

**Effekten van kunstmatige afvoerfluctuaties op de drift van
makro-evertebraten in la Moyenne Meuse (Lotharingse
Maas)**



Alexander Klink en Bram bij de Vaate



**Hydrobiologisch Adviesburo Klink bv Wageningen
Rapporten en Mededelingen 47 (15 oktober 1994)**

Studie in opdracht van het RIZA



Dankwoord

Dank is verschuldigd aan:

Het Agence de l'eau Rhin/Meuse te Moulin lès Metz voor het aanwijzen van het nog bijzonder fraaie riviertraject van de la Moyenne Meuse (hierna te noemen Lotharingse Maas) in de omgeving van Les Monthairons.

Francis en Nadine Viard van het Rendez-vous des Pêcheurs in Les Monthairons worden bedankt door de overvloedige maaltijden die ze ons tijdens onze bezoeken hebben voorgezet.

Marianne Greijdanus-Klaas en Peter Jesse voor de voorbereidingen en assistentie in het veld.

Laboratoriumwerkzaamheden zijn uitgevoerd door Johan Mulder, Regien Klink.

Ad Tevel (RWS directie Limburg) heeft meetapparatuur beschikbaar gesteld.

Michelle de la Haye en Stan Kerkhofs voorzagen een eerdere versie van commentaar, waarvoor onze hartelijke dank.



Inhoudsopgave

Samenvatting		5
1	Inleiding	6
2	Materiaal en methoden	8
3	Resultaten	11
3.1	Kwalitatieve beschrijving van de drift in de proefopstelling	11
3.1.1	Analyse van de uitgangssituatie	11
3.1.2	Vergelijking van de uitgangssituatie met de situatie direct na de manipulatie van de stroomsnelheid	13
3.1.3	Analyse van momentane drift	16
3.1.4	Relatie drift met dag-nacht ritmiek en uitgestelde drift	16
3.1.5	Vergelijking dichtheden op de bodem voor en na manipulatie	19
3.1.6.	Vergelijking van de drie bodemonsters per goot	20
3.2	Kwantitatieve beschrijving van de drift	21
3.2.1	Relatie tussen dichtheden in de drift ten opzichte van de dichtheden op het substraat	21
3.2.2	Relatie tussen de afzonderlijke ingrepen en de mate waarin de drift verhoogd is	23
3.2.3	Relatie tussen de mate van manipulatie en drift	24
3.2.4	Vergelijking van de drift en dichtheden op het substraat in de Lotharingse Maas en in de Grensmaas bij Maaseik	26
4	Diskussie	28
5	Konklusies	30
6.	Aanbevelingen voor verder driftonderzoek	31
7	Literatuur	32

**Figuren, tabellen en bijlagen**

Figuur 1	Meetlokatie en schematische weergave van de driftgoten, stroomsnelheidsmeters en driftnetten	9
Figuur 2	Relatie tussen driftdichtheid ($T = 0$)/ dichtheid op het substraat en drift $T = 0 / T = 1$	22
Figuur 3	Vergelijking van de uitgevoerde manipulaties in de driftgoten met de situatie van alledag in de Grensmaas	28
Tabel 1	Toetsing van het verschil in driftdichtheid tussen goot 1 en de overige goten in de uitgangssituatie ($T = 0$)	12
Tabel 2	Stroomsnelheid (m/s) in de goten van de meetopstelling voor en direct na manipulatie	13
Tabel 3	Toetsing van de verschillen in de driftdichtheid voor en direct na manipulatie	14
Tabel 4	Vergelijking van de verhoogde driftdichtheden in goot 1 op $T = 0$ met momentane drift als gevolg van de stroomsnelheidsreductie	15
Tabel 5	Vergelijking van de momentane drift als gevolg van de stroomsnelheidsmanipulaties	16
Tabel 6	Verschillen in de driftdichtheden als gevolg van dag-nacht ritmiek	17
Tabel 7	Dichtheid van de makro-evertebraten stroomafwaarts van de blanco goot vóór manipulatie en in de blanco en goot 2 daags na de manipulatie	19
Tabel 8	Vergelijking van de dichtheden op de bodem in de blanco onderling en goot 2 onderling na manipulatie	20
Tabel 9	Verhoudingen van dichtheden in de drift ten opzichte van de dichtheden op het substraat	21
Tabel 10	Verhouding tussen de dichtheden in de drift per goot op $T = 1$ ten opzichte van de dichtheden in de referentie	23
Tabel 11	Regressie vergelijkingen tussen afname van de stroomsnelheid en faktor van driftverhoging	25
Tabel 12	Berekende toename van de drift bij 5 verschillende verlagingen van de stroomsnelheden	26
Tabel 13	Vergelijking van de dichtheden van de afzonderlijke groepen makro-evertebraten in de drift in de Lotharingse Maas en de Grensmaas bij Maaseik	27
Tabel 14	Dichtheden op het substraat in de Lotharingse Maas en de Grensmaas	27
Bijlage 1	Basisgegevens drift	



Samenvatting

Er is een onderzoek uitgevoerd naar de drift van makro-evertebraten onder invloed van de afname van de stroomsnelheid. Doel hierbij is of een ecologisch verantwoorde norm voor afvoerfluctuaties onderbouwd kan worden voor de Grensmaas. In de Grensmaas treden onnatuurlijke afvoerfluctuaties op onder invloed van de Belgische waterkrachtcentrale bij Lixhe (km. 1). Het onderzoek is uitgevoerd in de Lotharingse Maas in Frankrijk. De referentiesituatie voor de Grensmaas.

De resultaten wijzen uit dat iedere reductie van de stroomsnelheid de drift verhoogt. Zelfs in de blanco-situatie is de drift verhoogd, waardoor drift een nauwkeuriger instrument is om verstoring te meten dan aanvankelijk is verondersteld.

Op grond van deze resultaten wordt gekonkludeerd dat aanpassing van het stuwbeheer in Borgharen enige verlichting van de pijn zal geven, maar dat de definitieve oplossing voor de Grensmaas moet worden gezocht in het debiet-onafhankelijk maken van de waterkrachtcentrale in Lixhe.



1. Inleiding.

De afvoer van de Grensmaas kan sterk wisselen. Natuurlijke wisselingen zijn afkomstig van de variatie in neerslag in het stroomgebied van deze regenrivier. Daarnaast worden momentane fluktuaties in de afvoer veroorzaakt door de waterkrachtcentrale van Lixhe (Maaskm. 1). Een sterke afname van de afvoer treedt op wanneer er water in de turbines wordt opgespaard. Vooral bij lage afvoeren kan gedurende enige uren de gehele afvoer van de Maas worden opgespaard. Uit literatuuronderzoek (Klink, 1988) is gebleken dat grote fluktuaties in de afvoer het ecologisch herstel van de Grensmaas nadelig zouden kunnen beïnvloeden. De nadelige gevolgen kunnen bestaan uit het periodiek droogvallen van delen van de rivierbodem en een sterk verhoogde drift van aquatische makro-evertebraten (larven van insecten, wormen, kreeftachtigen en dergelijke met het blote oog zichtbare organismen). Drift is het verschijnsel dat organismen zich actief verplaatsen naar de waterkolom en een kortere of langere afstand worden meegevoerd. Onder normale omstandigheden is drift één van de belangrijkste verspreidingsmechanismen voor deze dieren in stromend water. Verhoogde drift die kan optreden onder invloed van kunstmatige afvoerfluktuaties kan tot gevolg hebben dat er meer organismen door de drift uit de Grensmaas verdwijnen, dan er aanvulling plaatsvindt van bovenstrooms. In een veldonderzoek in 1989 uitgevoerd in de Grensmaas (Klink, 1990) is geen relatie aangetoond tussen afvoerfluktuaties en verhoogde drift. De voornaamste reden is de konstante fluktuerende afvoer in de Grensmaas, waardoor geen nulsituatie kon worden vastgesteld. Wel is uit dat onderzoek duidelijk geworden dat drift van bovenstrooms nauwelijks een bijdrage levert aan de fauna in de Grensmaas. Aangezien de literatuur (in Klink, 1988) geen twijfel laat bestaan over de negatieve effecten van afvoerfluktuaties op de levensgemeenschap in rivieren, is in 1992 de stuw van Borgharen geautomatiseerd. Dit hield in dat de stuw beter is toegerust om de afvoer over de Grensmaas gelijkmatiger te doen verlopen. Voorheen was de stuw slechts toegerust op het handhaven van een bepaald peil in het stuwpan Lixhe - Borgharen.

Aangezien het niet mogelijk is om fluktuaties als gevolg van de waterkrachtcentrale van Lixhe volledig op te vangen, is de vraag:

- welke fluktuaties zouden nog acceptabel zijn in het licht van het ecologische herstel van de Grensmaas?

Om hierin enig inzicht te krijgen was het reeds duidelijk geworden dat experimenten in de Grensmaas zelf weinig uitkomst bieden omdat:

1. Gelijkmatige afvoer in de Grensmaas niet optreedt in voorspelbare perioden, zodat een meetprogramma niet kan worden gepland.
2. Afvoerfluktuaties evenmin tijdig bekend zijn
3. De huidige fauna in de Grensmaas blijkbaar goed is aangepast aan het heersende afvoerregiem. Zo er al effecten meetbaar zouden zijn, kunnen ze beslist niet vertaald worden naar de levensgemeenschap die de Grensmaas weer zal bevolken na het ecologische herstel.



Op grond van deze factoren is besloten om de effecten van een afvoer manipulatie te onderzoeken in de Franse Maas. Hierbij is gekozen voor een traject even bovenstrooms van Verdun, ter hoogte van het dorpje Les Monthairons.

Uit Klink en bij de Vaate (1994) blijkt dat de potentiële levensgemeenschap van de Grensmaas daar ter plaatse nog aanwezig is. De verontreiniging is gering, de Maas is hier ongestuwd en de habitatdiversiteit beantwoord aan die, behorende bij een ecologisch herstelde Grensmaas.

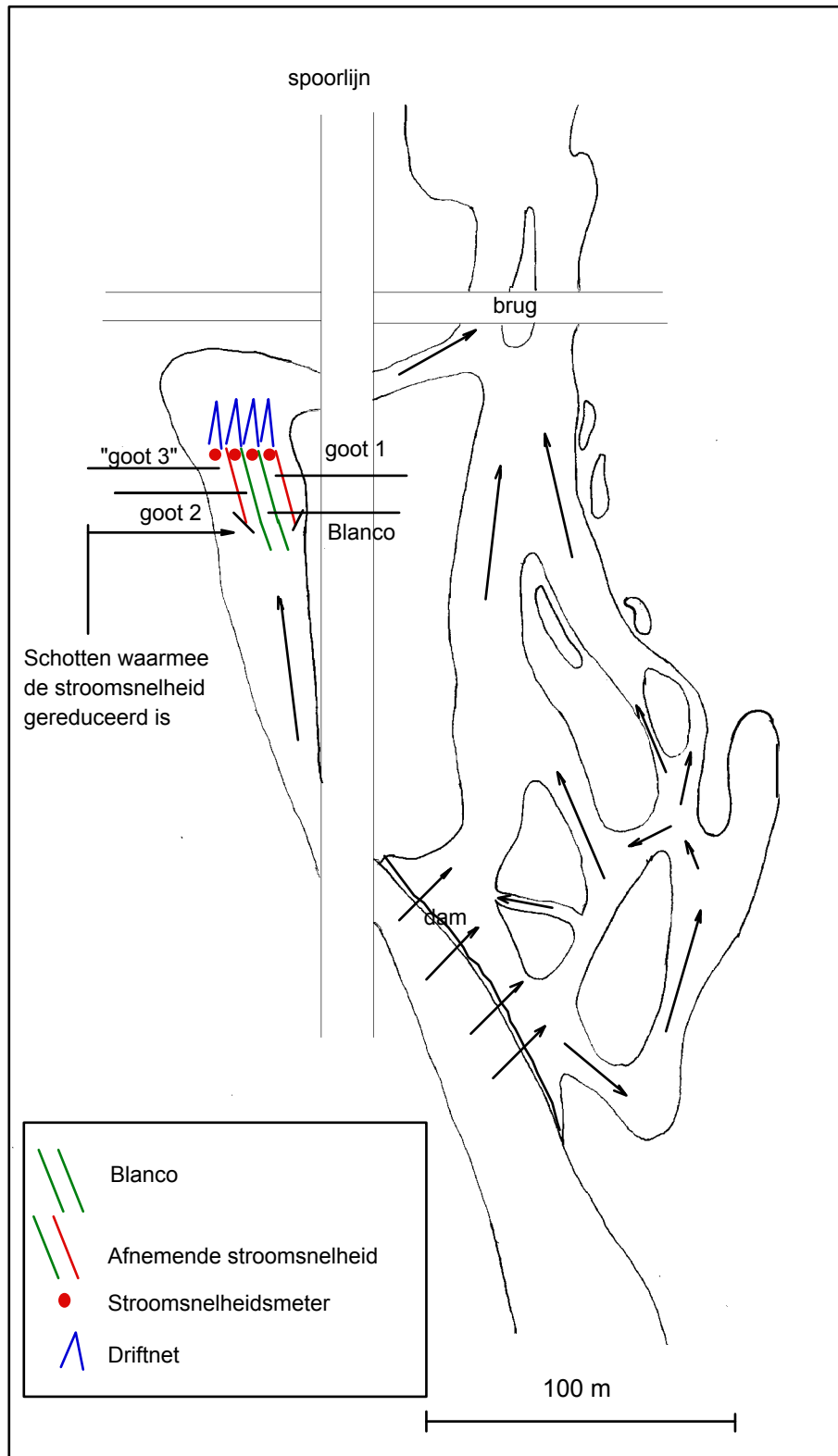


2. Materiaal en methoden

Om de invloed van afvoermanipulatie op de drift van makro-evertebraten te onderzoeken, is gekozen voor een proefopstelling, waarbij de drift van de makro-evertebraten in direkt verband kan worden gebracht met de uitgevoerde manipulatie.

Juist deze kleinschalige aanpak verdient de voorkeur boven een manipulatie op de schaal van de gehele rivier omdat de informatie zo eenduidig mogelijk de direkte relatie zou moeten weergeven van stroomsnelheidsmanipulatie en verhoogde drift. Gezien het oriënterende karakter van dit onderzoek is hierbij gekozen voor een manipulatie bestaande uit een afname van de stroomsnelheid, omdat dit in de Grensmaas het geval is op het moment dat de waterkrachtcentrale van Lixhe water spaart. In de literatuur (Klink, 1988) wordt relatief weinig aandacht besteedt aan het effect van verlaging van de stroomsnelheid. Dit is verklaarbaar omdat in natuurlijke riviersystemen de grootste fluktuaties optreden als gevolg van zware regenval, waarna een sterke toename plaatsvindt van de stroomsnelheid. Pas in tweede instantie treedt na passage van de afvoergolf een daling in van de stroomsnelheid.

De proefopstelling bestaat uit demontabele eenheden watervast multiplex met een lengte van 2 m en een hoogte van 0,5 m. Deze platen zijn gemonteerd tot 3 goten van 6 m lengte. De middelste goot (blanco) is verlengd tot 8 m. De meetopstelling is weergegeven in figuur 1.



Figuur 1. Meetlocatie en schematische weergave van de driftgoten, driftnetten en stroomsnelheidsmeters

Nadat de proefopstelling is geplaatst, heeft de opstelling zich 3 dagen gezet in de rivierbodem, alvorens met driftexperimenten te beginnen. Deze periode werd noodzakelijk



geacht voor het instellen van een nieuw evenwicht van de bodem na de verandering van het stromingspatroon.

De drift is gemeten met behulp van driftnetten, gemonteerd op een vierkant aluminium frame met een opening van 50 * 50 cm. Op een stang in het midden van het net is een Ott-molen geplaatst voor het meten van de stroomsnelheid en de hoeveelheid water die door het net is gestroomd. De maaswijdte van de netten bedraagt 250 µm. Behalve in de drie goten is een vierde driftnet geplaatst in de "open" rivier een vierde driftnet geplaatst. De stroomsnelheid in de uitgangssituatie en na de manipulatie is hier gemeten met een March-MacBurney stroomsnelheidsmeter. Voor de stroomsnelheid in de hierop volgende driftmetingen is de waarde aangehouden van de stroomsnelheid na manipulatie.

De uitgangssituatie is vastgelegd door gedurende ca. 30 minuten de drift te bepalen met de 4 driftnetten. Vervolgens zijn schotten geplaatst bovenstrooms van de goten 1 en 2.

Deze situatie leidde tot een stroomsnelheidsreductie van respectievelijk 57%, 58% en 31% in de goten 1, 2 en 3. In de blanco bleef de stroomsnelheid vrijwel konstant. Na het plaatsen van de schotten is enige minuten gewacht alvorens de driftnetten te plaatsen, om het lokaal opgewerkte organismen en bodemmateriaal te laten passeren. Na het plaatsen van de driftnetten is de drift gemeten gedurende ca. 30 minuten. Aansluitend hierop is een tweede meting na de manipulatie uitgevoerd. Deze serie van drie metingen is gestart om 9 uur en beëindigd om ca. 12.15 uur. Voor zonsondergang is wederom gedurende ca. 30 minuten drift gemeten met de opstelling die na manipulatie niet meer gewijzigd is. Tijdens zonsondergang heeft de laatste driftmeting plaatsgevonden om de invloed van dag-nachtritmie en zg. uitgestelde drift te kunnen registreren (Scullion en Sinton, 1983).

Om een indruk te krijgen van de relatie tussen de dichtheden van de bodemfauna en de dichtheden in de drift zijn voor en daags na de driftmetingen in de blanco goot en goot 2 bodemmonsters verzameld met behulp van een aangepaste "Surbersampler" met een diameter van 40 cm. (bemonsterd oppervlak 0,126 m²).

Verschillen tussen de goten en perioden zijn onderzocht met behulp van een eenzijdige variantie analyse (1-way ANOVA). Relatie tussen stroomsnelheidsveranderingen en veranderingen in de drift-dichtheden zijn onderzocht via regressie-analyse. Beide analyses zijn uitgevoerd met behulp van het statistische programma STATWORKS (Rafferty et al., 1985).



3. Resultaten

In het eerste gedeelte van dit hoofdstuk wordt onderzocht welke kwalitatieve verschillen aantoonbaar zijn tussen de verschillende goten en verschillende tijdstippen. In het tweede deel wordt ingegaan op de relatie tussen drift en de mate van stroomsnelheidsverandering.

3.1. Kwalitatieve beschrijving van de drift in de proefopstelling

3.1.1. Analyse van de uitgangssituatie

In de uitgangssituatie ($T = 0$) zijn de verschillen getoest tussen de verschillende goten. Hiertoe zijn de dichtheden in de drift per diergroep en per goot vergeleken met die van de overige goten. Bij deze vergelijking bleek alleen goot 1 voor een groot aantal groepen een significant hogere driftdichtheid te vertonen dan de overige goten. In tabel 1 zijn deze resultaten samengevat (< 0.05 significant; < 0.01 zeer significant).



Tabel 1. Toetsing van het verschil in driftdichtheid tussen goot 1 en de overige goten in de uitgangssituatie (T = 0)

Groep N/m ³	T=0 1 vs rest
Hydroptilidae	0.002
Trichoptera	0.008
Oligochaeta	0.011
Leptoceridae	0.015
P+O+G+T+C	0.022
Tanytarsini	0.028
Chironomidae	0.033
Orthoclaadiinae	0.038
Poliepen	0.058
Psychomiidae	0.059
Totaal minus exuviae	0.071
Gammaridae	0.073
Hydropsychidae	0.128
Caenidae	0.224
Hydrachnellae	0.235
Baetidae	0.271
Ephemeroptera	0.294
Chironomini	0.321
Polycentropodidae	0.326
Elmidae im	0.385
Elmidae I	0.48
Tanypodinae	0.589
Simuliidae	0.763

Toelichting P+O+G+T+C = poliepen + Oligochaeta + Gammaridae + Trichoptera + Chironomidae. De dikgedrukte getallen geven aan dat de betreffende groepen in significant hogere dichtheden ($p < 0,05$) in goot 1 in de drift aanwezig zijn.

In de uitgangssituatie blijkt dat de kokerjuffers als gehele groep en daarbinnen de Hydroptilidae en Leptoceridae significant in hogere dichtheden in de drift aanwezig zijn in goot 1 dan in de overige goten. Hetzelfde geldt voor Oligochaeta (borstelwormen) en de voornaamste groepen Chironomidae (dansmuggen).

De Ephemeroptera (eendagsvliegen) met de voornaamste groepen Caenidae en Baetidae, Hydrachnellae (watermijten), Elmidae (waterkevers) en Simuliidae (kriebelmuggen) driften in goot 1 in vergelijkbare dichtheden als in de overige goten.

De oorzaak voor de uitzonderlijke drift in goot 1 tijdens de uitgangssituatie kan worden gezocht in de afwijkende stroomsnelheid in deze goot ten opzichte van de overige goten. In de uitgangssituatie bedroeg de stroomsnelheid hierin slechts 0,34 m/s, terwijl de stroomsnelheid in de overige goten op T=0 ca. 0,65 m/s bedroeg. Deze afwijkende situatie heeft blijkbaar tot gevolg dat een aantal groepen een verhoogde drift vertonen.



3.1.2. Vergelijking van de uitgangssituatie met de situatie direkt na de manipulatie van de stroomsnelheid.

De veranderingen in de stroomsnelheden per goot staan vermeld in tabel 2.

Tabel 2. Stroomsnelheid (m/s) in de goten van de meetopstelling voor en direkt na manipulatie

Goot/periode	Blanco	1	2	3
T = 0	0.66	0.34	0.65	0.65
T = 1	0.66	0.14	0.28	0.45

De stroomsnelheid in de blanco blijft onveranderd, terwijl de stroomsnelheid in de overige goten in verschillende mate is gereduceerd.

Bij de vergelijking van de uitgangssituatie (T = 0) met de situatie direkt na manipulatie (T = 1) zijn de driftdichtheden in alle goten op T = 0 + de blanco op T = 1 vergeleken met de dichtheden in de goten 1, 2 en 3 op T = 1. De groepen die op T = 0 een verhoogde drift vertoonden op T = 0 (tabel 1; $p < 0,1$) zijn de dichtheden in goot 1 op T = 0 en T = 1 niet bij de analyse betrokken.

De resultaten van deze vergelijking zijn vermeld in tabel 3. Hierbij geven de dikgedrukte getallen aan dat de betreffende groepen met significant hogere dichtheden driften na de manipulatie dan daarvoor.



Tabel 3. Toetsing van de verschillen in de driftdichtheid voor en direkt na manipulatie

Groep N/m ³	T0-T1 blanco vs rest
Orthocladiinae	0.000
Oligochaeta	0.001
Baetidae	0.001
Ephemeroptera	0.001
Chironomidae	0.001
Caenidae	0.004
Elmidae im	0.004
Totaal minus exuviae	0.004
P+O+G+T+C	0.007
Tanypodinae	0.013
Elmidae I	0.015
Hydrachnellae	0.016
Tanytarsini	0.020
Simuliidae	0.023
Gammaridae	0.070
Hydropsychidae	0.076
Hydroptilidae	0.086
Psychomiidae	0.094
Trichoptera	0.099
Leptoceridae	0.183
Chironomini	0.226
Poliepen	0.282
Polycentropodidae	0.429

Toelichting P+O+G+T+C = poliepen + Oligochaeta + Gammaridae + Trichoptera + Chironomidae. De dikgedrukte getallen geven aan dat de betreffende groepen in significant hogere dichtheden ($p < 0,05$) aanwezig zijn in de overige goten ten opzichte van de blanco.

Uit tabel 3 komt duidelijk naar voren dat de afname van de stroomsnelheid een sterk verhoogde drift van het merendeel van de groepen makro-evertebraten tot gevolg heeft. Vergelijking tussen deze resultaten met die van de verhoogde drift op T = 0 in goot 1 (tabel 1) geeft opmerkelijke verschillen. In tabel 4 zijn deze verschillen samengevat.



Tabel 4. Vergelijking van de verhoogde driftdichtheden in goot 1 op T = 0 met momentane drift als gevolg van de stroomsnelheidsredukatie

Groep N/m ³	T0 1 vs rest	T0-T1 blanco vs rest	Kombinatie
Hydroptilidae	0.002	0.086	1
Leptoceridae	0.015	0.183	
Trichoptera	0.008	0.099	
Oligochaeta	0.011	0.001	2
Orthocladinae	0.038	0	
Tanytarsini	0.028	0.02	
Chironomidae	0.033	0.001	
P+O+G+T+C	0.022	0.007	
Baetidae	0.271	0.001	3
Caenidae	0.224	0.004	
Ephemeroptera	0.294	0.001	
Elmidae I	0.48	0.015	
Elmidae im	0.385	0.004	
Simuliidae	0.763	0.023	
Tanypodinae	0.589	0.013	
Hydrachnellae	0.235	0.016	
Totaal minus exuviae	0.071	0.004	

Toelichting P+O+G+T+C = poliepen + Oligochaeta + Gammaridae + Trichoptera + Chironomidae. De dikgedrukte getallen geven aan dat de betreffende groepen in significant hogere dichtheden ($p < 0,05$) aanwezig zijn.

In de tabel zijn drie combinaties van groepen te onderscheiden:

Kombinatie 1 = groepen die op T = 0 **een** verhoogde drift vertonen in goot 1 en **geen** verhoogde drift vertonen ten gevolge van de afname van de stroomsnelheid

Kombinatie 2 = groepen die op T = 0 **een** verhoogde drift vertonen in goot 1 en **ook** een verhoogde drift vertonen ten gevolge van de afname van de stroomsnelheid

Kombinatie 3 = groepen die op T = 0 **geen** verhoogde drift vertonen in goot 1, maar **een** verhoogde drift vertonen ten gevolge van de afname van de stroomsnelheid

Tot combinatie 1 behoren uitsluitend kokerjuffers

Kombinatie 2 bestaat uit Oligochaeta, enige groepen Chironomidae en de verzamelgroep van Poliepen, Oligochaeta, Gammaridae, Trichoptera en Chironomidae.

Kombinatie 3 bestaat uit de eendagsvliegen, kevers, kriebelmuggen en watermijten.

Uit deze indeling kan worden afgeleid dat de kokerjuffers reageren op de andere uitgangssituatie in goot 1 en geen momentane driftreactie vertonen ten opzichte van de stroomsnelheidsverlaging.

Kombinatie 2 reageert op beide situaties en combinatie 3 reageert alleen op de stroomsnelheidsverlaging.



3.1.3. Analyse van momentane drift

Om te onderzoeken of de verhoogde drift als gevolg van de stroomsnelheidsverlaging een momentaan karakter heeft is de drift direkt na manipulatie ($T = 1$) vergeleken met de drift in de overige perioden waarin overdag gemeten is (T_0, T_2, T_3)

Tabel 5. Vergelijking van de momentane driftdichtheid op $T = 1$ met de driftdichtheid in de overige perioden overdag ($T = 0, 2$ en 3)

Goot	blanco	goot 1	goot 2	goot 3	groep/ kombin.
Baetidae	0.007	0.004	0.224	0.023	1
Elmidae im	0.667	0.000	0.001	0.006	2
Elmidae l	0.345	0.074	0.000	0.003	3
Tanypodinae	0.745	0.728	0.003	0.003	
Hydrachnellae	0.079	0.264	0.006	0.018	
Oligochaeta	0.283	0.442	0.048	0.082	4
Gammaridae	0.086	0.625	0.003	0.098	
Caenidae	0.069	0.068	0.034	0.292	
Simuliidae	0.178	0.080	0.040	0.564	
Psychomiidae	0.722	0.830	0.013	0.742	
Leptoceridae	0.870	0.363	0.048	0.509	
Trichoptera	0.217	0.974	0.015	0.910	
Tanytarsini	0.951	0.222	0.009	0.129	
Totaal minus exuviae	0.209	0.186	0.038	0.056	

Ook bij deze vergelijking zijn er groepen of combinaties van groepen te onderscheiden met een eigen reactie op de manipulatie.

Groep 1 (Baetidae) blijkt ook in de blanco goot verhoogde driftdichtheid te vertonen. Of dit een gevolg is van het plaatsen van de schotten in de goten 1 en 2 kan niet worden achterhaald. Het feit dat Baetidae bij dit model geen significante stijging van de drift vertonen in goot 2 is te wijten aan een sterk verhoogde drift op $T = 1$, maar ook in de daarop volgende perioden. In periode $T = 3$ (voor zonsondergang) is de drift nog steeds meer dan een faktor 3 hoger dan op $T = 0$. In goot 2 leidt de manipulatie derhalve niet alleen tot momentane drift, maar ook tot chronische drift.

Groep 2 (Elmidae imagines) drift in verhoogde mate in alle goten behalve de blanco. Combinatie 3 vertoont verhoogde dichtheden in de drift in de goten 2 en 3, Terwijl combinatie 4 slechts in goot 2 met hogere dichtheden drift. Hieruit blijkt een gradiënt in mate van effect te zijn opgetreden van blanco < goot 1 < goot 3 < goot 2. Verder is af te leiden dat de manipulatie inderdaad aanleiding geeft tot momentaan verhoogde drift. In de periode na manipulatie ($T = 2$) is de verhoogde drift voor praktisch alle groepen al niet meer aantoonbaar. Het feit dat Baetidae bij dit model geen significante stijging van de drift vertonen in goot 2 is te wijten aan een sterk verhoogde drift, niet alleen direkt na de



manipulatie, maar ook in de daarop volgende periode. In periode T = 3 (voor zonsondergang) is de drift nog steeds meer dan een faktor 3 hoger dan op T = 0. In goot 2 leidt de manipulatie derhalve niet alleen tot momentane drift, maar ook tot chronische drift.

3.1.4. Relatie drift met dag-nacht ritmiek en uitgestelde drift

Uit een literatuuronderzoek naar factoren die kunnen leiden tot verhoogde drift (Klink, 1988) blijkt het meer regel dan uitzondering te zijn dat er 's nachts een verhoogde drift plaatsvindt ten opzichte van overdag.

Of hiervan in de proefopstelling ook sprake is, is onderzocht met tabel 6.

Tabel 6. Verschillen in de driftdichtheden als gevolg van dag-nacht ritmiek. Toetsing van de verschillen in driftdichtheid tussen de drift in het donker (T = 4) met de dichtheden in de drift in de overige perioden (T = 0, 1, 2 en 3)

Goot	blanco	goot 1	goot 2	goot 3
Tanytarsini	0.002	0.587	0.413	0.182
Elmidae im	0.002	0.685	0.962	0.768
Elmidae l	0.006	0.953	0.602	0.752
Caenidae	0.000	0.122	0.945	0.085
Totaal minus exuv.	0.001	0.018	0.757	0.444
Chironomidae	0.001	0.003	0.275	0.402
Orthoclaadiinae	0.002	0.004	0.295	0.536
Tanypodinae	0.000	0.003	0.294	0.288
Simuliidae	0.000	0.029	0.528	0.432
Baetidae	0.000	0.001	0.077	0.304
Gammaridae	0.007	0.001	0.514	0.007
Trichoptera	0.000	0.001	0.196	0.004
Polycentropodidae	0.000	0.005	0.484	0.002
Leptoceridae	0.001	0.000	0.009	0.001
Hydroptilidae	0.121	0.923	0.008	0.008
Hydropsychidae	0.120	0.009	0.789	0.259
Chironomini	0.058	0.489	0.314	0.003

In de normale situatie (in dit geval een dag in september 1992 met de toen aanwezige stand van de maan, instraling, watertemperatuur en een onbekend aantal ander omgevingsfactoren) blijkt een verhoogde drift net na zonsondergang bij vrijwel iedere groep op te treden (uitzonderingen zijn poliepen, Oligochaeta, Hydroptilidae, Hydropsychidae, Psychomyidae, Chironomini en Hydrachnellae). Voor Gammaridae, Ephemeroptera, Trichoptera en Simuliidae wordt hiervoor bevestiging in de literatuur gevonden. Voor Chironomidae als totale familie is de literatuur tegenstrijdig (referenties in Klink, 1988). Bij de onderhavige driftmetingen blijken de meeste groepen Chironomidae een significante voorkeur te vertonen voor drift na zonsondergang ten opzichte van overdag. Uitzondering hierop vormen de Chironomini.



Tabel 6 is komplementair aan tabel 5 in de zin dat het grootste effect van het invallen van het duister op de drift optreedt in de blanco goot. De overige goten wijken in meer of minder mate af van deze normale situatie, waarbij ook hier de reeks van weinig naar veel effect (blanco < 1 < 3 < 2) duidelijk waarneembaar is. Uit deze tabel is niet alleen af te lezen welke groepen in de normale situatie bij voorkeur net na zonsondergang driften, maar ook of er groepen aanwezig zijn die mogelijk een uitgestelde drift vertonen. Dit verschijnsel is door Scullion en Sinton (1983) waargenomen bij steenvliegen (Plecoptera) die na snelle toename van het debiet pas in verhoogde mate gaan driften als het donker is geworden.

Uit tabel 6 is het mogelijke voorkomen van uitgestelde drift af te leiden voor dié groepen, die in de normale situatie geen voorkeur vertonen voor nachtelijke drift en waarbij wel in significant hogere dichtheden wordt gedrift in gemanipuleerde goten na zonsondergang. Slechts voor drie groepen is dit het geval (Hydroptilidae in goten 2 en 3, Hydropsychidae in goot 1 en Chironomini in goot 3).



3.1.5. Vergelijking dichtheden op de bodem voor en na manipulatie

Voorafgaande aan de opbouw van de driftopstelling is stroomafwaarts van de blanco goot een bodemonster gestoken met de gemodificeerde Surbersampler.

Daags na de driftmetingen zijn in de blanco en goot 2 ieder drie surbermonsters genomen en wel in het bovenstroomse, midden en benedenstroomse gedeelte van de goten. In tabel 7 zijn de dichtheden van de afzonderlijke groepen in deze monsters vergeleken

Tabel 7. Dichtheid van de makro-evertebraten stroomafwaarts van de blanco goot (enkelvoudig monster) vóór manipulatie en in de blanco en goot 2 daags na de manipulatie (in triplo + standaarddeviatie). Signifikante verschillen zijn vetgedrukt.

voor/na manipulatie Goot Groep N/m ²	voor blanco enkel	na blanco Gem.	na blanco SD	na goot 2 Gem.	na goot 2 SD
Poliepen	0	85	147	0	0
Oligochaeta	397	1452	770	947	433
Gammaridae	246	1333	301	1079	722
Baetidae	286	1130	643	513	230
Caenidae	1873	2407	1634	3571	2715
Potamanthidae	3127	267	347	902	656
Ephemeroptera (totaal)	5286	3857	2172	5011	3530
Elmidae I	29175	19754	14607	32164	22398
Elmidae im	698	521	458	627	179
Hydropsychidae	48	1320	866	1402	893
Psychomiidae	857	2497	1016	4386	2271
Leptoceridae	1230	643	29	693	456
Polycentropodidae	262	11	18	0	0
Simuliidae	0	5	9	87	151
Tanypodinae	3913	2643	1806	5955	2992
Diamesinae (pro)	8	21	37	0	0
Orthocladiinae	1476	3603	2041	4593	3150
Chironomini	0	3	5	3	5
Tanytarsini	3119	2206	1315	3714	2378
Chironomidae p	63	249	219	167	159
Chironomidae I (totaal)	8579	8725	2886	14431	7502
Hydrachnellae	571	944	294	2582	2603
Totaal minus Exuviae	48484	42153	19051	63892	21596

De dichtheden vóór manipulatie wijken slechts significant af van de blanco na manipulatie voor Gammaridae en Hydropsychidae met lagere dichtheden vóór de manipulatie en Leptoceridae met lagere dichtheden ná de manipulatie. De dichtheden vóór manipulatie zijn voor geen enkele groep significant verschillend met de dichtheden in goot 2 ná manipulatie. Vergelijking tussen de blanco en goot 2 ná manipulatie geeft geen significante verschillen. Hierbij zij opgemerkt dat ondanks de sterk verhoogde drift in goot 2 de gemiddelde dichtheid daar ná de manipulatie (niet significant) hoger is dan in de blanco.

Uit deze resultaten kan worden gekonkludeerd dat er geen consistent patroon herkenbaar is tussen de dichtheden voor- en na manipulatie. Evenmin is effect van verhoogde drift



aantoonbaar in de dichtheden op de bodem. In perioden met sterk wisselende afvoer kan de biomassa in rivieren echter wel drastisch dalen, om zich na perioden met relatief konstante afvoer weer te herstellen (bv. Sagar, 1986).

3.1.6. Vergelijking van de drie bodemmonsters per goot

In het voorgaande is gekonkludeerd dat er geen significante verschillen aantoonbaar zijn tussen de blanco en goot 2 na de manipulatie. Met de huidige vergelijking wordt onderzocht of binnen één goot verschillen aantoonbaar zijn tussen de dichtheden bovenstrooms, in het midden en benedenstrooms in de goot.

Tabel 8. Vergelijking van de dichtheden op de bodem in de blanco onderling en goot 2 onderling na manipulatie (+ = meer; - = minder in het betreffende deel van de goot dan in de overige twee monsters van de goot).

Goot plaats in de goot	Blanco boven	Goot 2 boven	Goot 2 beneden
Oligochaeta	+		
Elmidae im	-		
Chironomidae p	-		
Hydrachnellae		+	
Tanytarsini			---
+/- p < 0.05			
--- p < 0.005			

Voor de blanco week het meest bovenstroomse monster van de overige monsters in deze goot af door een hogere dichtheid van Oligochaeta en een lagere dichtheid van volwassen Elmidae en Chironomidae poppen. Het middelste en meest benedenstroomse monster vertoonden geen significante verschillen in vergelijking met de overige twee monsters.

Dezelfde analyse in goot 2 leverde significant meer Hydrachnellae op in het bovenstroomse monster ten opzichte van de monsters midden en benedenstrooms in deze goot. Het benedenstroomse monster bevatte zeer significant meer Tanytarsini.

Uit deze analyse kunnen geen systematische verschillen worden verondersteld tussen de dichtheden in relatie met de plaats in de goot. De gekonstateerde verschillen zijn vermoedelijk het gevolg van de natuurlijke ruimtelijke variatie van de bodemfauna. Een relatie met drift of manipulatie kan niet worden vastgesteld.



3.2. Kwantitatieve beschrijving van de drift

3.2.1. Relatie tussen dichtheden in de drift ten opzichte van de dichtheden op het substraat

Om inzicht te krijgen in de omvang van de drift ten opzichte van de dichtheden op het substraat is het percentage bepaald van de dichtheden in de drift (blanco goot) ten opzichte van de dichtheden op het substraat (gemiddelde van de 6 monsters uit de blanco en goot 2). Deze waarden zijn weergegeven in tabel 9.

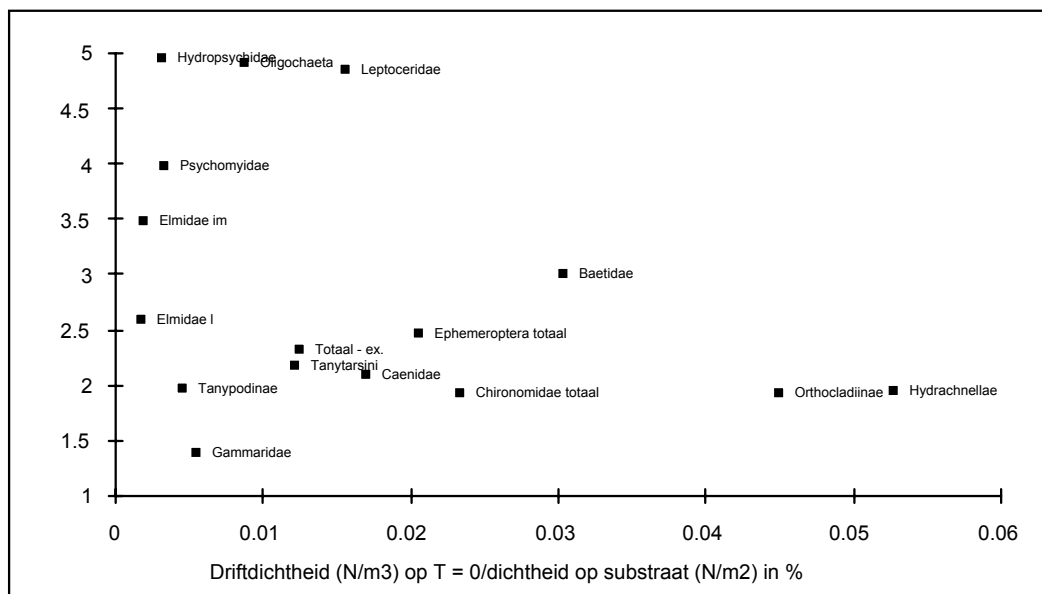
Tabel 9. Verhoudingen van dichtheden in de drift ten opzichte van de dichtheden op het substraat

Aard bemonstering Eenheid	Drift blanco N/m ³	Substraat N/m ²	Ratio %
Simuliidae	0.50	5	9.4433
Chironomini	0.04	3	1.4078
Polycentropodidae	0.15	11	1.4062
Poliepen	0.31	85	0.3670
Hydrachnellae	0.50	944	0.0527
Orthocladiinae	1.62	3603	0.0449
Baetidae	0.34	1130	0.0303
Chironomidae totaal	2.04	8725	0.0233
Ephemeroptera totaal	0.79	3857	0.0204
Caenidae	0.41	2407	0.0169
Leptoceridae	0.10	643	0.0155
Totaal minus exuviae	5.27	42153	0.0125
Tanytarsini	0.27	2206	0.0121
Oligochaeta	0.13	1452	0.0088
Gammaridae	0.07	1333	0.0054
Tanypodinae	0.12	2643	0.0044
Psychomiidae	0.08	2497	0.0032
Hydropsychidae	0.04	1320	0.0031
Elmidae im	0.01	521	0.0018
Elmidae l	0.33	19754	0.0017
Potamanthidae	0.00	267	0.0000

Uit de tabel blijkt dat de hoge ratio's gevonden worden bij juist die groepen waarvan de dichtheden op het substraat zeer laag zijn (≤ 11 per monster). Hun relatief hoge dichtheid in de drift worden naar alle waarschijnlijkheid veroorzaakt door drift vanuit een ander substraat dan de bodem in de goten. De replika's van de bodemmonsters in de goten wijzen namelijk niet op een zeer inhomogene verdeling van de fauna (zie boven). De groepen die zich hierdoor onderscheiden van de rest zijn: Simuliidae, Chironomini, Polycentropodidae en Poliepen. Opmerkelijk is dat Simuliidae toch een significant hogere drift vertonen op $T = 1$ in vergelijking met $T = 0$ (zie tabel 3). Gezien de gevoeligheid van deze groep voor wisselingen in de stroomsnelheid (aangehaald in Klink, 1988) is het denkbaar dat inderdaad een aanzienlijk deel van de populatie op drift gaat bij verlaging van de stroomsnelheid. Howell et



al. (1981) stelde vast dat na 6 maal herhalen van een debietmanipulatie zelfs 98,8% van de totale Simuliidae populatie uit het onderzochte riviertraject was verdwenen. Voor de groepen die goed vertegenwoordigd zijn in de bodemmonsters ($> 30/\text{monster}$) zijn de drift/substraat ratio's veel lager en voor deze groepen is het aannemelijk (maar niet zeker) dat driftende exemplaren voor een aanzienlijk deel afkomstig zijn van de bodem van de proefopstelling. De groepen vertonen onderling sterk uiteenlopende ratio's drift/substraat. Zo is de dichtheid van watermijten (Hydrachnellae) in de drift meer dan 0,05% ten opzichte van de dichtheid op het substraat. Orthoclaadiinae lijken eveneens veel te driften. Dit kan te maken hebben met hun grazende levenswijze. Van de totale fauna is 0,012 % in de drift overdag aanwezig. De groepen met zeer lage driftratio's zijn vooral de Elmidae, zowel de larven als de volwassenen, de kokerjufferfamilies Hydropsychidae en Psychomyidae en als meest extreme soort de eendagsvlieg *Potamanthus luteus* (Potamanthidae), die in het geheel niet in de drift is aangetroffen. Samenvattend kan worden vastgesteld dat de mate waarin organismen in de drift worden aangetroffen vooral afhankelijk lijkt te zijn van de mate waarin een soort de neiging heeft om zich in de waterkolom te verplaatsen. De invloed die de manipulatie heeft boven de normale drift is weergegeven in figuur 4. Hierbij zijn de driftratio's van de blanco uitgezet tegen de gemiddelde driftdichtheid in de gemanipuleerde goten (als faktor van de blanco driftdichtheid).



Figuur 2. Relatie tussen driftdichtheid ($T = 0$)/ dichtheid op het substraat en drift

$$T = 1 / T = 0$$

Uit figuur 2 blijkt dat de groepen onder invloed van de manipulatie driftdichtheden bereiken die ca. 1,5 - 5 maal de blanco drift hebben bedragen. Wordt deze verhoging van de drift vergeleken met de verhouding drift/dichtheid op substraat dan blijkt dat de



stroomsnelheidsmanipulatie een verwaarloosbaar effect heeft op de dichtheden in op het substraat. Immers zelfs bij een driftgrage groep als de Hydrachnellae verdubbeld de drift na manipulatie, maar dan nog is de verhouding dichtheid in de drift/dichtheid op substraat slechts 0,1 %. Deze konklusie komt overeen met het bovenstaande, waarbij geen significante verschillen zijn waargenomen tussen de dichtheden in de blanco en goot 2 na manipulatie.

3.2.2. Relatie tussen de afzonderlijke ingrepen en de mate waarin de drift verhoogd is

Op grond van de kwalitatieve analyse is duidelijk geworden dat de verschillende manipulaties verschillende omvang van drift tot gevolg hebben, met het geringste effect in goot 1 en het grootste effect in goot 2.

Om de drift te kwantificeren is de drift onderzocht tussen de verschillende stroomsnelheidsredukties ten opzichte van de blanco. Hierbij zijn dichtheden op T = 1 in de goten 1 - 3 vergeleken met de blanco op T = 1.

Tabel 10. Verhouding tussen de dichtheden in de drift per goot op T = 1 ten opzichte van de dichtheden in de referentie

Goot	Blanco T = 1	Goot 1 T = 1	Goot 2 T = 1	Goot 3 T = 1
Referentie	Blanco T = 0	Blanco T = 1	Blanco T = 1	Blanco T = 1
ΔV_{str} in cm/s	0	20	37	20
Poliepen	2.8	2.0	1.8	0.6
Oligochaeta	3.3	4.3	8.1	6.1
Baetidae	1.6	6.4	12.3	13.7
Caenidae	3.7	5.2	9.9	5.1
Gammaridae	0.0	2.5	9.5	2.3
Elmidae I	1.1	4.2	17.6	10.6
Elmidae im	0.0	7.4	23.9	24.8
Ephemeroptera totaal	2.5	6.1	11.7	8.9
Hydropsychidae	1.0	2.7	12.6	3.9
Psychomiidae	0.8	5.4	9.8	2.3
Leptoceridae	4.9	6.1	17.2	0.6
Simuliidae	1.2	2.7	4.2	1.5
Tanypodinae	1.9	7.7	42.9	39.8
Orthoclaadiinae	1.2	4.3	6.0	4.8
Chironomini	2.6	3.8	0.3	0.6
Tanytarsini	0.7	7.7	9.9	4.9
Chironomidae totaal	1.1	4.8	6.7	5.1
Hydrachnellae	3.5	1.6	5.6	3.1
Totaal minus exuviae	1.5	3.5	7.2	4.5

Uit de tabel wordt duidelijk dat, naast de verhoogde drift in de blanco er duidelijke verschillen zijn opgetreden in de mate van drift verhoging in de afzonderlijke goten.

Voor praktisch iedere groep is de toename van de drift het grootst in goot 2. Uitzonderingen zijn poliepen en Chironomini, die beide nauwelijks op de bodem van de goten aanwezig zijn.

3.2.3. Relatie tussen de mate van manipulatie en drift



Onderzoek van de relatie tussen de verandering in stroomsnelheid en de mate waarin de drift verhoogd (op $T = 1$ ten opzichte van de blanco op $T = 1$) leert dat de absolute verandering van de stroomsnelheid het meeste verband vertonen met de verhoogde drift. Relatieve veranderingen van de stroomsnelheid tonen veel minder verband met de drift. Dit geldt eveneens voor kwadratische absolute en relatieve afname van de stroomsnelheid. Dit is zeer opmerkelijk omdat in de literatuur (Ambühl, 1959; Statzner, 1982) als een van de belangrijkste factoren voor het voorkomen van makro-evertebraten in stromend water de dikte van de laminaire grenslaag wordt genoemd. De dikte van deze laag is afhankelijk van de kwadratische stroomsnelheid, diepte en ruwheid van het substraat. Aangezien in de proefgoten slechts de stroomsnelheid is veranderd, zou volgens deze literatuur het voorkomen van organismen op de bodem een relatie vertonen met het kwadraat van de stroomsnelheid. Op grond hiervan ligt een relatie tussen mate van drift en een kwadratische verandering van de stroomsnelheid eveneens voor de hand. In de proefgoten blijkt dit niet het geval te zijn.

De relatie tussen de afname van de stroomsnelheid en de faktor waarmee de drift verhoogd is, laat zich voor alle groepen het best beschrijven met de vergelijking

Faktor = constante + coëfficiënt * ΔV_{str} .

Faktor is de faktor waarmee de dichtheden in de drift zijn verhoogd (drift overige goten $T = 1$ / drift blanco $T = 1$)

ΔV_{str} = afname van de stroomsnelheid in cm/s

Door middel van lineaire regressie tussen Faktor en ΔV_{str} zijn de constante en coëfficiënt berekend alsmede de regressiecoëfficiënt (R) en de mate van significantie ($P < 0.05$).



Tabel 11. Regressie vergelijkingen tussen afname van de stroomsnelheid en faktor van driftverhoging (zie bovenstaande vergelijking). Vetgedrukte getallen zijn significant ($P < 0,05$)

Vergelijking	Constante	Coëfficiënt	R	P
Poliepen	0.946	0.021	0.49	0.514
Oligochaeta	1.156	0.192	0.97	0.033
Baetidae	2.343	0.311	0.81	0.192
Caenidae	0.696	0.239	1.00	0.005
Gammaridae*	-1.272	0.252	0.92	0.077
Elmidae I	-0.215	0.445	0.91	0.087
Elmidae im*	1.451	0.653	0.80	0.196
Ephemeroptera totaal	1.321	0.291	0.96	0.038
Hydropsychidae	-0.833	0.306	0.89	0.108
Psychomiidae	0.114	0.234	0.91	0.094
Leptoceridae	-1.929	0.424	0.83	0.169
Simuliidae	0.726	0.080	0.90	0.098
Tanypodinae	0.990	1.134	0.79	0.205
Orthocladiinae	1.404	0.136	0.97	0.035
Chironomini	1.728	-0.015	0.14	0.857
Tanytarsini	1.205	0.243	0.95	0.045
Chironomidae totaal	1.384	0.157	0.98	0.022
Hydrachnellae	0.481	0.121	0.90	0.100
Totaal - exuviae	0.836	0.168	0.99	0.015
* faktor t. o. v. blanco T = 0				

Een aantal groepen vertoont een significante relatie tussen de mate van stroomsnelheidsafname en toename van de driftdichtheden. Belangrijk is dat hiertoe ook de drift van de totale fauna behoort. Bijna alle regressiecoëfficiënten zijn hoog tot zeer hoog, ook hier vormen de poliepen en Chironomini de uitzondering.

Met deze vergelijkingen kan de invloed van stroomsnelheidsveranderingen worden gekwantificeerd voor met name het traject waarin de manipulaties hebben plaatsgevonden (0 - 37 cm/s).



Tabel 12. Berekende toename van de drift bij 5 verschillende verlagingen van de stroomsnelheden.

$\Delta V_{str.}$ cm/s	10	20	30	40	50
Poliepen	1	1	2	2	2
Oligochaeta	3	5	7	9	11
Baetidae	5	9	12	15	18
Caenidae	3	5	8	10	13
Gammaridae*	1	4	6	9	11
Elmidae I	4	9	13	18	22
Elmidae im*	8	15	21	28	34
Ephemeroptera totaal	4	7	10	13	16
Hydropsychidae	2	5	8	11	14
Psychomiidae	2	5	7	9	12
Leptoceridae	2	7	11	15	19
Simuliidae	2	2	3	4	5
Tanypodinae	12	24	35	46	58
Orthocladiinae	3	4	5	7	8
Chironomini	2	1	1	1	1
Tanytarsini	4	6	8	11	13
Chironomidae totaal	3	5	6	8	9
Hydrachnellae	2	3	4	5	7
Totaal - exuvia	3	4	6	8	9
* faktor t.o.v. blanco T = 0					

In de proefgoten blijkt dat sommige groepen matig en andere heftig reageren bij een vergroting van $\Delta V_{str.}$. De fauna als geheel vertoont een matige reactie. Afzonderlijke groepen: Baetidae, Elmidae, Leptoceridae, maar vooral Tanypodinae vertonen reeds bij geringe afname van de stroomsnelheid een sterk verhoogde drift.

3.2.4 Vergelijking van de drift en dichtheden op het substraat in de Lotharingse Maas en in de Grensmaas bij Maaseik

In 1989 is een oriënterend onderzoek uitgevoerd in de Grensmaas om de omvang van de drift te onderzoeken. Een vergelijking van deze gegevens met die van het onderhavige onderzoek is weergegeven in tabel 13.



Tabel 13. Vergelijking van de dichtheden van de afzonderlijke groepen makro-evertebraten in de drift in de Lotharingse Maas en de Grensmaas bij Maaseik (27 en 28 september 1989)

Groepen N/m ³	Loth. Maas	Grensmaas	Groepen N/m ³	Loth. Maas	Grensmaas
Platwormen	0.003	0.055	Kokerjuffers		
Borstelwormen	0.102	0.318	Hydropsychidae	0.033	0.126
Bloedzuigers	0.001		Hydroptilidae	0.045	
Huisjes slakken	0.014		Psychomiidae	0.064	
Karperluis	0.012		Leptoceridae	0.080	
Vlokreeften	0.058		Polycentropodidae	0.119	
Waterpissebedden	0.012	0.010	Vlinders	0.008	
Eendagsvliegen			Gaas/slijkvliegen	0.016	
Baetidae	0.274		Tweevleugeligen		
Caenidae	0.325		Motmuggen	0.003	
Ephemerellidae	0.032		Knutten	0.003	
Libellen			Kriebelmuggen	0.400	
Gomphidae	0.001		Dansmuggen	1.630	0.804
Waterwantsen			Tweevleugeligen overig	0.011	
Aphelocheirus aestivalis	0.006		Spinnen en mijten		
Velidae	0.026		Watermijten	0.398	
Kevers			Spinnen	0.003	
Orectochilus villosus I	0.001				
Elmidae I	0.262		Totaal	4.215	2.062
Elmidae im	0.008				
Dytiscidae I	0.014		Aantal groepen	30	5

Uit de tabel blijkt op eenduidige wijze hoezeer de fauna van de Grensmaas is verarmd. Slechts enige zeer tolerante groepen domineren in de huidige Grensmaas. De dichtheden in de drift wijken echter maar een faktor 2 af. Indien de dichtheid op het substraat tussen beide rivieren wordt vergeleken voor de voornaamste groepen Hydropsychidae en Chironomidae (tabel 14), dan blijkt dat deze dichtheden opvallend overeenkomen. De dichtheid van de totale fauna is echter een faktor 4 hoger in de Lotharingse Maas. Hieruit kan worden afgeleid dat er bij een ecologische herstel van de Grensmaas niet alleen een grotere soorten diversiteit ontstaat, maar dat deze "nieuwe" soorten zich kunnen vestigen zonder dat dat ten koste gaat van de dichtheid van de huidige fauna. Dit betekent dat stijging van biodiversiteit hand in hand gaat met de stijging van de produktie in de rivier.

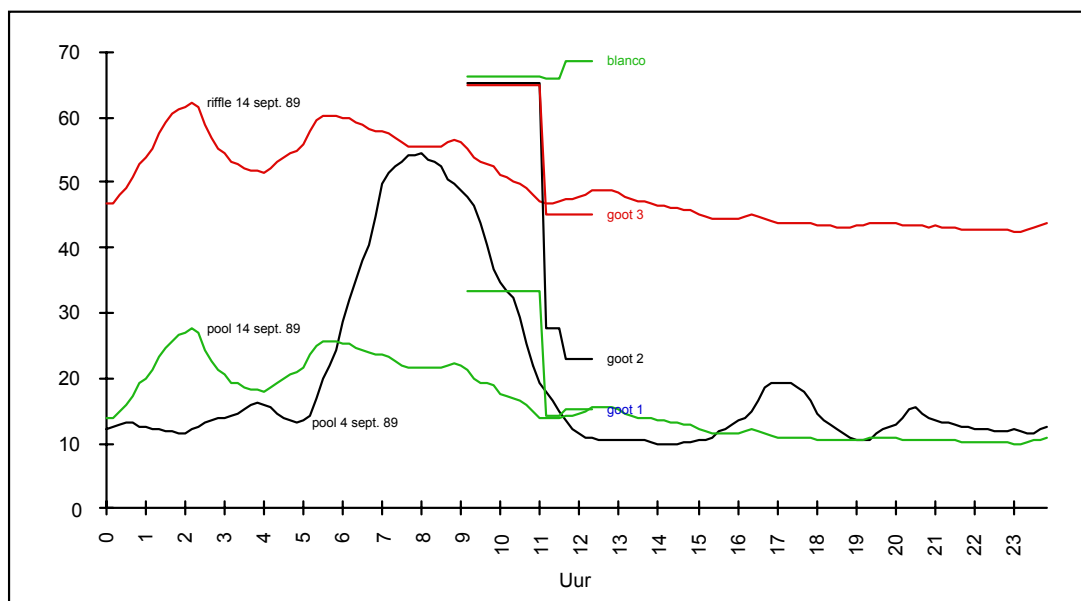
Tabel 14. Dichtheden op het substraat in de Lotharingse Maas en de Grensmaas

Dichtheid N/m ²	Loth. Maas	Grensmaas	Loth. Maas - Grensmaas
Hydropsychidae	1361	2214	-853
Dansmuggen	11578	7000	4578
Totale fauna	42153	9396	32757

4. Diskussie



Betekenis van de meetresultaten voor de effecten van afvoerfluctuaties in de Grensmaas. De meetresultaten hebben betrekking op een momentane eenmalige stroomsnelheidsverlaging. Omdat deze in de natuur niet voorkomt, kunnen de resultaten niet worden vertaald naar een biologisch verantwoorde fluctuatie in de afvoer. In de onderstaande figuur is de situatie in de proefgoten uitgezet tegen een "normale" afvoer in de Grensmaas in september 1989. Dit is voordat de stuw bij Borgharen is geautomatiseerd.



Figuur 3. Vergelijking van de uitgevoerde manipulaties in de driftgoten met de situatie van alledag in de Grensmaas

De stroomsnelheidsverlaging in de goten 1 en 3 zijn vergelijkbaar met de dagelijks (september 1989) optredende dalingen in de Grensmaas (voor aanpassing van de stuw). Hierbij kan goot 1 worden vergeleken met een relatief diep gedeelte, de poolsituatie en goot 3 met een bank of riffle. Gebeurtenissen als op 4 september 1989 (7 maal opgetreden in die maand) zijn qua grootte orde vergelijkbaar met de manipulatie in goot 2. Hoe groot de invloed is van het tijdsaspect (enige seconden in de proefgoot tot enige uren in de Grensmaas) kan niet uit dit onderzoek worden afgeleid. Voor zalm heeft men in de Verenigde Staten een norm voor de afvoerfluctuatie van maximaal 30% van de afvoer per uur (Bauersfeld, 1978). Deze norm werd in de Grensmaas bij lage afvoeren ($\leq 50 \text{ m}^3/\text{s}$) gemiddeld 6 maal/per **etmaal** overschreden (Klink, 1990).

Indien het tijdsaspect buiten beschouwing wordt gelaten, dan zou een normale dag in september 1989 een driftverhoging te weeg gebracht hebben van ca. 4 maal de drift bij gelijkblijvende stroomsnelheid. Een dag zoals 4 september 1989 zou een driftverhoging met



een faktor 7 hebben veroorzaakt. Hierbij is alleen de driftverhoging als gevolg van de afname van de stroomsnelheid ingebracht.

De feitelijke situatie in de Grensmaas is dat een stroomsnelheidsverlaging gepaard gaat met een waterstandsval. Dit leidt ertoe dat in de zomer al tot ca. 25% van het bed droogvalt door het sparen van de waterkrachtcentrale. Bij verbreding van de Grensmaas zoals voorgesteld in "toekomst van een grindrivier" (Helmer et al., 1991) zal dit percentage nog sterk oplopen. Bij het spuien stijgt de stroomsnelheid weer en zal zo de volgende verstoring te weeg brengen.

Een bijkomend effect voor de levensgemeenschap is dat deze situatie, ook in afgevlakte vorm, een ernstige belemmering zal vormen voor de vestiging en ontwikkeling van rivierplanten (Klink et al., 1993), die een noodzakelijke habitat vormen voor tal van makro-evertebraten en hogere organismen in de voedselketen zoals vissen.

In natuurlijke regenrivieren treden al grote verliezen op in de benthische fauna als gevolg van zware regenval in het stroomgebied. Deze verliezen worden weer aangevuld tijdens perioden met een relatief konstante afvoer (Sagar, 1986). Iedere extra stress is derhalve ongewenst.



5. Konklusies

Met de opstelling zoals die in de Lotharingse Maas is gebruikt blijkt het mogelijk te zijn om uitspraken te doen over drift in relatie met kunstmatige stroomsnelheidsverlaging. Deze uitspraken komen puntsgewijze neer op:

- Zelfs in de blanco situatie treedt verhoogde drift op als gevolg van niet gemeten en veronderstelde factoren. Drift lijkt hierdoor een gevoeliger parameter dan voorzien.
- Na stroomsnelheidsverlaging treedt bij praktisch alle groepen een verhoogde drift op.
- De verhoging van de drift heeft bij vrijwel alle groepen een momentaan karakter. Het effect manifesteert zich bij steeds meer groepen in de volgorde blanco < goot 1 < goot 3 < goot 2 met respectievelijk een stroomsnelheidsverlaging van 0, 20, 20 en 37 cm/s. In de goten 1, 2 en 3 zijn de dichtheden in de drift verhoogd met respectievelijk een faktor 4, 7 en 4 ten opzichte van de dichtheden in de blanco.
- Conform de literatuur treedt een toename in de natuurlijke drift op na zonsondergang. Dit geldt voor bijna alle groepen.
- De verhoogde drift na manipulatie heeft geen meetbare gevolgen gehad voor de dichtheden op het substraat.
- Uit de verhouding tussen dichtheden in de blanco drift en op het substraat kan worden afgeleid dat sommige groepen een extreem lage mobiliteit (via drift) hebben. Hieronder vooral borstelwormen, kevers, kokerjuffers en vlokreeften. Groepen met een redelijke mobiliteit zijn Baetidae en Orthocladiinae en watermijten. Kriebelmuggen zijn vermoedelijk extreem mobiel via drift.

Op grond van deze resultaten moet worden gekonkludeerd dat iedere anthropogene afvoerfluctuatie een verhoging van de drift tot gevolg heeft. Op grond daarvan kan op generlei wijze een ecologisch verantwoorde norm worden geformuleerd voor anthropogene afvoerfluctuaties, anders dan in het geheel geen anthropogene afvoerfluctuaties.

Ecologisch herstel van de Grensmaas dient gericht te zijn op :

- verbetering van de waterkwaliteit
- verbreding en verondieping van het rivierbed
- herstel van de relatie water en oever, waarbij de oevers een natuurfunctie - krijgen
- eliminatie van de kunstmatige afvoerfluctuaties

De oplossing voor het laatste knelpunt wordt gezocht in het debiet-onafhankelijk maken van de waterkrachtcentrale in Lixhe

6. Aanbevelingen voor verder onderzoek

In het kader van het ecologische herstel van de Grensmaas is het van groot belang om inzicht te krijgen in het effect van de aanpassing van de stuw in Borgharen. De eerste



metingen wijzen er op dat de fluktuaties in de afvoer sterk worden afgevlakt bij het aangepaste stuwbeheer (afvoergegevens Rijkswaterstaat). Op grond hiervan is het van groot belang om de ecologische ontwikkelingen in de verschillende habitats van de Grensmaas kritisch te volgen. Hierbij wordt gedacht aan onderzoek aan makro-evertebraten en planten op stroomversnellingen, in stroomluwten en in de oeverzone.



7. Literatuur

Ambühl, H., 1959

Die Bedeutung der Strömung als ökologischer Faktor
Schweiz. Z. Hydrol. 21: 133-264

Bauersfeld, K., 1978

Stranding of juvenile salmon by flow reductions at Mayfield Dam on the Cowlitz River, 1876
Techn. Rep. Dep. Fish. Wash. 36:

Craig, D.A., Galloway, M.M., 1987

Hydrodynamics of larval black flies In Kim, K.C., Merris, R.W., (eds.): Black flies. Ecology, population management and annotated world list. Pennsylv. State Univ. Press p. 171-185

Helmer, W., Overmars, W., Litjens, G., 1991

Toekomst van een grindrivier. Hoofdrapport
Stroming bureau voor Natuur- en Landschapsontw. 64 pp.

Howell, C.J., Begemann, G.J., Muir, R.W., Louw, P., 1981

The control of Simuliidae (Diptera: Nematocera) in South African rivers by modification of the water flow volume
Onderst. J. Vet. Res. 48(1): 47-49

Klink, A.G., 1988

Drift van makro-evertebraten. Een literatuuronderzoek
Hydrobiol. Adviesburo Klink Rapp. Meded. 34: 20 pp.

Klink, A.G., 1990

Drift van makro-invertebraten in de Maas
RWS/RIZA nota 90.071: 45 pp+bijl

Klink, A.G., bij de Vaate, A., 1994

La Moyenne Meuse (de Lotharingse Maas) als referentie voor de Grensmaas?
Hydrobiol. Adviesburo Klink Rapp. Meded. 48: 32 pp. + bijl.

McLay, C., 1970

A theory concerning the distance travelled by animals entering the drift of a stream
J. Fish. Res. Bd. Canada 27: 359-370

Rafferty, J., Norloling, R., Tamaru, R., McMath, C., 1985

STATWORKS. Statistics with graphics for the Macintosh
Heyden and Son London 98 pp.

Sagar, P.M., 1986

The effects of floods on the invertebrate fauna of a large, unstable braided river
N.Z. J. Mar. Freshw. Res. 20(1): 37-46

Scullion, J., Sinton, A., 1983

Effects of artificial freshets on substratum composition, benthic invertebrate fauna and invertebrate drift in two impounded rivers in mid-Wales
Hydrobiologia 107(3): 261-269

Statzner, B., 1981

The relation between 'hydraulic stress' and microdistribution of benthic macroinvertebrates in a lowland running water system, the Schierenseebrooks (North Germany)
Arch. Hydrobiol. 91(2): 192-218



3.2.4. Mate waarin groepen kwetsbaar zijn voor stroomsnelheidsmanipulatie WEG?)

De mate waarin groepen kwetsbaar zijn hangt af van een aantal verschillende factoren. Ter sprake kwamen al de mobiliteit en de gevoeligheid. Daarnaast is tenminste van even groot belang de tijd c.q. afstand die iedere groep driftend aflegt. Indien een groep van nature slechts een gemiddelde verplaatsing/drift realiseert van 1 m, dan is de verhouding tussen drift en dichtheid op substraat een factor 100 kleiner, dan dat een groep 100 m drift per keer, bij een gelijkblijvend % van de populatie in de drift. McLay (1970) heeft onderzoek uitgevoerd naar de snelheid waarmee de belangrijkste groepen in een beek vanuit de drift weer terugkeren naar het substraat. Hieruit bleek dat de gemiddelde afstand ca. 10,7 m bedroeg voor de gehele fauna en dat groepen als Chironomidae en Elmidae een gemiddelde afstand aflegden van respectievelijk 8 en 7,3 m per drift. Voor Chironomidae verzameld in de drift zou dit voor de blanco goot betekenen dat deze organismen grofweg afkomstig zijn van $8 \cdot 0,6$ (stroomsnelheid) $\cdot 0,5$ (breedte driftnet) = 2,4 m² substraat, dat verzameld is in ca. 100 m³ driftmonster. Indien uitgegaan wordt van een konstante afstand voor iedere groep in de drift, dan kan een indruk worden verkregen van de kwetsbaarheid per groep ten opzichte van de stroomsnelheidsreductie. In de onderstaande berekeningen is er voor het gemak van uitgegaan dat de driftende groepen in 1 m³ driftmonster afkomstig zijn van 1 m² bodemoppervlak.

De kwetsbaarheid ten opzichte van verlaging van de stroomsnelheid in de goten, kan worden uitgedrukt als een combinatie van mobiliteit en gevoeligheid. Mobiele soorten (hoge verhoudingen tussen dichtheden drift/substraat) zullen eerder uitsterven op het substraat dan immobiele soorten. Gevoeligheid, uitgedrukt in driffactor ten opzichte van de blanco (zie figuur x en tabel 14), zal eveneens leiden tot eerder uitsterven op het substraat van die soorten met een hoge driffactor dan die met een lage driffactor. Een combinatie van beide factoren bepaalt uiteindelijk (in de proefgoten) de snelheid waarmee de soorten op dit substraat zullen uitsterven.

Om vast te stellen welke groepen het meest kwetsbaar zijn (in de proefopstelling) voor verlaging van de stroomsnelheid zijn berekende effecten van de verschillende stroomsnelheidsreducties zo lang herhaald totdat 10% van de populatie verdwenen zal zijn van het substraat. Hierbij is uitgegaan van de aanname dat geen rekolonisatie optreedt van bovenstrooms en dat zowel de mobiliteit als de driffactor (gevoeligheid) ongewijzigd blijft.

De hierbij gehanteerde formule is:

$$P_n = P_{n-1}/100 \cdot M \cdot F \quad (n \text{ van } 1 \text{ totdat } P_n = 90\% \text{ van uitgangspopulatie})$$

P_n = restpopulatie na n manipulaties (%)

P_{n-1} = restpopulatie na n-1 manipulaties (%)

D = driffactor

M = Mobiliteitsfactor dichtheid drift/substraat (%)



Tabel 13. Berekend aantal manipulaties bij verschillende afname van de stroomsnelheid om de populatie op de bodem met 10% te verminderen

Goot of model $\Delta V_{str.}$ cm/s	Goot 1	Goot 2	Goot 3	Model	Model
	20	37	20	20	60
Simuliidae	4	2	6	4	2
Baetidae	39	20	19	29	12
Leptoceridae	115	41	1107	108	30
Orthocladiinae	62	44	55	64	27
Ephemeroptera totaal	98	50	66	83	31
Hydrachnellae	233	67	120	129	48
Caenidae	148	78	152	142	52
Chironomidae totaal	125	89	117	144	55
Tanypodinae	508	91	97	164	56
Tanytarsini	153	118	237	193	75
Oligochaeta	232	123	160	199	78
Totaal-exuviae	299	146	235	253	97
Gammaridae	707	183	756	465*	127*
Hydropsychidae	1280	277	905	656	200
Elmidae im	1120	349	336	575*	205*
Elmidae l	1525	363	618	738	242
Psychomyiidae	843	460	1937	942	319
* faktor t.o.v. blanco T = 0					

De berekening die ten grondslag ligt aan tabel 15 is puur hypothetisch en geeft alleen inzicht in de mate waarin groepen kwetsbaar zijn door verhoogde drift in de proefgoten met de gehanteerde stroomsnelheidsverlagingen.

Deze combinatie van mobiliteit en driffactor laat zien dat Simuliidae het meest kwetsbaar zijn voor stroomsnelheidsverlaging (al na een beperkt aantal manipulaties zijn de dichtheden op het substraat met 10% gereduceerd), gevolgd door Baetidae en Orthocladiinae. Bij deze groepen is de kwetsbaarheid niet gelegen in de driffactor, maar vrijwel uitsluitend in de mobiliteit. De mobiliteit bij Simuliidae is gelegen in een momentane reactie op verandering van de stroomsnelheid, waardoor ze niet meer in staat zijn optimaal te filteren (Craig en Galloway, 1987), waarna ze zich losmaken van het substraat en in de drift verschijnen (Rubsov, 1964). Baetidae en Orthocladiinae zijn grazers die noodgedwongen mobiel moeten zijn.

Groepen met een uitgesproken lage mobiliteit en kwetsbaarheid zijn de kokerjuffers van de families Hydropsychidae en Psychomyiidae en de Elmidae (larven zowel als imagines).

De meeste groepen vertonen een kwetsbaarheid in de goten 1 en 3 die vergelijkbaar is. In deze goten zijn de stroomsnelheidsredukties ook hetzelfde. Uitzonderingen hierop vormen de Elmidae (l + im) en Tanypodinae die een veel geringere kwetsbaarheid hebben in goot 1 dan in goot 3. Daarnaast is de berekende kwetsbaarheid van Leptoceridae en, in mindere mate, Psychomyiidae juist hoger in goot 1 dan in goot 3. Het verschil tussen deze goten is dat



in goot 1 de stroomsnelheid slechts 34 cm/s en in goot 3, 65 cm/s bedroeg in de uitgangssituatie. Een oorzaak voor deze goot-specifieke verschillen is niet achterhaald.

3.2.4. Drift als natuurlijk verspreidingsmechanisme

In tabel 6 komt duidelijk naar voren dat even na zonsondergang een sterke stijging optreedt in de drift van de meeste groepen. Deze drift kan worden opgevat als een natuurlijk verspreidingsmechanisme.

Tabel 14: Faktor waarmee de drift is verhoogd na zonsondergang ten opzichte van de uitgangssituatie ($T = 0$) en de verhouding tussen de dichtheden in de drift en de dichtheden op het substraat.

Groep	Driffactor	drift/substraat %
Simuliidae	4.8	48.3499
Leptoceridae	54.6	0.8486
Baetidae	17.5	0.5303
Caenidae	28.0	0.4730
Ephemeroptera (totaal)	21.9	0.4484
Tanypodinae	77.6	0.3430
Orthocladiinae	7.6	0.3413
Chironomidae (totaal)	7.3	0.1696
Hydrachnellae	2.8	0.1470
Totaal-exuviae	5.9	0.0734
Tanytarsini	4.0	0.0479
Gammaridae	5.3	0.0286
Elmidae im	5.7	0.0104
Elmidae l	3.2	0.0053
Hydropsychidae	1.6	0.0051
Oligochaeta	0.3	0.0025
Psychomiidae	0.5	0.0015

Volgens verwachting is de drift na zonsondergang sterk verhoogd ten opzichte van de drift overdag. De driffactor is zeer hoog bij de Leptoceridae, Ephemeroptera en Tanypodinae. De overige groepen hebben een lagere driffactor en groepen waarvan geen voorkeur voor nachtelijke drift kon worden aangetoond (tabel 6), vertonen ook hier geen verhoging van de driffactor. Ten aanzien van de ratio van de dichtheden in de drift ten opzichte van de dichtheden op het substraat valt ook hier de uitzonderlijke ratio op van Simuliidae. Zoals gezegd kan dit veroorzaakt zijn door de zeer lage dichtheden op het substraat en derhalve een zeer grote bijdrage van drift bovenstrooms de proefopstelling. Voor het ecologische herstel van de Grensmaas kan de tabel een indruk geven van de snelheid waarmee de groepen terug kunnen keren. De ratio is hierbij van belang. Tenminste net zo belangrijk is de omvang van de bestaande populaties en hun dichtstbijzijnde lokaties stroomopwaarts.



- Mobiliteit en rekolonisatie

De afzonderlijke groepen vertonen grote verschillen in mobiliteit (dichtheden in drift/dichtheden op substraat). Groepen met een geringe mobiliteit zullen het langst standhouden in situaties zoals uitgetest. Dit kan betekenen dat dit ook de groepen zijn met een geringe rekolonisatiesnelheid. Omgekeerd worden groepen met een hoge mobiliteit geacht een hoge rekolonisatiesnelheid te bezitten.

In het geval dat deze berekeningen een bredere geldigheid hebben dan alleen voor de proefopstelling (op die dag), dan zou dit betekenen dat rekolonisatie van een riviertraject het snelst kan verlopen bij groepen die bovenstrooms al in hoge dichtheden aanwezig zijn en een hoge mobiliteit hebben. Voor soorten met een zeer lage mobiliteit gepaard aan lage populatiedichtheden zal naar verwachting rekolonisatie aanzienlijk langer vergen.

In het geval van de Grensmaas zou dit betekenen dat Simuliidae tot de eerste groepen kunnen behoren die gebruik maken van het ecologische herstel (grote dichtheden op de waterplanten en een zeer hoge mobiliteit). Intermediair zijn de meeste eendagsvliegen en groepen Chironomidae. Langzame kolonistoren zouden vooral te vinden zijn bij de Trichoptera en Elmidae (I en im). Een extreem voorbeeld vormt de in Nederland uitgestorven eendagsvlieg *Potamanthus luteus*. *P. luteus* neemt praktisch geen deel aan de drift. Deze extreem geringe mobiliteit via drift geeft de soort in het larvale stadium ook niet de mogelijkheden om nieuwe delen van de rivier te rekoloniseren. De korte levensduur van de volwassenen lijkt de geringe rekolonisatiekracht nog te versterken. Bij het ecologische herstel van de Grensmaas kan op grond van de mobiliteit worden verwacht dat een aantal soorten snel zullen terugkeren. Andere soorten zijn meer afhankelijk van een herintroductieprogramma.

- Op grond van de gegevens moet worden geconcludeerd dat kunstmatige afvoerfluctuaties niet verenigbaar zijn met het ecologische herstel van de Grensmaas.

- Een oplossing via het stuwbeheer bij Borgharen biedt slechts enige uitkomst voor de korte termijn. Bij het ecologische herstel van de Grensmaas door:

Verbetering van de waterkwaliteit

Verbreiding van het rivierbed

Herstel van de relatie tussen water en oevers, waarbij de oevers een natuurfunctie krijgen

Elimineren van de kunstmatige afvoerfluctuaties

wordt de oplossing voor het laatste knelpunt gezocht in het debietonafhankelijk maken van de waterkrachtcentrale in Lixhe.