

Gezocht / op te zoeken ~~4444~~
017B

De invloed van stroomsnelheid op de aangroei van benthische algen en de aanhechting van Maasslib op kunstmatig substraat in stroomgoten.

The influence of the flow rate on the growth of benthic algae and the adherence of Meuse silt on artificial substrate in flow ducts

L'influence de la vitesse du courant sur la croissance d'algues benthiques et l'adhérence de la vase de la Meuse sur du substrat artificiel dans des goulottes.

Michelle A.A. de la Haye

Reports of the project
"Ecological Rehabilitation of the river Meuse".
EHM nr. 19-1994, september 1994

Consultance: AquaSense BV
P.O. Box 95125, 1090 HC Amsterdam, The Netherlands.
(020-5922244)

In commission of and in cooperation with:

Institute of Inland Water Management and Waste Water Treatment (RIZA)
P.O. Box 9072, 6800 ED Arnhem, The Netherlands.

INHOUD

Voorwoord

Samenvatting (lijst met figuren, tabellen en bijlagen

Summary (list of figures and tables)

Resumé (liste des figures et des tableaux)

1	Inleiding	1
2	Materiaal en methoden	2
2.1	Slibaccumulatie bij verschillende stroomsnelheden met en zonder algen	2
2.2	Erosieproef	4
2.3	Behandeling monsters en analyses	5
2.3.1	Drooggewicht - asvrijdrooggewicht	5
2.3.2.	Chlorofyl-a en faeofytinegehalte	6
2.3.3	Soortensamenstelling	7
2.4	Statistische verwerking gegevens	7
3	Resultaten	9
3.1	Slibaccumulatieproef	9
3.1.1	Stroomsnelheid	9
3.1.2	Licht/donker	10
3.1.3	Chlorofyl-a en faeofytinegehalte	14
3.1.4	Soortensamenstelling algen	18
3.2	Erosieproef	20
4	Discussie	
4.1	Slibaccumulatieproef	23
4.1.1	Stroomsnelheid	23
4.1.2	Licht/donker	23
4.1.3	Chlorofyl-a en faeofytine	24
4.1.4	Soortensamenstelling	24
4.2	Erosieproef	25
4.3	Geïntegreerde discussie	26
4.4	Veranderingen in de Grensmaas waardoor de aangroei van algen en de accumulatie van slib kan verminderen	29
5	Conclusies	31
	Literatuur	33
	Bijlagen	

Lijst met verschenen rapporten in de EHM reeks

Te citeren als (to be referred to as):

Haye de la, M.A.A. (1994).

De invloed van stroomsnelheid op de aangroei van benthische algen en de aanhechting van Maasslib op kunstmatig substraat in stroomgoten. Aquasense in opdracht van RIZA. Report of the project "Ecological Rehabilitation of the River Meuse" (with a summary in english and french). EHM nr. 19-1994. Institute of Inland Water Management and Waste Water Treatment (RIZA) and Directorate Limburg.

Voorwoord

Het 'slibaccumulatie' project, gepresenteerd in dit rapport, is uitgevoerd in opdracht van de Hoofdafdeling Watersystemen (WS) van het Rijksinstituut voor Integraal Zoetwaterbeheer en Afvalwaterbehandeling (RIZA) Arnhem, afdeling rivieren (WSR).

Het onderzoek is uitgevoerd door Michelle de la Haye (AquaSense) en begeleid door Stan Kerkhofs (WSR, Arnhem) en Ronald Bijkerk (RDD Aquatic Ecosystems Haren), deze laatste heeft eveneens de analyses verricht.

Bij de voorbereiding, de uitvoering en het rapporteren van het onderzoek zijn veel mensen betrokken geweest die ik bij deze wil bedanken. Mijn dank gaat in het bijzonder uit naar:

- * Peter Adriaens, Paul Meertens, Nel Frijns, Dennis Vliegen, Elma Arntz de medewerkers van meetstation Eijsden. Tijdens het uitvoeren van de proeven en de uitwerking heb ik steeds op hun medewerking en meedenken kunnen rekenen.
- * Henk van Dijk, Ko Gosman, Cornelis Niesink en Piet Douven voor hun hulp bij de constructie en de installatie van de stroomgoten opstelling.
- * De bemanning van de stuw Borgharen, Jo, Cor, John, Piet, Jeu, Wim en Bruno voor hun hulp en waakzaamheid gedurende de proefperiode.
- * Mauk Burgdorfer voor zijn hulp bij het berekenen van de benodigde hoeveelheid water.
- * Dick Kos voor zijn inspanningen om het benodigde materiaal bijeen te krijgen.
- * Michel Fourache van de dienstkring Maastricht voor het ter beschikking stellen van een dekschuit.
- * Jan van den Born voor zijn hulp bij het afbreken van de opstelling in sluis Borgharen.
- * André Breukelaar voor het kritisch doorlezen van het concept rapport.

Michelle de la Haye
Lelystad, september 1994

Samenvatting

In het Natuurontwikkelingsproject 'Toekomst voor een grindrivier' (Helmer *et al.*, 1991), opgesteld ten bate van een meer ecologische verantwoorde grindwinning langs de Grensmaas, worden veranderingen van het stroombed voorgesteld, zoals weerdverlagingen en stroombedverbredingen. Door het uitvoeren van genoemde maatregelen zal in en rond dit stuk middenstroomrivier veel veranderen ten gunste van de specifieke flora en fauna behorend bij een grindbedding. Momenteel zijn grote delen van de grindbedding van de Grensmaas, vooral 's zomers, bedekt met een laag van algen en slib. Met de uitvoering van het natuurontwikkelingsproject zal het aantal stroomluwe plekken in de Grensmaas groter worden. Hierdoor wordt een toename van de slibbezinking in het stroombed van de Grensmaas verwacht. De ontwikkeling van de karakteristieke flora en fauna kan hierdoor benadeeld worden.

Benthische algen lijken een belangrijke rol te spelen bij het 'invangen' van slib. Over het samenspel van verschillende factoren bij slibaccumulatie is echter weinig bekend. In dit rapport worden de volgende vraagstellingen behandeld:

- Wat is het interactief effect van stroomsnelheid en algenaangroei op slibaccumulatie?
- Wat is de rol van benthische algen bij de slibaccumulatie?
- Wat is de invloed van een stroomsnelheidsverandering op de erosie van geaccumuleerd slib?
- Wat zijn de consequenties van de uitkomsten van dit onderzoek voor de inrichting van de Grensmaas?

De kolonisatie door benthische algen en de accumulatie en de erosie van slib is op een kunstmatig aanhechtingsoppervlak onderzocht bij verschillende stroomsnelheden in stroomgoten in sluis Borgharen.

Hoe hoger de stroomsnelheid in de stroomgoten, hoe minder materiaal ingevangen werd. In aanwezigheid van benthische algen werd bij hogere stroomsnelheden aanzienlijk meer slib ingevangen dan zonder algen. Een plotselinge verhoging van de stroomsnelheid leidde er in een aantal gevallen toe dat meer dan de helft van het aanwezige materiaal weggespoeld werd. Op basis van de experimenten werden de volgende conclusies getrokken:

- Bij stroomsnelheden van 15 cm s^{-1} en hoger accumuleert in aanwezigheid van algen een factor 4 tot 6 **minder** slib dan bij stroomsnelheden van $\pm 6 \text{ cm s}^{-1}$.
- Zonder algen accumuleert bij stroomsnelheden van 15 cm s^{-1} en hoger, een factor 5 tot 12 **minder** materiaal dan bij stroomsnelheden van $\pm 6 \text{ cm s}^{-1}$.
- Benthische algen spelen in de Grensmaas bij stroomsnelheden van $20 - 35 \text{ cm s}^{-1}$ een cruciale rol bij het ontstaan van een sliblaag op het grind. Bij deze stroomsnelheden wordt met algen 3 maal zoveel slib ingevangen dan zonder algen.

Door het verhogen van de stroomsnelheid in de Grensmaas, b.v. door het aanleggen van stroomversnellingen, kan de accumulatie van slib plaatselijk verminderen, maar voor de Grensmaas als geheel zullen ook andere maatregelen nodig zijn. Voor het verminderen van de algenaangroei en slibaccumulatie in de Grensmaas is een aanzienlijke reductie van zowel het nutriëntengehalte als van de slibbelasting van het Maaswater noodzakelijk. Hiervoor is het nodig het rioolwater te zuiveren van enkele grote Belgische steden die stroomopwaarts van de Grensmaas liggen. Mogelijk leidt de verlaging van het nutriëntengehalte eveneens tot een verschuiving in de soortensamenstelling van de algen; van soorten die door hun vorm veel slib invangen naar soorten die minder slib invangen.

Lijst met figuren en tabellen

Figuren

- 1 Overzichts- (links) en detailopname (rechts) van de stroomgoten opstelling in sluis Borgharen.
- 2 Ligging van de tegels in een stroomgoot tijdens de experimenten.
- 3 Ontwikkeling van het drooggewicht (DG) gedurende de slibaccumulatieproef bij verschillende stroomsnelheden.
- 4 Ontwikkeling van het drooggewicht (DG) gedurende de slibaccumulatieproef in de donkere goten bij verschillende stroomsnelheden.
- 5 Verloop van de accumulatie van materiaal in de stroomgoten. De drooggewichten van de langzaam stromende (6 en 7 cm s⁻¹) en van de snelstromende goten (15, 20 en 35 cm s⁻¹) zijn gemiddeld
- 6 Per stroomsnelheid de ontwikkeling van de hoeveelheid slib en algen in de loop van de slibaccumulatieproef.
- 7 a-Chlorophyl-a gehalte ($\mu\text{g g}^{-1}$ droge stof) in de lichte goten op dag 8 en 32 van de slibaccumulatieproef bij verschillende stroomsnelheden.
b-Chlorophyl-a gehalte ($\mu\text{g g}^{-1}$ droge stof) in de donkere goten op dag 8 en 32 van de slibaccumulatieproef bij verschillende stroomsnelheden.
- 8 Chlorofylgehalte per cm² bij verschillende stroomsnelheden in de lichte en de donkere goten op dag 8 en 32.
- 9 a-Verhouding tussen het faeofytine en het chlorofyl-a gehalte in de lichte goten op dag 8 en 32 van de slibaccumulatieproef bij verschillende stroomsnelheden.
b-Verhouding tussen het faeofytine en het chlorofyl-a gehalte in de donkere goten op dag 8 en 32 van de slibaccumulatieproef bij verschillende stroomsnelheden.
- 10 Verloop van de stroomsnelheid in de lengterichting van de stroomgoten (per goot n = 3).
- 11 Gemiddelde stroomsnelheden in de stroomgoten tijdens de kolonisatie-periode voor de erosieproef en tijdens de erosieproef (a) en de gemiddelde drooggewichten (b).
- 12 Drooggewichten (mg mm⁻²) van het geaccumuleerde materiaal aangetroffen op tegels tijdens deze studie en een studie van Klink (in prep.) in 1993.
- 13 Accumulatie van chlorofyl volgens een regressie analyse uitgevoerd op de gegevens van een 14 dagen durende proef waarbij de algengroei bij verschillende stroomsnelheden en fosfaatgehalten is gemeten (uit: Horner & Welch, 1981).

Tabellen

- I Gemiddelde stroomsnelheden ($\pm$ standaardafwijking) waaraan de tegels in de stroomgoten tijdens de slibaccumulatieproef aan blootgesteld zijn.
- II Gemiddelde stroomsnelheden ($\pm$ standaardafwijking) waar de tegels in de stroomgoten tijdens de erosieproef aan blootgesteld zijn.
- III Gemiddelde hoeveelheid geaccumuleerd slib (DG-ADG in g/tegel) in de lichte en donkere stroomgoten op dag 16 en 32. Tevens uitgedrukt als de verhouding tussen de lichte en de donkere goten én de verhouding tussen de langzaam ($6 \text{ en } 7 \text{ cm s}^{-1}$) en de snelstromende ($15, 20 \text{ en } 35 \text{ cm s}^{-1}$) stroomgoten. Gem.= gemiddelde; de verhoudingsgetallen zijn vetgedrukt.
- IV Kluster-analyse van de algensoorten die aangetroffen zijn bij verschillende stroomsnelheden bij de slibaccumulatieproef op dag 8 (a) en op dag 32 (b) .
- V Gemiddelde stroomsnelheid en drooggewicht in de stroomgoten tijdens de kolonisatie-periode voor de proef en gedurende de erosieproef. Tevens is het verschil in stroomsnelheid en drooggewicht weergegeven (DG ook in percentages t.o.v. van het gewicht voor de erosieproef).

Bijlagen

- I Drooggewichten en asvrijdrooggewichten van het materiaal aangetroffen op de afzonderlijke tegels tijdens de proeven in de stroomgoten.
- II Chlorofyl-a en faeofytinegehaltes van de afzonderlijke tegels bemonsterd op dag 8 en 32 van de slibaccumulatieproef.
- III Soortensamenstelling van de algen van monsters genomen op dag 8 en 32 van de slibaccumulatieproef.
- IV Drooggewichten en asvrijdrooggewichten van de monsters van de erosieproef. A- voor de erosie en B- na de erosie.

Summary

In the "Future for a gravel river" Nature Development Project (Helmer *et al.*, 1991), drawn up on behalf of a more ecologically responsible gravel reclamation along the Grensmaas, changes in the river bed are being proposed, such as lowering the floodplain and widening the river bed. When these measures are carried out, many positive changes will take place in and around this piece of river in its middle reaches with regard to the specific flora and fauna whose habitat is the gravel bed. Presently, large parts of the gravel bed of the Grensmaas are covered with a layer of algae and silt, especially in the summer. The execution of the nature development project will increase the number of spots in the Grensmaas that sheltered from the current. This is expected to increase silt precipitation on the river bed, which could have a negative influence on the development of the characteristic flora and fauna.

Benthic algae have been found to play an important role in "catching" silt. Little is known, however, about the combination of different factors in the case of silt accumulation. The following questions are dealt with in this report:

- What is the interactive effect of rate of flow and algae increase on silt accumulation?
- What is the role of benthic algae in silt accumulation?
- How does a change in the rate of flow affect the erosion of accumulated silt?
- What are the consequences of the results of this study for organising the Grensmaas?

Colonisation by benthic algae and the accumulation and erosion of silt was studied on an artificial adherent surface with different rates of flow in flow ducts at the Borgharen sluice. The higher the rate of flow in the flow ducts the less material accumulates. In the presence of benthic algae, considerably more silt accumulated in the case of higher rates of flow than in their absence. A sudden increase in the rate of flow led in a number of cases to more than half of the material present being washed away. The following conclusions were drawn on the basis of these experiments:

- In the case of rates of flow of 15 cm s^{-1} and higher, a factor of 4 to 6 less silt accumulated in the presence of algae than with rates of flow of $\pm 6 \text{ cm s}^{-1}$.
- Without algae, with rates of flow of 15 cm s^{-1} and higher, a factor of 5 to 12 less material accumulates than with rates of flow of $\pm 6 \text{ cm s}^{-1}$.
- With rates of flow of $20\text{-}35 \text{ cm s}^{-1}$ in the Grensmaas, benthic algae play a crucial role in the development of a silt layer on the gravel. With these rates of flow, 3 times more silt accumulates with algae than without them.

By increasing the rate of flow in the Grensmaas, e.g. by introducing accelerations in the rate of flow, the accumulation of silt can decrease locally, but for the Grensmaas as a whole other measures will also be necessary. A considerable reduction of both the nutrition level and of the silt problem in the Meuse water is necessary to decrease the algae growth and silt accumulation in the Grensmaas. To this end, it is necessary to purify the sewage water of several large Belgian cities upstream of the Grensmaas. The reduction in the nutrient level could also lead to a shift in the configuration of types of algae - from types that attract a lot of silt because of their make-up to types that attract less silt.

List of figures and tables

Figures

- 1 Overview (left) and detail (right) of the flow duct structure at Borgharen sluice.
- 2 Position of the tiles in a flow duct during the experiments.
- 3 Development of the dry weight (DW) during the silt accumulation test with various rates of flow.
- 4 Development of the dry weight (DW) during the silt accumulation test in the dark troughs with various rates of flow.
- 5 Progress of the accumulation of material in the flow ducts. The dry weights of the slow-flowing (6 and 7 cm s⁻¹) and fast-flowing (15, 20 and 35 cm s⁻¹) troughs are averages.
- 6 Per rate of flow, the development of the amount of silt and algae during the silt accumulation test.
- 7 a-Chlorophyll-a level ($\mu\text{g g}^{-1}$ dry material) in the light troughs on days 8 and 32 of the silt accumulation test with various rates of flow.
b-Chlorophyll-a level ($\mu\text{g g}^{-1}$ dry material) in the dark troughs on days 8 and 32 of the silt accumulation test with various rates of flow.
- 10 Progress of the rate of flow in the longitudinal direction of the flow ducts (per trough $n = 3$).
- 11 Average rates of flow in the flow ducts during the colonisation period before the erosion test and during the erosion test (a) and the average dry weights (b).
- 12 Dry weights (mg mm^{-2}) of the accumulated material encountered on tiles during this study and a study carried out by Klink (in prep.) in 1993.
- 13 Accumulation of chlorophyll according to a regression analysis carried out on the data of a 14-day test, in which the algae growth was measured for different rates of flow and phosphate levels (from: Horner & Welch, 1981).

Tables

- I Average rates of flow ($\pm$ standard deviation) to which the tiles in the flow ducts were exposed during the silt accumulation test.
- II Average rates of flow ($\pm$ standard deviation) to which the tiles in the flow ducts were exposed during the erosion test.
- III Average amount of accumulated silt (DG-ADG in g/tile) in the light and dark flow ducts on days 16 and 32. Also expressed as the relationship between the light and dark troughs and the relationship between the slow-flowing (6 and 7 cm s⁻¹) and fast-flowing (15, 20 and 35 cm s⁻¹) troughs. Gem. = average; the relationship figures are in boldface type).
- IV Cluster analysis of the algae types encountered in the case of different rates of flow during the silt accumulation test on day 8 (a) and on day 32 (b).
- V Average rate of flow and dry weight in the flow ducts during the colonisation period before the test and during the erosion test. The difference in rate of flow and dry weight are also displayed (DG also in percentages with respect to the weight before the erosion test.)

Appendices

- I Dry weights and ash-free dry weights of the material encountered on the individual tiles during the tests in the flow ducts.
- II Chlorophyll-a and phaeophytine levels of the individual tiles sampled on days 8 and 32 of the silt accumulation test.
- III Type configuration of the algae from samples taken on days 8 and 32 of the silt accumulation test.
- IV Dry weights and ash-free dry weights of the samples of the erosion test. A = before erosion and B = after erosion.

Résumé

Le projet de développement de la nature 'L'avenir pour un fleuve graveleux' (Helmer et al., 1991), établi en faveur d'une exploitation de graviers le long de la Grensmaas, qui soit mieux justifiée écologiquement, propose des modifications au lit du cours d'eau, telles que l'abaissement du lit majeur et l'élargissement du lit fluvial. Suite à la réalisation des mesures citées, beaucoup de choses changeront dans et autour de ce segment du cours de milieu, et ce, en faveur des flore et faune spécifiques faisant partie d'un lit graveleux. Actuellement, de grandes parties du lit graveleux de la Grensmaas sont, surtout l'été, recouvertes d'une couche d'algues et de vase. La réalisation du projet de développement de la nature devrait entraîner une augmentation du nombre d'endroits à l'abri du courant dans la Grensmaas. De ce fait, on s'attend à une augmentation du dépôt de vase dans le lit de la Grensmaas. Ce qui pourrait nuire au développement des flore et faune caractéristiques. Les algues benthiques semblent jouer un rôle important dans la 'capture' de la vase. Cependant, on ignore presque tout de l'interaction de différents facteurs à l'accumulation de la vase. Dans ce rapport, sont traitées les questions suivantes :

- Quel est l'effet interactif de la vitesse du courant et de la croissance des algues sur l'accumulation de la vase?
- Quel est le rôle des algues benthiques à l'accumulation de la vase?
- Quel est l'influence d'un changement de vitesse du courant sur l'érosion de la vase accumulée?
- Quelles sont les conséquences des résultats de cette étude pour l'aménagement de la Grensmaas?

La colonisation par des algues benthiques ainsi que l'accumulation et l'érosion de la vase ont été étudiées sur une surface d'adhérence artificielle à différentes vitesses du courant dans des goulottes, dans l'écluse de Borgharen.

Plus la vitesse du courant était élevée dans les goulottes, moins il y avait de capture de matériaux. En présence d'algues benthiques, on a constaté qu'à des vitesses du courant élevées, la capture de vase était beaucoup plus grande que sans algues. Une augmentation soudaine de la vitesse du courant a abouti, dans plusieurs cas, à l'entraînement de plus de la moitié des matériaux présents. Ces expériences ont permis de tirer les conclusions suivantes :

- A des vitesses du courant de 15 cm s^{-1} et plus, en présence d'algues, il s'accumule **moins** de vase (facteur de 4 à 6) qu'à des vitesses du courant de $\pm 6 \text{ cm s}^{-1}$.
- A des vitesses du courant de 15 cm s^{-1} et plus, sans algues, il s'accumule **moins** de matériaux (facteur 5 à 12) qu'à des vitesses du courant de $\pm 6 \text{ cm s}^{-1}$.
- Les algues benthiques jouent dans la Grensmaas, à des vitesses du courant de 20 à 35 cm s^{-1} , un rôle crucial à l'apparition d'une couche de vase sur le gravier. A ces vitesses du courant, il est capté avec des algues 3 fois plus de vase que sans algues.

En augmentant la vitesse du courant dans la Grensmaas, par exemple en aménageant des accélérations de courant (rapides), on pourra réduire localement l'accumulation de vase, mais pour la Grensmaas dans son entier, des mesures supplémentaires s'imposent. Pour réduire la croissance des algues et l'accumulation de vase dans la Grensmaas, il est nécessaire qu'il y ait une réduction considérable tant de la teneur en nutriments que de la charge, due à la vase, de l'eau de la Meuse. Pour ce faire, il faut épurer les eaux usées de quelques grandes villes belges qui se trouvent en amont de la Grensmaas. La réduction de la teneur en nutriments pourrait aussi entraîner un glissement dans la composition des sortes d'algues ; de sortes captant beaucoup de vase de par leur forme vers des sortes captant moins de vase.

Liste des figures et tableaux

Figures

- 1 Aperçu (à gauche) et détail (à droite) de la disposition des goulottes dans l'écluse de Borgharen.
- 2 Situation des dalles dans une goulotte pendant les expériences.
- 3 Développement du poids de matières sèches (DG) pendant l'essai d'accumulation de vase à différentes vitesses du courant.
- 4 Développement du poids de matières sèches (DG) pendant l'essai d'accumulation de vase dans les goulottes obscures à différentes vitesses du courant.
- 5 Evolution de l'accumulation de matériaux dans les goulottes. Les poids de matières sèches des goulottes à courant lent (6 et 7 cm s⁻¹) et à courant rapide (15, 20 et 35 cm s⁻¹) sont exprimés en moyenne.
- 6 Par vitesse du courant, développement de la quantité de vase et d'algues au cours de l'essai d'accumulation de vase.
- 7 Teneur en a-chlorophylle-a (µg g⁻¹ matières sèches) dans les goulottes claires les jours 8 et 32 de l'essai d'accumulation de vase à différentes vitesses du courant.
Teneur en b-chlorophylle-a (µg g⁻¹ matières sèches) dans les goulottes obscures les jours 8 et 32 de l'essai d'accumulation de vase à différentes vitesses du courant.
- 8 Teneur en chlorophylle par cm² à différentes vitesses du courant dans les goulottes claires et obscures les jours 8 et 32.
- 9 a-Rapport entre les teneurs en phaéophytine et en chlorophylle-a dans les goulottes claires les jours 8 et 32 de l'essai d'accumulation de vase à différentes vitesses du courant.
b-Rapport entre les teneurs en phaéophytine et en chlorophylle-a dans les goulottes obscures les jours 8 et 32 de l'essai d'accumulation de vase à différentes vitesses du courant.
- 10 Evolution de la vitesse du courant dans le sens longitudinal des goulottes (par goulotte n = 3).
- 11 Vitesses moyennes du courant dans les goulottes pendant la période de colonisation avant et pendant l'essai d'érosion (a) et poids moyens de matières sèches (b).
- 12 Poids de matières sèches (mg mm⁻²) des matériaux accumulés trouvés sur les dalles pendant cette étude et une étude de Klink (en prép.) en 1993.
- 13 Accumulation de chlorophylle suivant une analyse de régression réalisée sur les données d'un essai de 14 jours où la croissance des algues a été mesurée à différentes vitesses du courant et teneurs en phosphates.

Tableaux

- I Vitesses moyennes du courant ($\pm$ écart standard) auxquelles les dalles ont été exposées dans les goulottes pendant l'essai d'accumulation de vase.
- II Vitesses moyennes du courant ($\pm$ écart standard) auxquelles les dalles ont été exposées dans les goulottes pendant l'essai d'érosion.
- III Quantité moyenne de vase accumulée (DG-ADG en g/dalle) dans les goulottes claires et obscures les jours 16 et 32. Exprimée aussi comme le rapport entre les goulottes claires et obscures plus le rapport entre les goulottes à courant lent (6 et 7 cm s⁻¹) et les goulottes à courant rapide (15, 20 et 35 cm s⁻¹). Gem. = moyenne ; les rapports sont imprimés en gras.
- IV Analyse de Kluster des sortes d'algues qui ont été trouvées à différentes vitesses du courant lors de l'essai d'accumulation de vase les jours 8(a) et 32(b).
- V Vitesse moyenne du courant et poids de matières sèches dans les goulottes pendant la période de colonisation avant l'essai et pendant l'essai d'érosion. En même temps, est indiquée la différence de vitesse du courant et de poids de matières sèches (DG aussi en pourcentages par rapport au poids avant l'essai d'érosion).

Annexes

- I Poids de matières sèches et poids de matières sèches sans cendres (ADG) des matériaux trouvés sur les dalles séparées pendant les essais dans les goulottes.
- II Teneurs en chlorophylle-a et en phaeophytine des dalles séparées, prélevées les jours 8 et 32 de l'essai d'accumulation de vase.
- III Composition des sortes d'algues d'échantillons pris les jours 8 et 32 de l'essai d'accumulation de vase.
- IV Poids de matières sèches et poids de matières sèches sans cendres des échantillons de l'essai d'érosion. A- avant l'érosion et B- après l'érosion.

1 Inleiding

In opdracht van de Provincie Limburg is door bureau Stroming voor de Maas van Eijsden tot Kessel het Natuurontwikkelingsproject 'Toekomst voor een grindrivier' opgesteld. Met de in dit natuurontwikkelingsproject voorgestelde veranderingen van het stroombed van de Grensmaas, zoals weerdverlagingen en stroombedverbredingen zal in en rond dit stuk middenstroomrivier veel veranderen ten gunste van de specifieke flora en fauna (Helmer *et al.*, 1991).

Grote gedeelten van het stroombed van de Grensmaas zijn, in ieder geval gedurende de zomerperiode, bedekt met een laag algen en slib variërend van 1 tot 2 mm dikte afhankelijk van de stroomsnelheid (Klink, in prep.). Met de uitvoering van genoemd Natuurontwikkelingsproject zal o.a. het aantal stroomluwe plekken in de Grensmaas toenemen. Hierdoor zal de slibbezinking in het stroombed van de Grensmaas aanzienlijk veranderen en mogelijk toenemen. Het huidige harde grindsubstraat van de rivier zal hierdoor plaatsmaken voor een zacht slibsubstraat, hetgeen de karakteristieke flora en fauna die bij een grindrivier hoort kan benadelen. Benthische algen lijken een rol te spelen bij het 'invangen' van slib. Met betrekking tot het werkingsmechanisme en de afzonderlijke factoren die een rol spelen bij slibaccumulatie is echter weinig bekend. In dit project (project B11 Kerkhofs, in prep.) wordt ingegaan op de volgende vragen:

- Wat is het interactief effect van stroomsnelheid en algenaangroei op slibaccumulatie?
- Wat is de rol van benthische algen bij de slibaccumulatie?
- Wat is de invloed van een stroomsnelheidsverandering op de erosie van geaccumuleerd slib?
- Wat zijn de consequenties van de uitkomsten van dit onderzoek voor de inrichting van de Grensmaas?

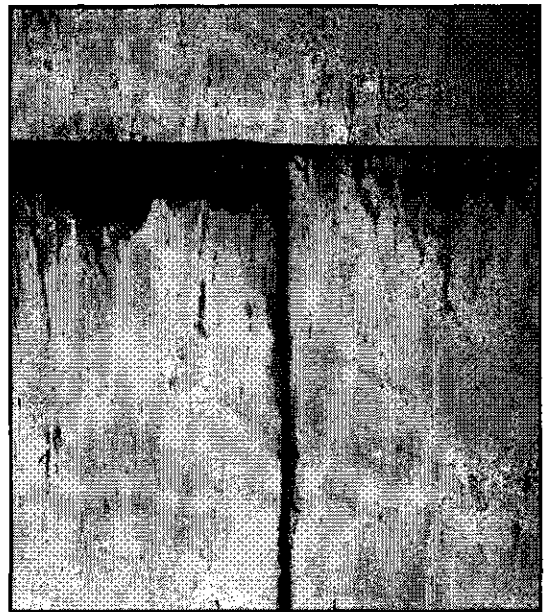
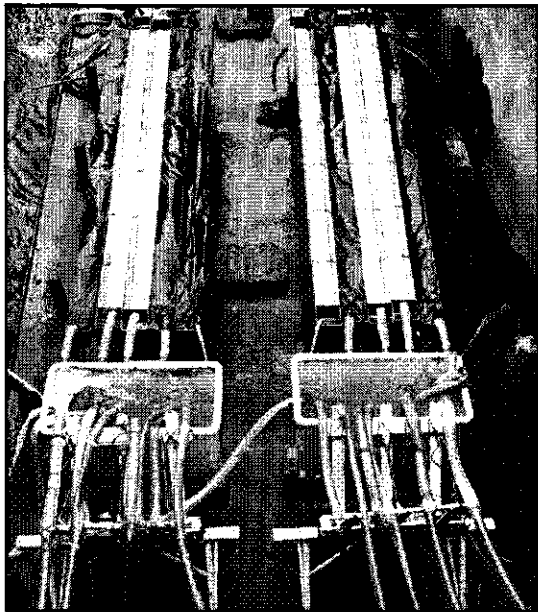
De kolonisatie van benthische algen en de accumulatie van slib is onderzocht in tien experimentele stroomgoten met verschillende stroomsnelheden. Verwacht werd dat boven bepaalde stroomsnelheden nauwelijks meer aangroei van algen en accumulatie van slib¹ zou optreden. In afwezigheid van algen zou dat bij een lagere stroomsnelheid zijn. Met behulp van een erosieproef, in stroomgoten, is het lot van het geaccumuleerde materiaal bij een verandering van de stroomsnelheid onderzocht.

¹In dit rapport wordt met het woord slib steeds het anorganische deel van het opgehoopte materiaal bedoeld.

2 Materiaal en methoden

2.1 Slibaccumulatie bij verschillende stroomsnelheden met en zonder algen

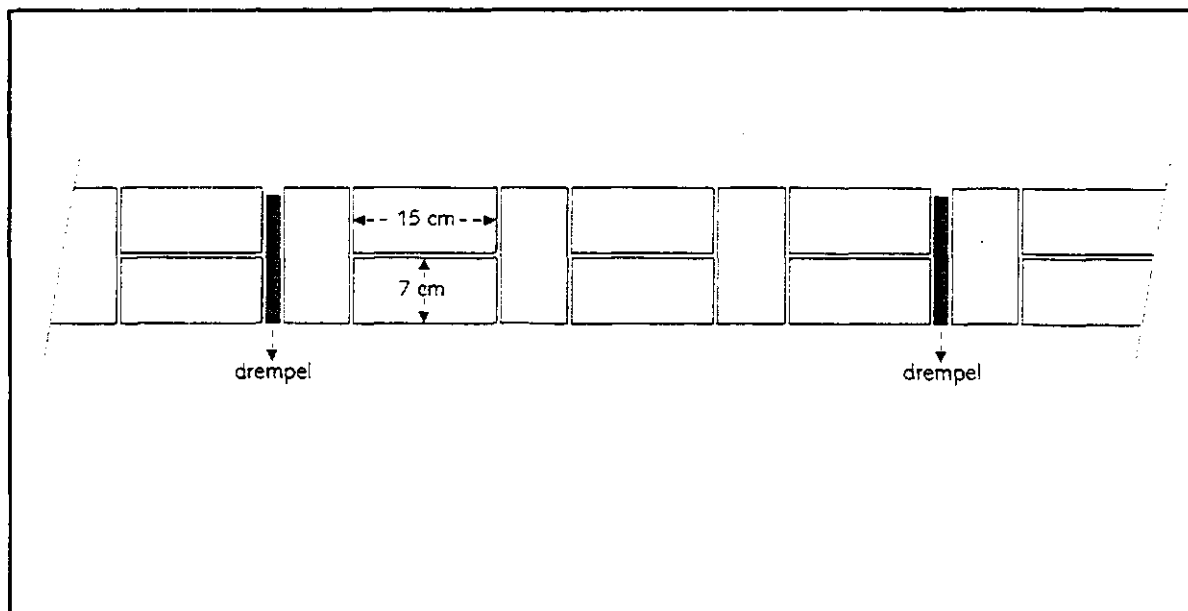
In de sluis van Borgharen (7,5 m x 55 m) is op een dekschuit (3,65 x 15 m) een opstelling gemaakt met 10 stroomgoten (figuur 1). De aanvoer van Maaswater geschiedde via een hevel over de sluisdeuren. Op de rechte stukken van de hevel zijn siliconenslangen (ϕ 60 mm) gebruikt. Voor de bocht in de hevel, over de sluisdeur, zijn gebogen PVC stukken in de siliconenslang gezet. Het water werd opgevangen in twee bakken (polyethyleen 60 x 60 x 120 cm). Iedere bak was voorzien van drie kogelkranen (type 346; 2 stuks ϕ 63 mm en 1 ϕ 32 mm). Van de twee grote kranen was de afvoer gesplitst, zodat ieder opvangbak vijf goten voedde met water. Omdat het water in de bakken in beweging moest blijven -om samenklontering van slib te voorkomen- was de aanvoer van water naar de bakken groter dan de afvoer via de goten, de bakken waren voorzien van een overloop. Aan het uiteinde van iedere stroomgoot zat een schuifje waarmee de waterdiepte in de goot bij verschillende afvoeren geregeld kon worden. Bij de inlaat van het water bevond zich eveneens een schuifje zodat het water over de hele breedte van de goot plaatsvond. De stroomgoten waren 5 meter lang, de onderkant was 16 cm breed en de bovenkant 20 cm, de opstaande rand was 20 cm hoog. Aan het uiteinde van de stroomgoten werd het water opgevangen in twee bakken en via slangen in de sluis afgevoerd.



Figuur 1 Overzichtsfoto van de stroomgoten opstelling op de dekschuit in sluis Borgharen (links). Slib en algengroei op tegels in één van de stroomgoten (rechts).

In iedere stroomgoot waren aaneengesloten vloertegels van 7,5 cm x 15 cm x 0,8 cm op de bodem gelegd met de geglazuurde kant naar boven. Kleine drempeltjes (hoogte 6 mm en 3 cm breed) op de bodem van de goten zorgden ervoor dat de tegels op hun

plaats bleven liggen. De te bemonsteren tegels lagen twee aan twee in de lengterichting van de goten, in totaal twintig rijen (figuur 2).



Figuur 2 Ligging van de tegels in een stroomgoot tijdens de experimenten.

Na twee tegels in de lengterichting lag één tegel dwars in de goot, deze dwarse tegels zijn niet bemonsterd. Tijdens het nemen van een monster kon de stroomafwaarts liggende tegel beïnvloed worden (om het oppervlak aan niet te bemonsteren tegels in de stroomgoten zo klein mogelijk te maken werden deze tegels dwars gelegd). De eerste twee rijen tegels van de stroomgoten, vlakbij het instromende water, en de laatste twee rijen tegels, bij de afvoer, zijn niet bemonsterd.

Op 1, 2, 4, 8, 16 en 32 dag(en) na de start van het experiment werden uit iedere stroomgoot *at random* 4 tegels verwijderd voor analyses. Bij het verwijderen van een tegel nam de weerstand die het stromende water van de 'bodem' ondervond toe, de ruwheid van de 'bodem' werd plaatselijk hoger. Hierdoor nam de stroomsnelheid in de onderste lagen af wat een toename van sedimentatie tot gevolg had.

Van iedere gemonsterde tegel is het drooggewicht (DG) en het asvrijdrooggewicht (ADG) bepaald. Vanwege de hoge kosten van de analyses is de soortensamenstelling van de algen (sosa) en het chlorofyl-a tijdens het experiment slechts twee maal bepaald (op dag 8 en 32).

Periodiek is de stroomsnelheid op verschillende posities in de goten gemeten (MMI model 2000 flomate van Marsh-McBirney). Met deze getallen is per goot de gemiddelde stroomsnelheid bepaald. Door lineaire interpolatie zijn de stroomsnelheden op de tussen liggende posities bepaald.

Om de slibaccumulatie met en zonder algen te volgen werd de helft van de stroomgoten afgedekt met zwart landbouwplastic, waardoor in deze 'donkere' goten geen algen konden groeien. In tabel I is de opzet van het experiment weergegeven.

Tabel I Gemiddelde stroomsnelheden ($\pm$ standaardafwijking) waaraan de tegels in de stroomgoten tijdens de slibaccumulatieproef aan blootgesteld zijn.

slibaccumulatie stroomgootnummer	1	2	3	4	5
stroomsnelheid (cm s^{-1})*	20 (1)	15 (2)	6 (3)	7 (2)	35 (4)

* De stroomsnelheid is alleen in de lichte goten gemeten. Aangenomen werd dat de stroomsnelheden in de afgedekte goten gelijk zijn aan die in de niet afgedekte goten.

De stroomsnelheden zijn op drie verschillende posities in de aan licht blootgestelde stroomgoten gemeten waarbij ervan uitgegaan werd dat de stroomsnelheid in de donkere goten hetzelfde was. Op elke positie werden drie metingen uitgevoerd.

2.2 Erosieproef

Op dezelfde wijze als bij de hiervoor beschreven accumulatieproef zijn de tegels in de stroomgoten gelegd (zie § 2.1). In alle tien de stroomgoten was de stroomsnelheid tijdens de drie weken koloniseren ongeveer hetzelfde, nl. $9\text{--}16 \text{ cm s}^{-1}$ (tabel II). Na deze kolonisatie-periode zijn uit iedere goot vier tegels bemonsterd. De stroomsnelheden zijn op vier verschillende posities in de stroomgoten gemeten en op elke positie werden drie metingen uitgevoerd.

Tabel II Gemiddelde stroomsnelheden ($\pm$ standaardafwijking) waaraan de tegels in de stroomgoten tijdens de erosieproef zijn blootgesteld.

VOOR EROSIE*										
stroomgootnummer	1A	1B	2A	2B	3A	3B	4A	4B	5A	5B
stroomsnelheid (cm s^{-1})	13 (1)	14 (1)	11 (2)	10 (1)	12 (1)	12 (1)	11 (2)	16 (5)	9 (2)	12 (3)
TIJDENS EROSIE*										
stroomsnelheid (cm s^{-1})	15 (2)	18 (1)	34 (2)	27 (2)	12 (2)	14 (3)	23 (2)	25 (4)	7 (1)	6 (2)

* tijdens deze proef zijn alle stroomgoten blootgesteld aan licht

Nadat de monsters genomen waren werd de stroomsnelheid veranderd.

- in vier goten werd de stroomsnelheid verhoogd (2A, 2B, 4A en 4B),
- in twee verlaagd (5A en 5B) en
- in vier goten bleef de stroomsnelheid ongeveer hetzelfde (1A, 1B, 3A en 3B).

Eén dag na de verandering van de stroomsnelheid zijn weer uit iedere goot vier tegels bemonsterd, waarna de proef is afgesloten.

Van het materiaal op de bemonsterde tegels is het drooggewicht (DG) en asvrijdrooggewicht (ADG) bepaald.

2.3 Behandeling monsters en analyses

2.3.1 Drooggewicht - asvrijdrooggewicht

De tegels die bemonsterd waren werden ieder afzonderlijk in een plastic zak verpakt voorzien van een etiket en in een koelbox met koelelementen naar een diepvries vervoerd waarin ze bij -20°C bewaard werden tot transport. De in kartonnen dozen verpakte tegels zijn in bevroren toestand met een koelauto getransporteerd en tot verwerking bij -20°C bewaard.

Van de tegel werd -in de zak- eerst zoveel mogelijk materiaal afgespoten met leidingwater. Daarna werd de tegel boven een bekersglas verder afgeborsteld en afgespoten. Het in water gesuspenderde materiaal uit zak en bekersglas werd onder licht drukverschil afgefiltreerd op een voorbehandeld GF/F-filter (glasvezelfilter, Whatman, ϕ 47 mm). Bij de monsters van dag 16 en 32 werd eerst zoveel mogelijk geaccumuleerd materiaal van de tegel geschraapt en in een apart aluminium bakje gedaan. De rest werd afgeborsteld in een bekersglas en afgefiltreerd op een GF/F-filter.

Daarna werd het filter in aluminiumfolie gevouwen en voorzien van het monsternummer. Binnen twee uur na deze behandeling werden de monsters verder verwerkt. Alle wegingen zijn verricht op een elektronische balans, 0,1 mg nauwkeurig.

Voorbehandeling GF/F-filters: 10 uur uitgedroogd bij 475°C ; 5 minuten gedestilleerd water uitgespoeld en $1\frac{1}{2}$ uur gedroogd door incubatie bij 75°C ; daarna gewogen en opgeborgen in aluminiumfolie.

De GF/F-filters met afgefiltreerd materiaal werden gedroogd bij 110°C gedurende 6 uur. Na deze droogtijd nam het gewicht niet verder af. Binnen 10 minuten na deze behandeling werden de filters gewogen (G_{droog}). Het drooggewicht (DG) werd bepaald door:

$$\text{DG} = G_{\text{droog}} - G_{\text{filter}}$$

de gedroogde GF/F-filters werden verast bij 600°C gedurende 1 uur. Binnen 15 minuten na deze behandeling werd het gewicht van G_{as} (de asresten) bepaald.

De gloeirest (GLR) werd als volgt berekend:

$$\text{GLR} = G_{\text{as}} - G_{\text{filter}}$$

Het asvrijdrooggewicht (ADG) werd vervolgens berekend uit:

$$\text{ADG} = \text{DG} - \text{GLR}$$

2.3.2. Chlorofyl-a en faeofytinegehalte

Ter controle van het gedeelte van de slibaccumulatieproef dat in het donker uitgevoerd is, werd tijdens de proefperiode tweemaal het chlorofylgehalte in de stroomgoten bepaald.

Voor het bepalen van het chlorofyl-a en het faeofytinegehalte (=afbraakproduct van chlorofyl-a) werden submonsters genomen van de tegels die bemonsterd waren voor de drooggewichtanalyses. Een submonster werd gevriesdroogd en overgebracht in een glazen centrifugebuisje, waaraan afhankelijk van de hoeveelheid sediment 5 - 15 ml 90% aceton werd toegevoegd om pigmenten te extraheren. Hierna werden de monsters achtereenvolgens krachtig geroerd op een Vortex ($\frac{1}{2}$ min.), getrild in een ultrasoonbad onder ijs en in het donker (5 min., HF-output ultrasoonbad 60 W, frequentie 47 kHz) en nogmaals een $\frac{1}{2}$ min. geroerd. Na een korte bezinktijd van 3 minuten onder ijs in het donker werd de bovenstaande vloeistof gecentrifugeerd (5 min, 3000 rpm) en het supernatant overgebracht in een met aluminiumfolie omwikkeld busje. Elk monster werd volgens ditzelfde tijdschema behandeld. Afhankelijk van de pigmentconcentratie bij oppervlakkige beschouwing werd het supernatant tot 10 maal verdund met 90% aceton en direct daarna op een HPLC-kolom gebracht.

Pigmenten werden kwantitatief gedetecteerd door het meten van de absorptie bij 436 nm (chlorofyl-a) en 452 nm (faeofytine) (detector: Pharmacia LKB VWM 2141), na scheiding via reverse-phase HPLC (Pharmacia LKB 2150 pompen met een 2252 LC controller), over een RSil C₁₈ kolom (Bio-rad RSL (150 x 4,6 mm (ID), korrelgrootte 5 μ m, 17% carbon) en volgens een binaire gradiënt (loopvloeistoffen: (A) methanol/acetonitril/0,5 M ammoniumacetaat/isopropanol, 60/20/15/5: (B) acetonitril/methanol/ethylacetat, 50/30/20). De gradiënt was ontwikkeld voor de scheiding van onder meer chlorofyl-a , chlorofyl-b en hun beide phaeofytinen.

Concentraties werden berekend uit de piek-oppervlakten bepaald met behulp van het softwarepakket Nelson Peak integrator. Het systeem was gecalibreerd voor de te detecteren pigmenten met behulp van externe standaarden, waarvan de concentraties spectrofotometrisch waren bepaald.

2.3.3 Soortensamenstelling

De monsters voor het bepalen van de soortensamenstelling zijn genomen als submonsters van de tegels die voor de drooggewichtanalyses bemonsterd werden. Deze monsters werden genomen tijdens het bemonsteren van de tegels voor het invriezen van de tegels. In het veld werd een buisje (ϕ 3,7 cm; hoogte 4,5 cm) op een tegel gezet en met behulp van een kwastje werd de aangroei op de tegel losgemaakt. Het losgemaakte materiaal werd met water in suspensie gebracht en opgezogen met een injectienaald waarna het in een geëtiketteerd potje werd gefixeerd (4% formaldehyde gebufferd met hexamethyleentetramine). Om aan het substraat gehechte organismen zoveel mogelijk te suspenderen werden de monsters gedurende een $\frac{1}{2}$ min. ondergedompeld in een ultrasoon bad (HF-output 60 W, frequentie 47 kHz). Eén ml van de suspensie werd vier tot tien keer verdund en vervolgens werd hiervan één ml gepipetteerd in een sedimentatiecuvet met een bodemoppervlak van 1,13 cm². Na een bezinktijd van minstens 4 uur werd het monster onderzocht met behulp van een omkeermicroscop (Olympus IMT-2) in helder veld bij een vergroting van 630-945x). Per monster werden minstens 200 individuen gedetermineerd in minimaal 10 beeldvelden.

2.4 Statistische verwerking gegevens

Met behulp van het statistische pakket Statgraphics 5.0 zijn gemiddelde en mediaan bepaald van de vier tegelmonsters per goot en per bemonsteringsdatum.

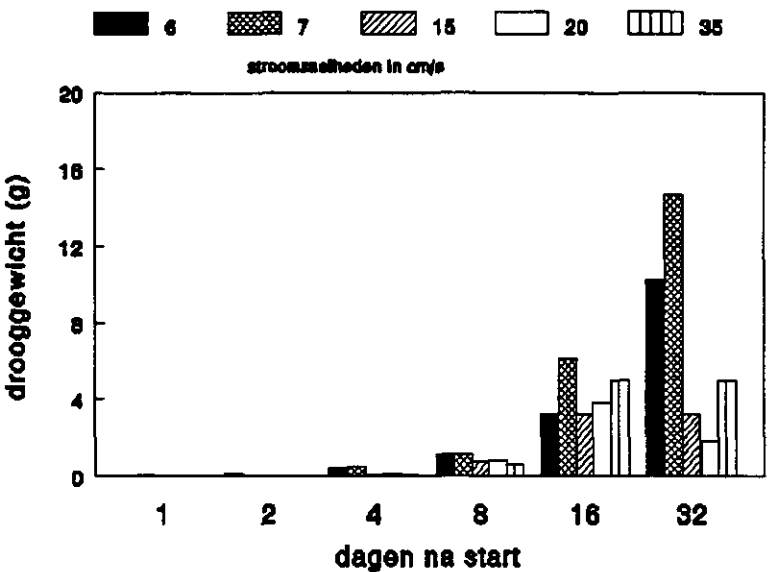
Op basis van de aangetroffen algendichtheden bij de verschillende stroomsnelheden is op het oog een grove klusteranalyse uitgevoerd.

3 Resultaten

3.1 Slibaccumulatieproef

3.1.1 Stroomsnelheid

In figuur 3 is het drooggewicht, van het op de tegels aangetroffen materiaal, bij verschillende stroomsnelheden uitgezet in de tijd (voor de onbewerkte gegevens zie bijlage I).



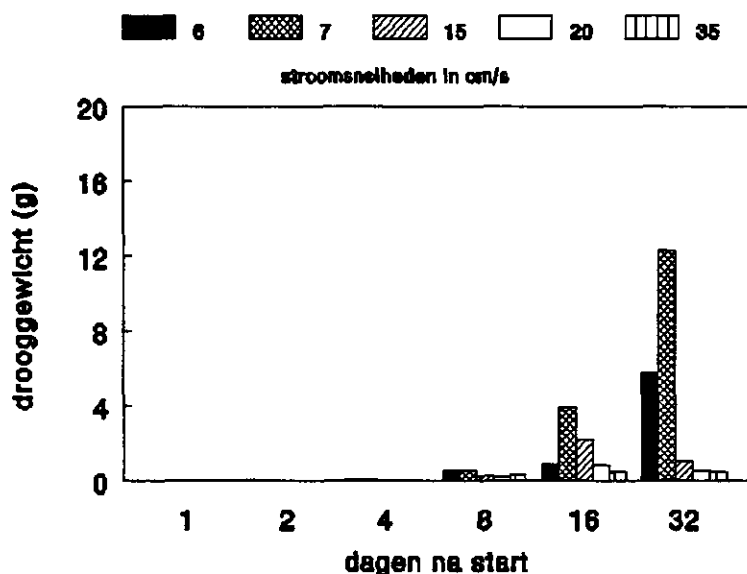
Figuur 3 Ontwikkeling van het drooggewicht (DG) gedurende de slibaccumulatieproef bij verschillende stroomsnelheden in de aan licht blootgestelde goten.

De toename van het drooggewicht verloopt in de stroomgoten met een stroomsnelheid van 6 en 7 cm s⁻¹ overeenkomstig. Na de start van de proef is bij deze relatief lage stroomsnelheden al na 4 dagen duidelijk accumulatie van materiaal te zien. Het drooggewicht in de langzaam stromende goten neemt gedurende de rest van de accumulatieproef snel toe. Nadat de laatste monsters genomen zijn, dag 32, is het drooggewicht in de langzaam stromende goten nog niet stabiel, er is nog geen evenwicht opgetreden in de accumulatie van materiaal.

Bij de stroomsnelheden van 15, 20 en 35 cm s⁻¹ verloopt de toename van het drooggewicht gedurende de eerste week van de proef duidelijk trager dan bij de langzaam stromende goten. Na dag 16 (30 juni) is het vrijwel stabiel drooggewicht stabiel.

3.1.2 Licht/donker

In figuur 4 is de ontwikkeling van het drooggewicht bij verschillende stroomsnelheden van de donkere goten in de tijd uitgezet.



Figuur 4 Ontwikkeling van het drooggewicht (DG) gedurende de slibaccumulatie proef in de donkere goten bij stroomsnelheden van 6, 7, 15, 20 en 35 cm s⁻¹.

In de donkere goten verloopt de accumulatie bij de verschillende stroomsnelheden vrijwel hetzelfde als in de aan licht blootgestelde goten, vergelijk figuur 3 en 4). Echter de hoeveelheid geaccumuleerd materiaal is in de donkere goten aanzienlijk lager dan in de aan licht blootgestelde.

Het drooggewicht was in de snelstromende donkere goten eerder stabiel dan in de lichte goten, nl. al na 8 dagen.

Zowel in de aan licht blootgestelde goten (figuur 3) als in de donkere goten (figuur 4) zijn twee groepen te onderscheiden die ongeveer eenzelfde accumulatie-verloop vertonen gedurende de proef, de groep met de hoge (15, 20 en 35 cm s⁻¹) en de groep met de lage stroomsnelheden (6 en 7 cm s⁻¹).

In tabel III zijn de verhoudingen in de hoeveelheid slib, hier uitgedrukt als het drooggewicht min het asvrijdrooggewicht (DG-ADG) (zie ook voetnoot 1 op blz 1), tussen de langzaam en snelstromende goten berekend voor dag 16 en 32. Tevens wordt in deze tabel de verhouding tussen de hoeveelheid geaccumuleerd slib in de aan licht blootgestelde goten ten opzichte van de donkere goten gegeven.

Tabel III Gemiddelde hoeveelheid geaccumuleerd slib (DG-ADG in g/tegel) in de lichte en donkere stroomgoten op dag 16 en 32 ($\pm 2 \times \text{SE}$). Tevens uitgedrukt als de verhouding tussen de lichte en de donkere goten én de verhouding tussen de langzaam (6 en 7 cm s⁻¹) en de snelstromende (15, 20 en 35 cm s⁻¹) stroomgoten. Gem.= gemiddelde en de verhoudingsgetallen zijn vetgedrukt.

DAG 16		licht		donker		verhouding licht/donker
		gem.		gem.		
stroomsnelheden (cm s ⁻¹)						
6		2,71 (0,85)		0,86 (0,19)		
7		5,39 (3,26)	4,05	1,46 (0,57)	1,16	3,49
15		2,92 (0,35)		0,85 (0,06)		3,44
20		3,49 (0,32)		0,84 (0,36)		4,16
35		4,63 (1,29)		0,48 (0,33)		9,65
verhouding	6/7:15	1,40		1,40		
langzaam/	6/7:20	1,16		1,40		
snel	6/7:35	0,87		2,41		

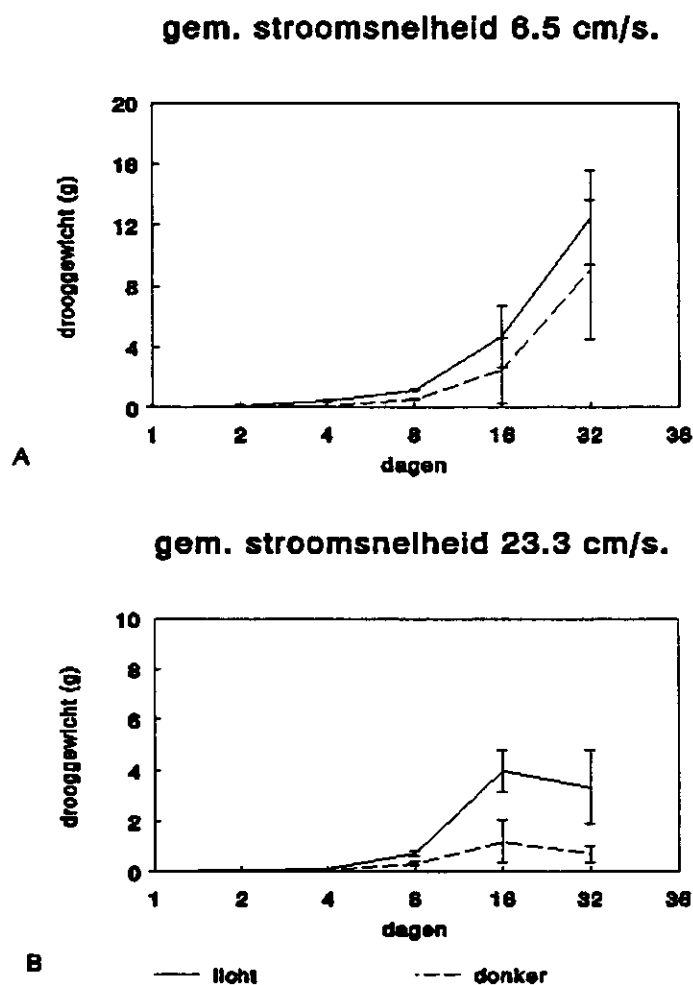
DAG 32		licht		donker		verhouding licht/donker
		gem.		gem.		
stroomsnelheden (cm s ⁻¹)						
6		8,86 (1,69)		3,37 (2,01)		
7		13,26 (4,85)	11,06	8,09 (5,42)	5,73	1,93
15		3,03 (0,55)		1,06 (0,57)		2,86
20		1,69 (0,31)		0,53 (0,07)		3,19
35		3,67 (2,78)		0,46 (0,44)		7,98
verhouding	6/7:15	3,65		5,41		
langzaam/	6/7:20	6,54		10,81		
snel	6/7:35	3,01		12,46		

In de langzaam stromende lichte goten is op dag 16 ongeveer evenveel slib aangetroffen als op de tegels in sneller stromende lichte goten (0,87 tot 1,40). Op dag 32 is op de tegels in de langzaam stromende goten 3 tot 6 keer zoveel slib aangetroffen dan in de snelstromende goten.

In de langzaam stromende donkere goten, zonder algen, werd op dag 16 ongeveer anderhalf keer (1,40 tot 2,41) meer slib aangetroffen dan in de sneller stromende donkere goten. Op dag 32 bleken de donkere langzaam stromende goten ongeveer 10 keer zoveel slib te bevatten (5,81 tot 12,46) dan de sneller stromende goten.

Vooraf op dag 32 is bij de hogere stroomsnelheden in de lichte goten aanzienlijk meer slib geaccumuleerd dan in de donkere goten. In de lichte goten met een stroomsnelheid van 15 en 20 cm s^{-1} accumuleerde ongeveer 3 keer zoveel slib (2,86 en 3,10) dan in de donkere, terwijl dat in de lichte goot met 35 cm s^{-1} bijna 8 keer zoveel was (7,98).

In figuur 5 is het verloop van de accumulatie van materiaal in de lichte en donkere goten weergegeven, waarbij de gegevens van de langzaam (6 en 7 cm s^{-1}) en snelstromende goten (15, 20 en 35 cm s^{-1}) zijn gemiddeld.

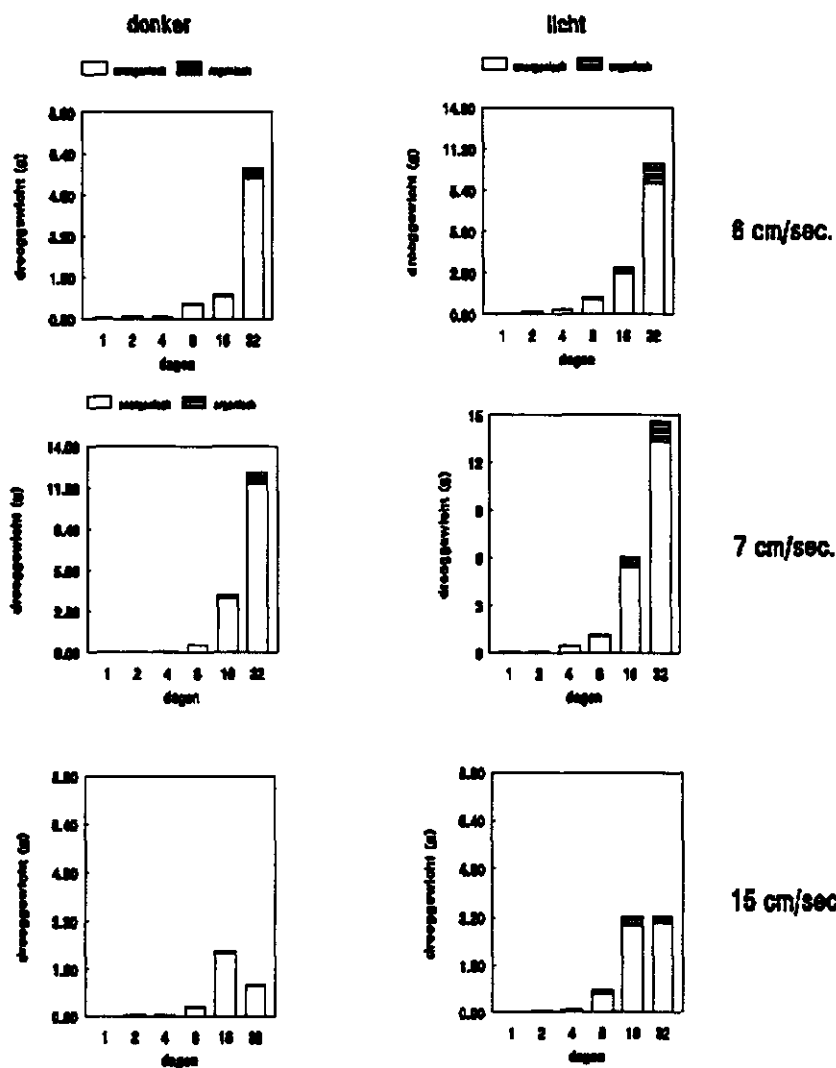


Figuur 5 Verloop van de accumulatie van materiaal in de stroomgoten. De drooggewichten van de langzaam stromende (6 en 7 cm s^{-1}) en van de snelstromende goten (15, 20 en 35 cm s^{-1}) zijn gemiddeld.

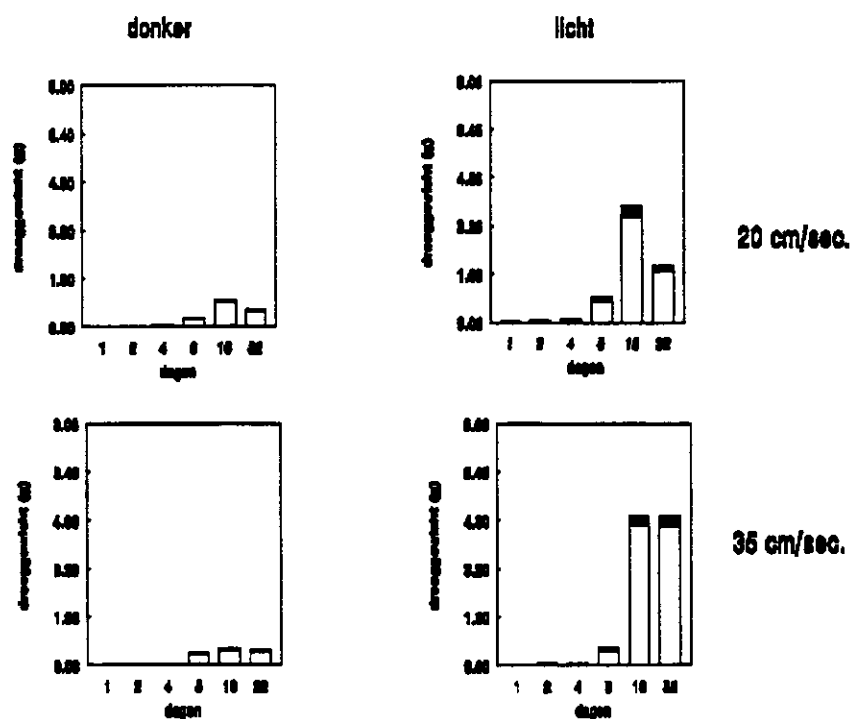
Uit deze figuur blijkt duidelijk dat bij de lage stroomsnelheden de kolonisatie van

materiaal eerder begint dan bij de sneller stromende goten. Bovendien gaat de accumulatie in de langzaam stromende goten na dag 32 nog door, terwijl het accumulatieproces in de snelstromende goten na dag 16 gestopt is en zelfs een beetje afneemt. In de snelstromende donkere goten trad na dag 8 een verminderde accumulatie van materiaal op.

In figuur 6 is per stroomsnelheid het slibgehalte (anorganisch deel van het drooggewicht) en de hoeveelheid algen (organisch deel van het drooggewicht=ADG) weergegeven voor de aan licht blootgestelde en de donkere goten gedurende de slibaccumulatieproef.



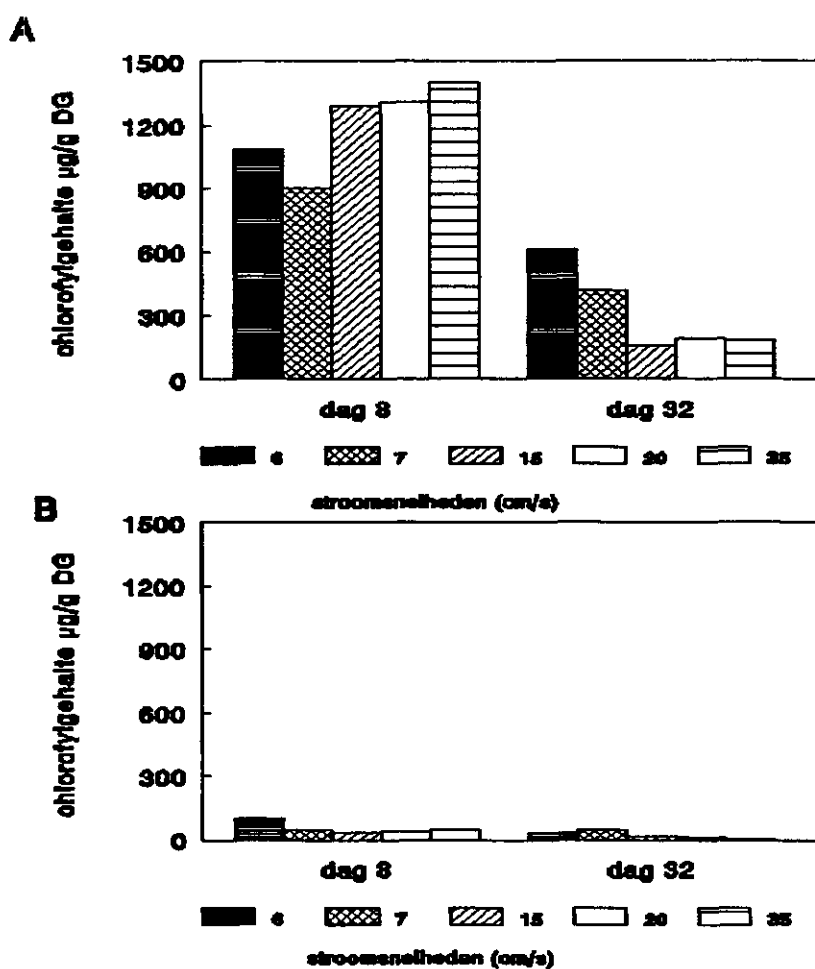
Figuur 6 Per stroomsnelheid de ontwikkeling van de hoeveelheid slib (anorganisch) en algen (organisch) tijdens de slibaccumulatieproef (z.o.z. voor vervolg).



Figuur 6 Per stroomsnelheid de ontwikkeling van de hoeveelheid slib (anorganisch) en algen (organisch) tijdens de slibaccumulatieproef.

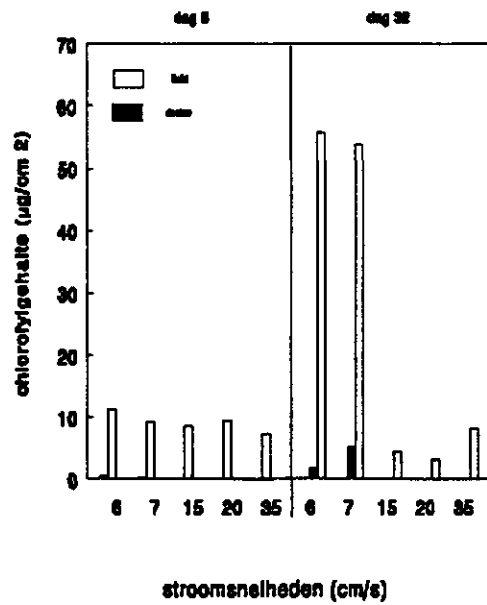
3.1.3 Chlorofyl- en faecofytinegehalte

In figuur 7 (a + b) zijn de chlorofyl-a (chl-a) gehalten ($\mu\text{g g}^{-1}$ DG) weergegeven. De monsters zijn uit de lichte en donkere stroomgoten genomen op de 8^{ste} en 32^{ste} dag van de slibaccumulatieproef. De onbewerkte gegevens zijn opgenomen in bijlage II.



Figuur 7 Chlorophyl-a gehalte ($\mu\text{g g}^{-1} \text{DG}$) in de goten op dag 8 en 32 van de slibaccumulatieproef bij verschillende stroomsnelheden. A- de lichte goten en B- de donkere goten.

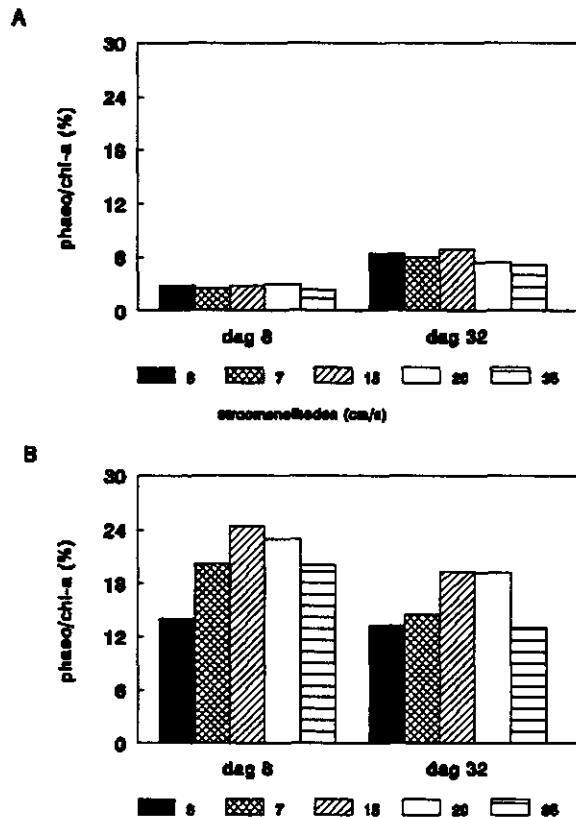
In de aan licht blootgestelde goten is het chlorofyl-a gehalte ongeveer een factor 10 hoger dan in de donkere goten. In zowel de lichte als in de donkere goten is bij alle stroomsnelheden het chlorofyl-a gehalte per g sediment op dag 32 lager dan op dag 8. Omdat de algen hoofdzakelijk op de bovenkant van het sediment groeien en de laag sediment in dikte toeneemt naarmate de proef langer loopt, geven deze figuren een vertekend beeld. In figuur 8 zijn de chlorofylgehalten op dag 8 en 32 van de lichte en de donkere goten per cm^2 uitgezet.



Figuur 8 Chlorofylgehalte per cm^2 bij verschillende stroomsnelheden in de lichte en de donkere goten op dag 8 en 32.

Op dag 8 zijn de chlorofylgehalten in alle aan licht blootgestelde goten ongeveer gelijk, ongeacht de verschillen in stroomsnelheid. Op dag 8 is het chlorofylgehalte in de donkere goten verwaarloosbaar klein. Per oppervlakte eenheid is het chlorofylgehalte in de snelstromende aan licht blootgestelde goten op dag 8 en 32 ongeveer gelijk. Zowel in de lichte als in de donkere langzaamstromende goten is het chlorofylgehalte op dag 32 aanzienlijk hoger dan op dag 8.

In figuur 9a en 9b is de verhouding tussen het faeofytine en het chlorofyl-a gehalte weergegeven in de lichte en de donkere goten bij verschillende stroomsnelheden.



Figuur 9 Verhouding tussen het faeofytine en het chlorofyl-a gehalte in de goten op dag 8 en 32 van de slibaccumulatieproef bij verschillende stroomsnelheden. A- de lichte goten en B- de donkere goten.

Uit de verhouding tussen het faeofytine- en het chlorofylgehalte op dag 8 van de aan licht blootgestelde goten blijkt dat ongeveer 2-3% faeofytine is. Deze verhouding is op dag 8 bij alle stroomsnelheden ongeveer hetzelfde. Op de 32^{ste} dag is die verhouding in alle lichte goten toegenomen, bij 20 en 35 cm s⁻¹ tot 5%, en bij 6, 7 en 15 cm s⁻¹ naar 6-7%.

De verhouding faeofytine/chlorofyl is in de donkere goten op dag 8 tussen de 15 en 25%. Dit is aanzienlijk hoger dan in de lichte goten en er is meer verschil tussen de stroomsnelheden dan bij de aan licht blootgestelde goten. Op dag 32 is de verhouding ongeveer hetzelfde gebleven of een beetje afgenomen.

3.1.4 Soortensamenstelling algen

In bijlage III is de soortensamenstelling van de algen weergegeven die op dag 8 (22 juni) en op dag 32 (16 juli) op de tegels in de verschillende goten aangetroffen zijn. In tabel IV zijn van de belangrijkste taxa 'associaties' gemaakt.

Tabel IV Klustering van de algensoorten aangetroffen in de stroomgoten bij verschillende stroomsnelheden bij de slibaccumulatieproef op dag 8 (A) en op dag 32 (B) .

A

stroomsnelheid (cm s ⁻¹)	6	7	15	20	35
sediment DG (g)	1,21	1,74	0,82	0,88	0,81
lage stroomsnelheid					
Nitzschia capitellata	31,4	14,9	1,1	0,7	2,5
Cyclotella meneghiniana	11,8	9,6	0,4	2,5	3,0
Nitzschia groep acicularis	5,9	0,5	0,4	1,8	
Nitzschia sp > 25 æm	1,0	1,1			
middelmatige stroomsnelheid					
Navicula cf saprophila	3,9	19,7	78,5	2,5	9,3
'hoge' stroomsnelheid					
Diatoma vulgare		1,1	0,7	7,2	11,9
Gomphonema parvulum	2,9	4,3	1,5	16,7	17,8
Fragilaria capucina	1,0		0,7	2,9	7,6
Fragilaria ulna		3,2	0,7	7,6	4,7
Fragilaria ulna var acus				0,7	1,3
indifferent t.o.v. stroomsnelheid					
Melosira varians	3,9	16,5	4,9	10,9	18,2
Nitzschia groep palea	5,9	8,0	4,3	4,3	2,1
Aulacoseira ambigua	2,0	0,5	0,7	4,0	3,4

B

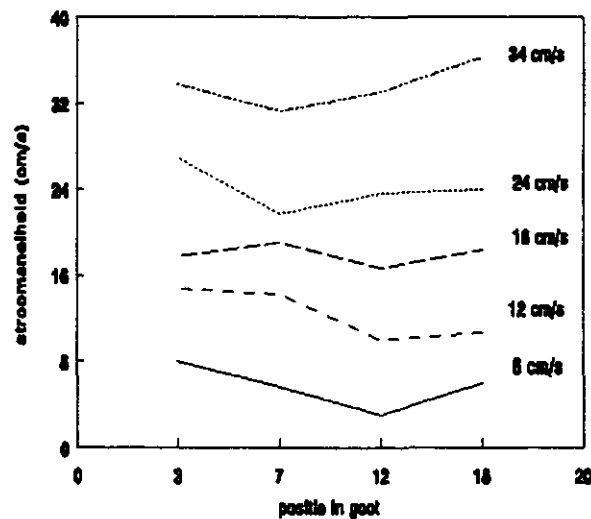
stroomsnelheid (cm s ⁻¹) sediment DG (g)	6 9,00	7 18,62	15 3,20	20 1,54	35 8,27
lage stroomsnelheid					
Aulacoseira granulata	5,6	0,0	0,0	0,5	0,8
Melosira varians	11,9	20,6	2,2	3,2	3,1
Nitzschia groep palea	1,6	2,9	0,0	0,0	0,0
Oscillatoria tenuis (fil)	0,8	6,6			
Gomphonema parvulum	0,0	2,9	1,4		
'hoge' stroomsnelheid					
Fragilaria capucina	0,0	0,0	1,4	2,6	0,8
Navicula menisculus	1,6	0,7	2,9	9,0	5,5
Nitzschia dissipata	0,0	1,5	1,4	2,6	6,3
Cladophora sp	0,0	0,0	5,0	12,7	6,3
Lyngbya/Phormidium sp (fil)	0,0	0,0	7,2	1,1	6,3
indifferent t.o.v. stroomsnelheid					
Aulacoseira ambigua	48,4	26,5	30,9	23,8	14,1
Cyclotella meneghiniana	2,4	2,9	4,3	1,1	2,3
Nitzschia sp > 25 æm	3,2	8,1	5,0	3,2	10,2
Scenedesmus sp	11,1	8,1	14,4	9,0	9,4

De vier aangetroffen associaties zijn min of meer te relateren aan;

- lage stroomsnelheden (6 en 7 cm s⁻¹)
- "hoge" stroomsnelheden (20 en 35 cm s⁻¹)
- middelmatige stroomsnelheden (15 cm s⁻¹)
- en er is een groep algen die indifferent is aan stroomsnelheid en bij alle stroomsnelheden voorkomt.

3.2 Erosieproef

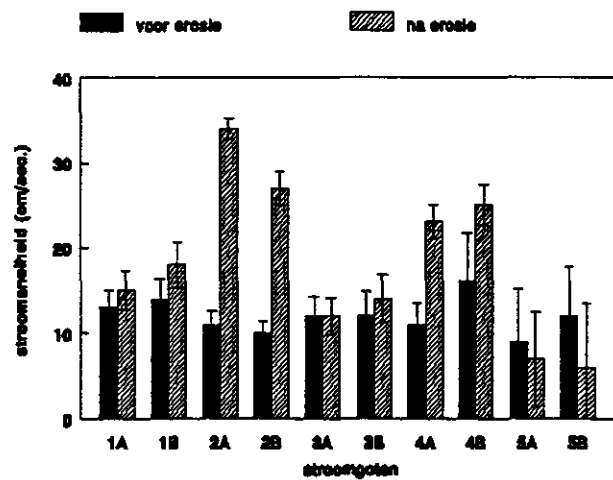
In figuur 10 zijn stroomsnelheden weergegeven die op verschillende posities in de stroomgoten gemeten zijn.



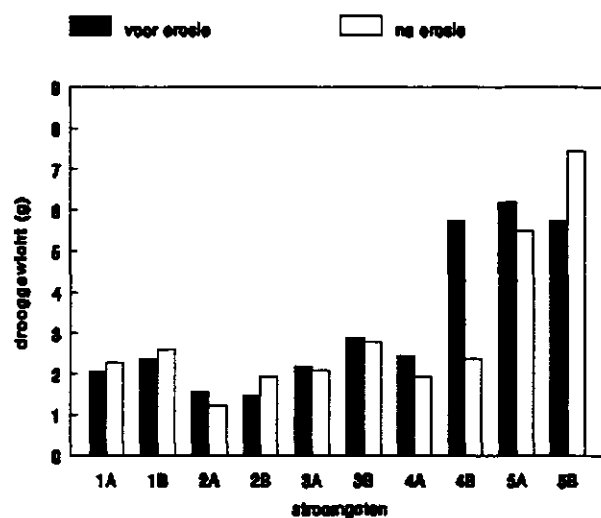
Figuur 10 Verloop van de stroomsnelheid in de lengterichting van de stroomgoten (per goot $n = 3$). X-as genummerde positie tegels in de goot van; 0 = eerste positie vlak bij instroom water t/m 20 laatste positie voor uitstroom.

De stroomsnelheden bleken niet op alle posities in de goten hetzelfde te zijn. De afwijkingen verschilden per goot. De goten van 34, 24 en 6 cm s^{-1} hebben een stroomsnelheid die bij het begin van de goot hoog is, in het midden van de goot afneemt en aan het eind van de goot weer toeneemt. Bij de andere twee goten neemt de stroomsnelheid in het midden toe ten opzichte van de stroomsnelheden aan het begin en het eind van de goten. In bijlage IV zijn de originele data van de erosieproef weergegeven en tevens zijn de gemiddelde stroomsnelheden per goot en de actuele stroomsnelheden per tegel weergegeven.

In figuur 11 zijn de stroomsnelheden en de drooggewichten van het materiaal in de stroomgoten voor en na de erosie-proef weergegeven (de gegevens zijn weergegeven in tabel V).



Figuur 11 a-Gemiddelde stroomsnelheden in de stroomgoten in de kolonisatie-periode voor en tijdens de erosieproef.



b- Gemiddeld drooggewicht van het materiaal dat in de stroomgoten is aangetroffen voor en na de erosieproef.

Gedurende de kolonisatie-periode was de stroomsnelheid in alle goten vrijwel hetzelfde, alleen in goot 4B was de stroomsnelheid iets hoger dan in de andere goten, nl. 16 cm s^{-1} ten opzichte van $\pm 10 \text{ cm s}^{-1}$. Bij het veranderen van de stroomsnelheid werd de stroomsnelheid in;

- goot 2A, 2B, 4A en 4B verhoogd
- goot 1A, 1B, 3A en 3B ongeveer gelijk gehouden
- goot 5A en 5B verlaagd.

In tabel V zijn de gemiddelde stroomsnelheden weergegeven in de stroomgoten gedurende de kolonisatie-periode voor en tijdens de erosieproef. In deze tabel zijn ook

de drooggewichten van het op de tegels aangetroffen materiaal weergegeven voor en na de verandering van stroomsnelheden.

Tabel V Gemiddelde stroomsnelheid en drooggewicht in de stroomgoten tijdens de kolonisatie--periode voor en gedurende de erosieproef. Tevens is het verschil in stroomsnelheid en het verschil in drooggewicht voor en na de erosieproef in percentages weergegeven.

GOOT		VOOR EROSIE		NA EROSIE		VERSCHIL stroom- snelheid (%)	toe/afname drooggewicht voor/na erosie-proef	
		stroomsnelheid (cm s ⁻¹)	DG (g) (n=4)	stroomsnelheid (cm s ⁻¹)	DG (g) (n=4) cm.s ⁻¹		(g)	(%)
1A	12	2,061	15	2,285	+2	(15%)	+0,22	(+11%)
1B	14	2,369	18	2,617	+4	(29%)	+0,25	(+11%)
2A	11	1,551	34	1,216	+23	(209%)	-0,34	(-22%)
2B	10	1,461	27	1,956	+17	(170%)	+0,50	(+34%)
3A	12	2,182	12	2,109	-		-0,07	(- 3%)
3B	12	2,867	14	2,776	+2	(14%)	-0,09	(- 3%)
4A	11	2,458	23	1,954	+12	(109%)	-0,50	(-21%)
4B	16	5,738	25	2,377	+9	(56%)	-3,36	(-59%)
5A	9	6,188	7	5,484	-2	(22%)	-0,70	(-11%)
5B	12	5,755	6	7,436	-2	(50%)	+1,68	(+29%)

Bij goot 1A, 1B, 3A en 3B waarbij de stroomsnelheden ongeveer hetzelfde zijn gebleven zijn de drooggewichten zowel toegenomen (goot 1A en 1B) als afgenomen (goot 3A en 3B). Bij een toename van de stroomsnelheid is bij drie goten, 2A, 4A en 4B een afname van het drooggewicht te zien. Terwijl bij één goot, 2B, een toename van het drooggewicht te zien is. Bij een afname van de stroomsnelheid ten opzichte van de accumulatie-periode is bij goot 5A een afname en bij 5B een fikse toename van het drooggewicht te zien.

4 Discussie

4.1 Slibaccumulatieproef

4.1.1 Chlorofyl-a en faeofytine

Tijdens de uitvoering van de slibaccumulatie proef waren de donkere goten goed verduisterd. De algen die tijdens de proeven in de donkere goten zijn aangetroffen (figuur 6) waren niet het gevolg van algengroei in de goten, maar van inspoeling. De afname van het chlorofylgehalte per gram droge stof, op dag 32 ten opzichte van dag 8 is het gevolg van sediment accumulatie. Het aandeel chlorofyl van het totaal aan geaccumuleerd materiaal wordt steeds kleiner naarmate het slibgedeelte toeneemt. De algen groeien immers alleen aan het sediment oppervlak. Als het chlorofylgehalte per oppervlakte eenheid bekeken wordt blijkt het bij de snelstromende goten nauwelijks te veranderen tussen dag 8 en dag 32. Zowel in de lichte als in de donkere langzaamstromende goten is het chlorofylgehalte op dag 32 vijf keer zo hoog als op dag 8. Dit verschil in toename van het chlorofylgehalte is waarschijnlijk het gevolg van het verschil in stroomsnelheid tussen de goten. In de sneller stromende goten werkt de stroming steeds als een soort harde bezem die de tegels in één richting bewerkt. Bij de langzame goten is de bezem zachter en verliest tijdens de toename van het geaccumuleerde materiaal haren, waardoor het vegen steeds minder effect heeft.

Gedeeltelijk is het faeofytinegehalte afhankelijk van de algendichtheid (het chlorofylgehalte). Bij een daling van de algendichtheid per g droge stof, zal ook de hoeveelheid detritus, en dus het faeofytinegehalte, afnemen. De daling van het faeofytinegehalte op dag 32 ten opzichte van dag 8 volgt de daling van het chlorofylgehalte. Processen als uitspoeling van materiaal zullen bij lagere stroomsnelheden minder snel gaan, dan bij hogere stroomsnelheden. In de snelstromende lichte en donkere goten is het faeofytinegehalte op dag 32 inderdaad lager dan op dag 8. In afwezigheid van algen zal het proces sneller gaan dan in aanwezigheid van zwevend materiaal invangende algen. Het hogere faeofytinegehalte in de lichte goten ten opzichte van de donkere is waarschijnlijk direct en indirect het gevolg van de aanwezigheid van algen in de lichte goten. Doordat de aanwezige algen afsterven kunnen ze direct bijdragen aan het faeofytinegehalte. Maar indirect kan de aanwezigheid van algen ook bijdragen aan het faeofytinegehalte, door het invangen van dood algenmateriaal uit de waterkolom. Ook hier geldt dat veranderingen in de dichtheid van het faeofytinegehalte bij hoge stroomsnelheden eerder zichtbaar zullen zijn dan bij lage stroomsnelheden.

De verwachting was dat de verhouding faeofytine/chlorofyl, in de donkere goten hoger zou zijn dan in de lichte goten. In de donkere goten zijn immers nauwelijks of geen algen. Algen die inspoelen in de donkere goten zullen waarschijnlijk snel afsterven en bijdragen aan het faeofytinegehalte. Inderdaad is de faeofytine/chlorofyl verhouding (figuur 9) in de donkere goten hoger dan in de lichte goten.

4.1.2 Stroomsnelheid

Kolonisatie met algen en accumulatie van slib in stromend water is naast een biologisch proces ook voor een belangrijk deel een fysisch proces. Bij de start van de accumulatieproef was de verwachting dat de eerste kolonisatie in de langzaam stromende aan licht blootgestelde stroomgoten sneller zou verlopen dan in de goten met hogere stroomsnelheden. In de langzaam stromende donkere goten werd ongeveer eenzelfde kolonisatie-verloop verwacht als in de lichte goten. Vooral in de snelstromende donkere goten zou door het ontbreken van algengroei aan het eind van de proef minder slib geaccumuleerd zijn. Tijdens de proeven bleek de kolonisatie bij 6 en 7 cm s⁻¹ inderdaad eerder te beginnen dan bij de drie hogere stroomsnelheden (15, 20 en 35 cm s⁻¹) (figuur 3). Dit komt overeen met de bevindingen van McIntire (1966) die de algenkolonisatie bij verschillende stroomsnelheden onderzocht. Bij 9 cm.s⁻¹ werd door McIntire een snellere initiële kolonisatie gevonden dan bij 38 cm s⁻¹. Door Steinman & McIntire (1986) werd zelfs van een remming van de initiële kolonisatie gesproken bij een stroomsnelheid van 15 cm s⁻¹ ten opzichte van de kolonisatie bij 5 cm.s⁻¹.

Eveneens werd verwacht dat de accumulatie van materiaal bij lage stroomsnelheden langer door zou gaan dan bij de hogere stroomsnelheden. In (snel)stromend water kan de accumulatie van slib gelimiteerd worden door het stromende water. Bij langzaam stromend water zal die invloed minder zijn, en hoe meer materiaal zich ophoopt hoe minder die invloed zal worden, doordat het opgehoopte materiaal plaatselijk plekken doet ontstaan waar het water vrijwel stilstaat. Zowel in de aan licht blootgestelde als in de donkere goten van 6 en 7 cm s⁻¹ is het drooggewicht na 32 dagen nog niet stabiel, er accumuleert nog steeds materiaal op de tegels in de goten. In de snelstromende goten met algen treedt geen accumulatie van materiaal meer op na 16 dagen. De algen zijn blijkbaar 'verzadigd' met slib bij die betreffende stroomsnelheid. In de goten zonder algen stopt de accumulatie van materiaal al na 8 dagen (figuur 3, 4 en 5).

4.1.3 Licht/donker

In de donkere goten is tijdens de begin kolonisatie een overeenkomstig beeld te zien als in de aan licht blootgestelde goten. In de donkere goten werd minder materiaal geaccumuleerd dan in de lichte goten. Bovendien bestond het opgehoopte materiaal in de donkere goten vrijwel alleen uit anorganisch slib, dit in tegenstelling met het materiaal uit de lichte goten waarvan een aanzienlijk deel van organische aard was. In de donkere omstandigheden was het weinige materiaal waaraan anorganisch materiaal houvast had al na korte tijd 'verzadigd'.

Bij lage stroomsnelheden accumuleerde in de aan licht blootgestelde goten ongeveer anderhalf keer zoveel materiaal dan in de donkere. Bij stroomsnelheden van 15 cm.s⁻¹ en hoger accumuleerde in de lichte goten circa vier keer zoveel materiaal dan in de donkere stroomgoten. Accumulatie van anorganische materiaal is vooral bij lage stroomsnelheden voor een belangrijk deel een fysisch proces.

4.1.4 Soortensamenstelling

Bij lage stroomsnelheden (6 en 7 cm s⁻¹) wordt de zwak verkiezelde soort *Nitzschia capitellata* in hoge dichtheden aangetroffen. Bij de hogere stroomsnelheden 20 en 35 cm s⁻¹ zijn sterk verkiezelde en kolonievormende soorten (*Fragilaria ulna*, *F. capucina* en *Gomphonema parvulum*) aangetroffen. Tussen deze twee associatietypen is een type aangetroffen met de vrij op het sediment levende soort *Navicula* cf *saprophila* (van 7 tot 15 cm s⁻¹).

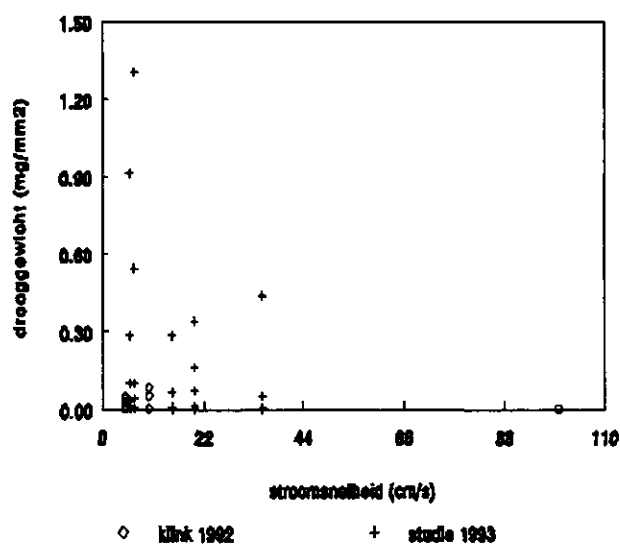
De kolonisatie van de tegels in de stroomgoten gebeurt eerst voornamelijk door kiezelwieren. Pas na verloop van tijd ontwikkelen zich groenwieren, zoals *Cladophora*. De groeivorm van de aanwezige algen is erg belangrijk voor de mate waarin ze een rol spelen in de slibvang. Vrijlevende soorten als *Navicula* en *Fragilaria ulna* var. *acus* vangen zolang ze vrijleven geen slib in. Wel kunnen ze sediment deeltjes vastklitten waardoor de kans op resuspensie en erosie kleiner wordt. Het is dus moeilijk op basis van de dichtheid van bepaalde soorten iets te zeggen over hun invloed op het invangen van slib. De structuur waarin de soorten voorkomen en hun verschijningsvorm zijn belangrijk. *Cladophora* spec., is een groenwier dat kleine ($\pm 1 - 3$ cm) struikvormige kolonies vormt (op de tegels), en *Melosira*, is een kiezelwier dat grote (1 - 50 cm) draadvormige kolonies vormt. Beide algensoorten zijn in staat plaatselijk de ruwheid van het substraat te vergroten en op die manier de slibvangst te bevorderen. Reeds bij lage dichtheden kunnen deze soorten relatief veel slib invangen. Voor het bepalen van de invloed op de slibvangst zouden de dichtheden van zulke soorten benaderd moeten worden als bij een vegetatie opname, nl. door het schatten van de bedekking.

4.2 Erosieproef

Na het veranderen van de stroomsnelheid in de stroomgoten, die onder gelijke omstandigheden gekoloniseerd waren, was de verwachting dat de hoeveelheid geaccumuleerde algen en slib zou veranderen. Minder geaccumuleerd materiaal bij een verhoging en meer geaccumuleerd materiaal bij een verlaging van de stroomsnelheid. Met de erosieproef werd getracht een klein hoogwater na te bootsen. In goot 2A, 4A en 4B is het drooggewicht na het verhogen van de stroomsnelheid inderdaad lager geworden. Maar ook is in goten waar de stroomsnelheid verhoogd werd het drooggewicht toegenomen, nl. bij goot 2B. Mogelijk is geaccumuleerd materiaal elders uit de stroomgoot verplaatst door de toename in stroomsnelheid. Hierdoor kan plaatselijk plotseling een toename van materiaal op treden. Bij stroomgoot 5A en 5B waar de stroomsnelheid met 2 cm s⁻¹ verlaagd werd nam het drooggewicht bij de ene goot toe, terwijl het bij de andere goot afnam. Bij het bepalen van de stroomsnelheid in de stroomgoten bleek dat het verval in de stroomafwaartse richting van de goten niet lineair was (figuur 9). Dit heeft mogelijk plaatselijk tot minder erosie geleid dan verwacht. Kleine onregelmatigheden op de bodem van een rivier kunnen grote invloed hebben op de erosie na een tijdelijke verandering van de waterstand. Uit de resultaten blijkt dat een verhoging van de stroomsnelheid binnen één dag kan leiden tot het wegspoelen van 0 tot 60% van de slib-algenaangroei van een tegel in Maaswater. Een verlaging van de stroomsnelheid kan binnen 24 uur leiden tot een toename van de hoeveelheid geaccumuleerde algen en slib van 10 tot 30%.

4.3 Geïntegreerde discussie

Benthische algen spelen een cruciale rol bij de accumulatie van slib op de (grind) bodem van de Grensmaas. In figuur 12 zijn de in deze studie gevonden drooggewichten bij verschillende stroomsnelheden uitgezet, daarnaast zijn ook de gegevens uitgezet die Klink (in prep.) gedurende zijn onderzoek vorig jaar vond. De stroomsnelheden tussen de 50 en 100 cm s^{-1} zijn niet bemonsterd. De trend dat met een toename van de stroomsnelheid de hoeveelheid geaccumuleerd materiaal kleiner wordt is duidelijk waarneembaar.



Figuur 12 Drooggewichten (mg mm^{-2}) van het geaccumuleerde materiaal aangetroffen op tegels tijdens deze studie en een studie van Klink (in prep.) in 1993.

Bij stroomsnelheden van 15 cm s^{-1} en hoger neemt de hoeveelheid materiaal dat accumuleert aanzienlijk af ten opzichte van de situatie bij 6 en 7 cm s^{-1} . Echter ten opzichte van een situatie zonder algen wordt bij stroomsnelheden van 15 cm s^{-1} en hoger in aanwezigheid van algen aanzienlijk meer slib ingevangen. Het creëren van plekken in de Grensmaas met hoge stroomsnelheden is plaatselijk gewenst, maar voor de rest van de rivier wordt gestreefd naar een grote variatie aan stroomsnelheden, waaronder ook rustige plekken. Het verhogen van alléén de stroomsnelheid zal plaatselijk het invangen van slib door benthische algen tegengaan, maar is onvoldoende als maatregel voor de Grensmaas als geheel. Een reductie van de hoeveelheid algen en een verandering van het soort algen in de Grensmaas zou kunnen leiden tot een afname in de accumulatie van slib. Voor een reductie van de algendichtheid en een verandering van de soortensamenstelling van de algen zal een reductie van het nutriëntengehalte in de Maas moeten plaatsvinden. In Klink (in prep.) wordt gesteld dat de algengroei in de Grensmaas waarschijnlijk niet of weinig minder zal worden bij een lager nutriëntengehalte. Hij vergelijkt het

fosfaatgehalte van de Grensmaas met dat van de Lotharingse Maas in noord Frankrijk, respectievelijk $0,5 \text{ mg P l}^{-1}$ en $0,10 \text{ mg P l}^{-1}$. Bij deze verschillen vindt hij vergelijkbare chlorofylgehaltenes. Volgens Klink (in prep.) is de afwezigheid van algen- en aangroegrazers vooral de oorzaak van de overmatige aangroei en daardoor de accumulatie van slib op het substraat in de Grensmaas.²

De afwezigheid van aangroegrazers in de Grensmaas zou vooral het gevolg van ongunstige milieu omstandigheden zijn, zoals een te laag zuurstofgehalte, en het ontbreken van geschikt habitat (Klink, in prep.).

Grazers hebben invloed op de algendichtheid. Over het feit of de invloed van grazers nadelig of voordelig is voor de groei van benthische algen zijn de meningen nogal verdeeld. De aanwezigheid van aangroegrazende macrofauna kan leiden tot een afname van de algenbiomassa (Elwood & Nelson, 1972; McAuliffe, 1984; Kjeldsen, in prep.). Niet alleen neemt de algendichtheid af als gevolg van directe predatie, maar ook door verplaatsing nadat de algen losgewoeld zijn (Lamberti *et al.*, 1987). Ook kan de soortensamenstelling van de algen veranderen (Jacoby, 1987; Hill & Knight, 1989). De biomassa van algen die bewaakt worden door territoriale aangroei-eters, kan zelfs hoger zijn dan de biomassa van onbewaakte algen (Hart, 1985), omdat bewaakte algen als het ware in een optimale groeitoestand worden gehouden. Bij het begroeid raken van substraat met benthische algen spelen waarschijnlijk naast vraat ook andere factoren een belangrijke rol, zoals b.v. eigenschappen van het substraat.

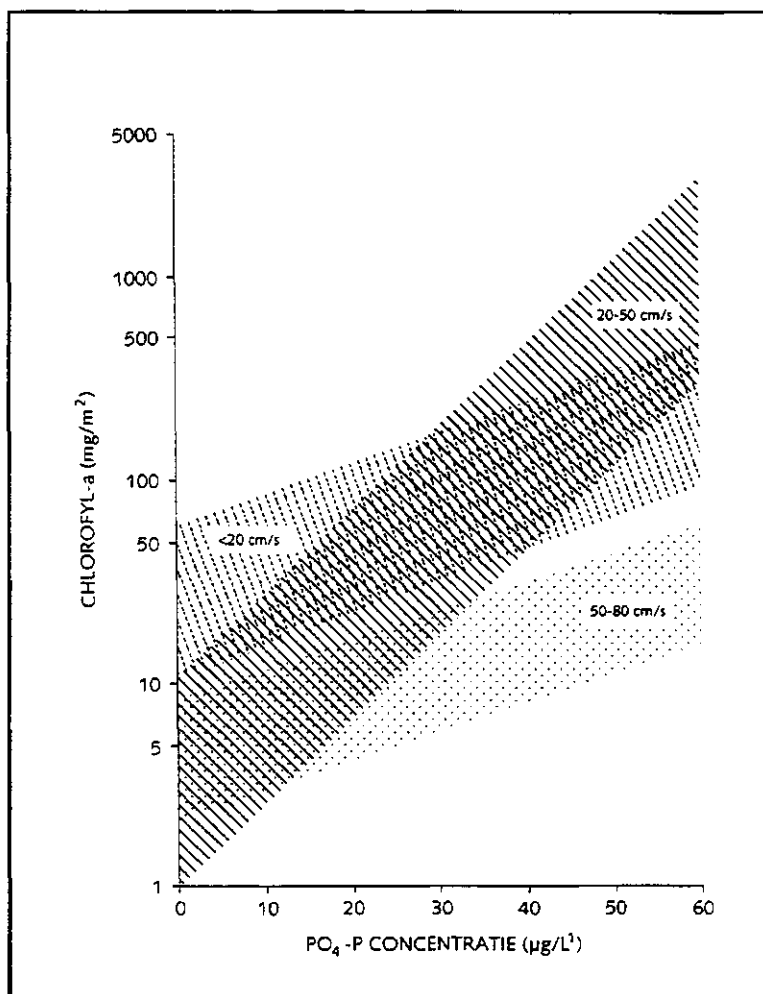
Dat voor een reductie van algen ook een afname van het nutriënten gehalte noodzakelijk is wordt geïllustreerd in figuur 13. In deze figuur wordt modelmatig het verloop van algenkolonisatie weergegeven als functie van het fosfaatgehalte bij verschillende stroomsnelheden (Horner & Welch, 1981).

De relatie tussen aangroei en stroomsnelheid geeft bij een representatieve rivier meestal een negatief verband te zien. Echter, bij een fosfaatgehalte van meer dan $45 \mu\text{g l}^{-1}$ kan bij een hoge stroomsnelheid ook een hoge algendichtheid optreden. De hoge stroomsnelheid zorgt dan voor een goede uitwisseling van bouw- en afvalstoffen. Zoals in § 4.1.4 reeds vermeld kan de verschijningsvorm van algen grote invloed hebben op de hoeveelheid slib dat ze invangen. Een verschuiving van sliert- en struikvormige kolonievormende soorten, met een grote slib invang capaciteit, naar soorten met een kleine invang capaciteit zou de hoeveelheid slib op het grind in de Grensmaas waarschijnlijk behoorlijk verminderen.

Voor een afname van de algendichtheid in de Grensmaas zal het nutriëntengehalte aanzienlijk gereduceerd moeten worden van gemiddeld $0,5 \text{ mg P l}^{-1}$ naar $\pm 0,05 \text{ mg l}^{-1}$ (Horner & Welch, 1981). Ondanks de relatief hoge natuurlijke fosfaatbelasting van het Maaswater, nl. $0,2 \text{ mg P l}^{-1}$ (Breukel *et al.*, 1991), is met een reductie van het nutriëntengehalte in de Maas waarschijnlijk toch een flinke afname van de algendichtheid te verwachten. Mede omdat in rivieren met een hard substraat via algen weinig nalevering van fosfaat uit de bodem optreedt, kan met een reductie van de fosfaat-

²De door Klink gebruikte chlorofylgehalten zijn gebaseerd op monsters afkomstig uit de waterkolom. Benthische algen zijn daarin waarschijnlijk onderschat of niet meegerekend. Door het wel meetellen van de benthische algen zou het chlorofylgehalte van de Grensmaas waarschijnlijk aanzienlijk hoger worden dan dat van de Lotharingse Maas.

belasting een flinke afname van de benthische algendichtheid verwacht worden (Kjeldsen, in prep.).



Figuur 13 Accumulatie van chlorofyl volgens een regressie analyse uitgevoerd op de gegevens van een 14 dagen durende proef waarbij de algengroei bij verschillende stroomsnelheden en fosfaatgehalten is gemeten (uit: Horner & Welch, 1981).

Uit het bovenstaande wordt duidelijk dat het verminderen van de slibaccumulatie in de Grensmaas niet eenvoudig is. De beschreven mechanismen zijn vaak nauw met elkaar verbonden en kunnen elkaars werking versterken. B.v. door alleen een beetje het nutriëntengehalte te verlagen kan de dichtheid aan benthische algen toenemen (Hansson, 1988), via een afname van de planktonische algendichtheid en een toename van de helderheid. Alleen door het realiseren van een flinke reductie van het nutriëntenbelasting, een reductie van het slibgehalte en meer aangroeigrazers zal een hogere stroomsnelheid waarschijnlijk niet meer nodig zijn om het harde grindsubstraat te behoeden voor het overgroeid raken met algen en slib.

Naast deze 'hoofdfactoren' die van invloed zijn op de slibaccumulatie in de Grensmaas bestaan ook nog een aantal processen die op kleinere schaal de groei van benthische algen kunnen beïnvloeden. Waterplanten kunnen de algendichtheid beïnvloeden,

doordat ze met de algen concurreren om voedingsstoffen (Van Donk *et al.*, 1989; Ozimek *et al.*, 1990). Tevens creëren waterplanten schaduw op de bodem wat remmend kan werken op de groei van algen. Waterplanten bieden habitat voor (aangroeigrazende) macrofauna (Geiser *et al.*, 1986; Dawson *et al.*, 1991).

Met het uitvoeren van het natuurontwikkelingsplan 'toekomst voor een grindrivier' (Helmer *et al.*, 1991) zullen de kansen voor o.a. Vlottende waterranonkel (*Ranunculus fluitans*) een karakteristieke soort voor ondiepe grindrivieren, maar ook voor andere waterplantensoorten aanzienlijk toenemen (De la Haye, 1992; 1993; in prep.).

De reductie van de hoeveelheid slib en nutriënten is alleen te verwachten door het zuiveren van het rioolwater dat rechtstreeks op de Maas geloosd wordt. Een groot aantal aan de Maas gelegen Belgische steden, zoals Namen, Dinant en Luik zijn niet voorzien van rioolzuiveringsinstallaties en lozen ongezuiverd rioolwater op de Maas (Breukel *et al.*, 1991). Waarschijnlijk bestaat het grootste deel van het door benthische algen ingevangen slib in de Grensmaas rioolslib (pers. meded. R. Breukel). In de zomer bij weinig neerslag, en dus een lage afvoer, bestaat het slib waarschijnlijk voor 100% uit rioolslib. Naast slib komen via het riool ook veel voedingsstoffen in het Maaswater terecht. Op korte termijn is een grote reductie van het nutriënten- en slibgehalte niet reëel. Op lange termijn zal hier wel naar gestreefd moeten worden.

4.4 Veranderingen in de Grensmaas waardoor de aangroei van algen en de accumulatie van slib kan verminderen

- Reductie van de nutriënten- en slibbelasting
- Plaatselijke verhoging van de stroomsnelheid. Bij stroomsnelheden van 15 cm s^{-1} en hoger neemt de hoeveelheid materiaal dat accumuleert aanzienlijk af.
Een combinatie van reductie van de nutriënten- en slibbelasting met verhoging van de stroomsnelheid zal plaatselijk tot een spectaculaire afname van de slibaccumulatie leiden.
- Het verbeteren van habitat voor macrofauna in de Grensmaas zou tot een afname van de hoeveelheid algen kunnen leiden.
- Het verbeteren van habitat voor waterplanten. Waterplanten concurreren om voedsel met de algen, en bieden leefruimte voor (aangroeigrazende) macrofauna.

5 Conclusies

- * Bij stroomsnelheden van 15 cm s^{-1} en hoger accumuleert 4 tot 6 maal minder slib dan bij stroomsnelheden van $\pm 6 \text{ cm s}^{-1}$.
- * Zonder algen accumuleert bij stroomsnelheden van 15 cm s^{-1} en hoger, 5 tot 12 keer minder materiaal dan bij stroomsnelheden van $\pm 6 \text{ cm s}^{-1}$.
- * Benthische algen spelen een cruciale rol bij de bedekking van grind met een sliblaag, bij stroomsnelheden van 20 en 35 cm s^{-1} . Bij deze stroomsnelheden wordt 3 tot 9 maal zoveel slib ingevangen in aanwezigheid dan in afwezigheid van algen.
- * Bij stroomsnelheden van $6\text{-}7 \text{ cm s}^{-1}$ of lager is slibaccumulatie in Maaswater voornamelijk een fysisch proces, d.w.z. zowel in aan- als in afwezigheid van algen werd nagenoeg dezelfde hoeveelheid slib op de tegels aangetroffen.
- * Bij een plotselinge verhoging van de stroomsnelheid kan 0 tot 60% van het aanwezige materiaal verplaatst worden.
- * De accumulatie van materiaal op substraat in Maaswater verloopt tijdens de eerste 4 dagen sneller bij lagere stroomsnelheden dan bij hogere stroomsnelheden.
- * Bij de lage stroomsnelheden ($\pm 6 \text{ cm s}^{-1}$) is de algendichtheid per oppervlakte eenheid vier keer zo groot als bij de hogere stroomsnelheden ($> 15 \text{ cm.s}^{-1}$).

Literatuur

- Breukel, R., W. Silva. W. van Vuuren, J. Botterweg & R. Venema (1991)
De Maas. Verleden, heden en toekomst. RIZA nota nr. 91.052.
- Dawson, F.H. E.M.F. Clinton & M. Ladle (1991)
Invertebrates on cut weed removed during weed-cutting operation along an
Englisch river, the river Frome, Dorset. Aquacult. & Fish management 22: 113-121.
- Donk van, E., M.P. Grimm & R.D. Gulati (1989)
Food-web manipulation in lake Zwemlust: positive and negative effects during the
first two years. Hydrobiol. Bull. 23: 19-34.
- Elwood, J.W. & D.J. Nelson (1972)
Periphyton production and grazing rates in a stream measured with ^{32}P material
balance methode. Oikos 23: 295-303.
- Geiser, R., K. Gimber & J. Lamina (1986)
Bestandssituation und Schadwirkung von kriebelmücken (Diptera: Simuliidae) in
raum freisung/Oberbayern. Deutsch. Tierarztl. Wochenschr. 93(9): 405-409.
- Hansson, L.-A. (1988)
Effects of competitive interactions on the biomass development of planktonic and
periphytic algae in lakes. Limnol & Ocenanogr. 33(1): 121-128.
- Hart, D.D. (1985)
Causes and consequences of territoriality in a grazing stream insect. Ecology 66:
404-414.
- Haye de la, M.A.A. (1993)
Groeï en overleving van Vlottende waterranonkel (*Ranunculus fluitans* Lam.) in de
Maas: transplantatie en semi-veldproeven. EHM reeks nr. 2.
- Haye de la, M.A.A. (1993)
Worden groeï, overleving en kieming van Vlottende waterranonkel (*Ranunculus
fluitans* Lam.) in Maaswater beïnvloed door waterstandsfluctuaties? semi-veld-
experimenten. EHM reeks nr. 8.
- Haye de la, M.A.A. (1994)
Heeft Vlottende waterranonkel een toekomst in de Grensmaas? EHM reeks nr. 18.
- Helmer, W., W. Overmars & G. Litjens (1991)
Toekomst voor een grindrivier., Studie in opdracht van de provincie Limburg.,
Rapport Bureau Stroming.
- Hill, W.R. & A.W. Knight (1989)
Experimental analyses of grazing interaction between a mayfly and stream algae.
Ecology 68: 1955-1965.
- Horner, R.R. & E.B. Welch (1981)
Stream periphyton development in relation to current velocity and nutrients. Can. J.
Fish. Aquat. Sci. 38: 449-457.
- Jacoby, J.M. (1987)
Alternationa in periphyton characteristics due to grazing in a Cascade fotthill
stream. Fresh. Biol. 18: 495-508.
- Kerkhofs, M.J.J. (in prep.)
Projektplan Ecologisch Herstel Maas, 1994-1995. Rapporten van het projekt
Ecologisch Herstel Maas (EHM) nr. 11. Aangepast Projectplan Ecologisch Herstel
Maas (EHM).

Kjeldsen, K. (in prep.)

Regulation of benthic algal in Danish lowstreams: preliminary results (in prep.).

Klink, A. (in prep.)

Algenaangroei en slibaccumulatie op stenen in de Grensmaas. Hydrobiologisch advies Bureau Klink B.V. nr. 46.

Lamberti, G.A., L.R. Ashkenas, S.V. Gregory & A.D. Steinman (1987)

Effects of three herbivores on periphyton communities in laboratory streams. J. N. Am. Benthol. Soc., 6(2): 92-104.

McAuliffe, J.R. (1984)

Resource depression by a stream herbivore: Effects of the distributions and abundances and other grazers. Oikos 42: 327-333.

McIntire, C.D. (1966)

Some effects of current velocity in periphyton communities in laboratory streams. Hydrobiologia 27: 559-570.

Ozimek, T., E. Van Donk & R.D. Gulati (1990)

Can macrophytes be useful in biomanipulation in shallow lakes? The lake Zwemlust example. Hydrobiologia 200/201: 399-409.

BIJLAGE 1 Gegevens drooggewichten (DG) en asvrijdrooggewichten (ADG) van het opgehoopte materiaal op de tegeltjes tijdens de slibaccumulatieproef bij verschillende stroomsnelheden.

	stroom	n	gemiddelde	mediaan	n	gemiddelde	mediaan
DAG 1		DONKER			LICHT		
DG	6	4	0,0327	0,0259	4	0,0374	0,0258
(g)	7	4	0,0364	0,0247	4	0,0789	0,0808
	15	4	0,0097	0,0093	4	0,0270	0,0260
	20	4	0,0159	0,0151	4	0,0217	0,0220
	35	4	0,0092	0,0083	4	0,0177	0,0160
ADG	6	4	0,0058	0,0040	4	0,0082	0,0061
(g)	7	4	0,0060	0,0053	4	0,0073	0,0079
	15	4	0,0021	0,0021	4	0,0039	0,0038
	20	4	0,0028	0,0026	4	0,0050	0,0051
	35	4	0,0027	0,0027	4	0,0029	0,0030
% ADG	6	4	17,7	17,0	4	22,0	21,2
	7	4	20,6	19,1	4	11,8	9,7
	15	4	22,0	22,6	4	14,7	14,9
	20	4	17,7	16,8	4	22,9	23,0
	35	4	30,9	29,3	4	19,5	19,2
DAG 2		DONKER			LICHT		
DG	6	4	0,0879	0,0564	4	0,1685	0,1480
(g)	7	4	0,0631	0,0693	4	0,0939	0,0848
	15	4	0,0189	0,0198	4	0,0427	0,0393
	20	4	0,0145	0,0145	4	0,0434	0,0457
	35	4	0,0146	0,0155	4	0,0451	0,0434
ADG	6	4	0,0145	0,0072	4	0,0262	0,0196
(g)	7	4	0,0068	0,0069	4	0,0077	0,0081
	15	4	0,0034	0,0032	4	0,0070	0,0066
	20	4	0,0030	0,0026	4	0,0085	0,0087
	35	4	0,0026	0,0027	4	0,0093	0,0091
% ADG	6	4	14,7	13,7	4	14,4	13,5
	7	4	10,8	11,3	4	9,2	9,5
	15	4	20,0	17,3	4	16,8	16,6
	20	4	23,1	17,8	4	20,0	20,0
	35	4	18,4	18,7	4	22,8	22,7
DAG 4		DONKER			LICHT		
DG	6	4	0,1046	0,0978	4	0,3827	0,3947
(g)	7	4	0,1143	0,1058	4	0,4789	0,5091
	15	4	0,0367	0,0316	4	0,1027	0,1016
	20	4	0,0325	0,0322	4	0,1239	0,1127
	35	4	0,0411	0,0449	4	0,0808	0,0837
ADG	6	4	0,0138	0,0129	4	0,0530	0,0505
(g)	7	4	0,0105	0,0098	4	0,0354	0,0367
	15	4	0,0053	0,0039	4	0,0171	0,0174
	20	4	0,0067	0,0044	4	0,0198	0,0213
	35	4	0,0055	0,0053	4	0,0153	0,0149
% ADG	6	4	13,8	15,3	4	13,9	14,2
	7	4	9,0	9,3	4	8,3	7,6
	15	4	13,6	13,4	4	17,3	17,6
	20	4	19,4	15,7	4	17,2	16,0
	35	4	13,5	14,0	4	21,5	22,5

DAG 8		DONKER		LICHT			
DG	6	4	0,5870	0,4501	4	1,1664	1,1639
(g)	7	4	0,5579	0,5092	4	1,1569	1,0770
	15	4	0,3281	0,2128	4	0,7510	0,7527
	20	4	0,2732	0,2176	4	0,8189	0,7962
	35	4	0,4046	0,3629	4	0,5864	0,5740
% ADG	6	4	9,5	9,1	4	16,25	16,02
	7	4	8,5	9,4	4	11,72	11,97
	15	4	8,6	7,3	4	13,80	14,05
	20	4	9,7	10,9	4	14,93	14,17
	35	4	12,6	10,8	4	15,01	14,88
DAG 16		DONKER		LICHT			
DG	6	4	0,9425	0,8817	4	3,2081	3,0189
(g)	7	4	3,9741	1,8759	4	6,1067	6,0674
	15	4	2,2094	0,9236	4	3,2146	3,1533
	20	4	0,8770	0,7731	4	3,8188	3,7072
	35	4	0,5129	0,4324	4	4,9470	5,1286
ADG (G)	6	4	0,0841	0,0763	4	0,4993	0,4729
	7	4	0,3118	0,0905	4	0,7141	0,7432
	15	4	0,0766	0,0423	4	0,2973	0,3079
	20	4	0,0391	0,0345	4	0,3265	0,3406
	35	4	0,0288	0,0277	4	0,3139	0,3169
% ADG	6	4	9,2	9,7	4	15,3	15,5
	7	4	7,0	6,4	4	11,7	12,6
	15	4	4,1	4,4	4	9,4	9,3
	20	4	4,6	4,4	4	8,6	8,5
	35	4	7,8	7,3	4	6,5	6,3
DAG 32		DONKER		LICHT			
DG	6	4	5,8174	4,7233	4	10,2707	9,4229
(g)	7	4	12,2637	11,9060	4	14,6703	15,0739
	15	4	1,1001	1,0557	4	3,2445	3,3319
	20	4	0,5530	0,5350	4	1,8530	1,8765
	35	4	0,4812	0,2527	4	4,9449	4,7430
% ADG	6	4	6,5	6,3	4	13,9	12,9
	7	4	6,7	6,9	4	9	10
	15	4	3,9	4	4	7	6,2
	20	4	4,5	4,2	4	9,4	8,5
	35	4	5	5,1	4	7,1	5,9

Biilage II

Chlorophyl-a en faeofytinegehalte van de gemonsterde tegels bij donker/licht en bij de verschillende stroomsnelheden. Chlorophyl-a en faeofytinegehalte in $\mu\text{g/g}$ droge stof (DG).

	LICHT				DONKER			
	dag 8		dag 32		dag 8		dag 32	
	chl-a ($\mu\text{g/g DG}$)	phae	chl-a	phae	chl-a	phae	chl-a	phae
cm s ⁻¹								
6	1092,21	30,51	611,02	38,85	98,64	13,77	35,21	4,67
7	898,68	22,73	413,22	24,78	43,54	8,80	48,43	7,00
15	1289,41	35,16	157,89	10,71	35,37	8,59	13,51	2,62
20	1308,64	35,85	190,33	10,20	38,51	8,83	11,08	2,13
35	1398,10	32,13	187,69	9,51	43,63	8,76	5,23	0,68

Bijlage III a

Soortensamenstelling van de algen van monsters genomen op dag 8 van de slibaccumulatieproef.

Soortensamenstelling tegeltjes Grensmaas			dag 8		22 juni 1993
stroomsnelheid (cm s ⁻¹)	6	7	15	20	35
taxon	%	%	%	%	%
Oscillatoria sp				00,4	
Pseudanabaena sp	1,0			0,7	0,4
Cryptomonas erosa	1,0		0,2	0,4	
Aulacoseira ambigua	2,0	0,5	0,7	4,0	3,4
Aulacoseira granulata	3,9	0,5		1,4	
Centrale diatomee < 6 æm			0,4	0,7	
Cyclotella meneghiniana	11,8	9,6	0,4	2,5	3,0
Cymbella sp		1,1			
Diatoma tenuis				0,4	
Diatoma vulgare		1,1	0,7	7,2	11,9
Fragilaria capucina	1,0		0,7	2,9	7,6
Fragilaria ulna		3,2	0,7	7,6	4,7
Fragilaria ulna var acus				0,7	1,3
Gomphonema parvulum	2,9	4,3	1,5	16,7	17,8
Melosira varians	3,9	16,5	4,9	10,9	18,2
Navicula cf saprophila	3,9	19,7	78,5	2,5	9,3
Navicula lanceolata		0,5			0,4
Navicula menisculus	2,0			1,1	0,4
Navicula sp	2,0			0,4	
Nitzschia capitellata	31,4	14,9	1,1	0,7	2,5
Nitzschia dissipata				0,7	0,8
Nitzschia fruticosa				2,9	
Nitzschia groep acicularis	5,9	0,5	0,4	1,8	
Nitzschia groep palea	5,9	8,0	4,3	4,3	2,1
Nitzschia sp < 25 æm		1,1		4,3	1,3
Nitzschia sp > 25 æm	1,0	1,1			
Rhoicosphenia abbreviata				0,7	
Stephanodiscus hantzschii		1,1	1,1		0,8
Surirella sp				0,4	
Actinastrum hantzschii				2,9	
Chlamydomonas sp	1,0			1,4	1,3
Dictyosphaerium pulchellum				4,3	
Dictyosphaerium subsolitarum			1,5		
Groenwier cel	2,0	1,1	0,0	0,7	0,4
Groenwier kolonie	11,8	5,3		8,7	8,5
Kirchneriella obesa/M minutum			0,2		
Lagerheimia/Scenedesmus los		0,5	0,4		
Nephrochlamys subsolitaria	2,0		0,0		1,7
Oocystis sp	3,9				
Scenedesmus sp		9,6	1,9	5,4	2,1
Tetraedron minimum			0,4		
Totaal	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0

Bijlage III b

Soortensamenstelling van de algenmonsters genomen op dag 32 van de slibaccumulatieproef.

stroomsnelheid (cm s ⁻¹)	6	7	15	20	35
taxon	%	%	%	%	%
Oscillatoria tenuis (fil)	0,8	6,6			
Lyngbya/Phormidium sp (fil)			7,2	1,1	6,3
Chroococcales non det (kol)				2,1	0,8
Pseudanabaena sp (fil)			0,7		0,8
Cryptomonas erosa					
Aulacoseira ambigua	48,4	26,5	30,9	23,8	14,1
Aulacoseira granulata	5,6	11,0	4,3	6,9	4,7
Centrale diatomee < 6 æm					
Cyclotella meneghiniana	2,4	2,9	4,3	1,1	2,3
Cymbella sp					
Diatoma tenuis	0,8				
Diatoma vulgare					1,6
Fragilaria capucina			1,4	2,6	0,8
Fragilaria construens				2,1	
Fragilaria ulna	0,8				
Fragilaria ulna var acus	0,8		0,7		
Gomphonema parvulum		2,9	1,4		
Melosira varians	11,9	20,6	2,2	3,2	3,1
Navicula cf saprophila					1,6
Navicula lanceolata					
Navicula menisculus	1,6	0,7	2,9	9,0	5,5
Navicula sp			1,4		3,1
Nitzschia capitellata	0,8		1,4	0,5	
Nitzschia dissipata		1,5	1,4	2,6	6,3
Nitzschia fruticosa					
Nitzschia groep acicularis	0,8			0,5	0,8
Nitzschia groep palea	1,6	2,9			
Nitzschia sp < 25 æm	1,6				1,6
Nitzschia sp > 25 æm	3,2	8,1	5,0	3,2	10,2
pennaat < 10 æm					0,8
Rhoicosphenia abbreviata					
Stephanodiscus hantzschii	0,8				3,1
Surirella sp					
Actinastrum hantzschii		0,7			
Chlamydomonas sp			0,7		
Cladophora (cel)			5,0	12,7	6,3
Crucigeniella apiculata		2,2	2,2		
Dactylosphaerium jurisii	0,8			1,1	
Dictyosphaerium pulchellum			1,4		
Dictyosphaerium subsolitarum					
Didymocystis lineata			0,7	0,5	1,6
Groenwier cel	2,4	3,7	3,6	7,9	9,4
Groenwier kolonie	0,8	0,7		3,7	0,8
Kirchneriella obesa/M minutum		0,7			
Lagerheimia/Scenedesmus los			0,7	1,1	1,6
Micractinium pusillum	0,8		1,4	1,1	1,6
Monoraphidium sp	0,8		2,2	0,5	0,8
Nephrochlamys subsolitaria	0,8				0,8
Oocystis sp					
Pediastrum sp	0,8			0,5	
Scenedesmus sp	11,1	8,1	14,4	9,0	9,4
Tetrastrum stauroginiaeforme				1,1	0,8
Tetraedron caudatum				1,1	
Tetraedron minimum			2,2	1,1	
Totaal	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0

Bijlage IV Sedimentatie op de tegeltjes in de stroomgoten vóór (ve) en na (ne) de erosie proef.

datum	goot	positie tegel in goot	voor/na erosie	gemiddelde stroomsnel- heid (cm s ⁻¹)	actuele stroomsnelheid (cm s ⁻¹)	droooggewicht (DG) (g)
			(ve/ne)			
10-09-93	1A	04L	ve	13	11,3	0,6268
10-09-93	1A	10R	ve	13	12,3	2,7451
10-09-93	1A	11R	ve	13	12,3	2,6446
10-09-93	1A	12L	ve	13	12,3	2,2262
10-09-93	1B	05R	ve	14	14,5	1,0908
10-09-93	1B	07L	ve	14	15	3,3205
10-09-93	1B	10L	ve	14	12	3,8754
10-09-93	1B	14L	ve	14	12	1,1874
10-09-93	2A	06L	ve	11	11,7	2,1070
10-09-93	2A	09R	ve	11	11,7	1,7189
10-09-93	2A	13L	ve	11	8,7	1,1127
10-09-93	2A	16R	ve	11	10,7	1,2652
10-09-93	2B	07L	ve	10	11,7	1,8974
10-09-93	2B	08R	ve	10	11,7	1,8927
10-09-93	2B	13R	ve	10	9	1,1172
10-09-93	2B	16L	ve	10	9,3	0,9364
10-09-93	3A	04R	ve	12	11,7	1,5765
10-09-93	3A	05R	ve	12	11,7	2,0976
10-09-93	3A	10R	ve	12	11,7	2,5557
10-09-93	3A	15R	ve	12	11,9	2,4964
10-09-93	3B	05R	ve	12	12,7	2,5979
10-09-93	3B	09L	ve	12	12	2,5872
10-09-93	3B	11R	ve	12	11,7	4,6981
10-09-93	3B	17L	ve	12	11	1,5862
10-09-93	4A	06R	ve	11	11,7	1,8816
10-09-93	4A	08L	ve	11	11,7	3,9996
10-09-93	4A	17R	ve	11	11	2,1472
10-09-93	4A	18R	ve	11	11	1,8049
10-09-93	4B	04L	ve	16	17	1,7739
10-09-93	4B	07L	ve	16	15,3	4,7344
10-09-93	4B	11L	ve	16	11	8,5715
10-09-93	4B	12L	ve	16	11	7,8732
10-09-93	5A	04L	ve	9	11	3,0840
10-09-93	5A	08L	ve	9	11	6,1161
10-09-93	5A	09R	ve	9	11	5,9160
10-09-93	5A	13R	ve	9	6,7	9,6363
10-09-93	5B	05R	ve	12	14,7	2,1243
10-09-93	5B	10L	ve	12	8	8,0313
10-09-93	5B	15L	ve	12	9	9,8421
10-09-93	5B	17L	ve	12	10	3,0217

datum	goot	positie tegel in goot	voor/na erosie	gemiddelde stroomsnel- heid	actuele stroomsnelheid	droooggewicht (DG)
			(ve/ne)	(cm s ⁻¹)	(cm s ⁻¹)	(g)
11-09-93	1A	06R	ne	15	13	1,6279
11-09-93	1A	07R	ne	15	13	2,9163
11-09-93	1A	09L	ne	15	13	2,1695
11-09-93	1A	15L	ne	15	12,8	2,4257
11-09-93	1B	06R	ne	18	15	1,7933
11-09-93	1B	09R	ne	18	15	2,9881
11-09-93	1B	13R	ne	18	12	2,3502
11-09-93	1B	17R	ne	18	14	3,3344
11-09-93	2A	04L	ne	34	12,7	1,2664
11-09-93	2A	10R	ne	34	8,7	0,8571
11-09-93	2A	15L	ne	34	9,7	1,3612
11-09-93	2A	17R	ne	34	10,7	1,3775
11-09-93	2B	05R	ne	27	11,2	1,7593
11-09-93	2B	10R	ne	27	9	2,5725
11-09-93	2B	11R	ne	27	9	2,1964
11-09-93	2B	12L	ne	27	9	1,2943
11-09-93	3A	06L	ne	12	11,7	2,1274
11-09-93	3A	08L	ne	12	11,7	2,4308
11-09-93	3A	09R	ne	12	11,7	1,9459
11-09-93	3A	14R	ne	12	11,7	1,9305
11-09-93	3B	04L	ne	14	13,3	1,3842
11-09-93	3B	04R	ne	14	13,3	2,1331
11-09-93	3B	09R	ne	14	11,9	4,0381
11-09-93	3B	16L	ne	14	11	3,5487
11-09-93	4A	05R	ne	23	12,4	0,6043
11-09-93	4A	10L	ne	23	8,3	2,3742
11-09-93	4A	11R	ne	23	8,3	2,3646
11-09-93	4A	15R	ne	23	9,8	2,4735
11-09-93	4B	05L	ne	25	16,2	1,2391
11-09-93	4B	13R	ne	25	11	4,1361
11-09-93	4B	14R	ne	25	11	2,2519
11-09-93	4B	16L	ne	25	14	1,8802
11-09-93	5A	05L	ne	7	11	3,6851
11-09-93	5A	06L	ne	7	11	3,6213
11-09-93	5A	10R	ne	7	6,7	11,4890
11-09-93	5A	16L	ne	7	8,3	3,1416
11-09-93	5B	07R	ne	6	13,7	3,6869
11-09-93	5B	08L	ne	6	13,7	7,0721
11-09-93	5B	12L	ne	6	8	10,5471
11-09-93	5B	13R	ne	6	8	8,4370

Rapporten van het project "Ecologisch Herstel Maas" (Reports of the project "Ecological Rehabilitation of the River Meuse")

(all reports with a summary in english and french)

- nr. 1 - 1992 Projekt Ecologisch Herstel Maas.
 J. Botterweg en W. Silva (RIZA)

- nr. 2 - 1992 Groei en overleving van de Vlottende waterranonkel (*Ranunculus Fluitans* Lam.) in de Maas: transplantatie en semi-veldexperimenten.
 M. de la Haye (Aquasense)

- nr. 3 - 1992 Microverontreinigingen in Blankvoorns en schelpdieren uit de Maas en Maasplassen, 1991.
 B. van Hattum en S. Dirksen (IVM, Waardenburg)

- nr. 4 - 1992 Vegetaties in het oevermilieu van de Grensmaas: I Veldopname en verwerking van gegevens.
 D. de Boer (STL)

- nr. 5 - 1992 Waterplanten in de Maasplassen: inventarisatie 1990-1991.
 B. Paffen, P. van Avesaath en W. Overmars (Bureau Stroming)

- nr. 6 - 1992 De visstand in de Grensmaas.
 T. Vriese (OVb)

- nr. 7 - 1992 Watervogels en wetlands in Limburg.
 B. van Noorden (Provincie Limburg, RIZA, Waardenburg)

- nr. 8 - 1993 Worden de groei, overleving en kieming van Vlottende waterranonkel (*Ranunculus fluitans* LAMARCK) in Maaswater beïnvloed door waterstandsfluctuaties?
 M.A.A. de la Haye (Aquasense)

- nr. 9 - 1993 Onderzoek naar mogelijke paai- en opgroeigebieden in de Maas.
 S. Semmekrot en F.T. Vriese (OVb)

- nr. 10 - 1993 Sedimenttransportmetingen Grensmaas, januari 1991.
 M.C. Burgdorffer (RIZA)

- nr. 11 - 1993 Projektplan Ecologisch Herstel Maas, 1994-1995.
 M.J.J. Kerkhofs (RIZA)

- nr. 12 - 1993 Verontreinigingsbronnen en waterkwaliteit van de Grensmaas.
 R.M.A. Breukel, M.J.J. Kerkhofs en M.A.A. de la Haye (RIZA)

- nr. 13 - 1993 De Maas, Kansen voor Ecologisch Herstel.
 Onderzoeksresultaten van het projekt Ecologisch Herstel Maas, 1991-1992.
 M.J.J. Kerkhofs, J. Botterweg, M.C. Burgdorffer en M.A.A. de la Haye (RIZA)

- nr. 14 - 1993 Zware metalen en organische microverontreinigingen in bodem, regenwormen en dassen in het winterbed van de Maas bij Grave.
M.J.J. Kerkhofs, W. Silva en W. Ma (RIZA, IBN-DLO)
- nr. 15 - 1993 De otter in Limburg. Het voorkomen van de otter (*Lutra lutra*) in Limburg en een voorstel voor een ecologische infrastructuur.
L. Winter (Stichting Otterstation Nederland)
- nr. 16a-1993 "La Moyennne Meuse" als referentie voor de Grensmaas?
Een inventarisatie.
P. Paalvast (Ecoconsult)
- nr. 16b-1993 "La Moyennne Meuse" comme reference pour la Grensmaas?
Un inventaire.
P. Paalvast (Ecoconsult)
- nr. 17 - 1993 Beschrijving van een nulsituatie voor de macro- evertibraten in de Grensmaas.
A. bij de Vaate en M. Greijdanus-Klaas (RIZA)
- nr. 18 - 1994 Heeft Vlottende waterranonkel een toekomst in de Grensmaas.
M.A.A. de la Haye (Aquasense)

Aanvragen/requests:

(RIZA): Institute for Inland Water Management and Waste Water Treatment,
P.O. Box 9072, 6800 ED Arnhem, The Netherlands.