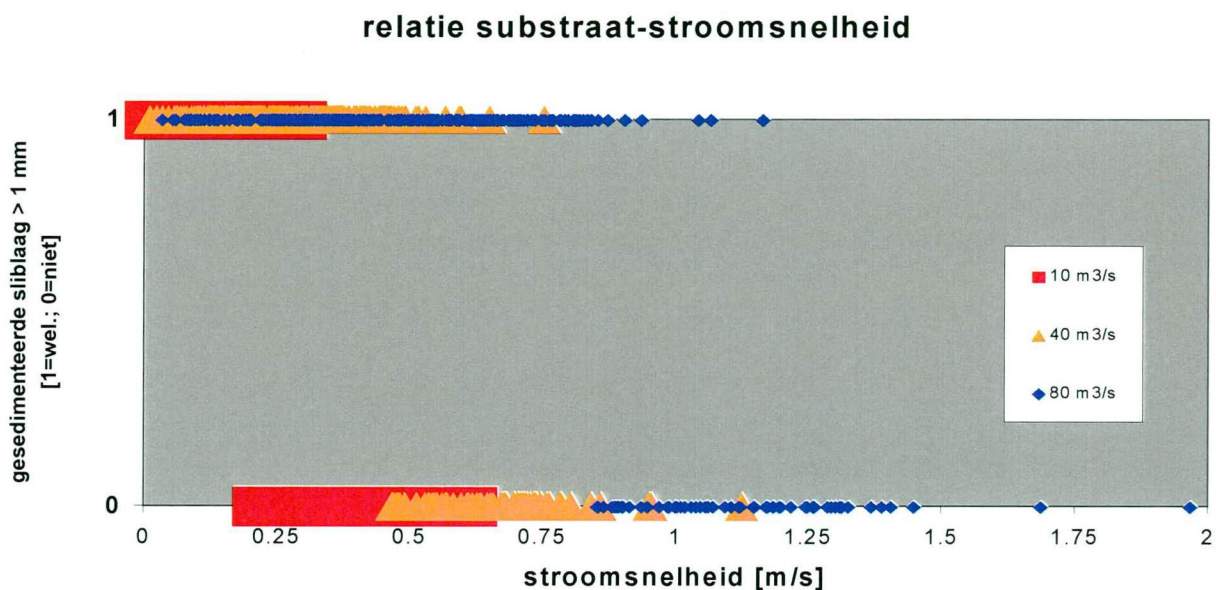
Dit kan een duidelijk lokaal effect hebben op bijvoorbeeld de zuurstofconcentratie en het voorkomen van soorten. Op gebiedsniveau echter lijkt de temperatuur in de zomer niet van essentieel belang. Mogelijk dat bij langdurige lage afvoeren de temperatuur van het water oploopt en zo een effect heeft op zuurstof en het voorkomen van soorten. In RHASIM echter is deze relatie tussen afvoer en temperatuur niet verdisconteerd.

#### 4.5. Substraat

##### onzekerheid

Een soort omslagpunt van wel/ geen sliblaag groter dan 1 mm is per debiet verschillend. Bij zomerse afvoeren ( $Q=10-80 \text{ m}^3/\text{s}$ ) ligt dit omslagpunt ongeveer tussen de stroomsnelheden  $v=0,25-1,0 \text{ m/s}$ , zie onderstaande afbeelding 4.4. ter illustratie.

**Afbeelding 4.4. Relatie substraat-stroomsnelheid in RHASIM bij debieten  $Q=10, 40$  en  $80 \text{ m}^3/\text{s}$**



Slibsedimentatie vindt plaats bij praktisch stilstaand water. Dit betekent dat omslagpunten van gesedimenteerde sliblagen ( $>1 \text{ mm}$ , Pakes et al., 2001) bij stroomsnelheden van ongeveer  $0,5$  tot  $1,0 \text{ m/s}$  bij de debieten  $Q=40-80 \text{ m}^3/\text{s}$  niet realistisch lijken.

##### gevoeligheid

Om de gevoeligheid (het effect van onzekerheden) van substraat te bepalen in eindresultaten, zijn verschillende varianten doorgerekend met RHASIM, zie voor meer details hoofdstuk 5. Onzekerheid in substraat blijkt geen enkel effect te hebben op eindresultaten van RHASIM.

Berekeningen van de substraatmodule in RHASIM lijken onrealistisch te worden indien het debiet groter wordt dan  $Q=10-40 \text{ m}^3/\text{s}$ . Eindresultaten van RHASIM zijn ongevoelig voor substraat. Mogelijk dat een aanpassing van de substraatmodule resulteert in een grotere gevoeligheid.





## 5. GEVOELIGHEID EN ONZEKERHEID HGI'S

### 5.1. Inleiding

Toetsing van uitkomsten van het waterbewegingsmodel, de waterkwaliteitsmodule en de substraatmodule van RHASIM vinden plaats aan bekende habitateisen van soorten. Deze habitateisen zijn verwerkt in zogenaamde habitatgeschiktheidsindexen (HGI). Voor de gevoeligheidsanalyse is gewerkt met HGI's van de soorten Kopvoorn en Barbeel en voor de variabelen stroomsnelheid, waterdiepte, substraat, temperatuur en zuurstof. In de Grensmaas variëren deze variabelen per locatie en worden beïnvloed door veranderingen van het debiet. Deze afhankelijkheid geldt in RHASIM echter alleen voor stroomsnelheid, waterdiepte en substraat; temperatuur en zuurstof worden onafhankelijk van het debiet gemodelleerd.

Onderstaand is een evaluatie van de kwaliteit van de HGI's van de genoemde soorten. Achtereenvolgens zijn de onderliggende data, de vertaling hiervan in RHASIM, de gevolgen van eventuele onzekerheden en de conclusies van de toetsing besproken. Tenslotte zijn aanbevelingen voor verbetering van RHASIM voorgesteld.

#### intermezzo: habitatgeschiktheidindexmodellen (HGI's)

HabitatGeschiktheidsIndexmodellen omvatten de relatie van een soort en het abiotische milieu. Aan de hand van de waarde van de milieuvariabelen, bijvoorbeeld stroomsnelheid, diepte en substraat, wordt de HGI beschreven. Een waarde van 0 komt overeen met ongeschikt, een waarde van 1 met optimaal. Zowel voor afzonderlijke milieuvariabelen als een combinatie van milieuvariabelen kan een HGI worden berekend. Bovendien maakt een HGI-model vaak nog onderscheid tussen de geschiktheid voor eieren/larven (paai), juvenielen (opgroei) en adulten (leefgebied).

### 5.2. Onderliggende data HGI Kopvoorn en Barbeel

De HGI-modellen van Kopvoorn en Barbeel zijn beide ontwikkeld door de Organisatie voor Verbetering van de Binnenvisserij (OVb, Bakker, 1992a en 1992b). Ze zijn gebaseerd op literatuurstudie van zowel kwantitatieve als kwalitatieve relaties tussen het voorkomen van vissen en het milieu. Deze gegevens zijn door experts geïnterpreteerd en vertaald naar habitatgeschiktheidsindices. Tabel 1. geeft het aantal literatuurverwijzingen waarop de HGI's van de verschillende levensstadia van Kopvoorn en Barbeel zijn gebaseerd. De onderliggende literatuur kan gebaseerd zijn op veel of weinig meetgegevens, dit is echter niet getoetst. In de tabel wordt eveneens een globale inschatting (++)/-) gegeven van de betrouwbaarheid/nauwkeurigheid per HGI. Deze inschatting is gebaseerd op het aantal literatuurverwijzingen en voorzover bekend de hoeveelheid en reikwijdte van de gegevens waarop ze gebaseerd zijn. Het type waarnemingen (incidentele waarneming of gericht onderzoek) en de inschatting van de betrouwbaarheid van de HGI door de auteur zelf zijn eveneens meegenomen. Zoals gezegd is de inschatting van de betrouwbaarheid globaal en gebaseerd op bovengenoemde criteria in combinatie met expert judgement.

**Tabel 5.1. Overzicht van het aantal literatuurverwijzingen en de geschatte betrouwbaarheid/nauwkeurigheid van de HGI curves van Kopvoorn en Barbeel\*;**

soort	criterium	diepte	strmsn	substraat	temp	zuurstof
Barbeel juveniel	aantal	2	3	2	4	3
	betrouwbaarheid	+/-	+	+/-	+	+/-
Barbeel voortplanting	aantal	1	1 a 2	3	7	2
	betrouwbaarheid	+/-	+/-	++	++	+/-
Barbeel adult	aantal	1	1	3	4	2
	betrouwbaarheid	+	+	++	++	+
Kopvoorn juveniel	aantal	6	3	2	2	3
	betrouwbaarheid	+/-	+	+	+	+/-
Kopvoorn voortplanting	aantal	2	4	5	6	1
	betrouwbaarheid	+	+/-	+	+	+/-





soort	criterium	diepte	strmsn	substraat	temp	zuurstof
Kopvoorn adult	aantal	3	1	1	4	?
	betrouwbaarheid	+/-	+/-	-	+	+/-

\* - is weinig betrouwbaar, +/- redelijk betrouwbaar, + en ++ (zeer) betrouwbaar

De curves in (OVb, 1992) suggereren een schijnnaauwkeurigheid. Wanneer ze gebaseerd zouden zijn op meer of andere meetgegevens, is het mogelijk dat de curves een (iets) andere vorm hebben. In werkelijkheid zijn de grenzen ook niet scherp maar afhankelijk van het specifieke systeem en interacties met overige factoren. Belangrijker is dat de ranges van de milieuvariabelen waarbinnen de curves liggen plausibel zijn, er zijn geen onwaarschijnlijke waarden gevonden. Een kwantificering van de foutmarge is alleen in globale termen mogelijk.

De inschatting geeft aan dat de betrouwbaarheid beperkt is, echter orde grootte klopt wel.

### 5.3. HGI's in RHASIM

De HGI-modellen zijn om praktische redenen niet continu maar discreet ('trapsgewijs') in invoerfiles van RHASIM verwerkt, zie bijvoorbeeld afbeelding 5.1. Deze invoerfiles zijn gecontroleerd op fouten. Dit heeft geleid tot aanpassing van de curves voor de factor substraat, deze zijn in een andere vorm teruggekomen in het nieuwe bestand. De aangepaste file is in bijlage II terug te vinden.

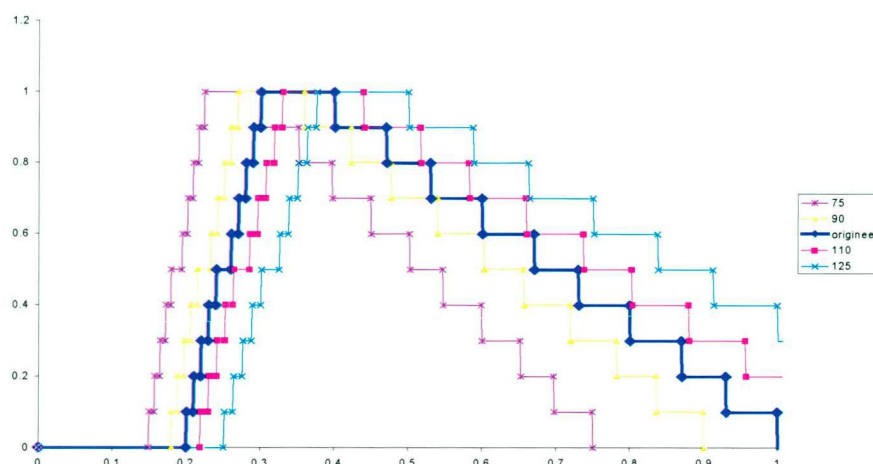
### 5.4. Uitgangspunten analyse

Bij de analyse die is uitgevoerd op de HGI-curves is uitgegaan van het volgende:

1. de onzekerheid/ onnauwkeurigheid van de bestaande curves is onbekend;
2. deze onzekerheid hangt samen met de hoeveelheid gegevens en de kwaliteit van de gegevens waarop de curves zijn gebaseerd;
3. bij een beperkte hoeveelheid gegevens bepalen de kenmerken van de watersystemen waarop de curves zijn gebaseerd in belangrijke mate de uitkomsten;
4. de "foutmarge" wordt dan bepaald door een combinatie bovenstaande aspecten en de natuurlijke variatie;
5. naar verwachting is de "foutmarge" betrekkelijk groot.

Omdat de onzekerheid moeilijk te kwantificeren is, hebben we gekozen voor een pragmatische aanpak. Deze houdt in dat het model is getest met verschillende varianten van de bestaande curves. Deze varianten zijn opgesteld door een afwijking van +/- 10% en 25% te simuleren, afbeelding 5.1 geeft dit weer voor de waterdiepte.

**Afbeelding 5.1. Voorbeeld van varianten van de HGI-curves voor waterdiepte [m] van de Barbeelvoortplanting**







Voor de variabelen stroomsnelheid en waterdiepte zijn deze varianten opgesteld. Hiermee zijn debieten van 5, 10, 20, 40 en 80 m<sup>3</sup>/s doorgerekend, zie bijlage II. (Deel)resultaten van Q=5 tot 80 m<sup>3</sup> zijn te zien in de figuren 5.2 t/m 5.5. Op de horizontale as is steeds de soort met levensstadium genoemd, de 5 waarnemingen zijn de 5 verschillende varianten in de volgorde: 75%, 90%, origineel, 110% en 125%. Op de verticale as is de gemiddelde geschiktheid (0-1) van alle roosterzellen in RHASIM uitgezet.

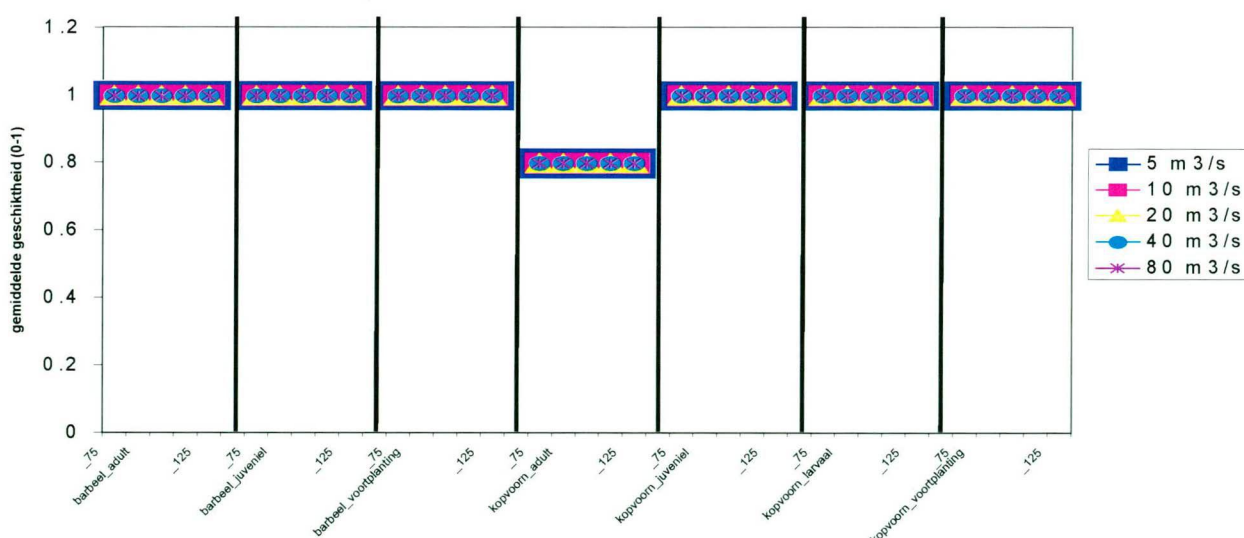
De 'helling' van deze geordende varianten, die per debiet en per stadium met een lijn aan elkaar zijn verbonden, is een maat voor de gevoeligheid van RHASIM op onzekerheden van betreffende HGI per debiet. Een verwaarloosbare helling geeft een ongevoeligheid van de HGI-curve jegens onzekerheden weer bij bijbehorend debiet. De maximale habitatgeschiktheid die volgens een HGI bij een bepaald debiet hoort, kan uit de afbeeldingen worden gehaald door naar de maximale habitatgeschiktheidswaarde te kijken. Het veranderen van het teken van de helling (positief of negatief) bij meerdere afvoeren impliceert ook een optimum in het afvoertraject. Hiermee kan een optimum bepaald worden in het afvoertraject 5-80 m<sup>3</sup>/s.

### 5.5. Resultaten en interpretatie

De figuren leveren de volgende belangrijke inzichten op:

1. voor stroomsnelheid en waterdiepte afzonderlijk zijn de verschillen tussen soorten en levensstadia groter dan de verschillen tussen varianten van de HGI-curves;
2. berekende onzekerheden t.a.v. substraat lijken volstrekt effecteloos. Hierbij dient vermeld te worden dat de hedendaagse hoeveelheid van slibtransport in de Grensmaas zeer gering is (RIZA; Pakes, Liefveld en Schulze; 2001). Volgens RHASIM zijn er geen negatieve effecten van slibsedimentatie;
3. de verschillen tussen varianten van de HGI-curves, en dus de gevoeligheid, kunnen echter behoorlijk zijn (bij een geselecteerd debiet);
4. in het traject van 5 tot 80 m<sup>3</sup> vindt er een omslag plaats in geschiktheid voor de soorten, zo wisselen de geschiktheid van Barbeel juveniel en adult voor stroomsnelheid elkaar af;
5. bij aggregatie van de HGI-scores komt de invloed van de aangebrachte fout in de curves veel duidelijker naar voren (zie helling van de lijnen van bijvoorbeeld Barbeel adult bij 80 m<sup>3</sup>/s). Omdat per gridcel de minimumwaarde van alle HGI-scores wordt aangehouden kunnen kleine veranderingen blijkbaar toch grote gevolgen hebben. Het gecombineerde effect van veranderingen van meerdere curves kan dus groot zijn (afb. 5.5) en is moeilijk voorspelbaar.

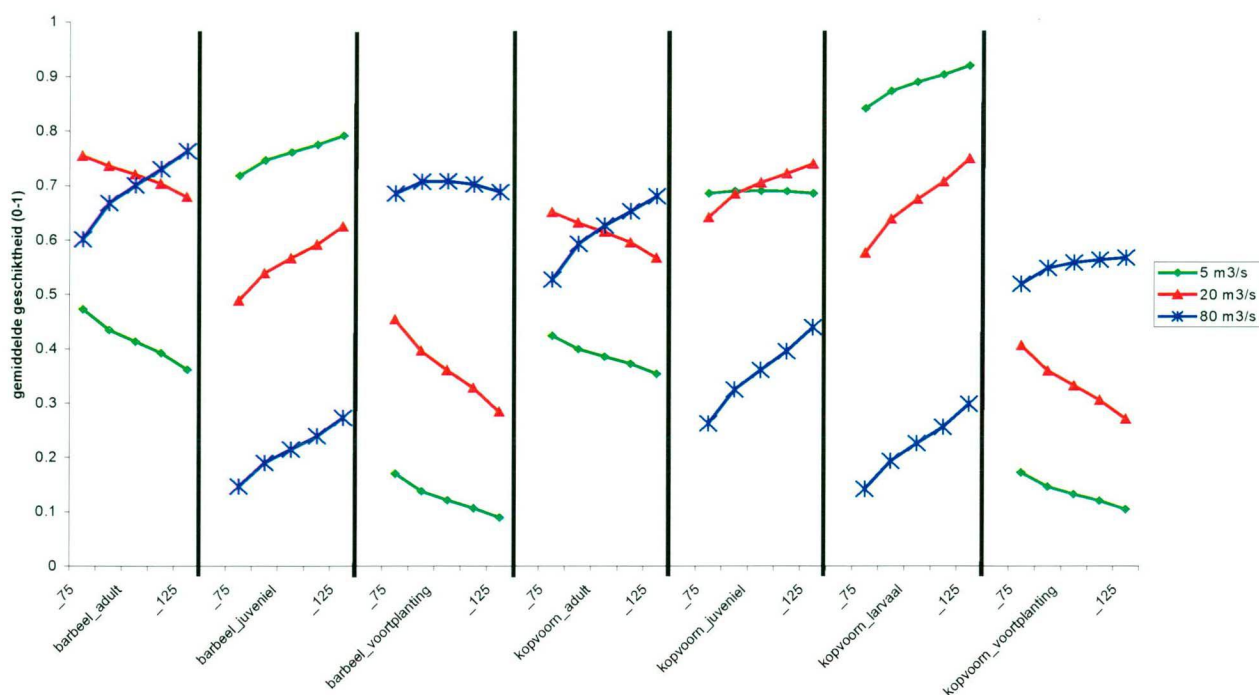
**Afbeelding 5.2. Habitatgeschiktheid gemiddeld over de gehele Grensmaas voor substraat\***



\* voor verschillende levensstadia van Barbeel en Kopvoorn bij debieten van 5, 10, 20, 40 en 80 m<sup>3</sup>/s. Per soort en levensstadium zijn telkens 5 HGI-curves (varianten) doorgerekend (zie tekst)

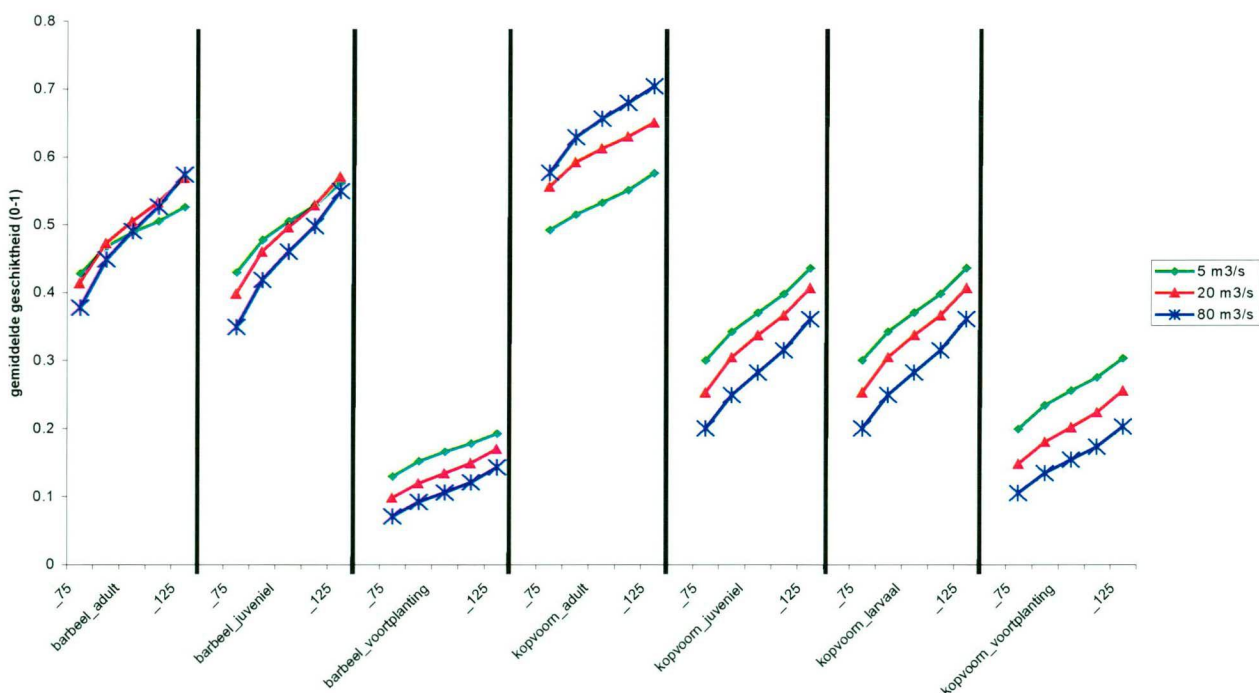


**Afbeelding 5.3. Habitatgeschiktheid gemiddeld over de gehele Grensmaas voor stroomsnelheid\***



\* voor verschillende levensstadia van Barbeel en Kopvoorn bij debieten van 5, 20 en 80 m³/s. Per soort en levensstadium zijn telkens 5 HGI-curves (varianten) doorgerekend (zie tekst)

**Afbeelding 5.4. Habitatgeschiktheid gemiddeld over de gehele Grensmaas voor waterdiepte\***

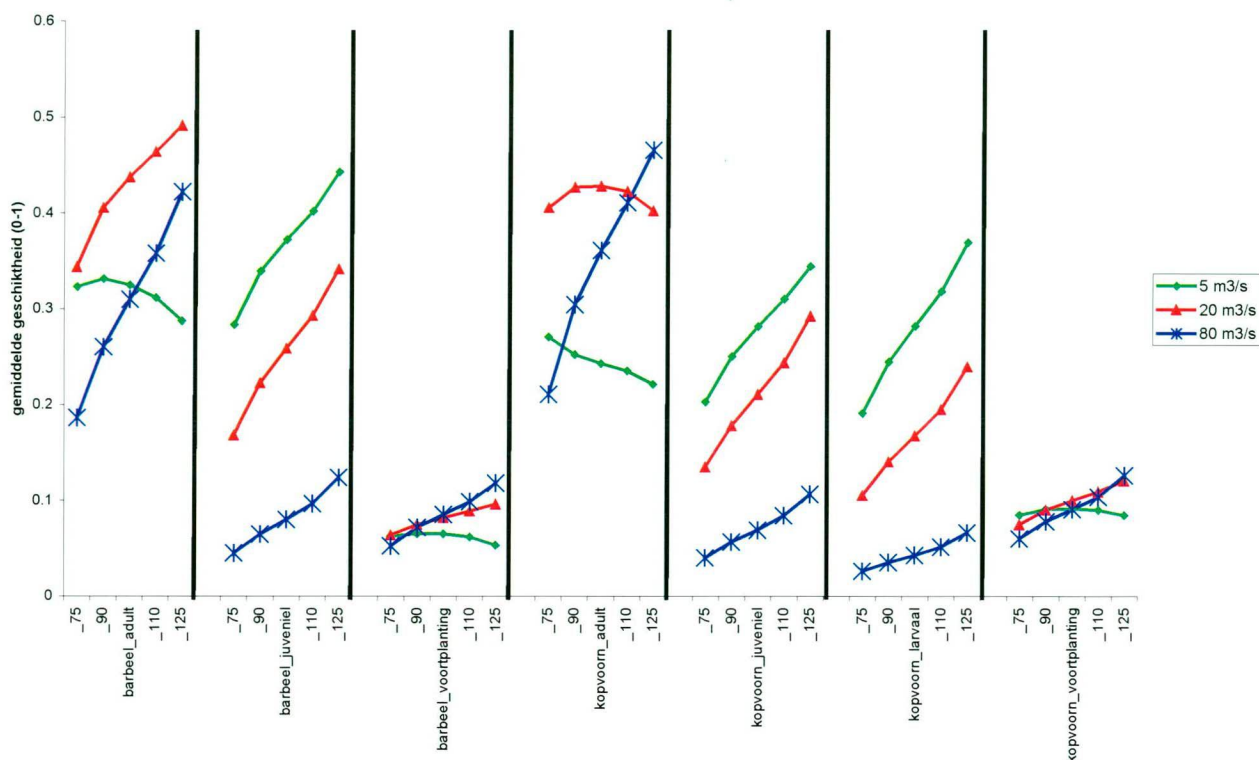


\* voor verschillende levensstadia van Barbeel en Kopvoorn bij debieten van 5, 20 en 80 m³/s. Per soort en levensstadium zijn telkens 5 HGI-curves (varianten) doorgerekend (zie tekst)





**Afbeelding 5.5. Geaggregeerde habitatgeschiktheid over de gehele Grensmaas\*  
(gemiddelde van *minimale* habitatgeschiktheid per cel)**



\* voor verschillende levensstadia van Barbeel en Kopvoorn bij debieten van 5, 20 en 80 m<sup>3</sup>/s. Per soort en levensstadium zijn telkens 5 HGI-curves (varianten) doorgerekend (zie tekst)

De resultaten van de analyse laten zien dat een juiste soortkeuze erg belangrijk is. Bij evaluatie van de afzonderlijke variabelen stroomsnelheid en waterdiepte (afbeelding 5.3 en 5.4) is de keuze van de soort en/ of het levensstadium het meest onderscheidend.

Echter, de gevoeligheid van de HGI's is vaak niet te verwaarlozen. Bij toetsing aan de hand van meerdere variabelen is een nauwkeurige bepaling van de HGI-curves aan te bevelen. Bij een gecombineerd effect van meerdere variabelen kan het verschil in de gemiddelde geschiktheid soms een factor 2 bedragen (bijvoorbeeld van 0,2 naar 0,4). Dit neemt niet weg dat zelfs wanneer het gecombineerde effect wordt beschouwd, de verschillen tussen soorten en levensstadia nog evident zijn. Op basis hiervan wordt duidelijk dat met name het bepalen van de juiste soortkeuze/-stadia van groot belang is.

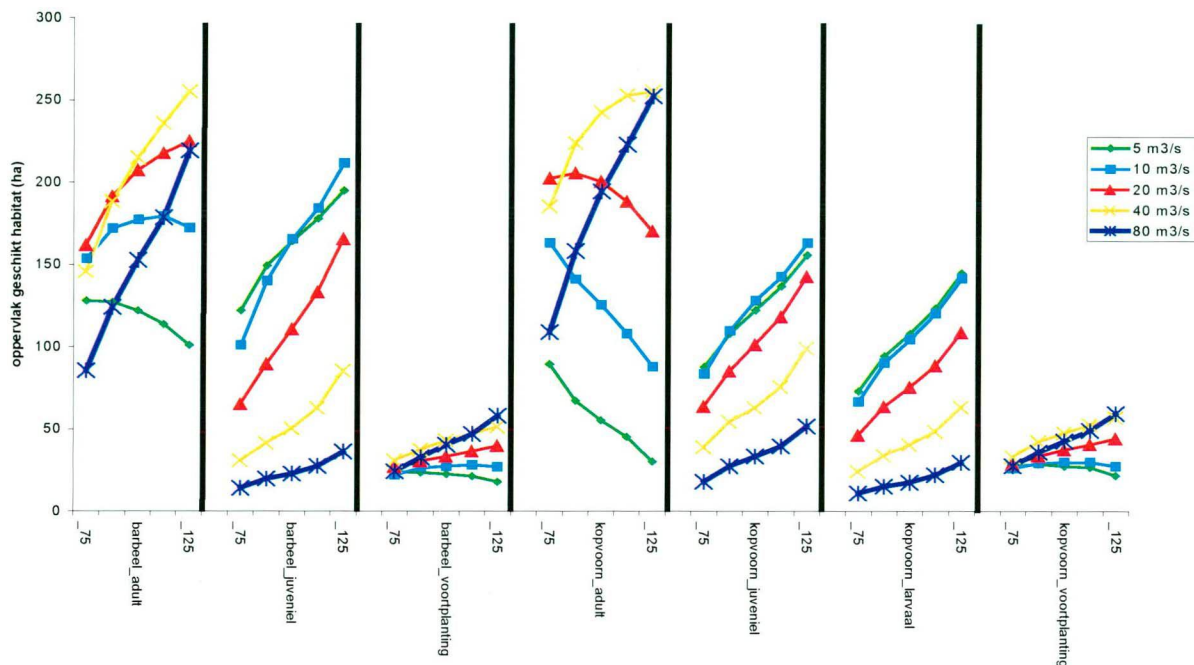
Afbeelding 5.6. laat tenslotte per afvoerscenario en variant van de oorspronkelijke HGI-curve het geschikte oppervlak in hectaren zien voor de verschillende soorten en levensstadia. Hieruit blijkt eenzelfde patroon als bij de geaggregeerde HGI-curves.

Ter toelichting wordt de Barbeel als voorbeeld gebruikt. Opvallend is de soms steile 'helling' van de lijnen (grote gevoeligheid) die de verschillende varianten van de HGI-curves verbinden. Bijvoorbeeld voor Barbeel adult is deze helling bij een afvoer van 80 m<sup>3</sup>/s sterk positief. Bij Q=5-10 m<sup>3</sup>/s is de variatie het kleinst. Hieruit blijkt dat het effect van de onzekerheid van RHASIM in HGI-modellen sterk afhankelijk kan zijn van het afvoerscenario. Het optimum van de habitatgeschiktheid van Barbeel adult ligt volgens RHASIM2.0, op basis van stroomsnelheid en waterdiepte, vermoedelijk dicht bij Q=40 m<sup>3</sup>/s. Ter vergelijking, het optimum ligt bij de Kopvoorn adult hoger. Voor Barbeel adult is de gevoeligheid het grootst bij relatief hogere debieten, voor Barbeel juveniel is deze juist bij lagere afvoeren het grootst.



Hierbij wordt opgemerkt dat in het traject waarbinnen de scenario's liggen ( $5 - 80 \text{ m}^3/\text{s}$ ) er een verschuiving in de geschiktheid voor met name de adulte levensstadia duidelijk is waar te nemen. Dit betekent dat de gekozen soorten en de HGI-curves gevoelig genoeg zijn om veranderingen waar te nemen.

**Afbeelding 5.6.** Aandeel geschikt oppervlak (HGI > 0.67) voor verschillende levensstadia van Barbeel en Kopvoorn bij debieten van 5, 10, 20, 40 en  $80 \text{ m}^3/\text{s}$ . Per soort en levensstadium zijn telkens 5 HGI-curves (varianten) doorgerekend (zie tekst)



Afbeelding 5.6 maakt verder duidelijk dat bij de bepaling van het oppervlak geschikt habitat enkel een absoluut oppervlak (dus enkel één variant), gezien de soms grote gevoeligheid, met voorzichtigheid moet worden geïnterpreteerd. Bij een goede interpretatie moeten bijvoorbeeld onzekerheidseffecten van de oppervlakten worden meegenomen.

### 5.6. Keuze van de geaggregeerde HGI-geschikheidsdrempel

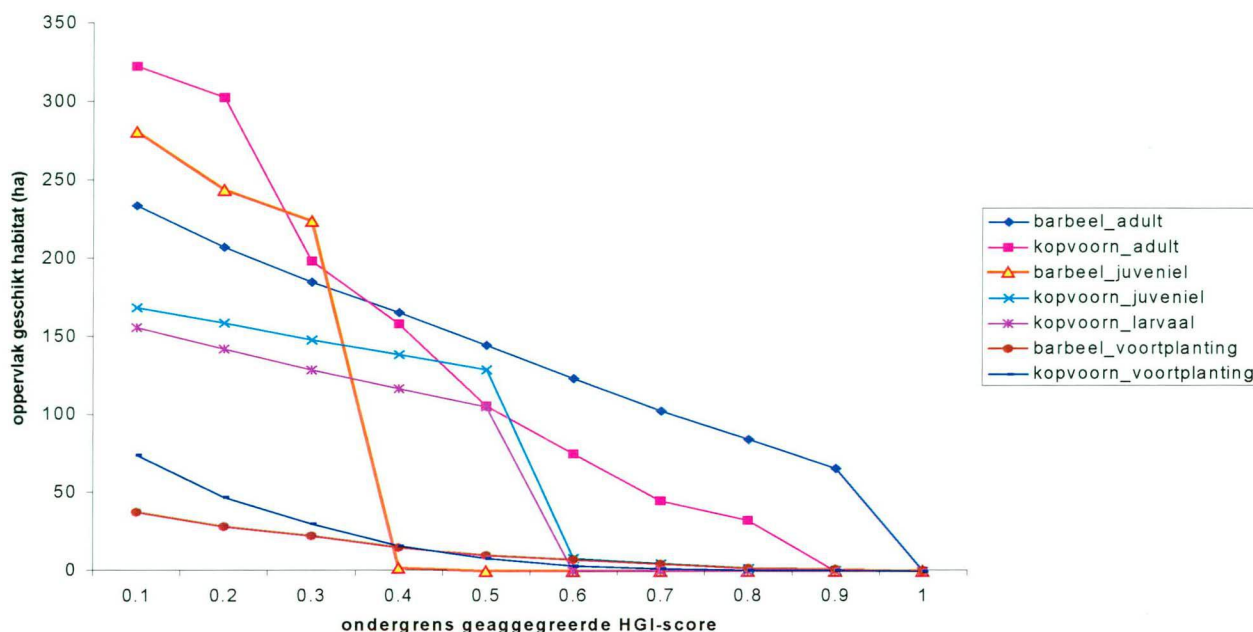
Ook de keuze van de geaggregeerde HGI-geschikheidsscore die de grens tussen geschikt en ongeschikt habitat bepaalt, is belangrijk voor de bepaling van het absolute areaal geschikt habitat. Afbeelding 5.7 laat de relatie zien tussen de geaggregeerde HGI-geschikheidsdrempel en het bijbehorende oppervlak geschikt habitat bij een afvoer van  $Q=10 \text{ m}^3/\text{s}$ . Bij de juveniele en larvale stadia is er een knik in de figuur waarneembaar, waaruit blijkt dat het oppervlak relatief sterk afneemt bij overschrijding van een zekere drempelwaarde. Een gevoelig traject ligt bij  $\text{HGI-drempelwaarde}=\{0,3 - 0,6\}$ . Bij andere stadia is de overgang echter geleidelijk(er).

De verwachting is dat dergelijke gevoeligheden ook bij andere afvoeren voorkomen.





**Afbeelding 5.7. Verhouding tussen de geaggregeerde HGI-drempelwaarde en het berekend geschikt oppervlakte**



## 5.7. Resumé

Ten aanzien van de analyse van de HGI-curves worden de volgende deelconclusies getrokken:

- de potentiële foutenmarge in de curves is groot, mede omdat de HGI-curves veelal gebaseerd zijn op expert judgement en/ of limiterende meetgegevens. De HGI-curves zijn echter opgesteld door deskundigen en zullen de orde grootte van de respons van soorten op omgevingsvariabelen goed weergeven;
- bij toetsing van de gevoeligheid voor fouten per variabele blijkt dat een relatief grote foutenmarge een groot effect kan hebben op de geschiktheid voor die variabele, het verschil tussen levensstadia/soorten is echter nog groter;
- onzekerheden van de HGI van substraat hebben geen enkel effect op Barbeel en Kopvoorn. Volgens RHASIM heeft slijbsedimentatie in de Grensmaas überhaupt geen enkel negatief effect op alle stadia van Barbeel en Kopvoorn;
- bij toetsing van de gevoeligheid voor fouten in meerdere variabelen tegelijk blijkt dat effecten elkaar kunnen versterken, dit komt tot uiting in de geaggregeerde HGI-score en in de vergelijking van de oppervlakten geschikt habitat;
- de keuze van de geaggregeerde HGI-drempelscore die de grens tussen geschikt en ongeschikt habitat bepaalt, is belangrijk voor de bepaling van het uiteindelijk areaal geschikt habitat. Dit geeft aan dat een absolute maat te arbitrair kan zijn voor effectbepalingen.

Hoofdconclusie is:

- ondanks alle gevoeligheden is er een duidelijk verschil tussen soorten/ levensstadia waarneembaar en is het van groot belang (voor een zinvol gebruik van RHASIM) om een zorgvuldig gekozen (set van) soorten samen te stellen.





## 6. GEÏNTEGREERDE GEVOELIGHEID EN ONZEKERHEID RHASIM

### 6.1. Inleiding

Onderhavig hoofdstuk bevat een geïntegreerde weergave van de eerder beschreven onzekerheden en gevoeligheden in RHASIM2.0. De inzichten uit hoofdstuk 4 (onzekerheden en gevoeligheid waterbeweging) en hoofdstuk 5 (onzekerheden en gevoeligheid HGI's) vormen de basis voor deze integratie van onzekerheden.

Aan de hand van een rekenvoorbeeld bij een afvoer van  $10 \text{ m}^3/\text{s}$  worden bepaalde effecten van de diverse onderdelen geïntegreerd weergegeven.

### 6.2. Onzekerheid en gevoeligheid doorvertaald in oppervlakte geschiktheid

De onzekerheid in de waterbeweging van RHASIM is reeds in hoofdstuk 4 vastgesteld over het onderzochte afvoertrajact  $Q=5\text{-}80 \text{ m}^3/\text{s}$ .

In hoofdstuk 5 zijn verschillende varianten van mogelijke HGI-curves per afvoer berekend met RHASIM; de invloeden ervan zijn onder meer voor het eindresultaat geschikt oppervlak voor soorten/ stadia grafisch afgebeeld.

Per afvoer kan de onzekerheid variëren, primair als gevolg van onbetrouwbaarheden en gevoeligheden in respectievelijk de waterbeweging en in de HGI's. Als kenmerkend voorbeeld is gekozen voor een afvoerscenario van  $Q=10 \text{ m}^3/\text{s}$ . Deze afvoer is vastgelegd als de voorlopige minimale afvoernorm in de zomer te Borgharen-dorp, en is in ieder geval voor een gedeelte van de Grensmaas gedurende de zomermaanden representatief. *wat is dit*

Als reële weergave van het bij  $Q=10 \text{ m}^3/\text{s}$  behorende betrouwbaarheidsinterval (onzekerheid) van de waterbeweging is hier  $Q=\{5, 20 \text{ m}^3/\text{s}\}$  gehanteerd. In werkelijkheid zijn deze grenzen locatieafhankelijk, maar de orde grootte is bij deze lage afvoer representatief voor de Grensmaas. Als reële weergave van een foutenmarge van de HGI's is uitgegaan van hoofdstuk 5, namelijk een onzekerheid van maximaal 25% ten opzichte van huidige HGI's.

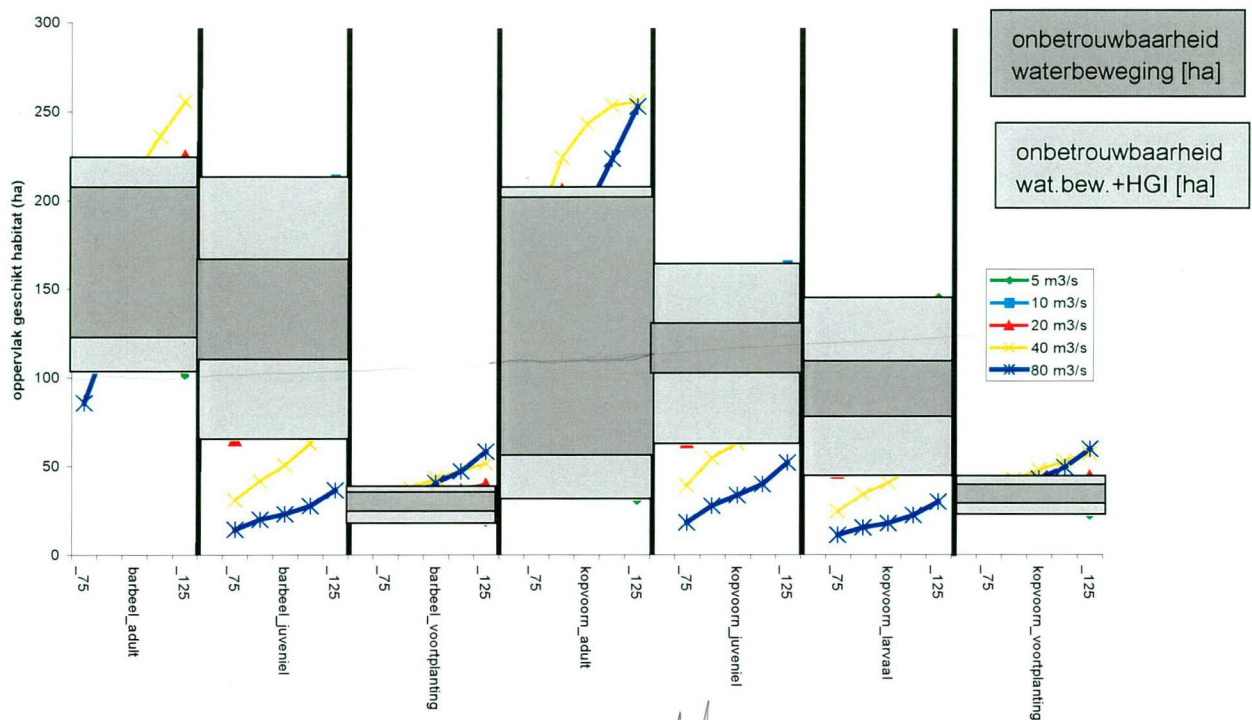
Het resultaat van een dergelijk afvoerscenario in de Grensmaas van  $Q=10 \text{ m}^3/\text{s}$ , is weergegeven afbeelding 6.1 (voortbouwend op afbeelding 5.6). In afbeelding 6.1 zijn de onzekerheden in HGI bij de verschillende levensstadia van de Barbeel en Kopvoorn uitgezet tegen het oppervlak geschikt habitat voor de diverse afvoerniveaus, waaronder die van  $10 \text{ m}^3/\text{s}$ . Het aandeel van de onbetrouwbaarheid in waterbeweging bij  $10 \text{ m}^3/\text{s}$  is weergegeven aan de hand van donkergrijze vlakken. De lichtgrijze vlakken geven de totale onbetrouwbaarheid weer (waterbeweging+HGI) bij  $10 \text{ m}^3/\text{s}$ .

Afbeelding 6.1 toont aan dat, afhankelijk van stadia en soort, de onbetrouwbaarheid van de in RHASIM uiteindelijk berekende oppervlakte geschikt habitat bij een afvoer  $Q=10 \text{ m}^3/\text{s}$  aanzienlijk kan zijn. Een totale foutenmarge van 50% (bijvoorbeeld  $100 \pm 50 \text{ ha}$ ) is, afhankelijk van het stadium van de soort, geen uitzondering. Bij de adulte Kopvoorn is de absolute onbetrouwbaarheid van RHASIM bij dit scenario duidelijk het grootst (ongeveer  $120 \pm 90 \text{ ha}$ ), met een relatieve foutenmarge van 75%.

Per stadium is het relatieve aandeel van de onzekerheid (onbetrouwbaarheid) van de HGI-curve soms beperkt, bijvoorbeeld bij adulten ongeveer 15-30%. Dit aandeel kan echter ook relatief groot zijn, bijvoorbeeld 50% of meer bij juvenielen en larven. De relatief grotere invloed van de onzekerheid (grotere gevoeligheid) van HGI's bij juvenielen en larven vergeleken met adulte stadia is begrijpelijk, aangezien juvenielen vaak specifiekere eisen stellen aan hun habitat.



**Afbeelding 6.1. Aandeel geschikt oppervlak (HGI > 0.67) met reële onbetrouwbaarheid voor verschillende levensstadia van Barbeel en Kopvoorn bij debiet=10 m<sup>3</sup>/s**



*dit in keuzes uitdrukken*

Ongeveer 50% tot 85% van de totale onbetrouwbaarheid is toe te wijzen aan de waterbeweging, ongeveer 15% tot 50% is toe te wijzen aan onzekerheden van HGI's. De (relatieve) onbetrouwbaarheid hangt af van soort en levensstadium.

**N.B.**

Indien de foutenmarge van de waterbeweging niet gecorrigeerd is voor de afwezigheid van laterale toestroming, neemt de onbetrouwbaarheid van aandeel geschikt oppervlak uiteraard nog meer toe. Deze onbetrouwbaarheid is sterk locatieafhankelijk, en neemt toe vanaf Borgharen-dorp stroomafwaarts richting de stuw te Linne.

Ten aanzien van de onzekerheid en gevoeligheid van RHASIM (doorvertaald naar hectares geschikt oppervlak), worden de volgende conclusies getrokken:

- per stadium van een soort verschilt zowel de (relatieve) invloed van HGI-onzekerheid als die van de waterbeweging. Waar en of de meeste de winst in verbetering van betrouwbaarheden van HGI's te halen valt, verschilt dus per stadium;
- ondanks bovenstaande is er een duidelijk verschil tussen soorten/ levensstadia waarneembaar en wordt geconcludeerd dat het zeer belangrijk is om een zorgvuldige keuze te maken van (een set van) soorten en/of stadia.





## 7. SAMENVATTENDE CONCLUSIES

In de uitgevoerde analyse is onderscheid gemaakt tussen enerzijds modelonzekerheid (onbetrouwbaarheid), anderzijds de gevoeligheid (effect) ervan.

### 7.1. Abiotische benadering RHASIM2.0

#### waterbeweging

De aanname in de benadering van de waterbeweging van RHASIM dat de afvoer  $Q$  op de Grensmaas (stuw Borgharen- stuw Linne) min of meer constant is, is onjuist. De afvlakking van piekafvoeren en de zijdelingse watertoevoer (systematisch verschil in minimale afvoer) op de Grensmaas zorgen voor een duidelijk variërend beeld.

Verschillen in lage afvoer in het traject tussen Borgharen-dorp en Maaseik van ongeveer  $10 \text{ m}^3/\text{s}$  in de zomer duiden op significante toestromingen. De invloed van laterale toestroming (rivier de Geul, lozing DSM, grondwater,...) wordt als belangrijke factor gezien die momenteel niet in het huidige model is opgenomen.

Indien gecorrigeerd wordt voor laterale toestromingen, is de onzekerheid van de berekende afvoeren orde grootte  $Q=10\text{-}20 \text{ m}^3/\text{s}$ .

Meetfouten zoals omzettingen in waterstanden en het gebruik van afgeleide in plaats van gemeten debieten zorgen voor een meetonzekerheid van minstens enkele  $\text{m}^3/\text{s}$ .

In onderhavig onderzoek is niet (uitvoerig) een mogelijk significant verschil tussen de huidige bodem-schematisatie en de werkelijke of meest actuele schematisatie uit 2000-2001 niet verdisconteerd.

#### zuurstof en temperatuur

Indien de bestaande metingen representatief zijn voor het ecosysteem De Grensmaas, dan lijkt zuurstof volgens de HGI's van kritische soorten een relatief geringe invloed te hebben. Gedegen onderzoek en metingen op de bodem zijn echter niet volledig. Op de grote schaal waarbij RHASIM rekent, is het überhaupt lastig om sterk locatiegevoelige effecten van zuurstofconcentraties goed te verdisconteren.

Temperatuur is in RHASIM indirect verwerkt als een verklaring voor de zuurstof. Op macroniveau lijkt de temperatuur niet van essentieel belang.

#### substraat

Substraat lijkt haast geen enkel effect te hebben op eindresultaten van RHASIM. Dit hoeft, zeker gezien de beperkte slibsedimentatie in de zomer in de Grensmaas niet te verbazen. Tevens gaat RHASIM uit van een lange termijn effect. Een kanttekening wordt geplaatst bij de vermoedelijk onrealistische berekende slibsedimentatie bij afvoeren tussen de  $Q=40$  en  $80 \text{ m}^3/\text{s}$ .

### 7.2. Ecologische effectbepaling abiotiek in RHASIM2.0

#### HGI's

De hoeveelheid gegevens waarop de curves zijn gebaseerd is beperkt, daarmee is de potentiële foutenmarge in de curves groot. De HGI-curves zijn echter opgesteld door deskundigen, waardoor verwacht mag worden dat de orde grootte van de respons van soorten op omgevingsvariabelen (abiotiek) goed wordt weergegeven.

Bij toetsing van de gevoeligheid voor fouten per variabele blijkt dat een grote foutenmarge soms geen enkel effect heeft op de geschiktheid voor die variabele, zoals bij substraat.



Echter, een onzekerheid van 25% bij de HGI's stroomsnelheid en waterdiepte kan wel degelijk resulteren in afwijkingen van 25% op de habitatgeschiktheidsscore van vissoorten. Deze afwijking hangt overigens af van de score, bij een lage score (bijvoorbeeld 0,2) is een verschil in score van 0,1 relatief veel groter dan bij een hoge score (bijvoorbeeld 0,7).

Het verschil tussen levensstadia/soorten blijft ook bij grote foutenmarges duidelijk groter dan de gevoeligheid van fouten. In het traject van 5 tot 80 m<sup>3</sup> vindt er bijvoorbeeld een omslag plaats in geschiktheid voor de soorten, zo wisselen de geschiktheid van Barbeel juveniel en adult voor stroomsnelheid elkaar af. Op basis hiervan wordt geconcludeerd dat het zeer belangrijk is om een zorgvuldige keuze te maken van (een set van) soorten voor gebruik en interpretatie van RHASIM. Dit onderzoek bevestigt derhalve de relevantie van reeds eerder uitgevoerd onderzoek naar de geschiktheid van (indicatieve) soorten die in RHASIM verwerkt zijn. Dit onderzoek is nog steeds actueel.

### **geschikt oppervlak**

De keuze van de HGI-drempelwaarde voor het bepalen of een gridcel geschikt is of niet (bijvoorbeeld  $HGI < 0,5$ ; of  $HGI < 0,67$ ), heeft een groot effect op het totaal berekend geschikt oppervlak. Dit betekent dat keuzen inzake het eventueel bepalen van een minimum hoeveelheid aan geschikt oppervlak duidelijk onderbouwd moeten worden.

### **7.3. Gevoeligheid en onzekerheid RHASIM samenvattend**

De waterbeweging is de basis van RHASIM, en heeft derhalve een grote invloed op eindresultaten. De betrouwbaarheid is beoordeeld op basis van gemeten afvoeren en waterstanden. Deze toetsing is doorgetrokken naar stroomsnelheid en waterdiepte (zie tabel 7.1.). De HGI's zijn op betrouwbaarheid en gevoeligheid beoordeeld door een inschatting van de kwaliteit op basis van bestaande literatuur.

Volledigheidshalve volgen enkele algemene opmerkingen in verband met de interpretatie van eindresultaten RHASIM:

- de gevoeligheid kan slechts op gebiedsniveau geïnterpreteerd worden. Met RHASIM (gridcelgrootte is 0,1 ha) kunnen geen uitspraken op lokale schaal gedaan worden, bijvoorbeeld de habitat achter een grote steen of in de monding van de Geul;
- ook wordt er geen inzicht in de duur van een effect gegeven. Afwezigheid van wetenschappelijk-empirisch inzicht maakt deze temporele component vooralsnog niet implementeerbaar in RHASIM.

In onderstaande tabel 7.1. zijn de belangrijkste algemene bevindingen ten aanzien van de gevoeligheid en onzekerheid van het huidige model weergegeven. De ecologische effectbepaling is hier beperkt tot de meest relevant geachte vissoorten, namelijk de adulte Barbeel en adulte Kopvoorn.

Tabel 7.1. geeft aan dat voor de huidige waterbeweging de stroomsnelheid de grootste onbetrouwbaarheid heeft op de eindresultaten van RHASIM.





**Tabel 7.1. Gevoeligheid & betrouwbaarheid RHASIM2.0 per onderdeel weergegeven bij lage afvoeren in de zomer (5-80 m<sup>3</sup>/s). - -- is (zeer) klein, +/- is matig, + ++ is (zeer) groot**

onderdeel RHASIM2.0	onderdeel	gevoeligheid	betrouw- baarheid	mogelijke verbetering
waterbeweging <sup>a</sup>	stroomsnelheid	++	-	bijv. WAQUA
	waterdiepte	++	+/- <sup>b</sup>	bijv. meest actuele multi-beammetingen
waterkwaliteit	substraat	+/-	--	update
	zuurstof	-	+/-	meetcampagne (bodem)
	(temperatuur	+	+	
<b>adult</b> Barbeel <sup>c</sup> (HGI-curves)	stroomsnelheid	+	+	meetcampagne
	waterdiepte	+	+	''
	substraat	--	++	''
	zuurstof	n.v.t. <sup>d</sup>	+	
	temperatuur	n.v.t. <sup>d</sup>	++	
<b>adult</b> Kopvoorn <sup>c</sup> (HGI-curves)	stroomsnelheid	+	+/-	meetcampagne
	waterdiepte	+	+/-	''
	substraat	--	-	''
	zuurstof	n.v.t. <sup>d</sup>	+/-	
	temperatuur	n.v.t. <sup>d</sup>	+	

a toetsing met gemeten afvoeren en waterstanden;

b niet precies bepaald, ligt buiten onderhavig onderzoek;

c geschat op basis van literatuur en expert judgement, per stadium verschilt de gevoeligheid;

d zuurstof en temperatuur zijn onafhankelijk van het debiet in RHASIM.





## 8. AANBEVELINGEN T.A.V. RHASIM

Op basis van de conclusies worden aanbevelingen gedaan om het model te verbeteren.

### 8.1. Abiotiek

Bij een beslissondersteunend systeem voor de Grensmaas op gebiedsniveau zoals RHASIM, is de benadering van de waterbeweging bij lage afvoeren een belangrijke foutenbron. Een fout van orde grootte  $10\text{--}20\text{ m}^3/\text{s}$  is geconstateerd, indien gecorrigeerd wordt voor laterale toestroming. De laterale toestroming zorgt stroomafwaarts (te Maaseik) voor een extra onzekerheid van ongeveer  $\Delta Q = 10\text{ m}^3/\text{s}$ .

Mogelijk dat met behulp van de nieuwste WAQUA versie de onbetrouwbaarheid van de waterbeweging kan worden verbeterd. Echter, welk (aangepast) beslissondersteunend systeem ook wordt gebruikt, gezien de huidige meetonnauwkeurigheid zal de waterbeweging ook in de toekomst een relevante foutenbron blijven. Een minimale foutenmarge (onzekerheid) van  $5\text{ tot }10\text{ m}^3/\text{s}$  lijkt het meest haalbare in het afvoertraject  $Q = 5\text{--}80\text{ m}^3/\text{s}$  op de gehele Grensmaas, inclusief de laterale toestroming.

De huidige bodemschematisatie is mogelijk iets minder representatief dan een schematisatie op basis van de meest actuele betrouwbare gegevens. Onduidelijk is vooralsnog de winst in precisie; mogelijk dat dit verwaarloosbaar is, maar bedenk dat enkele centimeters verschil in precisie bij lage afvoeren relatief belangrijk kunnen zijn voor de eindkwaliteit ( $\Delta\text{bodemdiepte} = 1\text{ cm} \sim \Delta H = 1\text{ cm} \sim \Delta Q = 1\text{ m}^3/\text{s}$ ). Tevens is de bodemschematisatie in combinatie met afvoer/ waterstand essentieel voor de bepalende variabelen diepte en stroomsnelheid.

De substraatberekeningen in RHASIM lijken bij afvoeren van  $Q = 10\text{--}80\text{ m}^3/\text{s}$  wat onrealistisch te zijn. Verbeteringen hiervan lijken echter geen duidelijke toegevoegde waarde te hebben.

### 8.2. Ecologische effectbepaling abiotiek

Afhankelijk van het stadium en de HGI-curve van Kopvoorn en Barbeel, levert de onzekerheid in de belangrijke HGI's (stroomsnelheid en waterdiepte) een belangrijke bijdrage aan de onzekerheid in eindresultaten van RHASIM. Bij juveniele en larvale stadia van Kopvoorn en Barbeel heeft een eventuele afwijking in de HGI's het grootste effect op de uitkomsten. Het is moeilijk in te schatten in hoeverre dergelijke afwijkingen ook daadwerkelijk voorkomen, naar verwachting is de orde grootte van de HGI's juist. Een manier om dit te ondervangen is toetsing van de effecten aan meerdere soorten. Door uitbreiding van RHASIM met meerdere soorten neemt de robuustheid van het model toe. Modelresultaten gebaseerd op één of slechts enkele soorten zijn riskant, gezien het belang van de soortkeuze en de onzekerheden in de HGI's. Meerdere soorten die (bijna) allen hetzelfde beeld opleveren geven een betrouwbaardere basis voor de beoordeling van effecten. Aanbevolen wordt om per soortgroep bijvoorbeeld 4 à 5 soorten op te nemen die kenmerkend zijn voor een goede kwaliteit en bijvoorbeeld 1 à 2 storingsindicatoren.

#### N.B.

Statistisch gezien neemt de relatieve informatiewinst door een extra soort toe te voegen ongeveer exponentieel af. Dit betekent dat het toevoegen van een kritische soort bij twee soorten relatief meer informatiewinst oplevert, dan het toevoegen van een kritische soort bij bijvoorbeeld tien soorten. De keuze is arbitrair, maar meer dan een totale hoeveelheid van 5 à 7 soorten levert relatief gezien duidelijk minder informatie op, zodat meer soorten van minder belang zijn.

#### toevoegen macrofauna: vergroting inzicht in ecologisch functioneren

Indien een vergroting van het inzicht in het functioneren van het gehele ecosysteem gewenst is, wordt aanbevolen om naast vissen ook macrofauna mee te nemen in de beoordeling. Macrofauna levert mogelijk een verdieping/ verscherping op in inzicht in veranderingen in het ecosysteem. Macrofauna is veel meer plaatsgebonden en daarmee meer indicatief voor veranderingen op lokale schaal, vissen kunnen bij verslechterende omstandigheden geschikte locaties opzoeken.

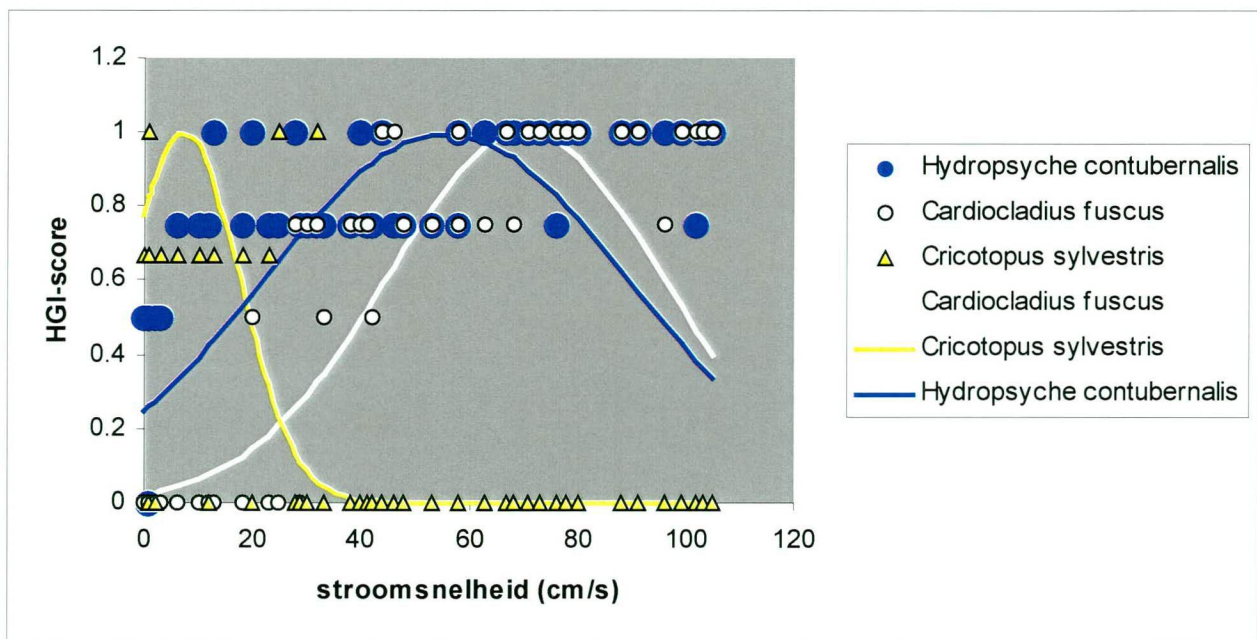




Door de zorgvuldige selectie van meerdere soorten die karakteristiek zijn voor verschillende habitats in de Grensmaas, is het mogelijk een beeld te krijgen van het ecologisch functioneren van het systeem bij verschillende afvoeren. Indicatoren voor stroming en grind zijn bijvoorbeeld de vedermug *Cardiocladius fuscus* en de kokerjuffer *Hydropsyche contubernalis*, indicatief voor slib en langzame stroming zijn *Cricotopus sylvestris* en *Asellus aquaticus*. Het voorkomen van deze soorten over het stroombed van de Grensmaas zal veranderen bij verschillende afvoeren, wanneer de afvoer sterk afneemt zullen uiteindelijk de kenmerkende soorten voor langzame stroming en slib het systeem gaan domineren. Toevoeging van macrofaunasoorten aan RHASIM maakt het mogelijk om te zoeken naar een omslagtraject waarbij de karakteristieke stromend watersoorten op grote schaal worden vervangen door storingsindicatoren. Dit kan worden gebruikt ter ondersteuning van de beoordeling op basis van de vissoorten.

Van macrofaunasoorten kunnen bestaande curves worden gebruikt of curves worden opgesteld aan de hand van gegevens van de Grensmaas of STOWA-base. Deze curves hebben ook een grotere betrouwbaarheid dan die van veel vissoorten.

**Afbeelding 8.1. Geschatte HGI-curves (lijnen) voor macrofaunasoorten versus stroomsnelheid, gebaseerd op data (symbolen) van Klink en Bij de Vaate (1994)**



In afbeelding 8.1. wordt een voorbeeld gegeven van HGI-curves (lijnen) van macrofaunasoorten van de Grensmaas die zijn opgesteld aan de hand van daadwerkelijke waarnemingen en metingen (symbolen) van stroomsnelheid door Klink & Bij de Vaate (1994). De curves zijn opgesteld met de methode "weighted averaging" waarbij het optimum en de tolerantie van een soort wordt bepaald aan de hand van waarnemingen van de abundantie van de soort bij verschillende stroomsnelheden.

#### **voorstel tot uitbreiding met meerdere soorten**

In onderstaande wordt een voorstel gedaan voor uitbreiding van RHASIM met een aantal soorten vis en macrofauna. De soorten zijn geselecteerd volgens:

- doelsoorten beleid en beschermde soorten (vis), RWS-DLB (2002) ;
- beschikbaarheid HGI;
- indicatieve waarde;
- totaalbeoordeling gidssoortenmatrix vissen RIZA, OVB (2000).





De totaalbeoordeling uit de gidssoortenmatrix van OVB en RIZA 2000 maakt een selectie voor soorten van rivieren op basis van de criteria: versnipperingsgevoeligheid relevantie voor rivierengebied, vertegenwoordiging specifieke ecotopen/ecotoopgroepen en beschikbare kennis.

Op basis van de gidssoortenmatrix komen naast Barbeel en Kopvoorn de vissoorten Zalm en Rivierdonderpad in aanmerking. Brasem kan worden toegevoegd als contra-expertise (storingsindicator). De soorten Serpeling, Winde en Riviergrondel zijn minder geschikt.

Wat de macrofaunasoorten betreft zijn voornamelijk *Hydropsyche contubernalis* (kokerjuffer), *Cardiocladius fuscus* (vedermug), *Asellus aquaticus* (pissebed) en *Cricotopus sylvestris* (vedermug) geselecteerd. Met deze soorten kan het gehele traject van langzaamstromend/ slib tot snelstromend/ grind worden beschreven en kunnen onder verschillende scenario's (debieten) de geschiktheden voor de soorten worden bepaald.

In tabel 8.1. is een voorstel weergegeven voor de gewenste vis- en macrofaunasoorten in RHASIM. In de eerste kolom staat de geschiktheid van de soort weergegeven. Een belangrijke maat voor de geschiktheid is de aanwezigheid van een betrouwbare HGI-curve. In de 5<sup>e</sup> kolom staan de aanbevelingen (+ is geschikt, +/- minder geschikt) uit de gidssoortenmatrix van ecologische netwerkstudies (OVB, 2000). In de 6<sup>e</sup> kolom staat het huidige voorkomen van de betreffende soorten, +++ is (veel) voorkomend, - staat voor afwezigheid.

**Tabel 8.1. Voorstel voor uitbreiding RHASIM met vis- en macrofaunasoorten**

geschiktheid	soort	stadium	karakteristiek voor (vis volgens HGI en OVB,RIZA, 2000):	OVB, RIZA 2000	huidig voorkomen*
<b>vis</b>					
+	Barbeel	adult	stroming	+	+++
+		pai	grindbodem	+	
+		juveniel	langzaamstromend en slib	+	+++ , ook in snelstromend water
+	Kopvoorn	adult	stroming	+	+++
+		pai	grindbodem	+	
+		juveniel	langzaamstromend en slib	+	+++
+	Rivierdonderpad	alle	karakteristiek voor locaties met langzame stroming (<50 cm/s)	+	++
+/-	Serpeling	alle	koele, snelstromende en bij voorkeur heldere wateren	-	+
+/-	Winde	alle	Barbeelzone, tolerant	-	+
+	Zalm	adult	weinig karakteristiek, alleen doortrekgebied	+	-
+/-	Riviergrondel	alle	bodemvis, ook in stilstaand water, bij grof substraat ook grotere stroomsnelheden	-	++
+	Brasem	alle	langzaamstromend, diep	-	+
<b>macrofauna</b>					
+	<i>Hydropsyche contubernalis</i> (kokerjuffer)	larve	stroming, hard substraat, ondiep water	+	++
+	<i>Cardiocladius fuscus</i> (vedermug)	larve	snelle stroming, ondiep tot matig diep	+	+
+	<i>Asellus aquaticus</i> (pissebed)	adult	detritus, langzame stroming	+	++
+	<i>Cricotopus sylvestris</i> (vedermug)	larve	slib, stilstaand water	+	++

\* uit Kampen, 1998; Klink & Bij de Vaate, 1992



### **8.3. Inzet van RHASIM**

De inzet voor RHASIM voor beleidsdoeleinden is geschikt voor het doorrekenen van verschillende scenario's bij verschillende afvoerregimes. De betrouwbaarheid van het doorrekenen van verschillende scenario's hangt af van de foutenmarge. Het verdisconteren van de foutenmarge bij eindresultaten van RHASIM is derhalve onontbeerlijk voor een zinnige interpretatie.

Het gebruik van een combinatie van methoden (modelmatige insteek samen met meetcampagnes) is erg belangrijk voor een goed begrip van het systeem.





## 9. REFERENTIES

- AquaTerra 'Bemonstering van jonge vis op tien locaties in de Grensmaas', 1998, i.o.v. RWS-RIZA.
- Bakker, H. 'Selectie doelsoorten t.b.v. RHASIM', 2002, interne notitie Rijkswaterstaat
- IWACO 'Grondwatervoeding naar de Maas in droge perioden', 2001, i.o.v. RWS-DLB
- Klink & Bij de Vaate 'De Grensmaas en haar problemen zoals blijkt uit hydrobiologisch onderzoek aan makro-evertebraten', 1994, i.o.v. RWS-RIZA
- OVB 'Gidssoortenmatrix Ecologische Netwerkstudies: Annex vis', februari 2000, i.o.v. RWS-RIZA
- Pakes, U. et al. 'De ontwikkeling van een Rivier Habitat Simulatie Model (RHASIM)', concept EHM rapport 37, RWS-RIZA, 2001
- Semmekrot, S. 'Ecologische effecten van extreem lage afvoeren en afvoerfluctuaties in de Grensmaas: de ontwikkeling van een model', september 1997, afstudeeropdracht voor milieuwetenschappen, Witteveen+Bos
- SIM 'Tijdreeksanalyse Borgharen-Maaseik', i.o.v. RWS-RIZA, 1997
- Vriese, T. 'De visstand in de Grensmaas. Reports of the project "Ecological Rehabilitation of the River Meuse"', nr. 6, mei 1992, OVB onderzoeksrapportnr. 19991-21.
- Witteveen+Bos 'herinrichting Grensmaas: effecten van het Ruw Ontwerp op vispopulaties', mei 2000, i.o.v. Rijkswaterstaat Bureau De Maaswerken
- Witteveen+Bos 'ontwikkeling van een rivier habitat simulatiemodel RHASIM versie 2.0', november 2000, i.o.v. Rijkswaterstaat RIZA



## BIJLAGE I Waterbeweging Grensmaas en RHASIM





## 1. WATERBEWEGING GRENSMAAS: GEMETEN EN BEREKEND

### 1.1. Inleiding

#### achtergrond

De waterbeweging is de basis van RHASIM. De kwaliteit hiervan is ten aanzien van de ecologische effectbepaling (HGI's) van groot belang. Relevante soorten reageren met name sterk op de stroomsnelheid en waterdiepte (hoge gevoeligheid). Door alle betrokkenen is erkend dat een goed inzicht in de onzekerheid van deze module essentieel is om uiteindelijke resultaten van RHASIM op verantwoorde wijze (ecologisch) te interpreteren. Een onzekerheidsanalyse is reeds eerder uitgevoerd met SOBEK.

De onzekerheid van de waterbeweging van RHASIM is gekwantificeerd (gevalideerd) met behulp van waterstandgegevens en afgeleide debieten afkomstig van de Grensmaas. Dit wil zeggen dat gekeken is naar hoe goed de waterbeweging in RHASIM de werkelijke waterstanden en debieten op de Grensmaas benadert.

De door Directie Limburg (DLB) aangeleverde gemeten waterstanden en afgeleide afvoeren zijn hieronder grafisch gepresenteerd. Aanvullend is de methode weergegeven hoe, rekening houdend met de (beperkte) benadering van de waterbeweging Grensmaas in RHASIM, representatieve metingen tot stand zijn gekomen. Representatief gemeten waterstanden (met afgeleide debieten) zijn vergeleken met door RHASIM berekende waterstanden aan de hand van opgegeven afvoeren.

Het bereik van de gevalideerde afvoeren is 5 tot 80 m<sup>3</sup>/s, dat wil zeggen de lage afvoeren die in de zomer op de Grensmaas voorkomen.

#### benadering waterbeweging

Voor de waterbeweging wordt uitgegaan van de stationaire vergelijking:

$$-\frac{Q^2}{A^2} \frac{\partial A}{\partial x} + gA \frac{\partial z_w}{\partial x} + \frac{gQ^2 P}{C^2 A^2} = 0 \quad (1)$$

waarin:

- $Q$  = totale waterafvoer [m<sup>3</sup>]
- $A$  = natte doorsnede [m<sup>2</sup>]
- $C$  = chezy-factor [m<sup>1/2</sup>s<sup>-1</sup>]
- $P$  = natte omtrek
- $z_w$  = waterstand t.o.v. het referentievlak (of: H)

Verder geldt:  $Q = A * v$ , met  $v$  als de stroomsnelheid [m/s].

Zie voor meer informatie aangaande de benadering van de waterbeweging in RHASIM (W+B, 2000).

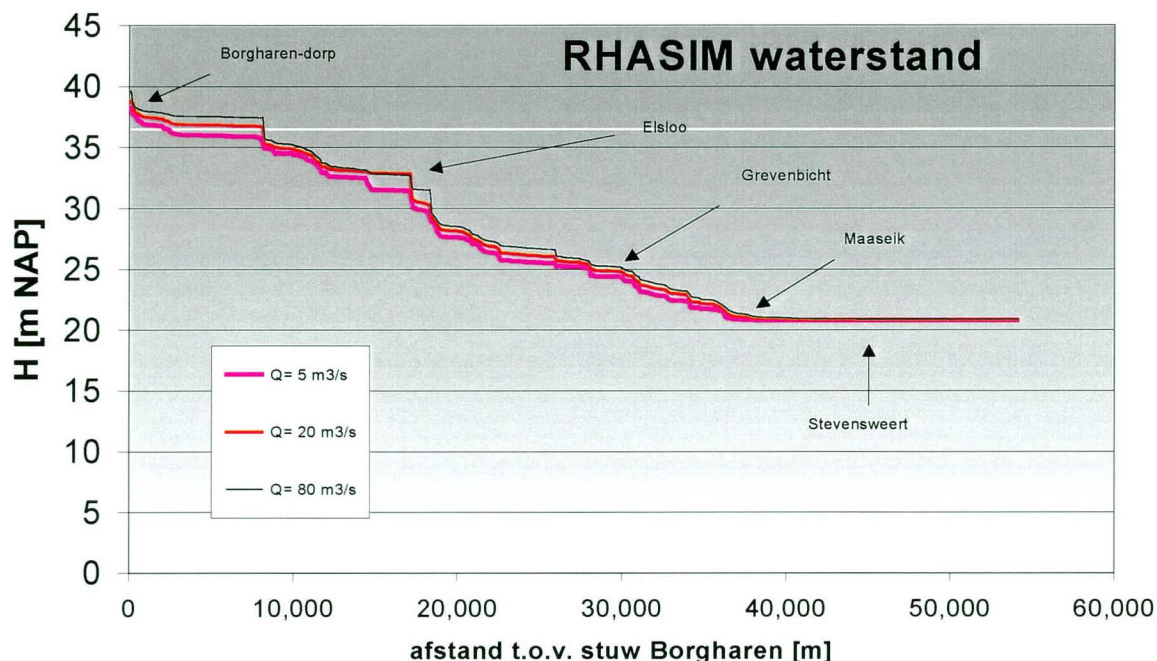
### 1.2. Gemeten waterkwantiteit Grensmaas

De gemeten waterstanden die gebruikt zijn voor de analyse zijn afkomstig te Borgharen-dorp, Elsloo, Grevenbicht, Maaseik en te Stevensweert. De gevalideerde gemeten (strikt genomen afgeleide) afvoeren die gebruikt zijn voor de analyse zijn afkomstig van de locaties Borgharen-dorp en Maaseik. Andere QH-relaties zijn niet aanwezig of minder betrouwbaar, en daardoor niet meegenomen.





**Afbeelding I.1. Waterstanden H volgens RHASIM bij meerdere afvoeren**



De afvoer te Borgharen-dorp is afgeleid aan de hand van een door DLB gevalideerde QH-relatie. De afvoer te Maaseik is afgeleid aan de hand van een door AWZ (min. Vlaamse Gemeenschap, dienst Hydrologisch Onderzoek) gevalideerde QH-relatie (update in 1998). Deze QH-relatie houdt rekening met effecten van de stuw te Linne.

De locatie Borgharen-dorp (kilometerpunt 16, vlakbij stuw Borgharen) ligt bij het begin van de Grensmaas, de locatie Maaseik (stroomafwaarts, ongeveer 37 km t.o.v. stuw Borgharen) ligt meer aan het einde van de Grensmaas; zie afbeelding I.1.

### meetonzekerheid

#### Intermezzo: bepaling van transformatie [m TAW] naar [m NAP]

De gebruikte afgeleide afvoer (formules) te Maaseik is door AWZ verstrekt. De Vlaamse overheid hanteert bij waterstanden normaliter de referentie TAW, in plaats van NAP.

De afvoer en waterstand te Maaseik staat onder invloed van de stuw te Linne (nabij Maasbracht). Hierdoor is de transformatie van TAW naar NAP niet eenduidig (wel/ weinig/ goed rekening houdend met de invloed van de stuw). Hier is uiteindelijk gekozen voor de transformatie van Vlaamse waterstanden in:  $m \text{ TAW} = m \text{ NAP} + 2,42 \text{ m}$ , aangezien deze transformatie resulteerde in het kleinste verschil in volumes ( $m^3$ ) van piekafvoer te Borgharen-dorp en Maaseik, zie tabel 1.

**Tabel I.1. Vergelijking volume piekafvoer (Vpiek) te Borgharen-dorp en Maaseik bij verschillende transformaties van [m+TAW] naar [m+NAP] van waterstanden op de Grensmaas (volume van kleine golf d.d. 23 juli)\***

NAP – TAW [m]	Vpiek BH-d [ $m^3$ ]	Vpiek Maaseik [ $m^3$ ]
2.17 (Univ.v. Gent)	1,940,353	1,047,790
2.32 (AWZ)	1,940,353	1,312,287
2.35 (Dir. Limburg)	1,940,353	1,360,646
2.38 (Meetk. Dienst)	1,940,353	1,406,244
2.42 (RIZA)	1,940,353	1,461,466

\* Bij het bepalen van de volumes is nauwkeurig gekeken naar beide piekafvoerperiodes; de duur was 8h20 te Borgharen-dorp respectievelijk 17h40 te Maaseik.



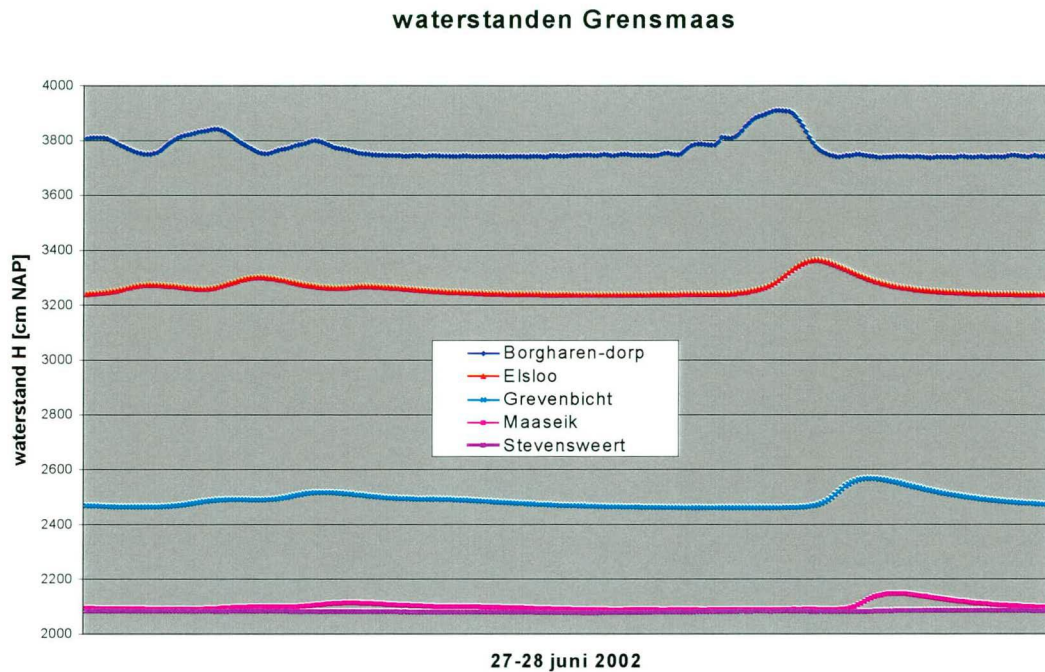


De meetonzekerheid van de abiotische variabele afvoer is vermoedelijk orde grootte minstens enkele  $\text{m}^3/\text{s}$ . Dit is te wijten aan enerzijds de benadering van de afvoer door een (gevalideerde) QH-relatie, zowel te Borgharen-dorp als te Maaseik. Anderzijds is de omzetting van NAP naar TAW niet eenduidig te Maaseik.

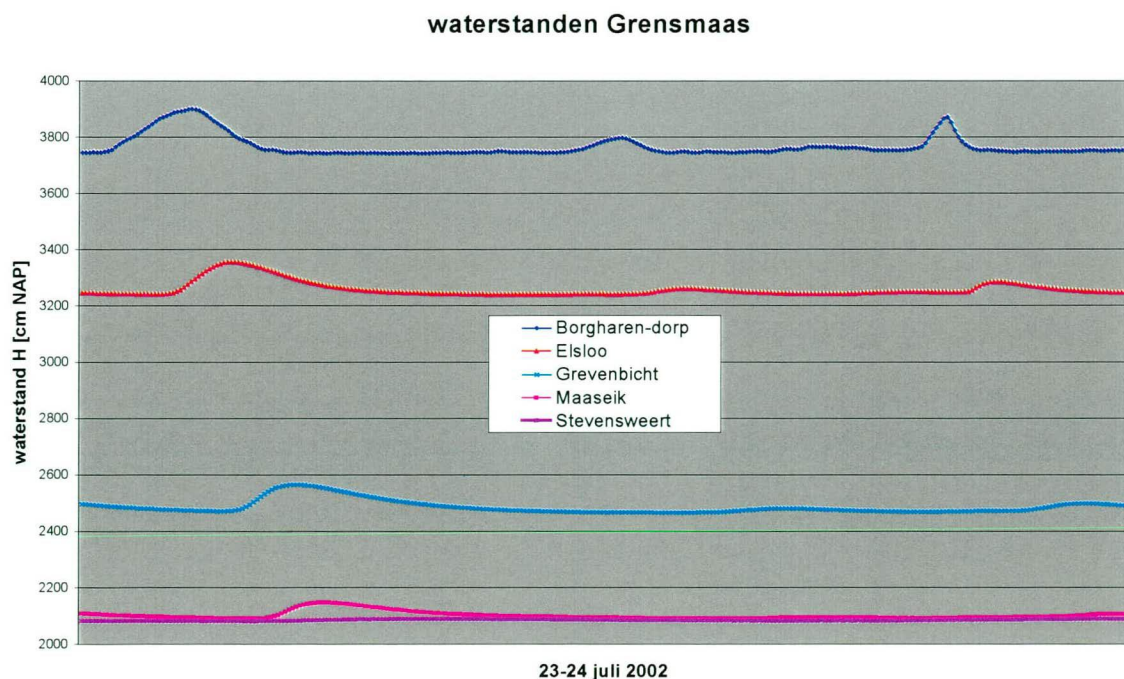
#### **zomerse waterstanden op de Grensmaas**

De onderstaande afbeeldingen geven waterstanden (ten opzichte van NAP) weer over het traject van Borgharen-dorp stroomafwaarts tot en met Stevensweert.

**Afbeelding I.2. Waterstanden Grensmaas in 27-28 juni 2002**



**Afbeelding I.3. Waterstanden Grensmaas in 23-24 juli 2002**

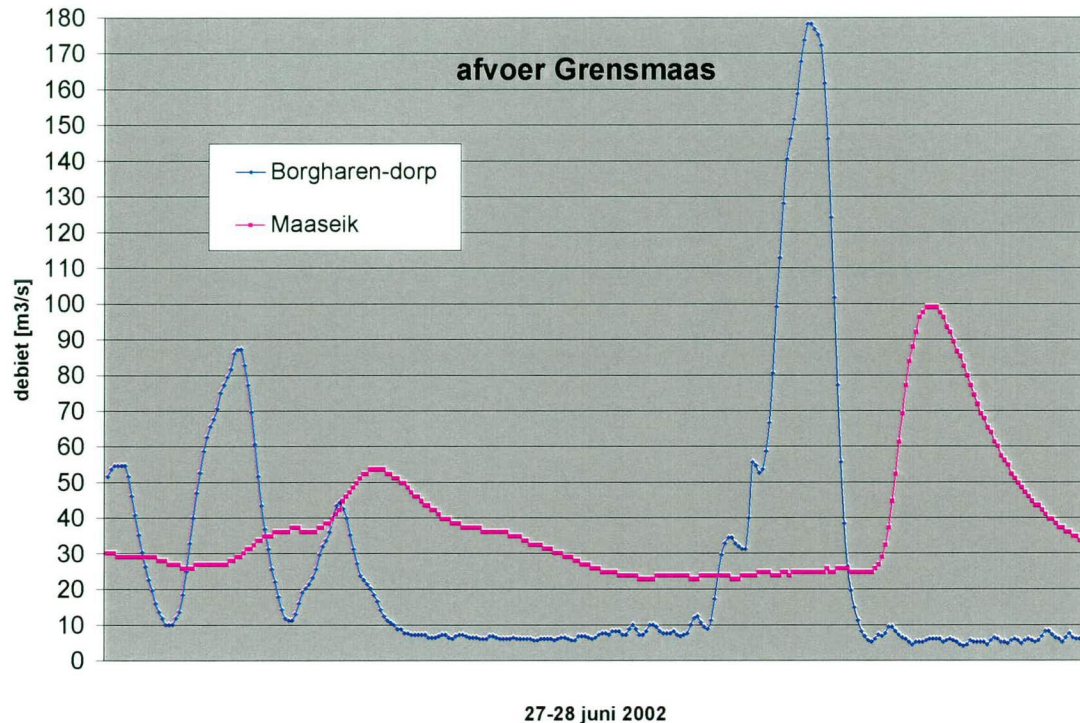




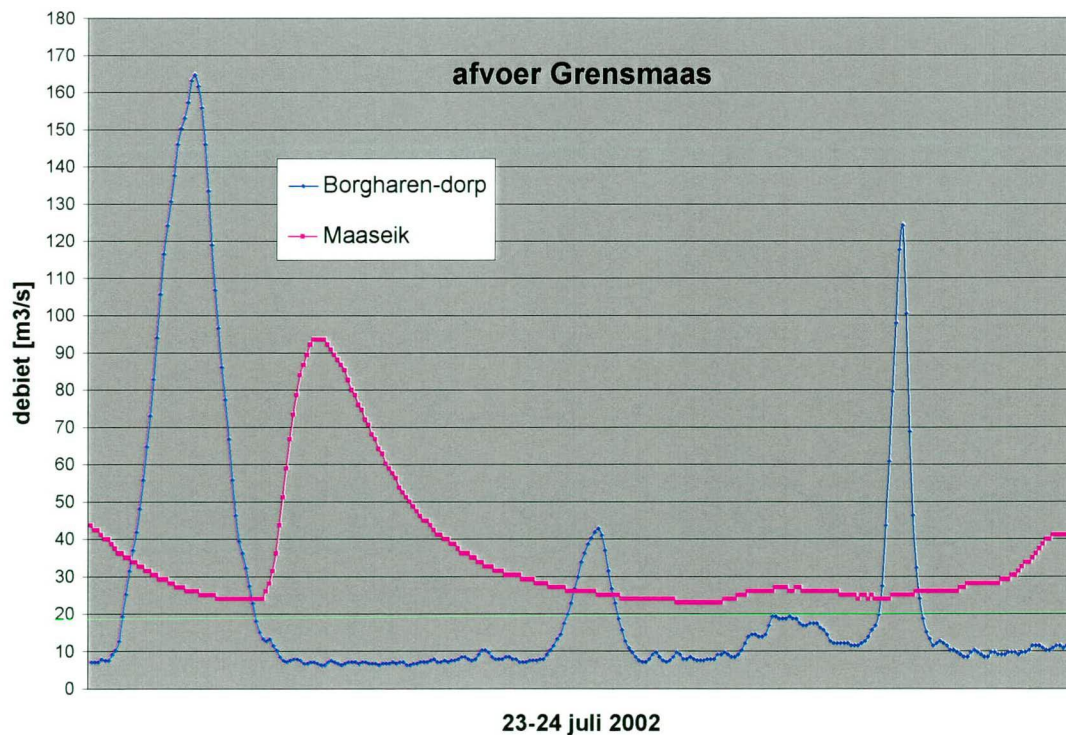
### zomerdebieten op de Grensmaas

In deze paragraaf zijn de door RWS-DLB aangeleverde en gevalideerde afgeleide debieten weergegeven van de Grensmaas.

**Afbeelding I.4. Afvoer Grensmaas 27-28 juni 2002 te Borgharen-dorp en Maaseik**



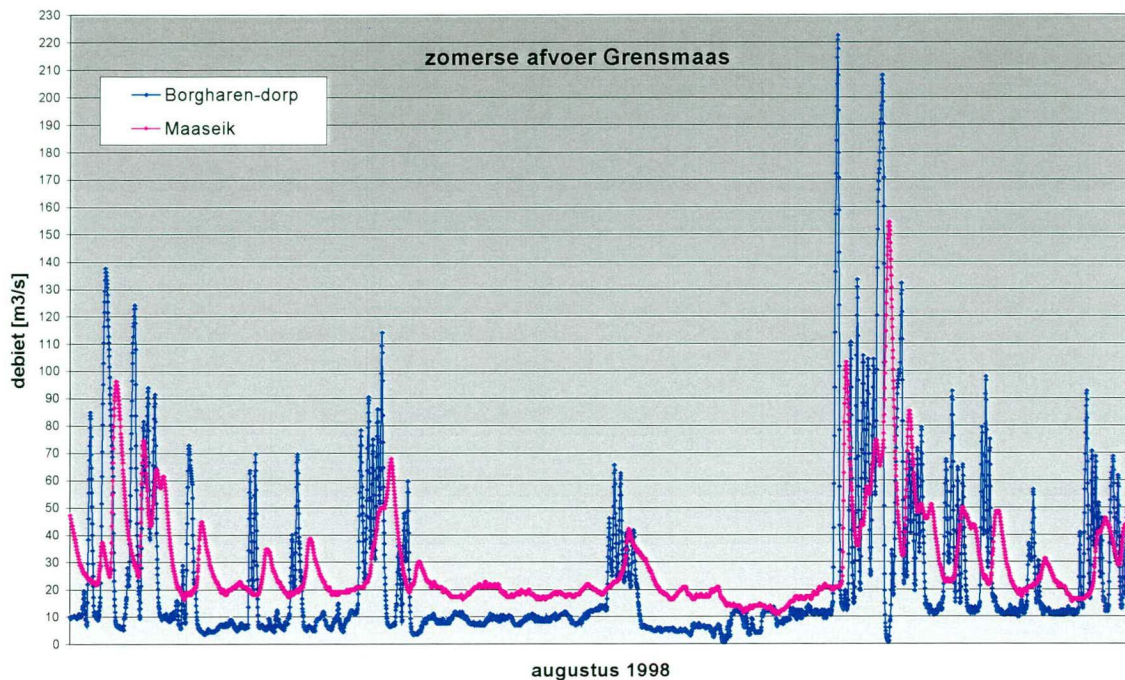
**Afbeelding I.5. Afvoer Grensmaas 23-24 juli 2002 te Borgharen-dorp en Maaseik**







**Abbeelding I.6. Afvoer Grensmaas in augustus 1998 te Borgharen-dorp en Maaseik**



### 1.3. Kenmerken waterkwantiteit Grensmaas

De verschillen tussen Borgharen-dorp en Maaseik worden hieronder toegelicht.

#### looptijd

Uit bovenstaande afbeeldingen valt bij zowel waterstanden als afvoeren een duidelijke tijdsvertraging op te maken, dat wil zeggen dat er een transporttijd of looptijd van water van Borgharen-dorp naar Maaseik aanwezig is. Deze looptijd bedraagt op basis van aangeleverde gegevens gemiddeld ongeveer 7:30 uur, maar kan echter sterk variëren per periode. Voor het valideren wel, maar voor het gebruik van RHASIM behoeft de looptijd geen aandacht.

#### afvlakking piekafvoer

Naast de looptijd valt, in relatie tot afvoer te Borgharen-dorp, de afvlakking van de (piek)afvoer te Maaseik op. Hiermee wordt bedoeld dat (relatieve) piekafvoeren te Borgharen-dorp systematisch groter zijn dan te Maaseik.

Deze afvlakking kan binnen het bereik van 5-80 m<sup>3</sup>/s op de Grensmaas, dus bij zomerse afvoeren, een verschil in afvoer van bijvoorbeeld 40 m<sup>3</sup>/s (grootweg 50%) opleveren. Dit effect is meegenomen in de vergelijking tussen gemeten debieten en de door RHASIM berekende debieten. Dergelijke verschillen zijn groot bij debieten vanaf 25 m<sup>3</sup>/s te Maaseik.

#### laterale toestroming

De gemiddelde afvoer te Maaseik ligt in de zomer significant hoger dan te Borgharen-dorp. Bij een afvoer te Borgharen-dorp van ongeveer 10 m<sup>3</sup>/s, is de afvoer te Maaseik ongeveer 17 m<sup>3</sup>/s, dus een verschil van ongeveer 7 m<sup>3</sup>/s (SIM, "Tijdreeksanalyse Borgharen-Maaseik", juni 1997, i.o.v. RWS-RIZA). Dit systematische verschil is te verklaren door zogenaamde laterale debieten.

Uit analyses van SIM is 7 m<sup>3</sup>/s laterale toestroming met name afkomstig van:

- de Geul (ca. 1,5 m<sup>3</sup>/s);
- Belgische beken (o.b.v. oppervlakte stromingsgebied, 0,5\*Q<sub>Geul</sub>) (ca. 0,75 m<sup>3</sup>/s);
- toestroming grondwater en uitwisseling Zuid-Willemsvaart (ca. 4 m<sup>3</sup>/s);
- lozingen DSM (ca. 1 m<sup>3</sup>/s).





Door SIM is tevens aangetoond dat, indien gecorrigeerd wordt voor deze laterale toestroming (indicatief bepaald), er geen significant verschil in afvoer meer aanwezig is tussen de twee locaties. De gebruikte metingen zijn afkomstig uit de periode 1988-1995.

Afvoeren te Meerssen (de Geul) in augustus 2002 geven aan dat deze toestroming ook in de orde van 2-3 m<sup>3</sup>/s groot kan zijn.

Onderzoek door IWACO (i.o.v. DLB) in december 2000 geeft aan dat na ruim 3 maanden zonder neerslag (droge zomer), de grondwatertoevoer naar de Grensmaas afneemt tot circa 4 m<sup>3</sup>/s (exclusief grondwatertoevoer naar de Geul).

De waterbeweging (kwantiteit) van de Grensmaas is in RHASIM duidelijk niet representatief verdisconteerd. De laterale toestroming is in de Grensmaas niet meegenomen, dit zorgt voor relatief grote systematische fouten bij lage afvoeren.

#### 1.4. Totstandkoming van een verantwoorde vergelijking

De beschikbare gegevens kunnen niet klakkeloos gebruikt worden voor een vergelijking met RHASIM, omdat relevante aspecten en processen op de Grensmaas zoals toestroming en afvlakking niet verdisconteerd zijn in RHASIM. Voor de toestroming en afvlakking is gecorrigeerd, opdat een zuivere vergelijking mogelijk is.

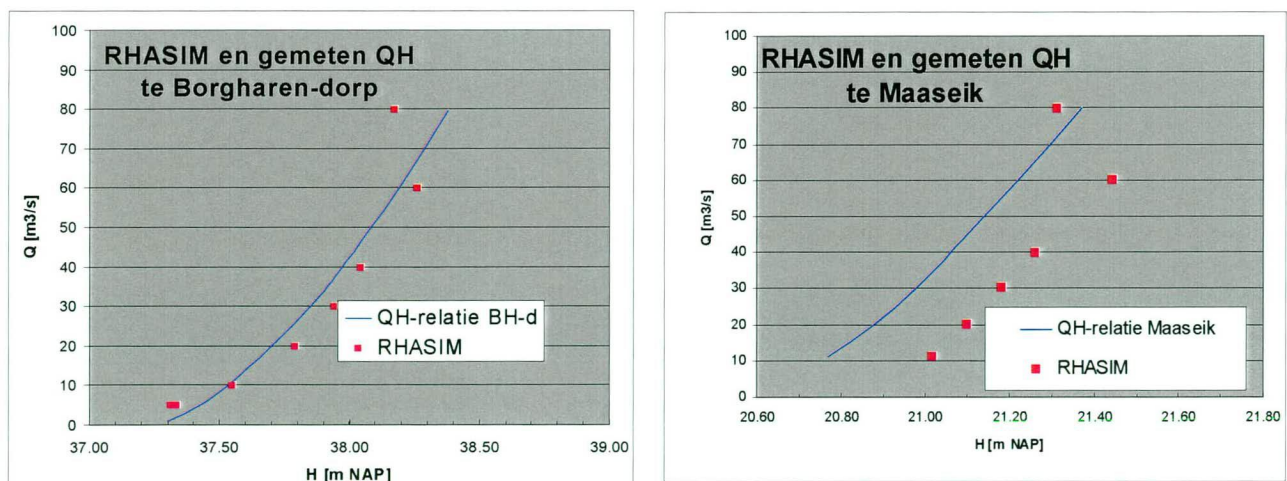
#### 1.5. Onzekerheid debietberekening RHASIM te Borgharen-dorp en te Maaseik

In afbeelding 1.7. zijn onzekerheden van RHASIM te Borgharen-dorp en te Maaseik weergegeven. Dit zijn de enige locaties waar de afgeleide QH-relaties zijn gevalideerd. Huidige afwijkingen van RHASIM (onzekerheden) te Borgharen-dorp van de waterstanden zijn gemiddeld ongeveer  $\Delta H = 10$  cm, een onzekerheid in debiet van ongeveer  $\Delta Q = 8$  m<sup>3</sup>/s.

Huidige afwijkingen van RHASIM van de berekende waterstanden tegen gemeten waterstanden zijn te Maaseik gemiddeld ongeveer  $\Delta H = 20$  cm, overeenkomstig een onzekerheid in debiet van ongeveer  $\Delta Q = 28$  m<sup>3</sup>/s.

Te Maaseik is sprake van een systematische overschatting van RHASIM. Dit is mogelijk te verklaren door de bepaling van de per afvoer constant veronderstelde chezy-factor voor het gehele traject. Een voorbeeld van de gevoeligheid van de opgegeven chezy-factor is in afbeelding 1.8. gegeven.

**Afbeelding 1.7. Vergelijking tussen gemeten QH-relatie en gemeten Q met H van RHASIM**

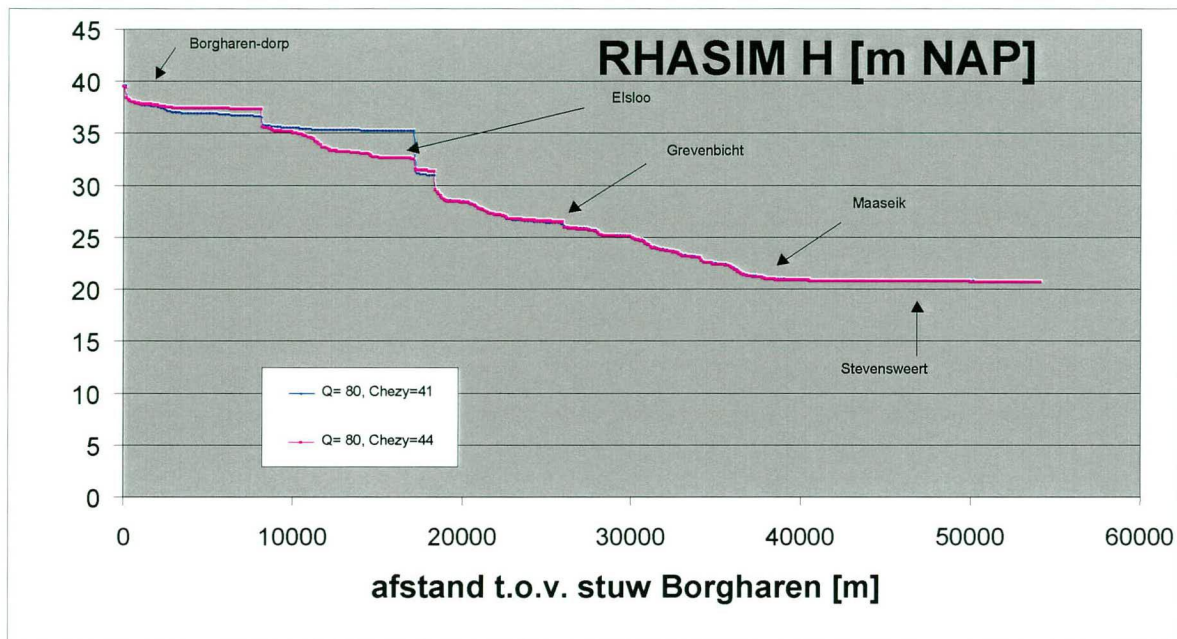






De onzekerheid van de berekende afvoer van de Grensmaas te Borgharen-dorp en te Maaseik is orde grootte ongeveer  $\Delta Q = 10\text{-}20 \text{ m}^3/\text{s}$ .

**Afbeelding I.8. Berekende waterstanden H door RHASIM bij verschillende Chezy-factoren**



De Chezy-factor, een maat voor de ruwheid die in RHASIM handmatig kan worden opgegeven, is binnen RHASIM voor het gehele traject constant. De Chezy-factor heeft veel invloed op de door RHASIM berekende uitkomsten (erg gevoelig).

Een klein verschil in de Chezy-factor (bijvoorbeeld  $C=41$  in plaats van  $44 \text{ (m/s)}^{1/2}$  bij  $80 \text{ m}^3/\text{s}$ ) kan een lokaal verschil in waterstand opleveren van decimeters tot soms wel enkele meters! Zie als voorbeeld de locatie Elsloo in afbeelding I.8. Dit grote verschil heeft te maken met (soms) voorkomende instabiliteit van de berekeningsmethode. Instabiliteit is, gezien de grilligheid van de bodem van de Grensmaas in combinatie met lage afvoeren, (nog) niet altijd op te lossen.

N.B.

Het variëren van de drempel van de droogvalprocedure (variëren tussen  $0,01\text{-}5,00 \text{ [m]}$ ) in RHASIM leverde geen verschil op bij bovenstaand voorbeeld.

### 1.6. Bodemprofiel Grensmaas

In afbeelding I.9. is een schematisatie gegeven van het profiel van de Grensmaas die door RHASIM gehanteerd wordt. RHASIM maakt gebruik van ruimtelijke eenheden met een lengte van 100 en een breedte van ongeveer 10 m. Deze eenheden zijn door middel van GIS gegenereerd. Als bovengrens is stuw Borgharen-dorp aangehouden, stuw Linne is gebruikt als benedengrens.

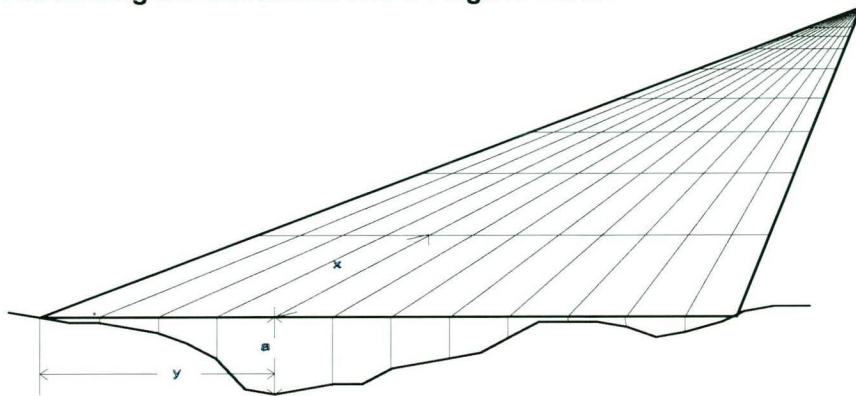
Per vak is met behulp van GIS de gemiddelde bodemligging bepaald. Hiervoor is gebruik gemaakt van het hoogtemodel dat gebruikt is voor de ontwikkeling van het SOBEK-model 1998.1. In dit model is de bodemligging van 1995 opgenomen.



Momenteel is RHASIM gebaseerd op het bodemprofiel van 1995 (singlebeam). Er zijn nieuwe lodingen beschikbaar van 2000-2001 (multibeam- en singlebeammetingen). De bodem van het 1998-model is voor de Grensmaas gelijk aan 1995. Vooral nog is in onderhavige studie uitgegaan van het feit dat de bodem van 1995 representatief is voor 1998 en voldoet aan de gestelde nauwkeurigheidseisen.

In RHASIM kan voor het gehele Grensmaas traject één uniforme ruwheid worden opgegeven. Als initiële waarde is voor de verschillende afvoerniveaus de met SOBEK berekende ruwheid over het traject Borgharen-Linne gebruikt. Deze waarden zijn gemiddeld om tot één uniforme ruwheid over de Grensmaas te komen.

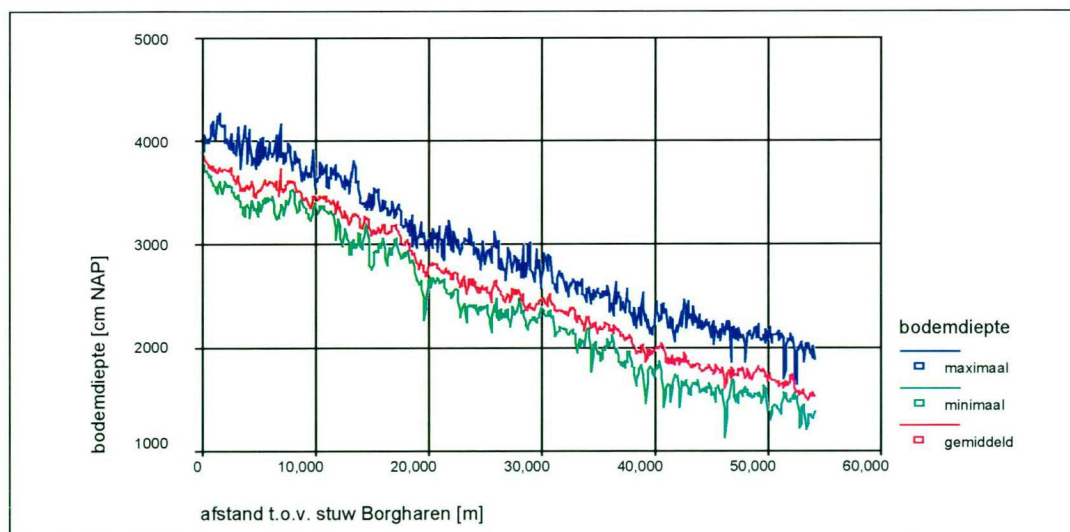
**Afbeelding I.9. Schematische weergave raster**



Om een stabiele waterbewegingsberekening te kunnen uitvoeren is als aanvulling op de waterbeweging een droogvalprocedure ontwikkeld en ingebouwd. Deze procedure voorkomt problemen bij de berekening van de waterbeweging bij secties die droog vallen.

De geometrie van het systeem is een belangrijke parameter. Afgelopen jaar is er bij DLB en Maaswerken een uitgebreide discussie gevoerd rondom de bodemligging van de Maas. Er zijn verschillen geconstateerd tussen zogenaamde multibeammetingen en singlebeammetingen op de Zandmaas.

**Afbeelding I.10. Bodemdiepte Grensmaas tegen afstand t.o.v. stuw Borgharen**







De bodemdiepten per afstand geven aan dat het verhang tussen Borgharen (begin) en te Linne (stroomafwaarts) ongeveer 20 meter bedraagt.

Een relevante constatering inzake de instabiliteit van de berekende waterbeweging, is dat met name de minimale bodemdiepte per dwarsdoorsnede nogal grillig is. Het kan gebeuren dat per opeenvolgende minimale bodemdiepte (de as) het verschil in bodemdiepte enkele meters kan zijn (maximaal 2,84 meter).

In het onderzoek is geen rekening gehouden met een significant verschil tussen de huidige bodemschematisatie en de werkelijke of meest actuele schematisatie uit 2000-2001.



## BIJLAGE II Opbouw (aangepast) organism.dat voor toetsing gevoeligheid HGI's







## Bijlage II. Opbouw (aangepast) organism.dat voor toetsing gevoeligheid HGI's

Het invoerbestand organism.dat is voor de toetsing van gevoeligheid van de HGI-curves aangepast. De (aangepaste\*) oorspronkelijke curves staan weergegeven in de 1<sup>e</sup> kolom. De kolommen ernaast zijn varianten van de oorspronkelijke curve. Bij de uiteindelijke toetsing van de gevoeligheid zijn alleen stroomsnelheid en temperatuur beschouwd omdat deze veruit het meest variëren met het debiet.

\*aanpassing van de oorspronkelijke curves voor substraat van:

- barbeel\_voortplanting (oorspronkelijk 0,0.65 en 1,1; nu 0,0 en 1,1)
- barbeel\_juveniel (oorspronkelijk 0,0.7 en 1,0.5; nu 0,1 en 1,0.3)
- barbeel\_adult (oorspronkelijk 0,0.65 en 1,1; nu 0,0 en 1,1)
- kopvoorn\_voortplanting (oorspronkelijk 0,0.2 en 1,1; nu 0,0 en 1,1)
- kopvoorn\_larvaal (oorspronkelijk 0,0.7 en 1,0.5; nu 0,1 en 1,0.5)
- kopvoorn\_juveniel (oorspronkelijk 0,0.7 en 1,0.5; nu 0,1 en 1,0.5)
- kopvoorn\_adult (oorspronkelijk 0,0.7 en 1,1; nu 0,2 en 1,1)

org=barbeel_voortplanting	variant 75%	variant 90%	variant 110%	variant 125%
hab=temperatuur	hab=temperatuur	hab=temperatuur	hab=temperatuur	hab=temperatuur
0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
8,0	6,0	7.2,0	8.8,0	10,0
12,1	9,1	10.8,1	13.2,1	15,1
20,1	15,1	18,1	22,1	25,1
30,0	22.5,0	27,0	33,0	37.5,0
hab=zuurstof	hab=zuurstof	hab=zuurstof	hab=zuurstof	hab=zuurstof
0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
5,0	3.75,0	4.5,0	5.5,0	6.25,0
9,1	6.75,1	8.1,1	9.9,1	11.25,1
12,1	9,1	10.8,1	13.2,1	15,1
hab=waterdiepte	hab=waterdiepte	hab=waterdiepte	hab=waterdiepte	hab=waterdiepte
0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
0.2,0	0.15,0	0.18,0	0.22,0	0.25,0
0.201,0.1	0.15075,0.1	0.1809,0.1	0.2211,0.1	0.25125,0.1
0.21,0.1	0.1575,0.1	0.189,0.1	0.231,0.1	0.2625,0.1
0.211,0.2	0.15825,0.2	0.1899,0.2	0.2321,0.2	0.26375,0.2
0.22,0.2	0.165,0.2	0.198,0.2	0.242,0.2	0.275,0.2
0.221,0.3	0.16575,0.3	0.1989,0.3	0.2431,0.3	0.27625,0.3
0.23,0.3	0.1725,0.3	0.207,0.3	0.253,0.3	0.2875,0.3
0.231,0.4	0.17325,0.4	0.2079,0.4	0.2541,0.4	0.28875,0.4
0.24,0.4	0.18,0.4	0.216,0.4	0.264,0.4	0.3,0.4
0.241,0.5	0.18075,0.5	0.2169,0.5	0.2651,0.5	0.30125,0.5
0.26,0.5	0.195,0.5	0.234,0.5	0.286,0.5	0.325,0.5
0.261,0.6	0.19575,0.6	0.2349,0.6	0.2871,0.6	0.32625,0.6
0.27,0.6	0.2025,0.6	0.243,0.6	0.297,0.6	0.3375,0.6
0.271,0.7	0.20325,0.7	0.2439,0.7	0.2981,0.7	0.33875,0.7
0.28,0.7	0.21,0.7	0.252,0.7	0.308,0.7	0.35,0.7
0.281,0.8	0.21075,0.8	0.2529,0.8	0.3091,0.8	0.35125,0.8
0.29,0.8	0.2175,0.8	0.261,0.8	0.319,0.8	0.3625,0.8
0.291,0.9	0.21825,0.9	0.2619,0.9	0.3201,0.9	0.36375,0.9



0.3,0.9	0.225,0.9	0.27,0.9	0.33,0.9	0.375,0.9
0.301,1	0.22575,1	0.2709,1	0.3311,1	0.37625,1
0.4,1	0.3,1	0.36,1	0.44,1	0.5,1
0.401,0.9	0.30075,0.9	0.3609,0.9	0.4411,0.9	0.50125,0.9
0.47,0.9	0.3525,0.9	0.423,0.9	0.517,0.9	0.5875,0.9
0.471,0.8	0.35325,0.8	0.4239,0.8	0.5181,0.8	0.58875,0.8
0.53,0.8	0.3975,0.8	0.477,0.8	0.583,0.8	0.6625,0.8
0.531,0.7	0.39825,0.7	0.4779,0.7	0.5841,0.7	0.66375,0.7
0.6,0.7	0.45,0.7	0.54,0.7	0.66,0.7	0.75,0.7
0.601,0.6	0.45075,0.6	0.5409,0.6	0.6611,0.6	0.75125,0.6
0.67,0.6	0.5025,0.6	0.603,0.6	0.737,0.6	0.8375,0.6
0.671,0.5	0.50325,0.5	0.6039,0.5	0.7381,0.5	0.83875,0.5
0.73,0.5	0.5475,0.5	0.657,0.5	0.803,0.5	0.9125,0.5
0.731,0.4	0.54825,0.4	0.6579,0.4	0.8041,0.4	0.91375,0.4
0.8,0.4	0.6,0.4	0.72,0.4	0.88,0.4	1,0.4
0.801,0.3	0.60075,0.3	0.7209,0.3	0.8811,0.3	1.00125,0.3
0.87,0.3	0.6525,0.3	0.783,0.3	0.957,0.3	1.0875,0.3
0.871,0.2	0.65325,0.2	0.7839,0.2	0.9581,0.2	1.08875,0.2
0.93,0.2	0.6975,0.2	0.837,0.2	1.023,0.2	1.1625,0.2
0.931,0.1	0.69825,0.1	0.8379,0.1	1.0241,0.1	1.16375,0.1
1,0.1	0.75,0.1	0.9,0.1	1.1,0.1	1.25,0.1
1.001,0	0.75075,0	0.9009,0	1.1011,0	1.25125,0
hab=stroomsnelheid	hab=stroomsnelheid	hab=stroomsnelheid	hab=stroomsnelheid	hab=stroomsnelheid
0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
0.1,0	0.075,0	0.09,0	0.11,0	0.125,0
0.1,0.1	0.075,0.1	0.09,0.1	0.11,0.1	0.125,0.1
0.12,0.1	0.09,0.1	0.108,0.1	0.132,0.1	0.15,0.1
0.12,0.2	0.09,0.2	0.108,0.2	0.132,0.2	0.15,0.2
0.13,0.2	0.0975,0.2	0.117,0.2	0.143,0.2	0.1625,0.2
0.13,0.3	0.0975,0.3	0.117,0.3	0.143,0.3	0.1625,0.3
0.15,0.3	0.1125,0.3	0.135,0.3	0.165,0.3	0.1875,0.3
0.15,0.4	0.1125,0.4	0.135,0.4	0.165,0.4	0.1875,0.4
0.17,0.4	0.1275,0.4	0.153,0.4	0.187,0.4	0.2125,0.4
0.17,0.5	0.1275,0.5	0.153,0.5	0.187,0.5	0.2125,0.5
0.18,0.5	0.135,0.5	0.162,0.5	0.198,0.5	0.225,0.5
0.18,0.6	0.135,0.6	0.162,0.6	0.198,0.6	0.225,0.6
0.2,0.6	0.15,0.6	0.18,0.6	0.22,0.6	0.25,0.6
0.2,0.7	0.15,0.7	0.18,0.7	0.22,0.7	0.25,0.7
0.22,0.7	0.165,0.7	0.198,0.7	0.242,0.7	0.275,0.7
0.22,0.8	0.165,0.8	0.198,0.8	0.242,0.8	0.275,0.8
0.23,0.8	0.1725,0.8	0.207,0.8	0.253,0.8	0.2875,0.8
0.23,0.9	0.1725,0.9	0.207,0.9	0.253,0.9	0.2875,0.9
0.25,0.9	0.1875,0.9	0.225,0.9	0.275,0.9	0.3125,0.9
0.25,1	0.1875,1	0.225,1	0.275,1	0.3125,1
0.75,1	0.5625,1	0.675,1	0.825,1	0.9375,1
0.75,0.9	0.5625,0.9	0.675,0.9	0.825,0.9	0.9375,0.9
0.83,0.9	0.6225,0.9	0.747,0.9	0.913,0.9	1.0375,0.9
0.83,0.8	0.6225,0.8	0.747,0.8	0.913,0.8	1.0375,0.8
0.92,0.8	0.69,0.8	0.828,0.8	1.012,0.8	1.15,0.8
0.92,0.7	0.69,0.7	0.828,0.7	1.012,0.7	1.15,0.7
1,0.7	0.75,0.7	0.9,0.7	1.1,0.7	1.25,0.7





1,0,6	0.75,0.6	0.9,0.6	1.1,0.6	1.25,0.6
1.08,0.6	0.81,0.6	0.972,0.6	1.188,0.6	1.35,0.6
1.08,0.5	0.81,0.5	0.972,0.5	1.188,0.5	1.35,0.5
1.17,0.5	0.8775,0.5	1.053,0.5	1.287,0.5	1.4625,0.5
1.17,0.4	0.8775,0.4	1.053,0.4	1.287,0.4	1.4625,0.4
1.25,0.4	0.9375,0.4	1.125,0.4	1.375,0.4	1.5625,0.4
1.25,0.3	0.9375,0.3	1.125,0.3	1.375,0.3	1.5625,0.3
1.33,0.3	0.9975,0.3	1.197,0.3	1.463,0.3	1.6625,0.3
1.33,0.2	0.9975,0.2	1.197,0.2	1.463,0.2	1.6625,0.2
1.41,0.2	1.0575,0.2	1.269,0.2	1.551,0.2	1.7625,0.2
1.41,0.1	1.0575,0.1	1.269,0.1	1.551,0.1	1.7625,0.1
1.5,0.1	1.125,0.1	1.35,0.1	1.65,0.1	1.875,0.1
1.5,0	1.125,0	1.35,0	1.65,0	1.875,0
hab=substraat	hab=substraat	hab=substraat	hab=substraat	hab=substraat
0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
1,1	0.75,1	0.9,1	1.1,1	1.25,1
<b>org=barbeel_juveniel</b>	<b>variant 75%</b>	<b>variant 90%</b>	<b>variant 110%</b>	<b>variant 125%</b>
hab=temperatuur	hab=temperatuur	hab=temperatuur	hab=temperatuur	hab=temperatuur
0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
12,0	9,0	10.8,0	13.2,0	15,0
20,1	15,1	18,1	22,1	25,1
26,1	19.5,1	23.4,1	28.6,1	32.5,1
30,0	22.5,0	27,0	33,0	37.5,0
hab=zuurstof	hab=zuurstof	hab=zuurstof	hab=zuurstof	hab=zuurstof
2,0	1.5,0	1.8,0	2.2,0	2.5,0
9,1	6.75,1	8.1,1	9.9,1	11.25,1
12,1	9,1	10.8,1	13.2,1	15,1
hab=waterdiepte	hab=waterdiepte	hab=waterdiepte	hab=waterdiepte	hab=waterdiepte
0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
0.02,0	0.015,0	0.018,0	0.022,0	0.025,0
0.02,0.1	0.015,0.1	0.018,0.1	0.022,0.1	0.025,0.1
0.04,0.1	0.03,0.1	0.036,0.1	0.044,0.1	0.05,0.1
0.04,0.2	0.03,0.2	0.036,0.2	0.044,0.2	0.05,0.2
0.06,0.2	0.045,0.2	0.054,0.2	0.066,0.2	0.075,0.2
0.06,0.3	0.045,0.3	0.054,0.3	0.066,0.3	0.075,0.3
0.08,0.3	0.06,0.3	0.072,0.3	0.088,0.3	0.1,0.3
0.08,0.4	0.06,0.4	0.072,0.4	0.088,0.4	0.1,0.4
0.1,0.4	0.075,0.4	0.09,0.4	0.11,0.4	0.125,0.4
0.1,0.5	0.075,0.5	0.09,0.5	0.11,0.5	0.125,0.5
0.12,0.5	0.09,0.5	0.108,0.5	0.132,0.5	0.15,0.5
0.12,0.6	0.09,0.6	0.108,0.6	0.132,0.6	0.15,0.6
0.14,0.6	0.105,0.6	0.126,0.6	0.154,0.6	0.175,0.6
0.14,0.7	0.105,0.7	0.126,0.7	0.154,0.7	0.175,0.7
0.16,0.7	0.12,0.7	0.144,0.7	0.176,0.7	0.2,0.7
0.16,0.8	0.12,0.8	0.144,0.8	0.176,0.8	0.2,0.8
0.18,0.8	0.135,0.8	0.162,0.8	0.198,0.8	0.225,0.8
0.18,0.9	0.135,0.9	0.162,0.9	0.198,0.9	0.225,0.9



0.2,0.9	0.15,0.9	0.18,0.9	0.22,0.9	0.25,0.9
0.2,1	0.15,1	0.18,1	0.22,1	0.25,1
1,1	0.75,1	0.9,1	1.1,1	1.25,1
1,0.9	0.75,0.9	0.9,0.9	1.1,0.9	1.25,0.9
1.22,0.9	0.915,0.9	1.098,0.9	1.342,0.9	1.525,0.9
1.22,0.8	0.915,0.8	1.098,0.8	1.342,0.8	1.525,0.8
1.45,0.8	1.0875,0.8	1.305,0.8	1.595,0.8	1.8125,0.8
1.45,0.7	1.0875,0.7	1.305,0.7	1.595,0.7	1.8125,0.7
1.67,0.7	1.2525,0.7	1.503,0.7	1.837,0.7	2.0875,0.7
1.67,0.6	1.2525,0.6	1.503,0.6	1.837,0.6	2.0875,0.6
1.89,0.6	1.4175,0.6	1.701,0.6	2.079,0.6	2.3625,0.6
1.89,0.5	1.4175,0.5	1.701,0.5	2.079,0.5	2.3625,0.5
2.12,0.5	1.59,0.5	1.908,0.5	2.332,0.5	2.65,0.5
2.12,0.4	1.59,0.4	1.908,0.4	2.332,0.4	2.65,0.4
2.34,0.4	1.755,0.4	2.106,0.4	2.574,0.4	2.925,0.4
2.34,0.3	1.755,0.3	2.106,0.3	2.574,0.3	2.925,0.3
2.56,0.3	1.92,0.3	2.304,0.3	2.816,0.3	3.2,0.3
2.56,0.2	1.92,0.2	2.304,0.2	2.816,0.2	3.2,0.2
2.78,0.2	2.085,0.2	2.502,0.2	3.058,0.2	3.475,0.2
2.78,0.1	2.085,0.1	2.502,0.1	3.058,0.1	3.475,0.1
3.01,0.1	2.2575,0.1	2.709,0.1	3.311,0.1	3.7625,0.1
3.01,0	2.2575,0	2.709,0	3.311,0	3.7625,0

hab=stroomsnelheid	hab=stroomsnelheid	hab=stroomsnelheid	hab=stroomsnelheid	hab=stroomsnelheid
0,1	0,1	0,1	0,1	0,1
0,1	0,1	0,1	0,1	0,1
0,0.9	0,0.9	0,0.9	0,0.9	0,0.9
0.04,0.9	0.03,0.9	0.036,0.9	0.044,0.9	0.05,0.9
0.04,0.8	0.03,0.8	0.036,0.8	0.044,0.8	0.05,0.8
0.08,0.8	0.06,0.8	0.072,0.8	0.088,0.8	0.1,0.8
0.08,0.7	0.06,0.7	0.072,0.7	0.088,0.7	0.1,0.7
0.11,0.7	0.0825,0.7	0.099,0.7	0.121,0.7	0.1375,0.7
0.11,0.6	0.0825,0.6	0.099,0.6	0.121,0.6	0.1375,0.6
0.15,0.6	0.1125,0.6	0.135,0.6	0.165,0.6	0.1875,0.6
0.15,0.5	0.1125,0.5	0.135,0.5	0.165,0.5	0.1875,0.5
0.19,0.5	0.1425,0.5	0.171,0.5	0.209,0.5	0.2375,0.5
0.19,0.4	0.1425,0.4	0.171,0.4	0.209,0.4	0.2375,0.4
0.23,0.4	0.1725,0.4	0.207,0.4	0.253,0.4	0.2875,0.4
0.23,0.3	0.1725,0.3	0.207,0.3	0.253,0.3	0.2875,0.3
0.27,0.3	0.2025,0.3	0.243,0.3	0.297,0.3	0.3375,0.3
0.27,0.2	0.2025,0.2	0.243,0.2	0.297,0.2	0.3375,0.2
0.3,0.2	0.225,0.2	0.27,0.2	0.33,0.2	0.375,0.2
0.3,0.1	0.225,0.1	0.27,0.1	0.33,0.1	0.375,0.1
0.6,0.1	0.45,0.1	0.54,0.1	0.66,0.1	0.75,0.1
0.6,0	0.45,0	0.54,0	0.66,0	0.75,0

hab=substraat	hab=substraat	hab=substraat	hab=substraat	hab=substraat
0,1	0,1	0,1	0,1	0,1
1,0.3	0.75,0.3	0.9,0.3	1.1,0.3	1.25,0.3





org=barbeel_adult	variant 75%	variant 90%	variant 110%	variant 125%
hab=temperatuur	hab=temperatuur	hab=temperatuur	hab=temperatuur	hab=temperatuur
0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
14,0	10.5,0	12.6,0	15.4,0	17.5,0
20,1	15,1	18,1	22,1	25,1
26,1	19.5,1	23.4,1	28.6,1	32.5,1
30,0	22.5,0	27,0	33,0	37.5,0
hab=zuurstof	hab=zuurstof	hab=zuurstof	hab=zuurstof	hab=zuurstof
0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
3.5,0	2.625,0	3.15,0	3.85,0	4.375,0
5,0.6	3.75,0.6	4.5,0.6	5.5,0.6	6.25,0.6
7,1	5.25,1	6.3,1	7.7,1	8.75,1
12,1	9,1	10.8,1	13.2,1	15,1
hab=waterdiepte	hab=waterdiepte	hab=waterdiepte	hab=waterdiepte	hab=waterdiepte
0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
0.05,0	0.0375,0	0.045,0	0.055,0	0.0625,0
0.05,0.1	0.0375,0.1	0.045,0.1	0.055,0.1	0.0625,0.1
0.1,0.1	0.075,0.1	0.09,0.1	0.11,0.1	0.125,0.1
0.1,0.2	0.075,0.2	0.09,0.2	0.11,0.2	0.125,0.2
0.15,0.2	0.1125,0.2	0.135,0.2	0.165,0.2	0.1875,0.2
0.15,0.3	0.1125,0.3	0.135,0.3	0.165,0.3	0.1875,0.3
0.2,0.3	0.15,0.3	0.18,0.3	0.22,0.3	0.25,0.3
0.2,0.4	0.15,0.4	0.18,0.4	0.22,0.4	0.25,0.4
0.25,0.4	0.1875,0.4	0.225,0.4	0.275,0.4	0.3125,0.4
0.25,0.5	0.1875,0.5	0.225,0.5	0.275,0.5	0.3125,0.5
0.3,0.5	0.225,0.5	0.27,0.5	0.33,0.5	0.375,0.5
0.3,0.6	0.225,0.6	0.27,0.6	0.33,0.6	0.375,0.6
0.35,0.6	0.2625,0.6	0.315,0.6	0.385,0.6	0.4375,0.6
0.35,0.7	0.2625,0.7	0.315,0.7	0.385,0.7	0.4375,0.7
0.4,0.7	0.3,0.7	0.36,0.7	0.44,0.7	0.5,0.7
0.4,0.8	0.3,0.8	0.36,0.8	0.44,0.8	0.5,0.8
0.45,0.8	0.3375,0.8	0.405,0.8	0.495,0.8	0.5625,0.8
0.45,0.9	0.3375,0.9	0.405,0.9	0.495,0.9	0.5625,0.9
0.5,0.9	0.375,0.9	0.45,0.9	0.55,0.9	0.625,0.9
0.5,1	0.375,1	0.45,1	0.55,1	0.625,1
1.5,1	1.125,1	1.35,1	1.65,1	1.875,1
1.5,0.9	1.125,0.9	1.35,0.9	1.65,0.9	1.875,0.9
1.67,0.9	1.2525,0.9	1.503,0.9	1.837,0.9	2.0875,0.9
1.67,0.8	1.2525,0.8	1.503,0.8	1.837,0.8	2.0875,0.8
1.83,0.8	1.3725,0.8	1.647,0.8	2.013,0.8	2.2875,0.8
1.83,0.7	1.3725,0.7	1.647,0.7	2.013,0.7	2.2875,0.7
2,0.7	1.5,0.7	1.8,0.7	2.2,0.7	2.5,0.7
2,0.6	1.5,0.6	1.8,0.6	2.2,0.6	2.5,0.6
2.17,0.6	1.6275,0.6	1.953,0.6	2.387,0.6	2.7125,0.6
2.17,0.5	1.6275,0.5	1.953,0.5	2.387,0.5	2.7125,0.5
2.34,0.5	1.755,0.5	2.106,0.5	2.574,0.5	2.925,0.5
2.34,0.4	1.755,0.4	2.106,0.4	2.574,0.4	2.925,0.4



2.5,0.4	1.875,0.4	2.25,0.4	2.75,0.4	3.125,0.4
2.5,0.3	1.875,0.3	2.25,0.3	2.75,0.3	3.125,0.3
2.67,0.3	2.0025,0.3	2.403,0.3	2.937,0.3	3.3375,0.3
2.67,0.2	2.0025,0.2	2.403,0.2	2.937,0.2	3.3375,0.2
2.84,0.2	2.13,0.2	2.556,0.2	3.124,0.2	3.55,0.2
2.84,0.1	2.13,0.1	2.556,0.1	3.124,0.1	3.55,0.1
3,0.1	2.25,0.1	2.7,0.1	3.3,0.1	3.75,0.1
3,0	2.25,0	2.7,0	3.3,0	3.75,0
hab=stroomsnelheid	hab=stroomsnelheid	hab=stroomsnelheid	hab=stroomsnelheid	hab=stroomsnelheid
0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
0.01,0	0.0075,0	0.009,0	0.011,0	0.0125,0
0.01,0.1	0.0075,0.1	0.009,0.1	0.011,0.1	0.0125,0.1
0.02,0.1	0.015,0.1	0.018,0.1	0.022,0.1	0.025,0.1
0.02,0.2	0.015,0.2	0.018,0.2	0.022,0.2	0.025,0.2
0.03,0.2	0.0225,0.2	0.027,0.2	0.033,0.2	0.0375,0.2
0.03,0.3	0.0225,0.3	0.027,0.3	0.033,0.3	0.0375,0.3
0.04,0.3	0.03,0.3	0.036,0.3	0.044,0.3	0.05,0.3
0.04,0.4	0.03,0.4	0.036,0.4	0.044,0.4	0.05,0.4
0.05,0.4	0.0375,0.4	0.045,0.4	0.055,0.4	0.0625,0.4
0.05,0.5	0.0375,0.5	0.045,0.5	0.055,0.5	0.0625,0.5
0.06,0.5	0.045,0.5	0.054,0.5	0.066,0.5	0.075,0.5
0.06,0.6	0.045,0.6	0.054,0.6	0.066,0.6	0.075,0.6
0.07,0.6	0.0525,0.6	0.063,0.6	0.077,0.6	0.0875,0.6
0.07,0.7	0.0525,0.7	0.063,0.7	0.077,0.7	0.0875,0.7
0.08,0.7	0.06,0.7	0.072,0.7	0.088,0.7	0.1,0.7
0.08,0.8	0.06,0.8	0.072,0.8	0.088,0.8	0.1,0.8
0.09,0.8	0.0675,0.8	0.081,0.8	0.099,0.8	0.1125,0.8
0.09,0.9	0.0675,0.9	0.081,0.9	0.099,0.9	0.1125,0.9
0.1,0.9	0.075,0.9	0.09,0.9	0.11,0.9	0.125,0.9
0.1,1	0.075,1	0.09,1	0.11,1	0.125,1
0.3,1	0.225,1	0.27,1	0.33,1	0.375,1
0.3,0.9	0.225,0.9	0.27,0.9	0.33,0.9	0.375,0.9
0.4,0.9	0.3,0.9	0.36,0.9	0.44,0.9	0.5,0.9
0.4,0.8	0.3,0.8	0.36,0.8	0.44,0.8	0.5,0.8
0.5,0.8	0.375,0.8	0.45,0.8	0.55,0.8	0.625,0.8
0.5,0.7	0.375,0.7	0.45,0.7	0.55,0.7	0.625,0.7
0.6,0.7	0.45,0.7	0.54,0.7	0.66,0.7	0.75,0.7
0.6,0.6	0.45,0.6	0.54,0.6	0.66,0.6	0.75,0.6
0.7,0.6	0.525,0.6	0.63,0.6	0.77,0.6	0.875,0.6
0.7,0.5	0.525,0.5	0.63,0.5	0.77,0.5	0.875,0.5
0.8,0.5	0.6,0.5	0.72,0.5	0.88,0.5	1,0.5
0.8,0.4	0.6,0.4	0.72,0.4	0.88,0.4	1,0.4
0.9,0.4	0.675,0.4	0.81,0.4	0.99,0.4	1.125,0.4
0.9,0.3	0.675,0.3	0.81,0.3	0.99,0.3	1.125,0.3
1,0.3	0.75,0.3	0.9,0.3	1.1,0.3	1.25,0.3
1,0.2	0.75,0.2	0.9,0.2	1.1,0.2	1.25,0.2
1.1,0.2	0.825,0.2	0.99,0.2	1.21,0.2	1.375,0.2
1.1,0.1	0.825,0.1	0.99,0.1	1.21,0.1	1.375,0.1
1.2,0.1	0.9,0.1	1.08,0.1	1.32,0.1	1.5,0.1
1.2,0	0.9,0	1.08,0	1.32,0	1.5,0





hab=substraat	hab=substraat	hab=substraat	hab=substraat	hab=substraat
0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
1,1	0.75,1	0.9,1	1.1,1	1.25,1
hab=fosfaat	hab=fosfaat	hab=fosfaat	hab=fosfaat	hab=fosfaat
0,1	0,1	0,1	0,1	0,1
0.07,1	0.0525,1	0.063,1	0.077,1	0.0875,1
0.08,0.6	0.06,0.6	0.072,0.6	0.088,0.6	0.1,0.6
0.15,0.6	0.1125,0.6	0.135,0.6	0.165,0.6	0.1875,0.6
0.16,0.4	0.12,0.4	0.144,0.4	0.176,0.4	0.2,0.4
0.5,0.4	0.375,0.4	0.45,0.4	0.55,0.4	0.625,0.4
0.51,0.1	0.3825,0.1	0.459,0.1	0.561,0.1	0.6375,0.1
1,0.1	0.75,0.1	0.9,0.1	1.1,0.1	1.25,0.1
<b>org=kopvoorn_voortplanting variant 75% variant 90% variant 110% variant 125%</b>				
hab=temperatuur	hab=temperatuur	hab=temperatuur	hab=temperatuur	hab=temperatuur
0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
12,0	9,0	10.8,0	13.2,0	15,0
16,1	12,1	14.4,1	17.6,1	20,1
26,1	19.5,1	23.4,1	28.6,1	32.5,1
30,0	22.5,0	27,0	33,0	37.5,0
40,0	30,0	36,0	44,0	50,0
hab=zuurstof	hab=zuurstof	hab=zuurstof	hab=zuurstof	hab=zuurstof
0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
5,0	3.75,0	4.5,0	5.5,0	6.25,0
8,1	6,1	7.2,1	8.8,1	10,1
12,1	9,1	10.8,1	13.2,1	15,1
hab=waterdiepte	hab=waterdiepte	hab=waterdiepte	hab=waterdiepte	hab=waterdiepte
0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
0.01,0	0.0075,0	0.009,0	0.011,0	0.0125,0
0.01,0.1	0.0075,0.1	0.009,0.1	0.011,0.1	0.0125,0.1
0.02,0.1	0.015,0.1	0.018,0.1	0.022,0.1	0.025,0.1
0.02,0.2	0.015,0.2	0.018,0.2	0.022,0.2	0.025,0.2
0.03,0.2	0.0225,0.2	0.027,0.2	0.033,0.2	0.0375,0.2
0.03,0.3	0.0225,0.3	0.027,0.3	0.033,0.3	0.0375,0.3
0.04,0.3	0.03,0.3	0.036,0.3	0.044,0.3	0.05,0.3
0.04,0.4	0.03,0.4	0.036,0.4	0.044,0.4	0.05,0.4
0.05,0.4	0.0375,0.4	0.045,0.4	0.055,0.4	0.0625,0.4
0.05,0.5	0.0375,0.5	0.045,0.5	0.055,0.5	0.0625,0.5
0.06,0.5	0.045,0.5	0.054,0.5	0.066,0.5	0.075,0.5
0.06,0.6	0.045,0.6	0.054,0.6	0.066,0.6	0.075,0.6
0.07,0.6	0.0525,0.6	0.063,0.6	0.077,0.6	0.0875,0.6
0.07,0.7	0.0525,0.7	0.063,0.7	0.077,0.7	0.0875,0.7
0.08,0.7	0.06,0.7	0.072,0.7	0.088,0.7	0.1,0.7
0.08,0.8	0.06,0.8	0.072,0.8	0.088,0.8	0.1,0.8
0.09,0.8	0.0675,0.8	0.081,0.8	0.099,0.8	0.1125,0.8
0.09,0.9	0.0675,0.9	0.081,0.9	0.099,0.9	0.1125,0.9
0.1,0.9	0.075,0.9	0.09,0.9	0.11,0.9	0.125,0.9
0.1,1	0.075,1	0.09,1	0.11,1	0.125,1



0.5,1	0.375,1	0.45,1	0.55,1	0.625,1
0.5,0.9	0.375,0.9	0.45,0.9	0.55,0.9	0.625,0.9
0.56,0.9	0.42,0.9	0.504,0.9	0.616,0.9	0.7,0.9
0.56,0.8	0.42,0.8	0.504,0.8	0.616,0.8	0.7,0.8
0.61,0.8	0.4575,0.8	0.549,0.8	0.671,0.8	0.7625,0.8
0.61,0.7	0.4575,0.7	0.549,0.7	0.671,0.7	0.7625,0.7
0.67,0.7	0.5025,0.7	0.603,0.7	0.737,0.7	0.8375,0.7
0.67,0.6	0.5025,0.6	0.603,0.6	0.737,0.6	0.8375,0.6
0.72,0.6	0.54,0.6	0.648,0.6	0.792,0.6	0.9,0.6
0.72,0.5	0.54,0.5	0.648,0.5	0.792,0.5	0.9,0.5
0.78,0.5	0.585,0.5	0.702,0.5	0.858,0.5	0.975,0.5
0.78,0.4	0.585,0.4	0.702,0.4	0.858,0.4	0.975,0.4
0.83,0.4	0.6225,0.4	0.747,0.4	0.913,0.4	1.0375,0.4
0.83,0.3	0.6225,0.3	0.747,0.3	0.913,0.3	1.0375,0.3
0.89,0.3	0.6675,0.3	0.801,0.3	0.979,0.3	1.1125,0.3
0.89,0.2	0.6675,0.2	0.801,0.2	0.979,0.2	1.1125,0.2
0.94,0.2	0.705,0.2	0.846,0.2	1.034,0.2	1.175,0.2
0.94,0.1	0.705,0.1	0.846,0.1	1.034,0.1	1.175,0.1
1,0.1	0.75,0.1	0.9,0.1	1.1,0.1	1.25,0.1
1,0	0.75,0	0.9,0	1.1,0	1.25,0

hab=stroomsnelheid	hab=stroomsnelheid	hab=stroomsnelheid	hab=stroomsnelheid	hab=stroomsnelheid
0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
0.04,0	0.03,0	0.036,0	0.044,0	0.05,0
0.04,0.1	0.03,0.1	0.036,0.1	0.044,0.1	0.05,0.1
0.08,0.1	0.06,0.1	0.072,0.1	0.088,0.1	0.1,0.1
0.08,0.2	0.06,0.2	0.072,0.2	0.088,0.2	0.1,0.2
0.12,0.2	0.09,0.2	0.108,0.2	0.132,0.2	0.15,0.2
0.12,0.3	0.09,0.3	0.108,0.3	0.132,0.3	0.15,0.3
0.16,0.3	0.12,0.3	0.144,0.3	0.176,0.3	0.2,0.3
0.16,0.4	0.12,0.4	0.144,0.4	0.176,0.4	0.2,0.4
0.2,0.4	0.15,0.4	0.18,0.4	0.22,0.4	0.25,0.4
0.2,0.5	0.15,0.5	0.18,0.5	0.22,0.5	0.25,0.5
0.24,0.5	0.18,0.5	0.216,0.5	0.264,0.5	0.3,0.5
0.24,0.6	0.18,0.6	0.216,0.6	0.264,0.6	0.3,0.6
0.28,0.6	0.21,0.6	0.252,0.6	0.308,0.6	0.35,0.6
0.28,0.7	0.21,0.7	0.252,0.7	0.308,0.7	0.35,0.7
0.32,0.7	0.24,0.7	0.288,0.7	0.352,0.7	0.4,0.7
0.32,0.8	0.24,0.8	0.288,0.8	0.352,0.8	0.4,0.8
0.36,0.8	0.27,0.8	0.324,0.8	0.396,0.8	0.45,0.8
0.36,0.9	0.27,0.9	0.324,0.9	0.396,0.9	0.45,0.9
0.4,0.9	0.3,0.9	0.36,0.9	0.44,0.9	0.5,0.9
0.4,1	0.3,1	0.36,1	0.44,1	0.5,1
0.7,1	0.525,1	0.63,1	0.77,1	0.875,1
0.7,0.9	0.525,0.9	0.63,0.9	0.77,0.9	0.875,0.9
0.73,0.9	0.5475,0.9	0.657,0.9	0.803,0.9	0.9125,0.9
0.73,0.8	0.5475,0.8	0.657,0.8	0.803,0.8	0.9125,0.8
0.77,0.8	0.5775,0.8	0.693,0.8	0.847,0.8	0.9625,0.8
0.77,0.7	0.5775,0.7	0.693,0.7	0.847,0.7	0.9625,0.7
0.8,0.7	0.6,0.7	0.72,0.7	0.88,0.7	1,0.7
0.8,0.6	0.6,0.6	0.72,0.6	0.88,0.6	1,0.6
0.83,0.6	0.6225,0.6	0.747,0.6	0.913,0.6	1.0375,0.6





0.83,0.5	0.6225,0.5	0.747,0.5	0.913,0.5	1.0375,0.5
0.87,0.5	0.6525,0.5	0.783,0.5	0.957,0.5	1.0875,0.5
0.87,0.4	0.6525,0.4	0.783,0.4	0.957,0.4	1.0875,0.4
0.9,0.4	0.675,0.4	0.81,0.4	0.99,0.4	1.125,0.4
0.9,0.3	0.675,0.3	0.81,0.3	0.99,0.3	1.125,0.3
0.93,0.3	0.6975,0.3	0.837,0.3	1.023,0.3	1.1625,0.3
0.93,0.2	0.6975,0.2	0.837,0.2	1.023,0.2	1.1625,0.2
0.96,0.2	0.72,0.2	0.864,0.2	1.056,0.2	1.2,0.2
0.96,0.1	0.72,0.1	0.864,0.1	1.056,0.1	1.2,0.1
1,0.1	0.75,0.1	0.9,0.1	1.1,0.1	1.25,0.1
1,0	0.75,0	0.9,0	1.1,0	1.25,0

hab=substraat	hab=substraat	hab=substraat	hab=substraat	hab=substraat
0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
1,1	0.75,1	0.9,1	1.1,1	1.25,1

<b>org=kopvoorn_larvaal</b>	<b>variant 75%</b>	<b>variant 90%</b>	<b>variant 110%</b>	<b>variant 125%</b>
hab=temperatuur	hab=temperatuur	hab=temperatuur	hab=temperatuur	hab=temperatuur
0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
12,0	9,0	10.8,0	13.2,0	15,0
16,0.4	12,0.4	14.4,0.4	17.6,0.4	20,0.4
20,1	15,1	18,1	22,1	25,1
26,1	19.5,1	23.4,1	28.6,1	32.5,1
30,0	22.5,0	27,0	33,0	37.5,0
40,0	30,0	36,0	44,0	50,0

hab=zuurstof	hab=zuurstof	hab=zuurstof	hab=zuurstof	hab=zuurstof
2,0	1.5,0	1.8,0	2.2,0	2.5,0
6,0.4	4.5,0.4	5.4,0.4	6.6,0.4	7.5,0.4
8,1	6,1	7.2,1	8.8,1	10,1
12,1	9,1	10.8,1	13.2,1	15,1

hab=waterdiepte	hab=waterdiepte	hab=waterdiepte	hab=waterdiepte	hab=waterdiepte
0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
0.02,0	0.015,0	0.018,0	0.022,0	0.025,0
0.02,0.1	0.015,0.1	0.018,0.1	0.022,0.1	0.025,0.1
0.04,0.1	0.03,0.1	0.036,0.1	0.044,0.1	0.05,0.1
0.04,0.2	0.03,0.2	0.036,0.2	0.044,0.2	0.05,0.2
0.06,0.2	0.045,0.2	0.054,0.2	0.066,0.2	0.075,0.2
0.06,0.3	0.045,0.3	0.054,0.3	0.066,0.3	0.075,0.3
0.08,0.3	0.06,0.3	0.072,0.3	0.088,0.3	0.1,0.3
0.08,0.4	0.06,0.4	0.072,0.4	0.088,0.4	0.1,0.4
0.1,0.4	0.075,0.4	0.09,0.4	0.11,0.4	0.125,0.4
0.1,0.5	0.075,0.5	0.09,0.5	0.11,0.5	0.125,0.5
0.12,0.5	0.09,0.5	0.108,0.5	0.132,0.5	0.15,0.5
0.12,0.6	0.09,0.6	0.108,0.6	0.132,0.6	0.15,0.6
0.14,0.6	0.105,0.6	0.126,0.6	0.154,0.6	0.175,0.6
0.14,0.7	0.105,0.7	0.126,0.7	0.154,0.7	0.175,0.7
0.16,0.7	0.12,0.7	0.144,0.7	0.176,0.7	0.2,0.7
0.16,0.8	0.12,0.8	0.144,0.8	0.176,0.8	0.2,0.8



0.18,0.8	0.135,0.8	0.162,0.8	0.198,0.8	0.225,0.8
0.18,0.9	0.135,0.9	0.162,0.9	0.198,0.9	0.225,0.9
0.2,0.9	0.15,0.9	0.18,0.9	0.22,0.9	0.25,0.9
0.2,1	0.15,1	0.18,1	0.22,1	0.25,1
1,1	0.75,1	0.9,1	1.1,1	1.25,1
1,0.9	0.75,0.9	0.9,0.9	1.1,0.9	1.25,0.9
1.06,0.9	0.795,0.9	0.954,0.9	1.166,0.9	1.325,0.9
1.06,0.8	0.795,0.8	0.954,0.8	1.166,0.8	1.325,0.8
1.11,0.8	0.8325,0.8	0.999,0.8	1.221,0.8	1.3875,0.8
1.11,0.7	0.8325,0.7	0.999,0.7	1.221,0.7	1.3875,0.7
1.17,0.7	0.8775,0.7	1.053,0.7	1.287,0.7	1.4625,0.7
1.17,0.6	0.8775,0.6	1.053,0.6	1.287,0.6	1.4625,0.6
1.22,0.6	0.915,0.6	1.098,0.6	1.342,0.6	1.525,0.6
1.22,0.5	0.915,0.5	1.098,0.5	1.342,0.5	1.525,0.5
1.28,0.5	0.96,0.5	1.152,0.5	1.408,0.5	1.6,0.5
1.28,0.4	0.96,0.4	1.152,0.4	1.408,0.4	1.6,0.4
1.33,0.4	0.9975,0.4	1.197,0.4	1.463,0.4	1.6625,0.4
1.33,0.3	0.9975,0.3	1.197,0.3	1.463,0.3	1.6625,0.3
1.39,0.3	1.0425,0.3	1.251,0.3	1.529,0.3	1.7375,0.3
1.39,0.2	1.0425,0.2	1.251,0.2	1.529,0.2	1.7375,0.2
1.44,0.2	1.08,0.2	1.296,0.2	1.584,0.2	1.8,0.2
1.44,0.1	1.08,0.1	1.296,0.1	1.584,0.1	1.8,0.1
1.5,0.1	1.125,0.1	1.35,0.1	1.65,0.1	1.875,0.1
1.5,0	1.125,0	1.35,0	1.65,0	1.875,0
hab=stroomsnelheid	hab=stroomsnelheid	hab=stroomsnelheid	hab=stroomsnelheid	hab=stroomsnelheid
0,1	0,1	0,1	0,1	0,1
0.1,1	0.075,1	0.09,1	0.11,1	0.125,1
0.1,0.9	0.075,0.9	0.09,0.9	0.11,0.9	0.125,0.9
0.12,0.9	0.09,0.9	0.108,0.9	0.132,0.9	0.15,0.9
0.12,0.8	0.09,0.8	0.108,0.8	0.132,0.8	0.15,0.8
0.14,0.8	0.105,0.8	0.126,0.8	0.154,0.8	0.175,0.8
0.14,0.7	0.105,0.7	0.126,0.7	0.154,0.7	0.175,0.7
0.17,0.7	0.1275,0.7	0.153,0.7	0.187,0.7	0.2125,0.7
0.17,0.6	0.1275,0.6	0.153,0.6	0.187,0.6	0.2125,0.6
0.19,0.6	0.1425,0.6	0.171,0.6	0.209,0.6	0.2375,0.6
0.19,0.5	0.1425,0.5	0.171,0.5	0.209,0.5	0.2375,0.5
0.21,0.5	0.1575,0.5	0.189,0.5	0.231,0.5	0.2625,0.5
0.21,0.4	0.1575,0.4	0.189,0.4	0.231,0.4	0.2625,0.4
0.23,0.4	0.1725,0.4	0.207,0.4	0.253,0.4	0.2875,0.4
0.23,0.3	0.1725,0.3	0.207,0.3	0.253,0.3	0.2875,0.3
0.25,0.3	0.1875,0.3	0.225,0.3	0.275,0.3	0.3125,0.3
0.25,0.2	0.1875,0.2	0.225,0.2	0.275,0.2	0.3125,0.2
0.28,0.2	0.21,0.2	0.252,0.2	0.308,0.2	0.35,0.2
0.28,0.1	0.21,0.1	0.252,0.1	0.308,0.1	0.35,0.1
0.3,0.1	0.225,0.1	0.27,0.1	0.33,0.1	0.375,0.1
0.3,0	0.225,0	0.27,0	0.33,0	0.375,0
hab=substraat	hab=substraat	hab=substraat	hab=substraat	hab=substraat
0,1	0,1	0,1	0,1	0,1
1,0.5	0.75,0.5	0.9,0.5	1.1,0.5	1.25,0.5





org=kopvoorn_juveniel	variant 75%	variant 90%	variant 110%	variant 125%
hab=temperatuur	hab=temperatuur	hab=temperatuur	hab=temperatuur	hab=temperatuur
0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
12,0	9,0	10.8,0	13.2,0	15,0
16,0.4	12,0.4	14.4,0.4	17.6,0.4	20,0.4
20,1	15,1	18,1	22,1	25,1
26,1	19.5,1	23.4,1	28.6,1	32.5,1
30,0	22.5,0	27,0	33,0	37.5,0
40,0	30,0	36,0	44,0	50,0
hab=zuurstof	hab=zuurstof	hab=zuurstof	hab=zuurstof	hab=zuurstof
2,0	1.5,0	1.8,0	2.2,0	2.5,0
6,0.4	4.5,0.4	5.4,0.4	6.6,0.4	7.5,0.4
8,1	6,1	7.2,1	8.8,1	10,1
12,1	9,1	10.8,1	13.2,1	15,1
hab=waterdiepte	hab=waterdiepte	hab=waterdiepte	hab=waterdiepte	hab=waterdiepte
0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
0.02,0	0.015,0	0.018,0	0.022,0	0.025,0
0.02,0.1	0.015,0.1	0.018,0.1	0.022,0.1	0.025,0.1
0.04,0.1	0.03,0.1	0.036,0.1	0.044,0.1	0.05,0.1
0.04,0.2	0.03,0.2	0.036,0.2	0.044,0.2	0.05,0.2
0.06,0.2	0.045,0.2	0.054,0.2	0.066,0.2	0.075,0.2
0.06,0.3	0.045,0.3	0.054,0.3	0.066,0.3	0.075,0.3
0.08,0.3	0.06,0.3	0.072,0.3	0.088,0.3	0.1,0.3
0.08,0.4	0.06,0.4	0.072,0.4	0.088,0.4	0.1,0.4
0.1,0.4	0.075,0.4	0.09,0.4	0.11,0.4	0.125,0.4
0.1,0.5	0.075,0.5	0.09,0.5	0.11,0.5	0.125,0.5
0.12,0.5	0.09,0.5	0.108,0.5	0.132,0.5	0.15,0.5
0.12,0.6	0.09,0.6	0.108,0.6	0.132,0.6	0.15,0.6
0.14,0.6	0.105,0.6	0.126,0.6	0.154,0.6	0.175,0.6
0.14,0.7	0.105,0.7	0.126,0.7	0.154,0.7	0.175,0.7
0.16,0.7	0.12,0.7	0.144,0.7	0.176,0.7	0.2,0.7
0.16,0.8	0.12,0.8	0.144,0.8	0.176,0.8	0.2,0.8
0.18,0.8	0.135,0.8	0.162,0.8	0.198,0.8	0.225,0.8
0.18,0.9	0.135,0.9	0.162,0.9	0.198,0.9	0.225,0.9
0.2,0.9	0.15,0.9	0.18,0.9	0.22,0.9	0.25,0.9
0.2,1	0.15,1	0.18,1	0.22,1	0.25,1
1,1	0.75,1	0.9,1	1.1,1	1.25,1
1,0.9	0.75,0.9	0.9,0.9	1.1,0.9	1.25,0.9
1.06,0.9	0.795,0.9	0.954,0.9	1.166,0.9	1.325,0.9
1.06,0.8	0.795,0.8	0.954,0.8	1.166,0.8	1.325,0.8
1.11,0.8	0.8325,0.8	0.999,0.8	1.221,0.8	1.3875,0.8
1.11,0.7	0.8325,0.7	0.999,0.7	1.221,0.7	1.3875,0.7
1.17,0.7	0.8775,0.7	1.053,0.7	1.287,0.7	1.4625,0.7
1.17,0.6	0.8775,0.6	1.053,0.6	1.287,0.6	1.4625,0.6
1.22,0.6	0.915,0.6	1.098,0.6	1.342,0.6	1.525,0.6
1.22,0.5	0.915,0.5	1.098,0.5	1.342,0.5	1.525,0.5
1.28,0.5	0.96,0.5	1.152,0.5	1.408,0.5	1.6,0.5
1.28,0.4	0.96,0.4	1.152,0.4	1.408,0.4	1.6,0.4
1.33,0.4	0.9975,0.4	1.197,0.4	1.463,0.4	1.6625,0.4



1.33,0.3	0.9975,0.3	1.197,0.3	1.463,0.3	1.6625,0.3
1.39,0.3	1.0425,0.3	1.251,0.3	1.529,0.3	1.7375,0.3
1.39,0.2	1.0425,0.2	1.251,0.2	1.529,0.2	1.7375,0.2
1.44,0.2	1.08,0.2	1.296,0.2	1.584,0.2	1.8,0.2
1.44,0.1	1.08,0.1	1.296,0.1	1.584,0.1	1.8,0.1
1.5,0.1	1.125,0.1	1.35,0.1	1.65,0.1	1.875,0.1
1.5,0	1.125,0	1.35,0	1.65,0	1.875,0
hab=stroomsnelheid	hab=stroomsnelheid	hab=stroomsnelheid	hab=stroomsnelheid	hab=stroomsnelheid
0,0.6	0,0.6	0,0.6	0,0.6	0,0.6
0.03,0.6	0.0225,0.6	0.027,0.6	0.033,0.6	0.0375,0.6
0.03,0.7	0.0225,0.7	0.027,0.7	0.033,0.7	0.0375,0.7
0.05,0.7	0.0375,0.7	0.045,0.7	0.055,0.7	0.0625,0.7
0.05,0.8	0.0375,0.8	0.045,0.8	0.055,0.8	0.0625,0.8
0.08,0.8	0.06,0.8	0.072,0.8	0.088,0.8	0.1,0.8
0.08,0.9	0.06,0.9	0.072,0.9	0.088,0.9	0.1,0.9
0.1,0.9	0.075,0.9	0.09,0.9	0.11,0.9	0.125,0.9
0.1,1	0.075,1	0.09,1	0.11,1	0.125,1
0.2,1	0.15,1	0.18,1	0.22,1	0.25,1
0.2,0.9	0.15,0.9	0.18,0.9	0.22,0.9	0.25,0.9
0.22,0.9	0.165,0.9	0.198,0.9	0.242,0.9	0.275,0.9
0.22,0.8	0.165,0.8	0.198,0.8	0.242,0.8	0.275,0.8
0.24,0.8	0.18,0.8	0.216,0.8	0.264,0.8	0.3,0.8
0.24,0.7	0.18,0.7	0.216,0.7	0.264,0.7	0.3,0.7
0.27,0.7	0.2025,0.7	0.243,0.7	0.297,0.7	0.3375,0.7
0.27,0.6	0.2025,0.6	0.243,0.6	0.297,0.6	0.3375,0.6
0.29,0.6	0.2175,0.6	0.261,0.6	0.319,0.6	0.3625,0.6
0.29,0.5	0.2175,0.5	0.261,0.5	0.319,0.5	0.3625,0.5
0.31,0.5	0.2325,0.5	0.279,0.5	0.341,0.5	0.3875,0.5
0.31,0.4	0.2325,0.4	0.279,0.4	0.341,0.4	0.3875,0.4
0.33,0.4	0.2475,0.4	0.297,0.4	0.363,0.4	0.4125,0.4
0.33,0.3	0.2475,0.3	0.297,0.3	0.363,0.3	0.4125,0.3
0.35,0.3	0.2625,0.3	0.315,0.3	0.385,0.3	0.4375,0.3
0.35,0.2	0.2625,0.2	0.315,0.2	0.385,0.2	0.4375,0.2
0.38,0.2	0.285,0.2	0.342,0.2	0.418,0.2	0.475,0.2
0.38,0.1	0.285,0.1	0.342,0.1	0.418,0.1	0.475,0.1
0.4,0.1	0.3,0.1	0.36,0.1	0.44,0.1	0.5,0.1
0.4,0	0.3,0	0.36,0	0.44,0	0.5,0
hab=substraat	hab=substraat	hab=substraat	hab=substraat	hab=substraat
0,1	0,1	0,1	0,1	0,1
1,0.5	0.75,0.5	0.9,0.5	1.1,0.5	1.25,0.5
org=kopvoorn_adult	variant 75%	variant 90%	variant 110%	variant 125%
hab=temperatuur	hab=temperatuur	hab=temperatuur	hab=temperatuur	hab=temperatuur
0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
12,0	9,0	10.8,0	13.2,0	15,0
22,1	16.5,1	19.8,1	24.2,1	27.5,1
30,1	22.5,1	27,1	33,1	37.5,1
38,0	28.5,0	34.2,0	41.8,0	47.5,0
40,0	30,0	36,0	44,0	50,0





hab=zuurstof	hab=zuurstof	hab=zuurstof	hab=zuurstof	hab=zuurstof
0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
5,0	3.75,0	4.5,0	5.5,0	6.25,0
7,1	5.25,1	6.3,1	7.7,1	8.75,1
12,1	9,1	10.8,1	13.2,1	15,1
hab=waterdiepte	hab=waterdiepte	hab=waterdiepte	hab=waterdiepte	hab=waterdiepte
0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
0.3,0	0.225,0	0.27,0	0.33,0	0.375,0
0.3,0.1	0.225,0.1	0.27,0.1	0.33,0.1	0.375,0.1
0.4,0.1	0.3,0.1	0.36,0.1	0.44,0.1	0.5,0.1
0.4,0.2	0.3,0.2	0.36,0.2	0.44,0.2	0.5,0.2
0.5,0.2	0.375,0.2	0.45,0.2	0.55,0.2	0.625,0.2
0.5,0.3	0.375,0.3	0.45,0.3	0.55,0.3	0.625,0.3
0.5,0.3	0.375,0.3	0.45,0.3	0.55,0.3	0.625,0.3
0.5,0.4	0.375,0.4	0.45,0.4	0.55,0.4	0.625,0.4
0.6,0.4	0.45,0.4	0.54,0.4	0.66,0.4	0.75,0.4
0.6,0.5	0.45,0.5	0.54,0.5	0.66,0.5	0.75,0.5
0.7,0.5	0.525,0.5	0.63,0.5	0.77,0.5	0.875,0.5
0.7,0.6	0.525,0.6	0.63,0.6	0.77,0.6	0.875,0.6
0.8,0.6	0.6,0.6	0.72,0.6	0.88,0.6	1,0.6
0.8,0.7	0.6,0.7	0.72,0.7	0.88,0.7	1,0.7
0.8,0.7	0.6,0.7	0.72,0.7	0.88,0.7	1,0.7
0.8,0.8	0.6,0.8	0.72,0.8	0.88,0.8	1,0.8
0.9,0.8	0.675,0.8	0.81,0.8	0.99,0.8	1.125,0.8
0.9,0.9	0.675,0.9	0.81,0.9	0.99,0.9	1.125,0.9
1,0.9	0.75,0.9	0.9,0.9	1.1,0.9	1.25,0.9
1,1	0.75,1	0.9,1	1.1,1	1.25,1
3,1	2.25,1	2.7,1	3.3,1	3.75,1
3,0.9	2.25,0.9	2.7,0.9	3.3,0.9	3.75,0.9
3.2,0.9	2.4,0.9	2.88,0.9	3.52,0.9	4,0.9
3.2,0.8	2.4,0.8	2.88,0.8	3.52,0.8	4,0.8
3.4,0.8	2.55,0.8	3.06,0.8	3.74,0.8	4.25,0.8
3.4,0.7	2.55,0.7	3.06,0.7	3.74,0.7	4.25,0.7
3.7,0.7	2.775,0.7	3.33,0.7	4.07,0.7	4.625,0.7
3.7,0.6	2.775,0.6	3.33,0.6	4.07,0.6	4.625,0.6
3.9,0.6	2.925,0.6	3.51,0.6	4.29,0.6	4.875,0.6
3.9,0.5	2.925,0.5	3.51,0.5	4.29,0.5	4.875,0.5
4.1,0.5	3.075,0.5	3.69,0.5	4.51,0.5	5.125,0.5
4.1,0.4	3.075,0.4	3.69,0.4	4.51,0.4	5.125,0.4
4.3,0.4	3.225,0.4	3.87,0.4	4.73,0.4	5.375,0.4
4.3,0.3	3.225,0.3	3.87,0.3	4.73,0.3	5.375,0.3
4.6,0.3	3.45,0.3	4.14,0.3	5.06,0.3	5.75,0.3
4.6,0.2	3.45,0.2	4.14,0.2	5.06,0.2	5.75,0.2
4.8,0.2	3.6,0.2	4.32,0.2	5.28,0.2	6,0.2
4.8,0.1	3.6,0.1	4.32,0.1	5.28,0.1	6,0.1
5,0.1	3.75,0.1	4.5,0.1	5.5,0.1	6.25,0.1
5,0	3.75,0	4.5,0	5.5,0	6.25,0
hab=stroomsnelheid	hab=stroomsnelheid	hab=stroomsnelheid	hab=stroomsnelheid	hab=stroomsnelheid
0,0.2	0,0.2	0,0.2	0,0.2	0,0.2



0.03,0.2	0.0225,0.2	0.027,0.2	0.033,0.2	0.0375,0.2
0.03,0.3	0.0225,0.3	0.027,0.3	0.033,0.3	0.0375,0.3
0.05,0.3	0.0375,0.3	0.045,0.3	0.055,0.3	0.0625,0.3
0.05,0.4	0.0375,0.4	0.045,0.4	0.055,0.4	0.0625,0.4
0.08,0.4	0.06,0.4	0.072,0.4	0.088,0.4	0.1,0.4
0.08,0.5	0.06,0.5	0.072,0.5	0.088,0.5	0.1,0.5
0.1,0.5	0.075,0.5	0.09,0.5	0.11,0.5	0.125,0.5
0.1,0.6	0.075,0.6	0.09,0.6	0.11,0.6	0.125,0.6
0.13,0.6	0.0975,0.6	0.117,0.6	0.143,0.6	0.1625,0.6
0.13,0.7	0.0975,0.7	0.117,0.7	0.143,0.7	0.1625,0.7
0.15,0.7	0.1125,0.7	0.135,0.7	0.165,0.7	0.1875,0.7
0.15,0.8	0.1125,0.8	0.135,0.8	0.165,0.8	0.1875,0.8
0.17,0.8	0.1275,0.8	0.153,0.8	0.187,0.8	0.2125,0.8
0.17,0.9	0.1275,0.9	0.153,0.9	0.187,0.9	0.2125,0.9
0.2,0.9	0.15,0.9	0.18,0.9	0.22,0.9	0.25,0.9
0.2,1	0.15,1	0.18,1	0.22,1	0.25,1
0.5,1	0.375,1	0.45,1	0.55,1	0.625,1
0.5,0.9	0.375,0.9	0.45,0.9	0.55,0.9	0.625,0.9
0.53,0.9	0.3975,0.9	0.477,0.9	0.583,0.9	0.6625,0.9
0.53,0.8	0.3975,0.8	0.477,0.8	0.583,0.8	0.6625,0.8
0.57,0.8	0.4275,0.8	0.513,0.8	0.627,0.8	0.7125,0.8
0.57,0.7	0.4275,0.7	0.513,0.7	0.627,0.7	0.7125,0.7
0.6,0.7	0.45,0.7	0.54,0.7	0.66,0.7	0.75,0.7
0.6,0.6	0.45,0.6	0.54,0.6	0.66,0.6	0.75,0.6
0.63,0.6	0.4725,0.6	0.567,0.6	0.693,0.6	0.7875,0.6
0.63,0.5	0.4725,0.5	0.567,0.5	0.693,0.5	0.7875,0.5
0.67,0.5	0.5025,0.5	0.603,0.5	0.737,0.5	0.8375,0.5
0.67,0.4	0.5025,0.4	0.603,0.4	0.737,0.4	0.8375,0.4
0.7,0.4	0.525,0.4	0.63,0.4	0.77,0.4	0.875,0.4
0.7,0.3	0.525,0.3	0.63,0.3	0.77,0.3	0.875,0.3
0.73,0.3	0.5475,0.3	0.657,0.3	0.803,0.3	0.9125,0.3
0.73,0.2	0.5475,0.2	0.657,0.2	0.803,0.2	0.9125,0.2
0.76,0.2	0.57,0.2	0.684,0.2	0.836,0.2	0.95,0.2
0.76,0.1	0.57,0.1	0.684,0.1	0.836,0.1	0.95,0.1
0.8,0.1	0.6,0.1	0.72,0.1	0.88,0.1	1,0.1
0.8,0	0.6,0	0.72,0	0.88,0	1,0
hab=substraat	hab=substraat	hab=substraat	hab=substraat	hab=substraat
0,0.2	0,0.2	0,0.2	0,0.2	0,0.2
1,1	0.25,1	0.9,1	1.1,1	1.25,1
hab=vegetatie	hab=vegetatie	hab=vegetatie	hab=vegetatie	hab=vegetatie
0,0.8	0,0.8	0,0.8	0,0.8	0,0.8
10,1	7.5,1	9,1	11,1	12.5,1
80,1	60,1	72,1	88,1	100,1
100,0	75,0	90,0	110,0	125,0
hab=zwevendstof	hab=zwevendstof	hab=zwevendstof	hab=zwevendstof	hab=zwevendstof
0,1	0,1	0,1	0,1	0,1
0.3,0.8	0.225,0.8	0.27,0.8	0.33,0.8	0.375,0.8
0.6,0.3	0.45,0.3	0.54,0.3	0.66,0.3	0.75,0.3
0.9,0	0.675,0	0.81,0	0.99,0	1.125,0





1,0	0.75,0	0.9,0	1.1,0	1.25,0
hab=fosfaat	hab=fosfaat	hab=fosfaat	hab=fosfaat	hab=fosfaat
0,1	0,1	0,1	0,1	0,1
0.07,1	0.0525,1	0.063,1	0.077,1	0.0875,1
0.08,0.7	0.06,0.7	0.072,0.7	0.088,0.7	0.1,0.7
0.15,0.7	0.1125,0.7	0.135,0.7	0.165,0.7	0.1875,0.7
0.16,0.5	0.12,0.5	0.144,0.5	0.176,0.5	0.2,0.5
0.5,0.5	0.375,0.5	0.45,0.5	0.55,0.5	0.625,0.5
0.51,0.3	0.3825,0.3	0.459,0.3	0.561,0.3	0.6375,0.3
1,0.3	0.75,0.3	0.9,0.3	1.1,0.3	1.25,0.3







