

## **Slib in de Maas, een tipje van de slibsluier opgelicht.**

Verkennde studie naar de kwantitatieve effecten van slib in het  
zomerbed op de ecologische ontwikkeling van de Maas

Arnhem, 15 maart 2000



# Samenvatting

De Maas transporteert grind, zand en slib. Slib zijn kleine deeltjes, die zich vooral onderscheiden van de overige sedimenten, doordat ze geladen zijn en andere deeltjes, waaronder voedsel en verontreinigingen aan kunnen trekken. In de Maas sedimenteert het slib hoofdzakelijk in het winterbed. In het zomerbed sedimenteert het slib uitsluitend in de zomer bij lage afvoeren. Bij hoge afvoeren in de winter wordt het weer door de rivier meegenomen zodat de netto sedimentatie op jaarbasis verwaarloosbaar is.

In deze verkennende studie staat de vraag centraal op welke manier de slibhuishouding de ecologische ontwikkeling beïnvloedt. Daarbij gaat het om de effecten van de slibkwantiteit in het zomerbed van de Maas. Kwalitatieve effecten als verontreinigingen vallen buiten deze studie.

De relatie tussen slib en ecologie is in beeld te brengen door een indeling van het slib in drie componenten, die elk een eigen, kenmerkende wisselwerking hebben met de ecologie van de rivier:

- Anorganische component,
- Algen
- Organische restcomponent

Vervolgens kan de wisselwerking van het slib (zowel als zwevende stof als bodemslib) en de ecologische ontwikkeling van de rivier doeltreffend worden beschreven in een vijftal ecologische relaties:

- slib als brandstof voor de voedselketen in de rivier
- slib en afdekken van habitats
- slib en biologische ‘aankoecking’
- slib en zichtdiepte
- slib en zuurstofhuishouding

Drie hoofdvragen zijn gesteld om de relatie tussen slib en de ecologische ontwikkeling in beeld te brengen:

1. Wat is bekend over het gedrag van slib in de Maas (slibhuishouding van de Maas) ?
2. Wat is bekend over de organische component ?
3. Wat is bekend over de ecologische rol van het slib ?

*Wat is bekend over het gedrag van slib in de Maas.*  
De Slibshuishouding is in de onderstaande tabel in enkele kentallen samengevat.

| Kenmerk                                                         | Waarde                                                |
|-----------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------|
| Jaarvracht bij Eijsden                                          | 500.000 ton (1976-1984)                               |
| bij Keizersveer                                                 | 250.000 ton (1976-1984)                               |
| Gemiddelde concentratie winter                                  | 35 ml/l (1976-1987)                                   |
| Zomer                                                           | 20 ml/l (1976-1987)                                   |
| Aandeel organische component (algen en restcomponent) gemiddeld |                                                       |
| Lage afvoer/zomer                                               | 23 % (bewerking gegevens DONAR)                       |
| Sedimentatie winterbed                                          | tot 92 %                                              |
| Zomerbed                                                        | 340.000 ton/jr (1976-1984)                            |
| Sedimentatiedikte zomer                                         | netto 0                                               |
|                                                                 | 0,2 mm (Ludikhuize, 1996); 2,8 mm (Haselen van, 1995) |



- verbreden en verontdiepen van de Maas waardoor geschikte standplaatsen ontstaan voor waterplanten, die kunnen functioneren als primaire voedselbron, concurrerend zijn met de algen voor stikstof en fosfaat en habitats kunnen vormen voor macrofauna en paaiplassen voor vissen.
- tegelijk met het verbreden en verontdiepen van de Maas moet de inrichting van de oevers dusdanig zijn dat de doorstroming is gegarandeerd. Dit beperkt de slibsedimentatie en biedt kansen voor de ecologische ontwikkeling van de oeverzone.
- het verbeteren van de waterkwaliteit, hoewel dit waarschijnlijk op lange termijn pas effect zal sorteren.



# Inhoudsopgave

O.N.: 1293331  
Doc.: GLD6215

|                                                                                                                                              |    |
|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| Samenvatting .....                                                                                                                           | 2  |
| 1 Inleiding .....                                                                                                                            | 7  |
| 1.1 Achtergrond studie slib in het zomerbed van de Maas.....                                                                                 | 7  |
| 1.2 Doelstelling .....                                                                                                                       | 7  |
| 1.3 Aanpak .....                                                                                                                             | 8  |
| 1.4 Leeswijzer .....                                                                                                                         | 8  |
| 2 Over de relatie van slib en de ecologie in een rivier .....                                                                                | 9  |
| 2.1 Wat is slib ?.....                                                                                                                       | 9  |
| 2.2 Vijf relaties tussen slib en de ecologische ontwikkeling.....                                                                            | 9  |
| 3 Over het gedrag van het slib .....                                                                                                         | 11 |
| 3.1 Inleiding .....                                                                                                                          | 11 |
| 3.2 Over transport en sedimentatie van het slib.....                                                                                         | 11 |
| 3.3 Wat is bekend over het transport van zwevende stof in de Maas ...                                                                        | 11 |
| 3.4 Wat is bekend over de sedimentatie van het slib in de Maas? .....                                                                        | 13 |
| 3.5 Wat is bekend over het transport van zwevende stof in relatie met<br>de neerslag en de afvoer ? .....                                    | 15 |
| 3.6 Wat is bekend over het gedrag van slib in de zomer.....                                                                                  | 17 |
| 3.7 Wat is bekend over de invloed van de Waterkrachtcentrale bij Lixhe<br>op de slibhuishouding van de Maas gedurende de zomerperiode ?..... | 19 |
| 3.8 Wat is bekend over de slibhuishouding in het verleden? .....                                                                             | 19 |
| 4 Over de organische component .....                                                                                                         | 21 |
| 4.1 Inleiding .....                                                                                                                          | 21 |
| 4.2 Over het aandeel van de organische component.....                                                                                        | 21 |
| 4.3 Wat is er bekend over de algen-component in het zwevende stof? ..                                                                        | 22 |
| 4.4 Wat is er bekend over de biologische aankoeking? .....                                                                                   | 24 |
| 4.5 Wat is bekend over de organische restcomponent? .....                                                                                    | 26 |
| 5 Over de ecologische rol van het slib?.....                                                                                                 | 27 |
| 5.1 Inleiding .....                                                                                                                          | 27 |
| 5.2 Welke rol speelt slib in mogelijke voedselketens in rivieren? .....                                                                      | 27 |
| 5.3 Welk effect heeft slib op de zuurstofhuishouding van de Maas .....                                                                       | 27 |
| 5.4 Welke effecten heeft het zwevende stof op waterplanten? .....                                                                            | 28 |
| 5.5 Welke effecten heeft slib op de macrofauna ? .....                                                                                       | 30 |
| 5.6 Welke effecten heeft slib op vis.....                                                                                                    | 31 |
| 6 Conclusies en aanbevelingen .....                                                                                                          | 34 |
| 6.1 Inleiding.....                                                                                                                           | 34 |
| 6.2 Conclusies met betrekking tot de samenstelling van het slib .....                                                                        | 34 |
| 6.2.1 Anorganische component.....                                                                                                            | 34 |
| 6.2.2 Algencomponent .....                                                                                                                   | 34 |
| 6.2.3 Organische restcomponent .....                                                                                                         | 35 |
| 6.2.4 Onderlinge relaties componenten .....                                                                                                  | 35 |
| 6.3 Vijf ecologische relaties van het slib in de Maas .....                                                                                  | 35 |
| 6.3.1 Slib als brandstof .....                                                                                                               | 35 |
| 6.3.2 Slib en het afdekken van habitats.....                                                                                                 | 36 |
| 6.3.3 Slib en biologische aankoeking.....                                                                                                    | 36 |
| 6.3.4 Slib en zichtdiepte .....                                                                                                              | 36 |
| 6.3.5 Slib en de zuurstofhuishouding .....                                                                                                   | 37 |
| 6.4 Eindbeschouwing invloed slib op de ecologische ontwikkeling van<br>de Maas .....                                                         | 37 |





|           |                                    |    |
|-----------|------------------------------------|----|
| 7         | Literatuur .....                   | 39 |
| Bijlage 1 | Begeleidingsgroep Slib in de ..... | 45 |



# 1 Inleiding

## 1.1 Achtergrond studie slib in het zomerbed van de Maas

Ecologisch herstel van de Maas is een doelstelling, die vast ligt in het Nederlands beleid (NW4, min V&W, 1998). Maar voordat stappen genomen kunnen worden genomen om de ecologische kwaliteit van de Maas te verbeteren is onderzoek naar de ecologische relaties in het rivierengebied onontbeerlijk. Op basis van dit onderzoek kan bepaald worden welke maatregelen waar effectief kunnen zijn. In dit kader zijn er diverse studies opgestart onder de paraplu van Ecologisch Herstel Maas (EHM).

Een deel van de studies richt zich op de abiotische situatie van de Maas in relatie met de ecologische ontwikkeling. Op dit terrein liggen er echter nog een aantal vragen met betrekking tot het ecologisch herstel van de Maas.

Een van de vragen heeft betrekking op de grote slibvracht van de rivier. Dit wordt weliswaar aangegeven als een beperkende factor voor de ecologische ontwikkeling, maar een uitgebreide onderbouwing hiervoor ligt nog niet op tafel.

Er is behoefte aan die onderbouwing om enerzijds de ecologische consequenties van verandering in de slibhuishouding aan te geven bij bepaalde ingrepen in het rivierensysteem. Anderzijds om te bepalen of vanuit ecologie reductie van de slibvracht gewenst is.

Op dit moment is bekend dat slibsedimentatie met name een rol speelt in het winterbed van de Maas. Daarentegen is de slibsedimentatie in het zomerbed verwaarloosbaar op jaarbasis. Wat in de zomer bij lage afvoeren is afgezet voert de rivier in de winter bij een hogere afvoer weer af.

In onderzoeken naar de slibhuishouding van de Maas staat tot nu toe vaak het kwalitatieve aspect, de ecotoxiciteit, centraal. De effecten van slibkwantiteit op de ecologische ontwikkeling komen nauwelijks aan de orde.

De effecten van de slibkwantiteit op de ecologische ontwikkelingen kunnen echter niet zonder meer worden verwaarloosd. Ten eerste treedt er slibsedimentatie op in de zomerperiode en dus in het groeiseizoen. Ten tweede zou ook het slib in transport (het zwevende stof) beperkingen op kunnen leveren voor de ecologische ontwikkeling van de Maas.

Grontmij heeft in samenwerking met Hydrobiologisch Adviesbureau Klink in opdracht van het Rijksinstituut voor Integraal Zoetwaterbeheer en Afvalwaterbehandeling een verkennend onderzoek uitgevoerd naar de kwantitatieve effecten van slib op de ecologische ontwikkeling van de Maas.

## 1.2 Doelstelling

Doel van de studie is inzicht te verschaffen op welke manier de slibhuishouding van de Maas de ecologische ontwikkeling beïnvloedt. Daarbij gaat het om de effecten van de slibkwantiteit in het zomerbed van de Maas.

Tot het zomerbed behoren ook de directe oeverzone en de natuurvriendelijke oever, die periodiek onder water staan.

Het studiegebied betreft het Nederlandse traject, dat zich uitstrekt van de Belgische grens tot aan Keizersveer (rivierkm 0-264).

Buiten deze studie vallen de kwalitatieve aspecten als verontreinigingen en de effecten van slib op het winterbed van de Maas.



### 1.3 Aanpak

De eerste stap in het onderzoek is het formuleren van de verwachte relaties tussen het slib en de ecologische ontwikkelingen. Deze relaties zijn opgesteld op basis van expert judgement en in overleg met de begeleidingsgroep slibonderzoek (zie voor overzicht leden bijlage 1). Op die manier zijn de punten voor het verdere onderzoek afgebakend (zie hoofdstuk 2).

De tweede stap was vervolgens het verder uitwerken van deze relaties. Daarbij is gebruik gemaakt van een literatuurstudie en gesprekken met deskundigen op het gebied van slibhuishouding in de Maas en ecologische effecten van het slib. De aangesproken personen met betrekking tot de slibhuishouding van de Maas zijn :

- de heer D. Ludikhuize (RIZA, Dordrecht)
- mevrouw N. Asselman, (Waterloopkundig Laboratorium, Delft)
- de heer F. Schepers (Bureau Maaswerken, Maastricht).
- de heer M. de Rooy (Stichting Reinwater, Amsterdam)
- de heer P. Obrdlik (WWF-Auen-Institut, Rastatt, Duitsland)
- de heer H. Middelkoop, Universiteit Utrecht.
- de heer R. Van der Veen (RIZA)

Met de heer Ludikhuize en mevrouw Asselman heeft op 26 oktober een gesprek plaatsgevonden bij het RIZA te Dordrecht. De overigen zijn telefonisch benaderd.

De betrokken deskundigen op het gebied van de ecologische effecten van slib zijn:

- de heer A. Raat (Organisatie voor Verbetering van de Binnenvisserij)
- de heer W. Admiraal (RIVM, Bilthoven)

Bij de opzet van deze studie werd ervan uitgegaan dat er nog weinig bekend is over de slibhuishouding van de Maas. Gedurende deze studie is echter een omvangrijke literatuurlijst ontstaan over slib in de Maas. Wegens de beperkte beschikbare tijd voor deze studie is een selectie gemaakt van de meest relevante rapporten. Deze selectie is onder meer gebaseerd op aanwijzingen van de betrokken deskundigen en mevrouw Liefveld (RIZA, Arnhem). De literatuurlijst is aan dit rapport toegevoegd.

### 1.4 Leeswijzer

De studie is voor een groot deel opgezet in de vorm van vragen. Dit benadrukt het verkennende karakter van de studie. Door in de hoofdstukken de vragen te stellen en gelijk te beantwoorden ontstaat een heldere structuur om te komen tot een eerste inzicht in de ecologische effecten van slib in de Maas.

Hoofdstuk twee geeft een definitie van slib, die in deze studie wordt gehanteerd. Aan de hand van deze definitie zijn de ecologische relaties opgesteld, weergegeven in een beïnvloedingsmatrix.

Hoofdstuk drie gaat in op de slibhuishouding van de Maas. Vragen over het gedrag van slib in de Maas, in de winter en met name in het groeiseizoen komen hier aan de orde.

Hoofdstuk vier belicht de organische component van het slib, het levende en dode materiaal.

Hoofdstuk vijf is een nadere uitwerking van de aangegeven ecologische relaties uit hoofdstuk twee. Hier is ingegaan op de effecten van het slib op de ecologische ontwikkeling in het algemeen, planten, macrofauna en vissen.

Hoofdstuk zes vormt het slothoofdstuk. Hierin zijn de bevindingen uit de vorige hoofdstukken verwerkt in conclusies, aanbevelingen voor inrichting en beheer en aanbevelingen voor nader onderzoek.



## 2 Over de relatie van slib en de ecologie in een rivier

### 2.1 Wat is slib ?

De rivier transporteert grind, zand en slib. Slib bestaat uit deeltjes  $<50-65\text{ }\mu\text{m}$ . Het belangrijkste verschil met de andere sedimenten is het feit dat slib een cohesief gedrag vertoont. Dat wil zeggen dat slib uit geladen deeltjes bestaat, die allerlei andere deeltjes als bijvoorbeeld voedseldeeltjes, maar ook verontreinigingen aan kunnen trekken. Daarbij is bij het transport van slib altijd sprake van zwevend transport.

Het slib bestaat uit drie componenten:

- de anorganische component (bv. kleideeltjes)
- de organische component, die uit levende en dode algen bestaat.
- de organische restcomponent.

In deze studie wordt gesproken van zwevend stof indien dit in suspensie is en van bodemslib indien het zwevende stof is gesedimenteerd. Slib is de algemene benaming van beide situaties. Indien bepaalde effecten toe te wijzen zijn aan de afzonderlijke componenten van het slib, wordt de component in de tekst met name genoemd.

### 2.2 Vijf relaties tussen slib en de ecologische ontwikkeling

In deze studie zijn vijf manieren onderscheiden waarop het slib een sturende factor kan zijn in de ecologische ontwikkeling. Deze zijn geïdentificeerd op basis van een brainstormsessie met de begeleidingsgroep:

- slib als brandstof voor de voedselketen in de rivier
- slib en afdekken van habitats door slibafzettingen
- slib en biologische “aankoeking”
- slib en zichtdiepte
- slib en zuurstofhuishouding

#### *Slib als brandstof voor de voedselketen in de rivier*

De levende organische component van het slib (fytoplankton) is voor een groot deel verantwoordelijk voor de primaire produktie in de rivier. Dit is de basis voor een voedselketen, die via het zoöplankton en macrofauna vertakkingen heeft naar vissen, vogels en zoogdieren. Slib heeft in deze relatie een belangrijke betekenis.

#### *Slib en afdekken van habitats door slibafzettingen*

Een deel van het zwevende materiaal kan naar de bodem zakken. Habitats van macrofauna en vissen dan wel vestigingsplaatsen voor planten kunnen hierdoor worden beïnvloed. Relevante ecologische aspecten hierbij zijn o.a. het afdekken van afgezette visseneieren, het (periodieke) afdekken van zandige en grindige substraten, afdekken van benthische algen en macrofauna en zuurstofloosheid in het bodemslib.

#### *Slib en biologische “aankoeking”*

In de Grensmaas treedt er op de stenen een sterke biologische ophoping op van slib. Algen vestigen zich op de stenen, die vervolgens het zwevende stof gaan invangen. De relevante ecologische processen zijn onder meer de potentiële vermindering van geschikt substraat voor macro-algen en macrofauna.





*Slib en zichtdiepte*

Naarmate de hoeveelheid zwevende stof toeneemt, neemt de zichtdiepte af.

Relevante ecologische aspecten in deze context zijn o.a.

- effecten op de fytoplanktonproductie
- vestiging van ondergedoken waterplanten,
- vestiging van draadalg op de vaste substraten,
- gevolgen voor macrofauna en vissen, die afhankelijk zijn van waterplanten als habitat of paaiplaats.
- invloed op zichtjagers onder de vissen (zalmachtigen, snoek).

*Slib en zuurstofvoorziening*

Bij lage afvoeren (zomerhalfjaar) kunnen in de waterkolom zwevende algen tot ontwikkeling komen, die overdag zuurstof produceren, maar 's nachts ademhalen. Bij algenbloei kunnen hierdoor tegen zonsopgang kritisch lage zuurstofgehalten optreden. Slib afgezet op de bodem kan lokaal tot anaerobe situaties leiden, zoals genoemd onder 'afdekken habitats'.

De ecologische relaties kunnen nader worden uitgesplitst naar het bestandsdeel van het slib. Welke component bepaalt het effect: de anorganische component, de algen- en/of de organische restcomponent. De andere vraag is in welke hoedanigheid het slib invloed heeft op de ecologische ontwikkeling: als zwevende stof of als bodemslib.

In onderstaande beïnvloedingsmatrix zijn de verwachte relaties aangegeven. Hierbij is tevens een verfijning toegekend in de mate van invloed.

| Component<br>Relatie | anorganisch |    | algen |    | Organische restcomponent |    |
|----------------------|-------------|----|-------|----|--------------------------|----|
|                      | z.          | s. | z.    | s. | z.                       | s. |
| Voedsel              | +           | -  | ++    | +  | ?                        | ?  |
| Afdekken habitat     | -           | ++ | -     | +  | -                        | -  |
| Aankoeking           | -           | +  | +     | ++ | -                        | -  |
| zichtdiepte          | +           | -  | ++    | -  | -                        | -  |
| zuurstofhuishouding  | -           | +  | ++    | ++ | +                        | +  |

z.: zwevende stof

s.: bodemslib

Verwachte invloed:

-: niet waarschijnlijk

+: aanwezig

++: grote invloed

?: relatie op voorhand niet bekend

Aan de hand van de beïnvloedingsmatrix zijn vragen gesteld, die betrekking hebben op de nadere uitwerking van de ecologische relaties. Deze vragen worden in de volgende hoofdstukken behandeld:

- Wat is bekend over het gedrag van slib (slibhuishouding van de Maas) (H3)?
- Wat is bekend over de organische component. Dit bestandsdeel van slib is uitgelicht, omdat uit de beïnvloedingsmatrix blijkt dat de organische component (m.n. de algen) interfereert met alle vijf relaties (H4)?
- Wat is bekend over de ecologische rol van het slib (H5)?

De vragen gaan in op het gedrag van slib in de Maas, zowel de abiotische en biotische component. Daarnaast worden de ecologische relaties nader bekeken, waarbij indien mogelijk ook de effecten op de verschillende organismen (planten en dieren) wordt toegelicht.



## 3 Over het gedrag van het slib

### 3.1 Inleiding

In dit hoofdstuk staat de slibhuishouding van de Maas centraal. Achtereenvolgens wordt ingegaan op de totale slibblast in de Maas, het gedrag van het slib in het rivierbed en de variaties daarin in de loop van de rivier, de loop der jaren en seizoenen. Dit hoofdstuk legt de nadruk op totale slibblast en de abiotische component. De beschrijving van de biotische component volgt in hoofdstuk 4.

### 3.2 Over transport en sedimentatie van het slib

Bodemslib kan in transport komen door verandering in stromingscondities. Bodemslib kan resuspenderen of eroderen. Resuspensie is een proces van lokale opwerveling van (ongeconsolideerd) bodemslib van de rivierbodem. Dit kan optreden bij een verhoogde afvoer, als gevolg van scheepvaart of door opwoeling van vissen. Het verschil is dat het bij resuspensie gaat om lokale opwerveling van materiaal. Het proces van erosie is heftiger. Bij erosie gaat het om het 'losrukken' en afbreken van materiaal uit de rivierbodem. Dit proces kan met name optreden tijdens hoogwaters.

Het optreden van erosie is afhankelijk van de stroomsnelheid. Bij stroomsnelheden groter dan 40 à 60 cm/s wordt de zogenaamde 'bodemschuifspanning' zo groot (0,2 à 0,5 N/m<sup>2</sup>) dat geconsolideerd bodemslib van de rivierbodem kan worden opgenomen en in suspensie gebracht. Een indicatie bij welke afvoer dit optreedt: in de Zandmaas bij ca. 200 m<sup>3</sup>/s.

Resuspensie van ongeconsolideerd slib kan al bij veel lagere stroomsnelheden optreden. Omdat elke lokale waterbeweging tot resuspensie kan leiden, zijn hiervoor geen grenswaarden aan te leveren

Zwevende stof kan door middel van een neerwaarts transport (sedimentatie) op de bodem terechtkomen. Dit bezinkgedrag is afhankelijk van de samenstelling, het soortelijk gewicht, de korrelgrootte, de concentratie van het zwevende stof, van flocculatieverschijnselen en de turbulentie. Het bezinkgedrag is dan ook moeilijk te modelleren. De formule van Stokes (zie rapport Van Haselen, 1995) voor het bepalen van de valsnelheid van sedimentdeeltjes in stilstaand water is hier niet toe te passen.

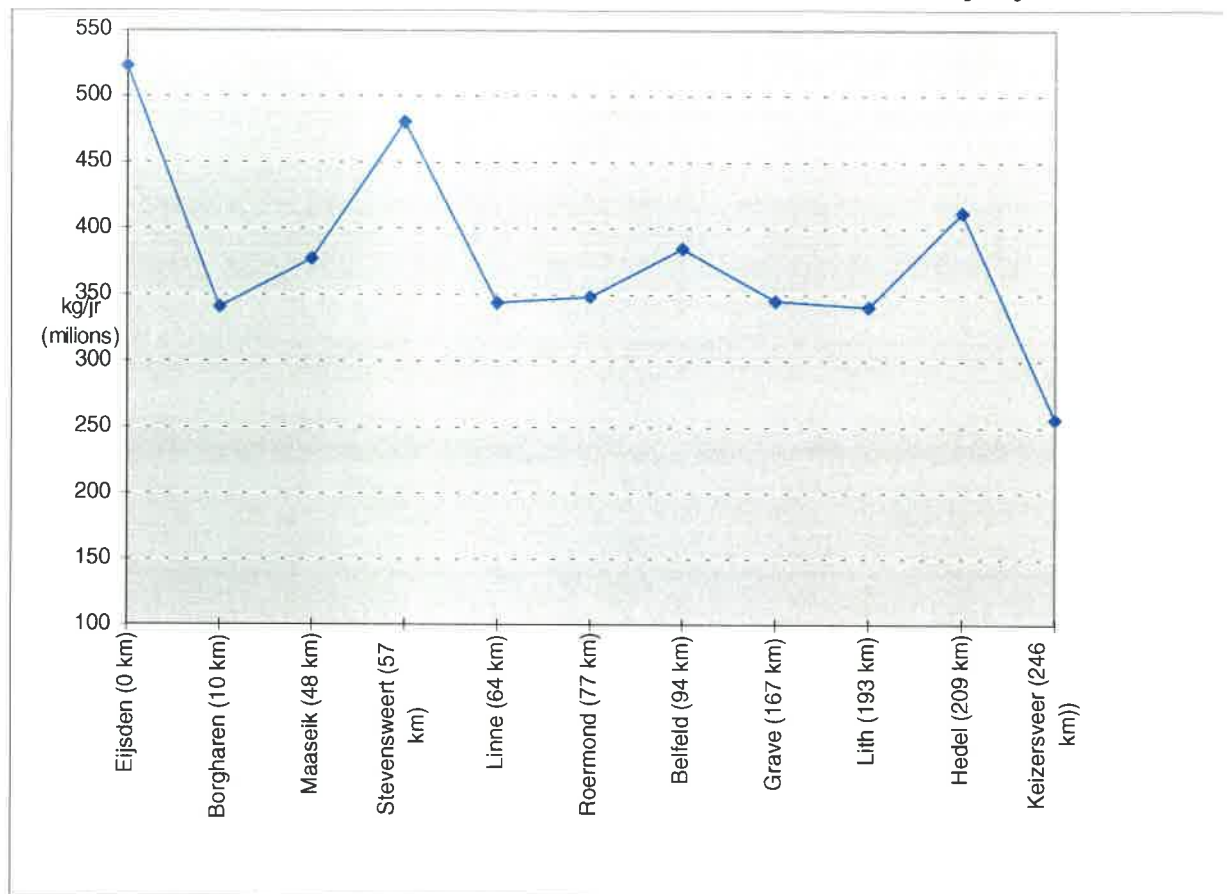
De valsnelheid is alleen empirisch te benaderen in de ordegrrootte tussen 0,25 tot 10 m/dag (Grensmaas 5 m/dag). Dit volgt uit verschillende modelstudies in het NDB (Van Wijngaarden & Ludikhuizen, 1998)

### 3.3 Wat is bekend over het transport van zwevende stof in de Maas

#### Hoe verloopt de jaarvracht over de lengte van de Maas

De gemiddelde jaarvracht bij Eijdsen is ca. 500.000 ton droge stof per jaar, berekend over de periode 1976 tot 1984. Bij Keizersveer is de jaarvracht gehalveerd tot 250.000 ton per jaar (Ludikhuizen, 1997). Het verloop van de gemiddelde jaarvracht is in onderstaande grafiek weergegeven (naar Ludikhuizen, 1997).





Figuur 1: De gemiddelde jaarvrucht bij de elf meetlocaties van de Maas, berekend over de periode 1976-1984. (Bron: naar Ludikhuize, 1997) (N.B.<sub>1</sub>: de afstanden van de meetlocaties zijn – weergegeven ten opzichte van Eijsden. N.B.<sub>2</sub>: De afstanden tussen de meetlocaties in de grafiek komen niet overeen met de werkelijke afstanden)

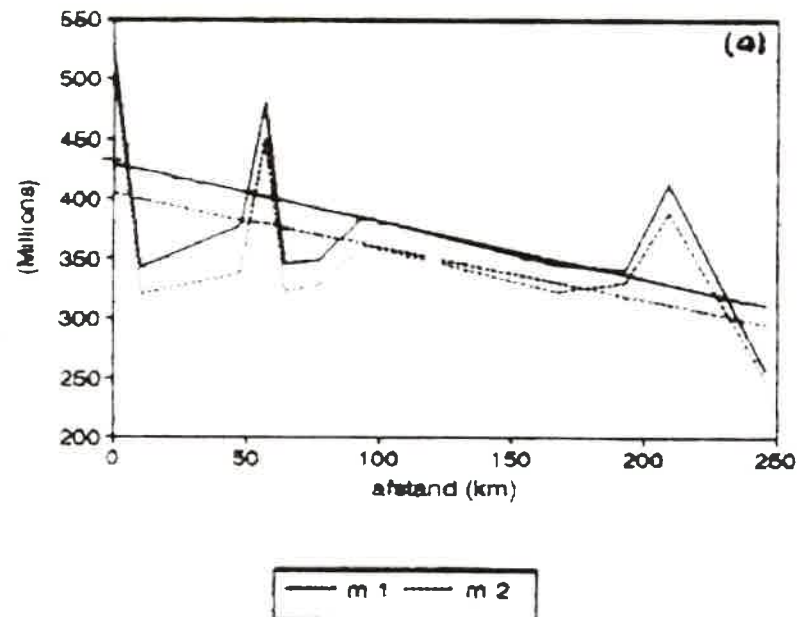
De gemiddelde jaarvruchten worden berekend op basis van het zwevende stofgehalte en het debiet. Voor de gebruikte methodes wordt verwezen naar Van Haselen (1995). Berekeningen zijn nodig omdat de slibvrucht over de verschillende meetpunten naar frequentie en meetperiode moet worden gecorrigeerd. Deze zijn namelijk niet gelijk voor de elf meetpunten. Voor meetfrequenties op de elf locaties over deze periode wordt eveneens verwezen naar Van Haselen (1995).

De hoge uitschieters bij Stevensweert en Hedel zijn volgens Van Haselen (1995) niet helemaal betrouwbaar. De meetpunten worden namelijk niet representatief geacht voor het sedimenttransport in de Maas wegens hun positionering in het zomerbed. De meetlocatie Stevensweert ligt net na een scherpe bocht in de Maas. Het optreden van erosie in de bocht is een mogelijke verklaring van de relatief hoge concentratie zwevende stof bij het meetpunt. Van Haselen (1995) geeft voor Hedel aan, dat de verhoogde concentratie mogelijk wordt veroorzaakt door plaatselijk optredende erosie bij hoog water. Ook over Borgharen bestaat twijfel ten aanzien van de betrouwbaarheid. Een verklaring hiervoor is niet aangetroffen in de literatuur. Ludikhuize (pers. med. 2000) ziet mogelijk een verband tussen de afwijking en de locatie van de monsternamen. De overige meetpunten worden representatief geacht voor de Maas (Haselen van, 1995).

De periode 1976-1984 geeft een redelijk betrouwbaar beeld, omdat in deze periode de bemonsteringsfrequentie vrijwel constant was (Ludikhuize, 1997).



De grafiek kent een grillig verloop. Echter over het algemeen is een dalende trend waar te nemen in de jaarvrucht over de lengte van de Maas. Van Haselen (1995) heeft de jaarvrucht met behulp van verschillende methodes uitgezet tegen de afvoer in regressielijnen. Deze bevestigen de dalende trend in de jaarvrucht over de lengte van de rivier.



Figuur 2: De vruchten berekend met twee methoden en de bijbehorende regressielijnen uitgezet tegen de afstand (Bron: Van Haselen, 1995)

### 3.4 Wat is bekend over de sedimentatie van het slib in de Maas?

#### Waar blijft het slib ?

Een dalend gehalte aan zwevende stof in stroomafwaartse richting impliceert sedimentatie. De totale sedimentatie in Zandmaas en Grensmaas, gerekend over de periode 1976-1984, is weergegeven in onderstaande tabel.

Deze gegevens zijn gecorrigeerd voor de afvoeren van de zijrivieren (jaarvrucht 0,06 Mt/jr). De sedimentatie in de Grensmaas wordt bepaald op basis van de transporten bij Eijsden en het gemiddelde, berekend transport bij Linne en Roermond. De sedimentatie in de Zandmaas is bepaald op basis van het gemiddelde transport bij Linne en Roermond en het transport bij Lith. De slibsedimentatie in de voorhavens is geschat aan de hand van gebaggerde hoeveelheden. De overige waarden zijn berekend.

**Tabel 1: Totale sedimentatie in Zandmaas en Grensmaas (periode 1976-1984) (bron: Memo slibbalans Maas, Ludikhuize 1997).**

| Omschrijving | Grensmaas (ton/jr) | Zandmaas (ton/jr) | Totaal (ton/jr) |
|--------------|--------------------|-------------------|-----------------|
| zomerbed     | 0                  | 0                 | 0               |
| winterbed    | 80.000             | 20.000            | 100.000         |
| oevers       | 0                  | 10.000            | 10.000          |
| voorhavens   | 40.000             | 35.000            | 75.000          |
| plassen      | 20.000             | 25.000            | 45.000          |
| totaal       | 140.000            | 90.000            | 230.000         |

De sedimentatie in de Getijdenmaas bedraagt volgens berekeningen van Ludikhuize (1995) 110.000 kg/jr.

Het meeste slib sedimenteert in het winterbed van de Maas en dan met name langs de Grensmaas. In voorhavens en oevers, blijft eveneens slib liggen. Vooral de voorhavens ontvangen relatief veel slib. Deze bevatten relatief veel slib als gevolg van de regelmatige peilverschillen (schutten van de schepen). Dit leidt tot een continue opwoeling en aanvoer van slib. Sedimentatie in de





voorhavens bedraagt ca. 25 kg/m<sup>2</sup>/jr (mond. med. Ludikhuizen, 1999; Ludikhuizen, 1996b).

Daarnaast vindt in mindere mate op de oevers langs de Zandmaas netto slib-sedimentatie plaats. Modelberekeningen geven aan dat sedimentatie van de oevers langs de Zandmaas vooral plaats zou vinden net bovenstrooms van de stuw, wegens de stabiele waterstanden. De sedimentatie beperkt zich tot een smalle zone over een hoogte van 0,5-1 meter, waarbij 10 tot 15 kg slib per m<sup>2</sup> wordt afgezet. Dat resulteert in een ophoging van de bodem van 2 tot 3 cm per jaar.

In het gebied net benedenstrooms van de stuw kent een grotere variatie in de waterstanden, waardoor de afzettingen op de oever bij hogere afvoeren weer worden geërodeerd (Ludikhuizen, 1996a).

In de memo van 7 mei 1997 geeft Ludikhuizen aan, dat de sedimentatie in de oeverzone over het algemeen vrijwel te verwaarlozen is. Dit komt volgens hem overeen met de praktijkervaring van de verschillende dienstkringen langs de Maas.

Omdat de stroomsnelheid in de Maasplassen ten opzichte van de rivier veel lager is, bezinkt hier relatief veel zwevend stof. De meeste slib bezinkt bij hoge afvoeren in de winter. Dus er sedimenteert ook slib in plassen die alleen 's winters aangetakt zijn.

Duidelijk is dat in het zomerbed van de Grensmaas en de Zandmaas geen netto sedimentatie plaatsvindt (Helmer, 1991; Ludikhuizen, 1996a).

Voor de Getijdenmaas is de verdeling niet uitgerekend, maar in dit traject sedimenteert slib met name in het zomerbed. In het winterbed vindt nauwelijks sedimentatie plaats (Asselman, 1997).

#### **Waar blijft het slib tussen Eijsden en Borgharen ?**

Tussen Eijsden en Borgharen treedt een relatief sterke daling op in het gehalte zwevend stof op jaarbasis (zie figuur 1). Uit berekeningen van Van Haselen (1995) blijkt dat zowel in de zomer als in de winter een relatief groot deel van het zwevend stof verdwijnt tussen de twee meetpunten.

De meetlocatie Borgharen ligt benedenstrooms van de stuw bij Borgharendorp (Anonymus, *in prep*). Bij afvoeren kleiner dan 250 m<sup>3</sup>/s vindt de overstort van het water via de kleppen plaats. Het slib kan dan accumuleren voor de stuw. Wanneer de afvoer groter is dan 250 m<sup>3</sup>/s kan een deel van het water ook onder de stuw door. Het slib kan dan weer in transport komen (mond. med. Bastings, 2000). De langjarige gemiddelde afvoer (periode 1901-1991) ligt bij Borgharen op ca. 230 m<sup>3</sup>/s (Anonymus, 1998).

Mogelijke verklaringen zouden zijn:

- Sedimentatie voor de stuw, dit is een verklaring die met name voor de zomerperiode geldt omdat dan de gemiddeld afvoer lager is dan 250 m<sup>3</sup>/s (Anonymus, 1998). Waarnemingen van Klink en Ludikhuizen van een sliblaag voor de stuw bij Borgharen ondersteunen dit. In de winter is de afvoer gemiddeld hoger dan 250 m<sup>3</sup>/s en kan het slib weer worden afgevoerd.
- Aftakking naar het Julianakanaal en Zuid-Willemsvaart. Een deel van het debiet van de Maas verdwijnt in deze twee kanalen, waarbij ook een deel van het zwevende stof kan worden afgevoerd. Het ontrekkingsdebiet voor het Julianakanaal is ca. 16 m<sup>3</sup>/s en de Zuid-Willemsvaart 14 m<sup>3</sup>/s (Anonymus, 1998 ; Berger, 1991). Het meetpunt ligt benedenstrooms van de aftakkingen
- Een deel van het slib zou kunnen bezinken in het grindgat bij Eijsden (mond. med. Bastings, 2000).
- De betrouwbaarheid van de meetresultaten. Van der Veen geeft aan (mond.med. 1999) dat in eerste instantie het slib in het stuwpannd zal be-

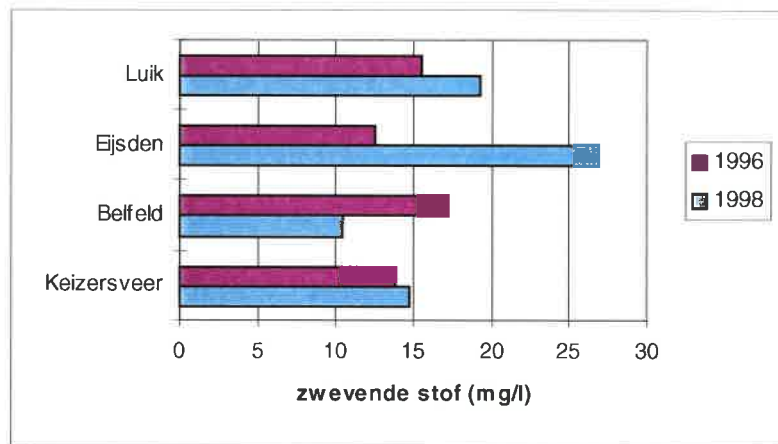


zinken. Echter bij een kleine of korte afvoergolf groter dan 250 m<sup>3</sup>/s kan het slib worden getransporteerd (onder de stuw door). De kans dat deze piek in de zwevende stofconcentratie buiten de meetresultaten valt is dan groot, want de metingen vinden slechts één keer per dag plaats.

### 3.5 Wat is bekend over het transport van zwevende stof in relatie met de neerslag en de afvoer ?

#### Hoe is de spreiding van slib over de lengte van de Maas bij een nat en een droog jaar ?

In figuur 3 is het gemiddelde gehalte aan zwevende stof in de lengterichting weergegeven voor het droge jaar 1996 en het natere jaar 1998. In 1998 is op bijna alle stations (uitz. Belfeld) het zwevend stofgehalte aanmerkelijk hoger dan in 1996. Tussen Luik en Eijsden neemt in 1996 het zwevende stofgehalte af, terwijl er in 1998 sprake is van een toename in dit traject. In 1996 is het zwevende stofgehalte in Belfeld hoger dan in Eijsden, terwijl dit in 1998 omgekeerd is. Mogelijk heeft zich tijdens hoge afvoeren (in 1998) veel slib afgezet in de weerden langs de Grensmaas. Tussen Belfeld en Keizersveer vindt in 1996 een afname plaats en in 1998 juist een toename in het gehalte aan zwevende stof



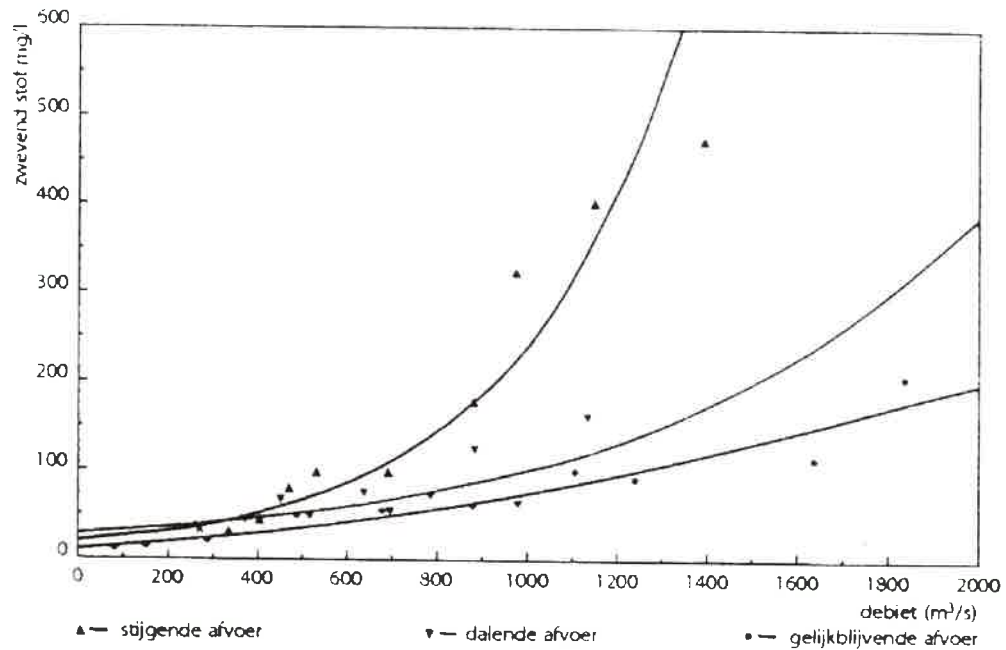
Figuur 3. Zwevende stofgehalte in het lengteprofiel van de Maas in 1996 en 1998 (opgesteld op basis van gegevens RIWA, 1997 en 1999).

#### Wat gebeurt er bij een hoge afvoer met het slib ?

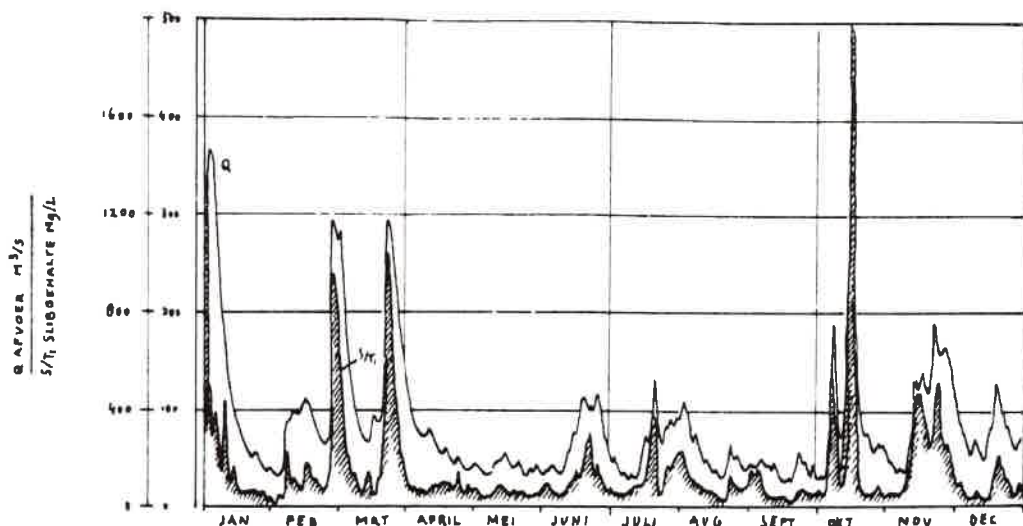
Het zwevende stofgehalte hangt sterk samen met de afvoer van de rivier. Bij hoge afvoeren neemt het zwevende stofgehalte sterk toe. In de lengterichting van de Maas is dit patroon op alle stations aanwezig.

Figuren 4 en 5 geven aan dat bij stijgende afvoer het zwevende stofgehalte ook snel toeneemt. De rivier wordt direct schoongespoeld en als het water weer gaat zakken is de sedimentgolf al lang gepasseerd. Als gevolg hiervan is het sedimenttransport bij stijgende afvoeren ook veel hoger dan bij dalende afvoeren (Helmer e.a., 1991).





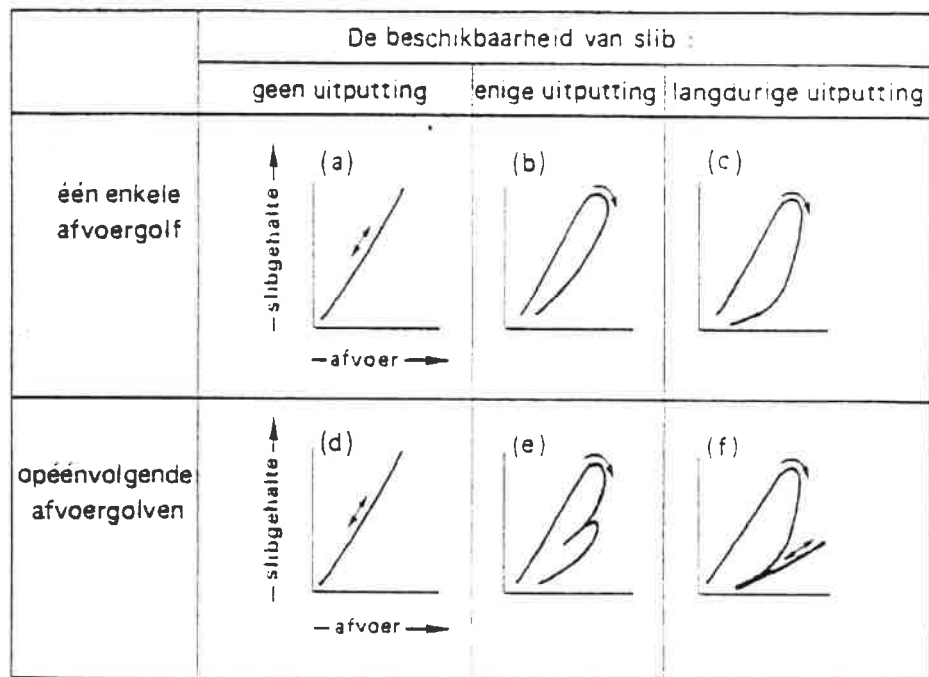
Figuur 4 Relatie afvoer zwevende stof bij Eijsden (bron; Anonymus, 1998)



Figuur 5. Relatie tussen de afvoer en het zwevende stofgehalte in de Maas bij Eijsden in 1987 op basis van daggemiddelde waarnemingen (Helmer e.a., 1991)

Er geldt geen eenduidige relatie tussen afvoer en zwevende stof. Op een bepaald moment kan de afvoer nog toenemen, terwijl de rivier al is schoongespoeld. Dan ontstaat een zogenaamde hysteresis lus (zie figuur 6). Een piek in de afvoer van het zwevende stof duurt vaak minder dan 4 dagen (Van Haselen 1995).





Figuur 6 Het effect van de beschikbaarheid van bodemslib op het zwevende stofgehalte  
(bron: Van Haselen, 1995)

Bij hoogwater wordt het meeste slib afgezet langs de Grensmaas (mond. med. Ludikhuize, 1999; Van Haselen, 1995). In 1993 sedimenteerde bij het hoogwater tussen Borgharen en Lith 50-70 % van het tijdens het hoogwater aangevoerde zwevende stof in het winterbed (Van Bruggen e.a., 1995). De uiterwaarden van de Zandmaas kennen een geringe slibsedimentatie. Het grootste deel van het slib is al in de uiterwaarden van de Grensmaas gesedimenteed. Bovendien heeft de Zandmaas relatief hoge uiterwaarden, die in beperkte mate inunderen (mond. med. Asselman, 1999).

### 3.6 Wat is bekend over het gedrag van slib in de zomer

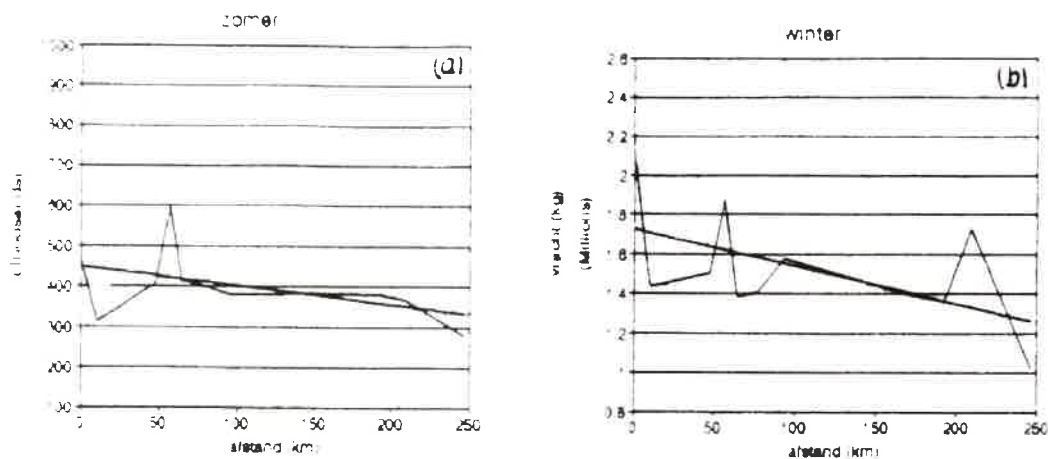
Sedimentatie van slib in het zomerbed vindt vooral plaats in de zomer. Dit is gelijktijdig met het groeiseizoen van de flora en fauna langs de Maas. Daarom is het voor de ecologische relaties van belang inzicht te krijgen in het gedrag van slib in juist deze periode.

#### Wat is bekend over de spreiding van slib over de Maas in de zomer ?

In de zomer bij lage afvoeren is het slibgehalte gemiddeld 20 mg/l, berekend over een periode van 1976-1987 (Van Haselen, 1995). Het gehalte zwevende stof daalt in de zomerperiode minder snel over de lengte van de Maas, vergeleken met de winterperiode (1976-1987). Dit blijkt uit de door Van Haselen opgestelde regressielijnen (figuur 7).







Figuur7 De vrachten en regressielijnen in de winter en de zomer (bron: Van Haselen, 1995)

### Wat zijn de redenen voor de beperkte sedimentatie in de zomer?

Een gering dalende gehalte zwevende stof over de lengte van de Maas duidt op een beperkte sedimentatie in de zomerperiode. Door de lage afvoeren zal een deel van het zwevende stof sedimenteren. Echter bij lage afvoeren is de aanvoer van het zwevende stof eveneens beperkt.

Daarnaast kan bodemslib weer in suspensie gaan door de turbulentie, veroorzaakt door de scheepvaart (Wijngaarden, van 1997; Veen, van der 1993). Bovendien is er een aanname dat het verschijnsel flocculatie bij een hoog organische stofgehalte het samenklonteren van deeltjes bevordert, waardoor de valsnelheid afneemt (mond.med. Ludikhuize, 1999).

### Wat is bekend over hoeveelheid en de locatie van het bodemslib in de zomer?

De hoeveelheden, die sedimenteren in het zomerbed, is volgens Ludikhuize, (1996a) 0,2 mm. Van Haselen (1995) noemt 2,8 mm. Deze getallen volgen uit berekeningen waarbij de totale sedimentatie op een traject wordt gedeeld over de oppervlakte. Van Haselen gebruikt ook nog andere methodes, maar de uitkomsten verschillen niet zoveel (zie voor de berekeningen Van Haselen 1995).

Ludikhuize gaf mondeling aan dat de slibdikte in de zomer nauwelijks te meten is:

- De standaardmeetapparatuur is (nog) niet ingesteld op de bovenste cm van de bodem.
- Het slib ligt verspreid over de bodem. Omdat het om zeer beperkte hoeveelheden gaat, is de kans groot dat met het meten niets wordt aangetroffen. Tussen het grind zal enkele procenten slib aanwezig zijn.

Enkele lokale waarnemingen geven een indruk van de spreiding van het bodemslib. Zo is een dun laagje bodemslib (< 3 mm) waargenomen in stroomluwe delen van de Maas bij Meers in de zomer van 1999 (data zuurstofmetingen Grensmaas).

Metingen in baggertraject 1 (Gennep-Grave) geven een bodemsliblaagje van enkele cm aan in de binnenbocht van de Maas. Daarbij wordt aangegeven dat binnenbochten op dit traject van nature locaties zijn waar ook bij hoge afvoeren bodemslib kan blijven liggen. Veelal worden de laagjes afgedekt door zand (Wijngaarden, van 1997).

Daarbij kan voor de stuwen een laagje slib worden aangetroffen.



### 3.7 Wat is bekend over de invloed van de Waterkrachtcentrale bij Lixhe op de slibhuishouding van de Maas gedurende de zomerperiode?

Direct bovenstrooms van Eijsden ligt de stuw Lixhe met parallel daaraan de waterkrachtcentrale Lixhe. De waterkrachtcentrale genereert sinds 1980 elektriciteit met behulp van vier turbines. Bij afvoeren  $< 320 \text{ m}^3/\text{sec}$  (geldt bijna altijd voor het gehele groeiseizoen) is de afvoer te laag om alle turbines continu te laten draaien en worden turbines frequent in- en uitgeschakeld. Hierdoor ontstaan sterke waterstandfluctuaties benedenstrooms, doordat bij uitgeschakeling van de turbines het water voor de WKC wordt opgespaard en bij inschakeling wordt afgevoerd.

Beneden  $35 \text{ m}^3/\text{sec}$  zijn volgens het waterbeheer de turbines buiten gebruik. In de praktijk worden bij deze afvoeren echter ook waterstandsfluctuaties gemeten.

De effecten van de optredende, snelle stijgingen en dalingen van de afvoer op de slibhuishouding zijn niet onderzocht. Naar alle waarschijnlijkheid zal bij elke afvoerpiek gesedimenteerd slib uit het stuwpand Lixhe worden meegevoerd en in eerste instantie in het stuwpand Borgharen bezinken. Het stuwbeheer van Borgharen is erop gericht de afvoerpieken als gevolg van de WKC Lixhe af te zwakken. Deze demping is in de praktijk gering (17%) en ook in de Grensmaas treden dus afvoerpieken op. In eerste instantie zal dit een eroderen effect hebben op de sliblaag op de bodem. Bij Maaseik is de invloed van de WKC al grotendeels verdwenen en op dit traject gaat slibtransport waarschijnlijk over in slibsedimentatie. De omvang van deze sedimentatie is niet uit de figuren 1 en 7 af te leiden. Wanneer de afvoerpiek voorbij is kan op het gehele traject weer slib afgezet worden.

Het netto effect van de WKC op de slibhuishouding is niet eenduidig vast te stellen. De verwachting is dat in de huidige situatie bij lagere afvoeren vaker slibrijk water aangevoerd wordt dan in een situatie met stuw (Lixhe) maar zonder WKC. Mogelijk draagt de WKC bij aan een frequentere slibafzetting. In een rivier zonder WKC treden waterstandfluctuaties vaak op als gevolg van heftige neerslag, waardoor de stuwen (gedeeltelijk) worden geopend. Deze afvoerpieken kunnen gepaard gaan met een hogere afvoer van slibrijkwater. De afvoerpieken hebben echter een geringere frequentie dan die in een situatie met de WKC. Gegevens om deze hypothesen te staven ontbreken echter (Witteveen & Bos *in prep.*)

### 3.8 Wat is bekend over de slibhuishouding in het verleden?

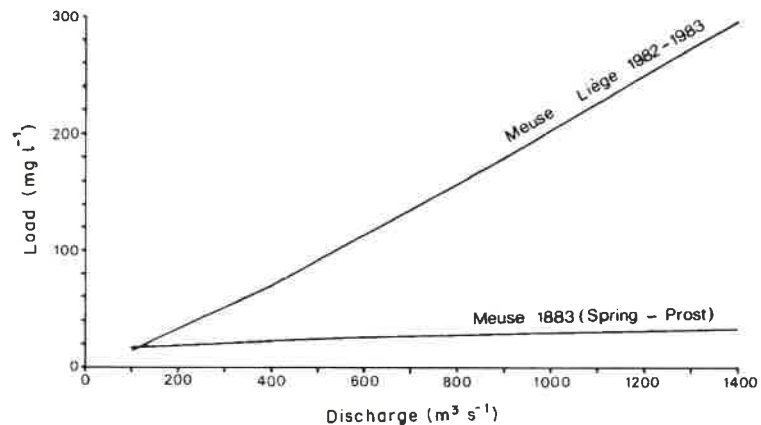
Micha en Borlee (1989) hebben in een grafiek metingen van gehalten zwevende stof uit 1883 uitgezet tegen gegevens uit 1982-1983 (figuur 8). Uit deze grafiek is af te leiden dat in de afgelopen 100 jaar het transport van zwevend stof aanzienlijk gestegen is.

Echter bij de betrouwbaarheid van deze figuur kan een kanttekening worden geplaatst. Vergelijking van deze figuur met figuur 4 (concept beheersvisie Maas) maakt duidelijk dat beide lijnen vallen in de range van de aangegeven relaties tussen afvoer en concentratie in figuur 4. In 1883 kan het dus een constante afvoer betreffen en in 1982-1983 een stijgende afvoer. Daarnaast is onbekend waar, wanneer en met welke frequentie in 1883 is gemeten.

Ontwikkelingen als een toenemende bodemerosie, verstedelijking, industrialisering en klei- en grindwinning maken een toename van het gehalte zwevende stof in de Maas echter aannemelijk. Micha en Borlee (1989) hebben getallen over de jaarlijkse lozingen van zwevend stof tussen Namur en Luik:  $30.000 \text{ m}^3/\text{j}$  zwevend materiaal uit de kleiwinning,  $15.000 \text{ m}^3/\text{j}$  uit de metaalindustrie en  $5.000 \text{ m}^3/\text{j}$  uit de elektriciteitscentrales. In totaal een bijdrage van  $50.000 \text{ m}^3/\text{j}$  (grosafweg  $10 \text{ mg/l}$ ) die overigens meer dan gecompenseerd wordt doordat er jaarlijks  $80.000 \text{ m}^3$  slib uit de rivier wordt gebaggerd. Lemin et al. (1987) in Micha en Borlee (1989) noemen de kanalisatie van de Maas als oorzaak voor een toename van het zwevende stofgehalte. Hierdoor kan de rivier haar sediment niet meer afzetten in het winterbed.



Dit zou betekenen dat in tegenstelling tot de Nederlandse Maas, in de Belgische Maas wel netto sedimentatie optreedt in het zomerbed. Harde cijfers zijn er in deze studie niet gevonden over de slibhuishouding in het verleden.



Figuur 8 Relatie tussen afvoer en zwevend stofgehalte in de Belgische Maas in 1883 en 1983 (bron: Mischa en Borlee, 1989)

#### Wat is bekend over in hoeverre de samenstelling van het slib natuurlijk is?

De antropogene invloeden hebben zich zeer waarschijnlijk ook op de samenstelling van het slib doen gelden. De effecten van eutrofiëring zullen hebben doorgewerkt op de organische component van het slib. In deze studie is tot dusver geen literatuur gevonden, die deze vraag beantwoordt.



## 4 Over de organische component

### 4.1 Inleiding

Het slib in de Maas bestaat naast de abiotische component uit algen en overig organisch materiaal. Dit hoofdstuk gaat in op de informatie, die voorhanden is over de samenstelling van de beide laatste componenten. De aandacht gaat hierbij met name uit naar de algen-component, omdat deze component een relatief grote rol speelt in de ecologie van het zomerbed van de Maas.

### 4.2 Over het aandeel van de organische component

#### Waar komt de organische component vandaan?

De organische component van het slib in de Maas kent drie belangrijke bronnen:

- primaire produktie in het water zelf (met name algen);
- inspoeling vanuit het stroomgebied (externe produktie);
- lozingen

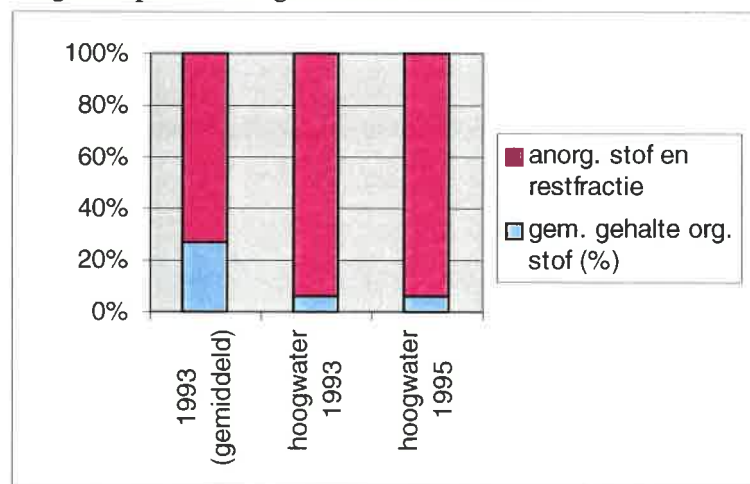
Van Haselen (1995) en Ludikhuizen (mond.med.) geven aan dat in de Belgische Maas het organisch materiaal voornamelijk afkomstig is uit de natuurlijke produktie van de rivier en uit lozingen (Van Haselen 1995).

De invloed van lozingen in Nederland op de samenstelling van het slib is daarentegen te verwaarlozen (mond. med. Ludikhuizen, 1999)

Van Bruggen e.a. (1995) zijn van mening dat de organische component hoofdzakelijk door afspoeling en erosie bovenstrooms in de Maas terecht komt (externe produktie).

#### Wat is het aandeel van de organische component in het zwevende stof

Bij hoge afvoeren is het organisch stofgehalte in het zwevende stof zeer laag en bestaat het zwevende stof hoofdzakelijk uit anorganisch materiaal. Figuur 9 geeft een beeld van organische stofgehalten gemeten bij Eijsden bij de twee hoogwaterperiode en gemiddeld over 1993.



Figuur 9: Verdeling verhouding organische/anorganische stofgehalten bij hoogwater (bron: Van Bruggen e.a., 1995)





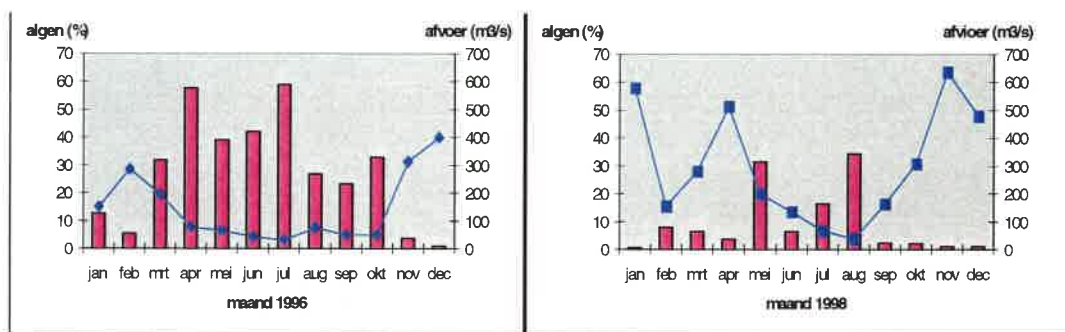
Van der Heijdt & Zwolsman (1996) geven getallen van 5,8% organische stofgehalte aan het begin van een hoogwatergolf (sedimentlast 40 mg/l), hetgeen afneemt tot nog maar 0,54 % bij een toenemende sedimentlast van 140 mg/l. Ter vergelijking bij normering wordt voor standaard gehalte zwevende stof uitgegaan van 20 % (mond. med. Van Wijngaarden, 2000).

#### 4.3 Wat is er bekend over de algen-component in het zwevende stof?

##### Wat is het aandeel algen in het zwevende stof?

In de literatuur zijn geen gegevens gevonden over het aandeel algen in het zwevend stof van de Maas. Langjarige gemiddelden zijn niet uit de literatuur herleid. Incidenteel worden indicatieve getallen genoemd, waarbij duidelijk is dat het aandeel algen sterk fluctueert gedurende het jaar, over de loop van de rivier en sterk afhankelijk is van de afvoer. Zo komen Descy en Gosselain (1994) op een aandeel van 12% tijdens de winter en bij hoge afvoeren, terwijl bij algenbloei in april – juni bij lage afvoer de algen tot 92% uitmaken van de zwevende stof.

Om toch een indicatie te krijgen over het aandeel algen, zijn in het kader van deze verkennende studie bewerkingen uitgevoerd van gegevens over het chlorofyl a- en feofitinegehaltes van het Maaswater. Deze zijn aangeleverd door RIZA uit DONAR. Grofweg maken beide pigmenten ca. 1% uit van de droge stof in algen (Reynolds, 1984). Op basis van deze verhouding is bepaald welk aandeel algen hebben in het zwevende stofgehalte in de Maas. In figuur 10 is het aandeel algen weergegeven voor 1996 (droog jaar) en 1998 (nat jaar).



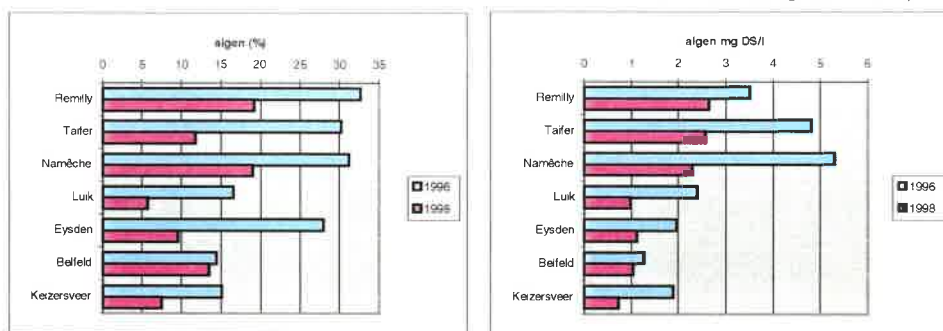
Figuur 10. Aandeel van de algen in de zwevende stof in de Maas in 1996 en 1998 bij Eysden (afvoer is lijn en algen in kolommen) (bron: bewerking data DONAR)

In het droge jaar 1996 blijft de gemiddelde maandafvoer vanaf april tot oktober onder 100 m³/s. Hiervan blijken de algen enorm te hebben geprofiteerd. In de periode maart – oktober hebben ze een aandeel van 20 – 60% in de zwevende stof. In 1998 komt de gemiddelde afvoer alleen in juli en augustus onder de 100 m³/s. Het aandeel van de algen in de zwevende stof ligt dan ook beduidend lager dan in 1996. De pieken van de algen vallen in mei en augustus en bereiken 30% van het zwevende stofgehalte.

##### Hoe is het verloop van het aandeel algen over de lengte van de rivier ?

Een indicatie van de spreiding over de lengte van de rivier is wederom afgeleid uit een bewerking van RIWA-gegevens (1997, 1999) en geven de spreiding van de algen in respectievelijk 1996 (droog jaar) en 1998 (nat jaar).





Figuur 11. Aandeel van de algen en de gemiddelde algenbiomassa in de zwevende stof in het lengteprofiel van de Maas (bron: bewerking RIWA gegevens, 1997 en 1999).

Ook uit figuur 11 blijkt dat de algen het in de gehele Maas beter doen bij lage afvoer in 1996 dan bij de hogere afvoer in 1998.

Opmerkelijk is verder dat het aandeel van de algen en ook hun biomassa in het traject Namèche - Luik halveert. Het aandeel van de algen in het zwevende stof stijgt na Eysden weliswaar, maar de biomassa (mg DS/l) blijft in de Nederlandse Maas op het niveau van Luik.

De Ruijter van Steveninck ea (1990) stellen de begrazing van het fytoplankton door watervlooien en andere grazers verantwoordelijk voor de lagere algenbiomassa in de Maas vanaf Luik. Ibelings e.a. (1998) ondersteunen begrazing als mogelijke oorzaak en voegen hier aan toe de toenemende diepte van de rivier (minder licht) en lozingen.

#### Wat is de samenstelling van de zwevende algen?

Algen vormen een belangrijke primaire voedselbron voor de diersoorten in en langs de Maas. De diversiteit en soortensamenstelling bepalen de gevarieerdheid in voedsel en kan daarmee ook de soortensamenstelling van hogere organismen beïnvloeden. Daarom een korte beschrijving van de samenstelling van de algen.

Fytoplankton in de Maas heeft een afwijkende samenstelling van het fytoplankton in stilstaand water. Het zijn vooral kiezelwieren die sterk op de voorgrond treden. Dit is een gevolg van dynamische omstandigheden in de rivier waardoor kiezelwieren bevoordeeld worden. Ze kunnen bijvoorbeeld met minder licht toe dan andere algengroepen, waardoor ze zich in het turbulente rivierwater beter kunnen handhaven (Ibelings e.a., 1998).

Het plankton in de Maas wordt gekenmerkt door een seizoensperiodiciteit. In het voorjaar zijn de zogenaamde "centrale diatomeeën" dominant (*Stephanodiscus hantzschii*, *Cyclotella meneghiniana*, *Aulacoseira* spp., *Skeletonema potamos*, *S. subsalsum* en *Asterionella formosa*). In de zomer neemt het aandeel groenalgen toe met *Chlorella* en *Scenedesmus*. Beide *Skeletonema* soorten blijven dominant aanwezig (Ietswaart en van Dijk, 1996).

In de Belgische Maas hebben Micha en Borlee (1989) in de periode 1950 – 1980 een afname waargenomen van de kiezelalg *Asterionella formosa*, terwijl de kiezelalg *Stephanodiscus hantzschii* sterk is toegenomen. Dit is een duidelijke aanwijzing voor een toenemende eutrofiering van het Maaswater. Ook in de Nederlandse Maas volgen beide soorten dezelfde trend over de periode 1955 – 1992 (Ietswaart en van Dijk, 1996). Daarnaast neemt het chlorofyl gehalte in de Belgische Maas op het traject toe. Descy (1987) schrijft dit toe aan de verminderde lozing van toxicanten die de groei van algen zouden kunnen afremmen.



**Welke factoren bepalen de groei van planktonische algen?**

De ontwikkeling van fytoplankton is sterk afhankelijk van:

- voedingsstoffen,
- licht
- temperatuur,
- afvoer

**Voedingsstoffen**

In de Maas wordt het plankton wordt in haar ontwikkeling niet geremd door een limitatie van de voedingsstoffen N en P, aangezien er nog grote hoeveelheden mineraal N en P in het rivierwater zijn opgelost als de algen hun maximale dichtheden bereiken (Ietswaart en van Dijk, 1996). Silicium kan voor diatomeeën wel een beperkende factor vormen (mond. med. Ibelings, 2000).

**Licht**

Algen hebben in verschillende mate licht nodig. Kiezelwieren kunnen beter dan Groen- en Blauwalgen tegen de veelal wisselende lichtomstandigheden in de turbulente rivier (Ibelings e.a. 1998). In stuwpanden is de lichtsituatie in de zomer minder wisselend waardoor met name de Groen- en Blauwwieren een kans krijgen om zich te ontwikkelen.

**Temperatuur**

Elke algensoort heeft een bepaalde temperatuur nodig om zich te kunnen ontwikkelen. In stuwpanden is in de zomer het water nagenoeg stagnant, waardoor de temperatuur kan oplopen en bijdraagt aan de ontwikkeling van de Groen- en Blauwwieren.

**Afvoer (uitspoeling)**

Ook vertoont het fytoplankton een relatie met de afvoer. In de Belgische Maas komen groen- en blauwwieren goed tot ontwikkeling bij een afvoer beneden 200 m<sup>3</sup>/s (Gosselain ea, 1994). Bij ongestuwde afvoeren maken deze groepen geen kans om tot ontwikkeling te komen omdat er door de hoge afvoer veel verliezen optreden (Ibelings, *in press*). Kiezelwieren kunnen er beter tegen omdat ze zich onder gunstigere omstandigheden zich zeer snel herstellen (Ibelings e.a., 1994).

De lange verblijftijd in de zomer in de stuwpanden creëren dus optimale omstandigheden voor de ontwikkeling van langzame groeiers als Groen- en Blauwwieren. De temperatuur kan oplopen en de stroming ontbreekt, waardoor er ook weinig verlies optreedt.

**4.4 Wat is er bekend over de biologische aancoeking?****Waaruit bestaat de algen-component in het bodemslib?**

Het bodemslib bestaat voor een proportioneel deel uit levende dan wel afgestorven planktonische (zwevende) en bentische (op de bodem levende) algen. Een opmerkelijke vorm van gesedimenteerde slib is aangetroffen op stenen langs de Grensmaas. De la Haye (1994) en Klink (1994) hebben geconstateerd dat de plaatselijk centimeters dikke laag olie-achtige slib voor een aanzienlijk deel bestaat uit levende algen. In dit rapport wordt dit verschijnsel “biologische aancoeking” genoemd.

**Welke algen spelen een rol bij de biologische aangroei?**

Het proces van aancoeking bestaat uit twee stappen. Ten eerste vestigen zich algen op de stenen. De tweede stap is dat ze vervolgens zwevende stof in gaan vangen. Algen dragen daarmee actief bij aan slibsedimentatie op stenen.

Uit proeven op kunstmatig substraat (tegels) in 1992 en 1993 (Klink ea, 1994; de la Haye, 1994) bleek de algenbegroeiing uit planktonische algen te bestaan. De volgende soorten overheersten: *Aulacoseira granulata*, *Melosira varians*,



*Diatoma vulgaris* en *Staphanodiscus hantzschii*. Dit is opmerkelijk want normaal zijn het de bentische blauwalgen en penante kiezelwieren, die zich op stenen vestigen (Klink e.a., 1994).

Blijkbaar zijn ook planktonische algen uitstekend in staat om de waterkolom te verlaten en zich te vestigen op vast substraat. Admiraal en Ibelings (mond. med, 1999) bevestigen dat dit een bekend fenomeen is.

Dit vermogen zou ook een verklaring kunnen zijn voor het feit dat deze soorten zich massaal in het stromende zomerbed blijken te kunnen handhaven.

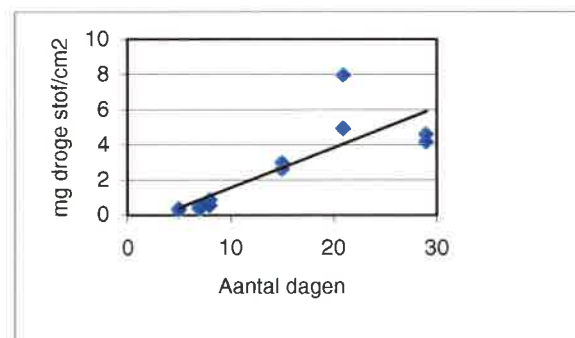
De biologische aangroei door de genoemde planktonische draagalgen blijken alleen in de stromende delen van de bedding voor te komen. In stroomluwe delen van de Maas worden bentische blauwalgen en penante kiezelwieren aangetroffen (Klink e.a. 1994; Descy, 1973).

Juist in de stromende delen kan het invangen van slibdeeltjes plaatsvinden, omdat de stroming zorgt voor een constante aanvoer.

In principe horen bentische algen bij een natuurlijk rivierensysteem. In de Maas lijkt echter het evenwicht doorgeschoten. Het zijn planktonische algen, die zich bentisch gedragen, maar veel harder groeien (mond. med. De la Haye, 2000) en mede door het ontbreken van begrazing ontstaat dan een dikke koek.

### **Wat is de relatie tussen aangroeisnelheid van het slib en de dynamiek van de rivier?**

In de genoemde proeven 1992 en 1993 is de aangroeisnelheid onderzocht en gerelateerd aan de stroomsnelheden van de rivier (Klink ea, 1994; de la Haye, 1994). In figuur 12 is de waargenomen aangroeisnelheid op tegels in de Grensmaas weergegeven.



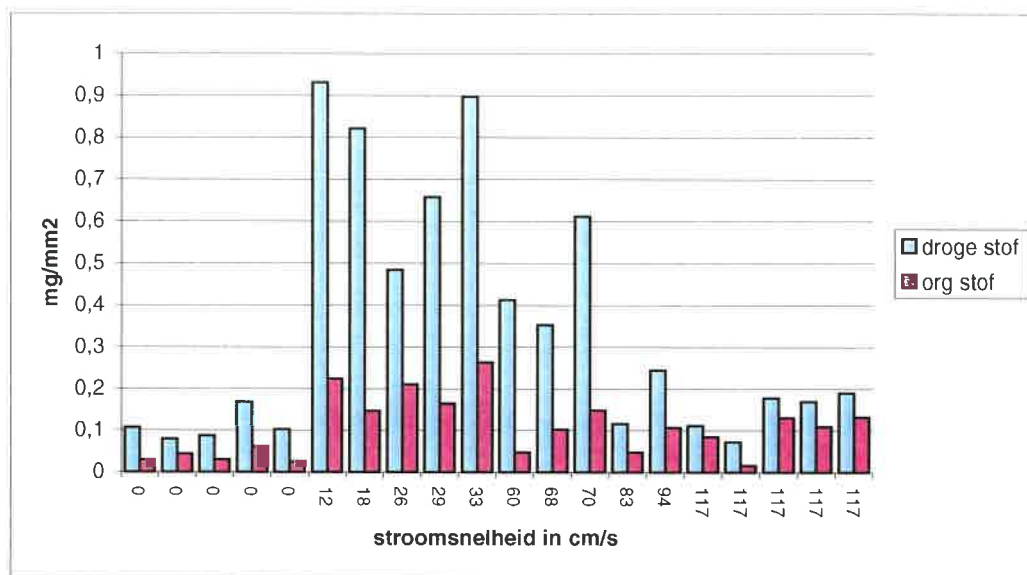
Figuur 12. Relatie tussen de hoeveelheid aangegroeid materiaal en de kolonisatieduur van tegels in de Grensmaas ( $Y = 0,229X - 0,731$ ,  $r^2 = 0,68$ ). (Bron: Klink 1994).

In het kader van deze studie is geschat dat de omvang van de slibdeken in de Grensmaas grofweg 1850 ton droge stof kan bedragen. Hierbij is uitgegaan van een hoeveelheid van 0.5 mg droge stof/mm<sup>2</sup> over een lengte van 37 km ongestuwde Grensmaas met een gemiddelde breedte van 100 m. De vracht aan zwevend materiaal bedraagt grofweg 100.000 ton per jaar (18mg/l bij een afvoer van 150 – 300 m<sup>3</sup>/s), zodat in de orde van 2% van het meegevoerde slib aankoekt op de stenen in de Grensmaas.

Uit een correlatie van de aangroei met de stroomsnelheden (Klink 1994) is gebleken dat de aangroei het grootst is bij stroomsnelheden tussen de 10 en 70 cm/s. In figuur 13 is de aangroei op stenen in de Grensmaas gerelateerd aan de stroomsnelheid.







figuur 13. Aangroei van algen op de stenen in de Grensmaas bij verschillende stroomsnelheden (Bron: Klink 1994).

De aangroei van algen op de stenen in de Grensmaas is gecorreleerd met de stroming. Bij lage stroming is de aanvoer van algen gering en daarmee het aantal algen dat zich vestigt op de stenen. Bij een te hoge stroming is de turbulentie te groot om zich te hechten aan de stenen.

#### Wat is de rol van de Kaspische Slijkgarnaal?

De Kaspische Slijkgarnaal filtert het zwevende stof uit het water, maakt daar een slibkokertje van en gebruikt de zwevende stof als voedsel. In de Rijn heeft de soort in 1993 inmiddels de helft van de driehoeksmosselen verdrongen en zijn de stenen bedekt met een laag slib in de range van 9 – 134 g asvrij drooggewicht/m<sup>2</sup> (Rajagopal e.a. 1998).

Sedert 1990 is de Kaspische Slijkgarnaal in de Maas aanwezig (Klink, 1991). Sindsdien is de populatie gestaag toegenomen en momenteel is het de meest algemene bewoner van de stenen in de Maasoevers (Rajagopal ea 1998). Er is echter niet achterhaald in welke mate de Slijkgarnaal een bijdrage levert aan het opslibben van de stenen.

#### 4.5 Wat is bekend over de organische restcomponent?

In het kader van deze studie is het zwevende stof en de gloeirest geanalyseerd (data DONAR). De resultaten over de periode 1996-1998 waren een gemiddeld gehalte aan zwevende stof van 29 mg/l, waarvan 66 % anorganisch en 28 % algen. Dat betekent dat 6 % van het zwevende stof uit overig organisch materiaal bestaat.

Hoewel de organische restcomponent een klein aandeel heeft in het zwevende stof, betekent niet dat de invloed op de ecologische ontwikkeling kan worden verwaarloosd. Het gaat om een gemiddelde gehalte en het is niet duidelijk in welke mate deze varieert in de tijd en of het gehalte zomers hoger is. Enige relatie blijkt te bestaan met de afvoer. In het droge jaar 1996 is gemiddeld een factor 3 minder overige organische stof meegevoerd dan in het nattere jaar 1998. In de geraadpleegde literatuur is hierover geen informatie aangetroffen. Mogelijke bestandsdelen van de organische restcomponent:

- bacteriën, schimmels
- blad/takken
- lozingsmateriaal
- restanten hogere organismen.



## 5 Over de ecologische rol van het slib?

### 5.1 Inleiding

In hoofdstuk 2 is een vijftal relaties van slib op het ecosysteem van de Maas beschreven. Vanuit deze matrix zijn een groot aantal onderzoeksvragen geformuleerd over de directe en indirecte ecologische effecten op organismen in de Maas (met name doelsoorten). Dit hoofdstuk vat samen wat bekend is over deze ecologische effecten van het slib in de recente literatuur. Dit gebeurt aan de hand van de meest relevante onderzoeksvragen.

### 5.2 Welke rol speelt slib in mogelijke voedselketens in rivieren?

Slib kan op een aantal manieren van invloed zijn op de voedselketens van een riviersysteem. In deze studie is daarover de volgende onderzoeksvraag gesteld:

- Is de primaire produktie van algen in de Maas een essentiële factor in de voedselketens?

#### Is de primaire produktie van algen een essentiële voedselbron in de Maas?

In een natuurlijk riviersysteem spelen drie primaire voedselbronnen een rol: detritus, waterplanten/bentische algen en planktonische algen (fytoplankton). In de Nederlandse Maas is van de drie genoemde voedingsbronnen op dit moment alleen het fytoplankton nog van groot belang voor de voedselketen (Admiraal e.a. 1993):

- Het deel van het zomerbed, dat geschikt is voor waterplanten en bodembewonende algen, is sterk gedaald als gevolg van de kanalisatie;
- Het ooibos op de oevers is al eeuwen geleden gerooid en daarmee is ook de natuurlijke toevoer van hout en blad naar de rivier gestaakt (Helmer e.a. 1991);
- Door eutrofiëring van het rivierwater is het fytoplankton sterk toegenomen en is in de afgelopen 150 jaar de verhouding tussen bentische en planktonische algen verschoven naar dominantie van planktonische algen (Klink, 1991);
- De bentische algen (en waterplanten) hebben te lijden onder de troebelheid als gevolg van het zwevende stof en de afdekking door het bodemslib (Hynes, 1960).

### 5.3 Welk effect heeft slib op de zuurstofhuishouding van de Maas

Over de invloed van slib op de zuurstofhuishouding van de rivier zijn een tweetal onderzoeksvragen gesteld:

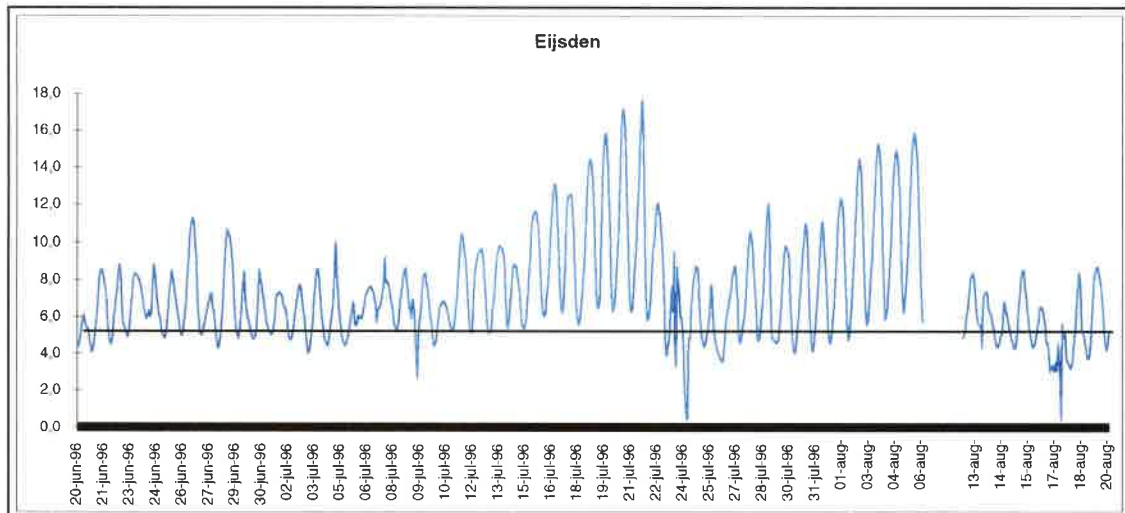
- Wat is de betekenis van de fotosynthese en ademhaling van de zwevende algen;
- Wat is de betekenis van de oxidatie van de organische restfractie.

#### Wat is de betekenis van zwevende algen op de O<sub>2</sub>-balans van de Maas?

Algen produceren zuurstof. Bij een chlorofyl gehalte van 100 µg/l ontstaat er onder gunstige omstandigheden 4 mg O<sub>2</sub>/l in 10 uur en 1,5 mg C in 10 uur. Algen verbruiken ook zuurstof. Overdag overtreft de vorming van zuurstof de ademhaling, maar 's nachts consumeren algen zuurstof. Voor de verbranding van 1 mg C is 2,7 mg zuurstof nodig. Dit resulteert in een netto schommeling tot 4 mg O<sub>2</sub>/l tussen dag en nacht (zie figuur 12).



In figuur 12 is een dergelijke dag en nachtritmiëk in het zuurstofgehalte weer-gegeven voor de Maas bij Eysden in de periode 20 juni –20 augustus 1996.



Figuur 12. Zuurstofritmiëk in de Maas bij Eysden (ongepubl. gegevens RIZA)

Uit figuur 12 valt af te lezen dat schommelingen tot 10 mg O<sub>2</sub>/l in de Maas bij Eysden voor kunnen komen als gevolg van de ademhaling van de algen. Nachtelijke zuurstofminima liggen in deze periode onder de 5 mg/l. Deze 5 mg/l is in de vierde Nota Waterhuishouding gesteld als het maximale toelaatbare risico (95%-waarde) (OVb, 1997). Een kanttekening moet bij de twee extreem lage pieken worden geplaatst. Deze kunnen namelijk ook veroorzaakt zijn door het overstromen van riooloverstorten bij de hevige onweersbuien, die toen hebben plaatsgevonden. Hierdoor kan ook het O<sub>2</sub>-gehalte in de Maas dalen (mond.med. Liefveld 1999). Echter over de gehele periode bereikt het O<sub>2</sub>-gehalte regelmatig waarden beneden de 5 mg/l. Mede als gevolg van de algen in het Maaswater voldoet de Maas dus niet aan het maximaal toelaatbare risico.

Aangezien het zuurstofgehalte bij Eysden 's nachts kritisch lage waarden bereikt, is er een negatieve invloed van de algen op de heterotrofe waterbewoners te verwachten.

#### Wat is de betekenis van de organische restfractie op de voedselketen en O<sub>2</sub>-balans van de Maas?

Naast de algen kan de organische restfractie van invloed zijn op de zuurstofhuishouding van de Maas. Over de mate waarin zijn echter geen gegevens en beschouwingen bekend.

#### 5.4 Welke effecten heeft het zwevende stof op waterplanten?

De slibhuishouding van een rivier heeft een aantal effecten op de ontwikkelingskansen van waterplanten in het zomerbed. De volgende onderzoeksvragen zijn in deze relevant:

- Hoe bepalend is de lichthuishouding?
- Hoe bepalend is slibafzetting op de groeiplaatskwaliteit van de rivierbodem?
- Hoe bepalend is slibafzetting voor oeverplanten?

Aan de hand van een vergelijking van de Maasplassen wordt geïllustreerd hoe deze factoren de waterplanten-vegetatie in een rivier bepalen in samenspel met andere factoren.



### **Hoe bepalend is de lichthuishouding (zichtdiepte) voor waterplanten?**

Voor de waterplanten is het van groot belang of het licht kan doordringen tot op de bodem. Dit is afhankelijk van twee factoren:

- Hoeveelheid zwevende stof (o.a. Bij de Vaate en van Viersen, 1990; van Urk, 1984; Rivier en Segquier, 1985)
- Diepte van de rivier (oa. Haslam, 1978; Bij de Vaate en van Viersen, 1990; van Urk, 1984)
- Ander materiaal dan zwevende stof dat de lichttoevoer beperkt, bijvoorbeeld humuszuren.

In de Maas komen nauwelijks waterplanten voor (Prins en Lemaire in Kerkhofs en Prins, 1995). Het hoge gehalte aan zwevende stof in de Maas en dan met name de algencomponent, die in de zomer een groot aandeel vormt van het zwevende stof, lijkt de ontwikkelingskansen voor waterplanten te verkleinen. Zo worden ook in de ondiepere en ongestuwde Grensmaas nauwelijks waterplanten waargenomen. Waterplanten en ook benthische algen nemen in dichtheid af bij toenemend gehalte aan zwevende stof (Rivier en Segquier, 1985).

Een uitzondering in de nagenoeg, ontbrekende waterplantenontwikkeling in de Maas vormt het droge jaar 1996, waar de waterstanden in april tot oktober laag waren. In dat jaar heeft een explosieve ontwikkeling plaatsgevonden van waterplanten (Verbeek, 1996). Blijkbaar is een langdurige periode met lage afvoeren in het groeiseizoen bepalend voor vestiging van waterplanten in de Grensmaas.

Waarschijnlijk hangt dit samen met een goed lichtklimaat als gevolg van de lagere waterstanden op het moment van kieming. Overigens zullen ook de lagere stroomsnelheden in het voorjaar een positief effect hebben gehad op de ontwikkeling van de nog jonge planten, die bij hogere afvoeren eerder wegspoelen (Haslam, 1978).

Het beperkte doorzicht in de Maas speelt een negatieve rol in de ontwikkeling van de waterplanten. Echter het kan niet als enige beperkende factor worden onderscheiden. De morfologie is ook over het algemeen zeer plant-onvriendelijk. De Maas is namelijk diep, uniform, de oevers zijn bestort en het talud is steil.

### **Welke effecten heeft het bodemslib op de groeiplaatskwaliteit voor waterplanten?**

Een sliblaag op de bodem heeft een negatieve invloed op de ontwikkeling van waterplanten. Enerzijds kan de bodem nagenoeg zuurstofloos zijn omdat bij afbraak van algen zuurstof wordt verbruikt. Anderzijds hebben de planten geen houvast op de sliblaag.

Langs de Maas bij Velden, Vierlingsbeek, Grubbenvorst en Kerkdriel zijn natuurvriendelijke oevers aangelegd. Aanvankelijk waren hierin veelal ondergedoken waterplanten aanwezig. Door de snelle opslibbing wordt het water permanent troebel en verdwijnen de ondergedoken waterplanten weer. Door de ontwikkeling van oevervegetatie (vooral riet) wordt de sedimentatie van zwevend materiaal versneld en treedt er snel verlanding op van deze oeverzone. De enige waterplant die zich nog lang weet te handhaven is eendekroos (Soesbergen, 1999).

Daarnaast kunnen de algen, die nu jaarlijks een slibdeken vormen op de stenen, ook een beperking vormen als zij zich vestigen op de ondergedoken waterplanten. Dit wordt door Hynes (1960) bevestigd. Verbeek heeft in 1996 in het veld vastgesteld dat de waterplanten in augustus en september overwoekerd werden door algen. De la Haye heeft dit verschijnsel waargenomen bij Vlottende waterranonkel in de Grensmaas (De la Haye, 1994).





### Welke effecten heeft het zwevende stof en bodemslib op de Vlottende Waterranonkel?

De la Haye (1992) geeft aan dat bij proeven met Vlottende waterranonkel bij constante stroomsnelheden van 4-6 cm/sec al na enkele dagen een laag van algen en slib op de bladeren aanwezig is terwijl in proeven met wisselende afvoeren en snelheden van 6-12 cm/sec dit niet het geval is.

Een sliblaagje op de bodem blijkt in haar onderzoek geen effect op de kieming van zaden van vlottende waterranonkel te hebben. Ze veronderstelt dat lichtintensiteit en zuurstof (niet gereduceerd milieu) de triggers zijn voor kieming.

Da la Haye (1994) geeft aan dat de optimale waterdiepte in de zomer voor vlottende waterranonkel 0-50 cm bedraagt met stroomsnelheden van 10-90 cm/sec als gemiddelde zomerafvoer. Het nutriëntengehalte moet laag zijn (i.v.m. algenaangroei) evenals het zwevend stofgehalte. In rivieren met een laag zwevend stofgehalte kan de Vlottende waterranonkel bij lagere stroomsnelheden voorkomen dan bij hogere zwevend stofgehaltes. Vlottende Waterranonkel is zeer gevoelig voor beschaduwing door onder meer de zwevende stof.

### Welke effecten van het slib zijn waar te nemen op de ontwikkeling van waterplanten in de Maasplassen?

Uit een vergelijking van de Maasplassen komen de volgende resultaten naar voren:

- in kleinere plassen (< 10 ha) die heel vaak worden geïnundeerd is sprake van een gering doorzicht en een slechte zuurstofhuishouding. Er staan in dergelijke plassen geen ondergedoken waterplanten (Grevenbicht, Bouxweerd, de Sneppen en de Stille);
- in middelgrote plassen (< 30 ha) die in open verbinding staan met de Maas of vaak worden geïnundeerd is sprake van eutroof troebel water. Voor zover er vegetatie aanwezig is bestaat deze uit schedefonteinkruid en zannichellia (Dilkensplas, Isabelleleend, in de Linde en Rijkelse Bemden);
- In grote plassen (> 40ha) die benedenstrooms zijn aangetakt aan de Maas is de invloed van kwelwater groter. Hierdoor zijn ze helder en herbergen onder andere rivierfonteinkruid (Oolerplas, Panheel en Mookerplas)
- Alleen in kleine plassen (< 12 ha) die bijna nooit door de Maas worden overstroomd is sprake van helder water, kranswiervegetatie en diverse fonteinkruiden. Doordat deze plassen hoofdzakelijk gevoed worden met kwelwater bevat het water weinig nutriënten en zwevende stof (plassen bij Meers, Eysden, Heeresteerten, Zavelveld en Seurenheide)

Samenvattend (Helmer *et al.* 1991, Peeters & Gylstra 1995 en Klink *et al.* *in press.*) wordt de ecologische ontwikkeling van de Maasplassen in een groot aantal gevallen beperkt door de troebelheid van het water. Daarnaast kan de slibafzetting op de bodem of plantendelen een probleem vormen, met name in ondiepere plassen. Op dit moment is de grootste beperking voor de ecologische ontwikkeling van de Maasplassen echter het gebrek aan ondiepe oeverzones.

### 5.5 Welke effecten heeft slib op de macrofauna?

Slib heeft zowel een direct als indirect effect op de macrofauna in het zomerbed van de rivier. In deze studie is daarbij het accent gelegd op de volgende onderzoeksvragen:

- Wat is het directe effect van bodemslib op de macrofauna habitats?
- Uit zich dit in de samenstelling van de macrofauna van de Maas?



**Welke effecten heeft het bodemslib op de macrofauna habitats?**

In de Zandmaas is op de stenen in de oeverzone onderscheid te maken tussen "diepe" en "ondiepe" stenen:

- diepe stenen staan altijd onder water en zijn bedekt met een sliblaag met de daarbij behorende macrofauna soorten. Dit slib vormt, in tegenstelling tot de biologische aankoeking in de Grensmaas (zie H.4.), geen grote beperkingen voor de vestiging van macrofauna (Peeters, 1988; Klink, 1991). De sliblaag op de diepe stenen is minder glibberig en bevat meer zand dan de aangekoekte laag op de stenen in de Grensmaas (waarnemingen Klink). De aanhechtingsmogelijkheden voor macrofauna zijn daardoor beter;
- ondiepe stenen vallen droog bij laag water, maar tijdens hogere afvoeren kunnen zich op die stenen draadalgten ontwikkelen (*Cladophora*) met de daarbij behorende macrofauna soorten (Klink, 1991).

Slib heeft effect op de ontwikkeling van de macrofauna met name door het afdekken van de habitat. De dichtheid van de macrofauna kan dan zelfs teruglopen met 85% (Ziebel, 1960 in Rivier en Segquier, 1985). Vooral de groepen Ephemeroptera, Plecoptera, Coleoptera en Trichoptera zijn gevoelig voor afdekken en opslibben. Daarentegen kunnen Chironomidae en Oligochaeta uitstekend leven in het slib (CETE, 1980 in Rivier en Segquier, 1985).

Het aankoeken van stenen heeft op twee manieren een negatieve invloed op de macrofauna:

- het afdekken van een kaal, hard oppervlak, dat noodzakelijk is voor aanhechting (Hynes, 1960);
- ren slechte zuurstofhuishouding op de stenen (Klink, 1994). Indien de slibdikte meer dan 3 mm bedraagt treedt zuurstofloosheid op (mond. med. Ibelings, 1999).

**Hoe is de spreiding van de macrofauna over de lengte van de Maas?**

Op de bodem van de Zandmaas zijn twee verschillende macrofauna gemeenschappen aangetroffen. Bewoners van grind zijn aangetroffen in het traject Laak – Ravenstein. Soorten van zandbodems bewonen het traject Batenburg – Keizersveer (Klink, 1991 op basis van gegevens van Peeters, 1988). Soorten van slibbodems zijn in dat onderzoek (Peeters, 1988) niet aangetroffen. Dit duidt er op dat er tot Keizersveer geen omvangrijke sedimentatie optreedt zoals dat is geconstateerd in het oostelijke gedeelte van het Hollands Diep (Admiraal ea, 1993).

Het traject Batenburg – Keizersveer onderscheid zich qua macrofauna van het bovenstroomse deel van de gestuwde Maas door het voorkomen van soorten die fijne zandbodems bewonen (de borstelworm *Propappus volki* en de slak *Lithoglyphus naticoides*). Stroomminnende soorten komen niet meer voor in dit traject.

**5.6 Welke effecten heeft slib op vis**

De slibhuishouding van een rivier heeft een duidelijke invloed op de samenstelling en ontwikkeling van haar vispopulaties. In dit kader zijn de volgende onderzoeksvragen gesteld:

- Wat is het effect van slib op de kwaliteit als paaigrond?
- Wat is bekend over de gevoeligheid van vis voor de sliblast?
- Welke effecten heeft de slibhuishouding op de soortensamenstelling?

**Wat is het effect van bodemslib op de kwaliteit als paaigrond?**

Paaigronden van zalmachtigen en sommige karperachtigen bestaan uit grind waar het water doorheen stroomt. Indien het grind wordt bedekt met slib dan sterven de eitjes af (Petts, 1988; Rivier en Segquier, 1985). Alabaster en Lloyd, 1982 (in Rivier en Segquier, 1985) hebben aangetoond dat zalmwifjes nooit een nest graven in substraat waarin veel fijn materiaal aanwezig is.



Ook stoppen ze met het maken van een nest als ze fijn sediment tegen komen. Slibgehalten van 20 – 100 mg/l gedurende 20 dagen resulteren in de mortaliteit van 75% van de eieren tegen 20% in de blanco (Clavel ea, 1978 in Rivier en Sequier, 1985).

Het afdekken van habitats heeft ook een indirect effect op de geschiktheid als paaigrond, doordat ook voedsel in de vorm van macrofauna ontbreekt. Het meest gevoelig zijn de jonge stadia (McCrimmon, 1954 in Rivier en Sequier, 1985).

Lacroix (1985 in Petts, 1988) heeft aangetoond dat geringe doorstroombaarheid van het grindbed en lage zuurstofgehalten in het interstitiële water sterk gecorreleerd zijn aan het slechte broedsucces van de Atlantische Zalm. Door kanaliseren van beken en rivieren verandert de sedimenthuishouding in de rivier. Als gevolg van de stuwen neemt de erosieve kracht van het water af, waardoor de afpleisterlaag op de bodem, minder dan voorheen wordt opengebroken. Hierdoor spoelt er minder fijn materiaal (< 2 mm) weg tussen het grind, waardoor de matrix verstopt raakt en de verversing van het interstitiële water sterk afneemt (Petts, 1988). Dit effect zou ook een rol kunnen spelen in de Grensmaas.

Aankoeking levert ook voor de vis beperkingen op. De periode waarin aankoeiking optreedt is hierbij bepalend. Indien alleen in de zomer aankoeiking plaatsvindt zullen eieren van zalmachtigen en van barbeel, sneep en serperling er relatief weinig last van hebben. Deze eieren worden namelijk respectievelijk in de winter en het voorjaar al afgezet. Soorten als kopvoorn, riviergrondel en bierpje kunnen er wel degelijk nadeel van ondervinden omdat zij tot in de zomer paaïen (Raat, 1993).

Wanneer aankoeiking een jaarrondverschijnsel betreft zullen alle vissen er potentieel hinder van ondervinden. Als slib zicht alleen in de zomer afzet, zal het verschijnsel vooral de vislarven en jonge vissen treffen, omdat hun voedsel schaarser wordt.

Er zijn echter geen gegevens gevonden over de periode waarin de aankoeiking langs de Maas optreedt.

#### **Wat is bekend over de gevoeligheid van vis voor het zwevende stof?**

Hoge concentraties zwevend materiaal kunnen dodelijk zijn voor zalmachtigen. Concentraties van 300 – 2500 mg/l kunnen de ademhaling blokkeren (Kemp, 1949; Trautmann, 1933; Campbell, 1954 in Rivier en Sequier, 1985).

Waarschijnlijk heeft dit geen invloed op de ontwikkeling van de zalm in de Maas. Concentraties binnen de aangegeven range worden in de Maas weliswaar wel gemeten bij piekafvoeren, maar meestal in de winter. De zalm bevindt zich in die periode in zee.

Door een hoog gehalte aan zwevende stof neemt het zicht af zodat vissen als Snoek en Zalmachtigen moeilijker hun prooi kunnen bejagen (Hynes, 1960). Bachmann, 1958 (in Rivier en Sequier, 1985) stelde vast dat *Salmo clarkii* niet meer eet bij een slibgehalte > 35 mg/l.

Een beperkte zichtdiepte heeft een belangrijk indirect effect op de levensgemeenschap van de rivier doordat het leidt tot het ontbreken van waterplanten. Zo is broed van snoek afhankelijk van oevervegetatie en ondergedoken waterplanten, terwijl de grotere exemplaren zich zelden meer dan 100 m van de vegetatie bevinden (de Nie, 1997). In de Maas zijn de omstandigheden dus slecht voor de Snoek zowel in het zomerbed als in de Maasplassen.



**Welke effecten heeft de slibhuishouding op de soortensamenstelling?**

De soortensamenstelling in de Maas is eenzijdig en echte riviervissen (uitz. Spiering en Alver) komen nauwelijks voor. Mogelijke verklaringen hiervoor zijn het ontbreken van geschikte habitats (ondiep water) en de aanwezigheid van kunstwerken in de rivier (beperking optrekbaarheid van de rivier).

Over het algemeen is de dichtheid van de voorkomende vissen in de Maas gezond (Lammens en Prins in Kerkhofs en Prins, 1995). De dichtheid verschilt echter per traject. De dichtheden zijn relatief laag in de Grensmaas en Getijde Maas in vergelijking met de Zandmaas. De Zandmaas zou zijn hoge visstand te danken hebben aan de lagere stroomsnelheid (ten opzichte van de Grensmaas), maar vooral door de goede paai- en opgroeimogelijkheden in de Maasplassen.

In de Maas zelf wordt alleen grote vis aangetroffen. De kleine vis houdt zich hoofdzakelijk op in de nevenwateren, waar ze zich ook voortplanten. Ze trekken daar pas weg als de voedselsituatie zo slecht is, dat de keuze voor het open water moet worden gemaakt.





## 6 Conclusies en aanbevelingen

### 6.1 Inleiding

In dit hoofdstuk worden de resultaten van de verkenning, zoals gepresenteerd in de voorgaande hoofdstukken samengevat en verwoord tot conclusies.

Allereerst zijn een aantal te geven over de samenstelling van het slib en de relaties met de ecologie van de Maas. Vervolgens worden de vijf ecologische relaties verder uitgediept. Hierbij is ook aangegeven welke punten nog nader onderzoek behoeven. Waar aangegeven is dat slib een negatief effect heeft op de ecologische ontwikkelingen zijn aanbevelingen over inrichting en beheer geformuleerd.

Het hoofdstuk besluit met een eindbeschouwing waarin de relatieve invloed van slib op de ecologie van de Maas is verwoord. Deze slotparagraaf geeft eveneens een overzicht van de sleutelfactoren om de slibhuishouding van de Maas te verbeteren.

### 6.2 Conclusies met betrekking tot de samenstelling van het slib

#### 6.2.1 Anorganische component

*De invloed van de anorganische component in het slib is relatief beperkt zowel in de vorm van zwevende stof als bodemslib.*

Als zwevende stof heeft de anorganische component in de zomerperiode nauwelijks invloed op de zichtdiepte, omdat de concentraties zwevende stof in het water laag zijn. In de winterperiode kan bij hogere gehalten zwevende stof het anorganische deel mogelijk kritisch worden voor zichtjagende vissen (>35 mg/l, zie paragraaf 5.6).

Als zwevende stof heeft de anorganische component nauwelijks invloed op het vergaren van voedsel door filterfeeders en vissen. De kans dat kritische gehalten voor deze soorten worden bereikt bestaat alleen in de winterperiode en dan ook nog gedurende korte tijd, tijdens de hoogwaterpieken (gehalten tussen 300 en 2500 mg/l zijn toxisch voor zalmachtigen, zie paragraaf 5.6)

Als bodemslib heeft de anorganische component nauwelijks invloed op de ecologische ontwikkeling, omdat sedimentatie alleen in de zomer plaatsvindt en dan ook nog lokaal en periodiek. Het beperkt optreden van sedimentatie van slib in de Maas wordt bevestigd door het feit, dat er geen macrofauna-soorten van slibbodem in het zomerbed van de Maas zijn aangetroffen (paragraaf 5.5).

#### Aanbevelingen voor nader onderzoek

- Het effect van het zwevende stofgehalte op filterfeeders en vissen in de winterperiode. In deze studie zijn in de literatuur weinig gegevens gevonden over de relatie tussen de kritische gehalte zwevende stof en filterfeeders en vissen (zicht en voedsel). Het is mogelijk dat gedurende hoogwaterperioden kritische waarden voor de diersoorten worden bereikt en dan is het de vraag in hoeverre dit invloed heeft op de vissen- en macrofaunagemeenschap en daarmee op het ecologisch functioneren van het systeem.

#### 6.2.2 Algencomponent

*De algencomponent heeft de meeste invloed op de ecologische ontwikkeling van zomerbed van de Maas, zowel in zwevende als gesedimenteerde vorm.*

Algen vormen de belangrijkste primaire voedselbron van de Maas (paragraaf 5.2).

De planktonische algen hebben een bepalende rol bij het aankoeken van slib op stenige substraten (in de Grensmaas, paragraaf 4.4)



Het aandeel algen in het zwevende stof is in het zomerhalfjaar bepalend voor de zichtdiepten en daarmee voor de ontwikkelingskansen voor de waterplanten, bentische algen en zichtjagers onder de vissen (5.4.)

De algencomponent heeft negatieve invloed op de zuurstofhuishouding van de Maas. In stuwpannen kan 's nachts het O<sub>2</sub>-gehalte onder het Maximaal Toelaatbaar Risico (MTR) zakken (5.3).

Bovendien kunnen de algen een beperking vormen voor de ontwikkeling van waterplanten doordat ze zich op de planten vestigen en vervolgens slib invangen.

### 6.2.3 Organische restcomponent

*De organische restcomponent zou een invloed kunnen hebben op de voedselketens en zuurstofhuishouding van de Maas. Echter bevestigende gegevens over de relaties zijn binnen deze verkennende studie niet achterhaald.*

Aanbevelingen voor nader onderzoek

- De samenstelling en invloed van de organische restcomponent, voortvloeiend uit de verwachting van een invloed op ecologische ontwikkeling van de Maas.

### 6.2.4 Onderlinge relaties componenten

*De organische componenten hebben een bepalende invloed op het sedimentatiegedrag van de anorganische component. Hierbij spelen twee processen een rol:*

- flocculatie (het samenklonteren van organische en anorganische deeltjes). Hierdoor neemt de sedimentatiesnelheid af van het zwevende stof in de zomerperiode. Dit verschijnsel treedt vooral op in de stuwpannen.
- aankoeking. De aangroei van planktonische algen op stenen bevordert de aankoeking van anorganische deeltjes op dezelfde stenen. Hetzelfde geldt voor de aangroei van algen op waterplanten.

## 6.3 Vijf ecologische relaties van het slib in de Maas

### 6.3.1 Slib als brandstof

*De eenzijdigheid van het primaire voedselaanbod van de Maas (fytoplankton) werkt zeer waarschijnlijk door op de structuur van de voedselketen en de biodiversiteit van de Maas.*

In stuwpannen kunnen enkele fytoplanktonsoorten (groen- en blauwwieren) tot dominantie komen, omdat de voedingsstoffen in overmaat aanwezig is en de algen nauwelijks worden begraasd. Daarnaast zijn de verliezen beperkt omdat de verblijftijden in de stuwpannen lang zijn.

In de verkennende studie zijn geen gegevens gevonden over het effect van de eenzijdige primaire voedselbron op de voedselketen en de diversiteit van de hogere organismen.

Aanbevelingen nader onderzoek:

- Het effect van het eenzijdige voedsel op de voedselketen en de biodiversiteit van de Maas.

Aanbevelingen inrichting en beheer:

- reduceren van de primaire produktie in de stuwpannen door aanpassen beheer gericht op een kortere verblijftijd van het water
- bevorderen andere voedselbronnen door standplaatsverbetering van waterplanten, bevorderen aanvoer externe voedselbronnen (hout, blad) door natuurontwikkeling in uiterwaarden.
- Vergroten mogelijkheden predatie door te richten op habitatontwikkeling voor filterfeeders en zoöplankton.
- Het verbeteren van de waterkwaliteit (reductie voedingsstoffen N en P) kan pas op lange termijn een bijdrage leveren aan de reductie van het fytoplankton



### 6.3.2 Slib en het afdekken van habitats

*Er zijn geen aanwijzingen dat het afzetten van slib een negatieve invloed heeft op de habitatkwaliteit van het zomerbed van de Maas.*

Zoals eerder aangegeven wordt er weinig afgezet en daarbij zijn over de hele lengte van de Maas geen bodemfaunasoorten aangetroffen specifiek voor slibbodem.

*Sedimentatie van slib op de natuurvriendelijke oevers heeft daarentegen wel een negatieve invloed op de ecologische ontwikkeling.*

Door de snelle sedimentatie na aanleg ontwikkelen de oevers zich tot een eenzijdig ecosysteem met beperkte mogelijkheden voor waterplanten en een lage diversiteit.

#### Aanbevelingen voor inrichting en beheer

- De natuurvriendelijke oevers moeten dusdanig worden ingericht dat de opslibbing beperkt blijft. Dit kan door te letten op de doorstroombaarheid van de oever, zodat het slib periodiek kan worden afgevoerd.

### 6.3.3 Slib en biologische aanwoeking

*Het proces van aanwoeking heeft een negatieve invloed op de ecologische ontwikkeling van de Grensmaas.*

Het proces treedt alleen op langs de Grensmaas. De negatieve invloed uit zich allereerst in het nivellerend effect op de habitatkwaliteit van de macrofauna (5.5) en de kwaliteit als paaigrond voor de riviervissen (5.6). De beperkte ontwikkeling van deze diergroepen heeft consequenties voor de voedselketen van de Maas (bijv. m.b.t. vraat en begrazing van algen, voedselvoorraad hogere organismen etc.) en daardoor op het functioneren van het hele ecosysteem van de Grensmaas.

In principe horen bentische algen bij een natuurlijk rivierensysteem. In de Maas lijkt echter het evenwicht doorgeschoten naar planktonische algen, die zich bentisch gedragen.

#### Aanbevelingen voor inrichting en beheer

- De aanwoeking op de stenen is een hardnekkig proces en is niet direct tegen te gaan door fysieke maatregelen. De algen hebben een sterk koloniserend vermogen en kunnen behalve van de stenen ook vanuit het water worden aangevoerd. Een mogelijke oplossing ligt enerzijds in het verbeteren van de kwaliteit van het water. Anderzijds zou verbreding van de rivier indirect kunnen bijdragen aan het tegengaan van het aanwoeken. Hierdoor kunnen zich meer waterplanten ontwikkelen, die concurreren met de algen voor de voedingsstoffen (N en P).

#### Aanbeveling voor nader onderzoek

- Ter ondersteuning voor de te nemen maatregelen om aanwoeking te beïnvloeden kan het proces van aanwoeking nader worden onderzocht. Mogelijke vragen daarbij zijn:
  - is de aangekoekte laag het hele jaar aanwezig?
  - welke relatie heeft het proces met de waterstand (afvoer).

### 6.3.4 Slib en zichtdiepte

*Het zwevende stof in de Maas is waarschijnlijk medebepalend voor de beperkte ontwikkeling van waterplanten en de zichtjagers onder macrofauna en vissen.*

De omvang van de invloed van het zwevende stof op de ecologische ontwikkeling is niet exact aan te geven, omdat er ook andere beperkende factoren zijn zoals de diepte van de Maas, het ontbreken van geschikte habitats, verharde oevers, invloed van de scheepvaart (golfslag) etc.

De waterdiepte blijkt bij de Grensmaas een belangrijke bepalende factor te zijn voor de ontwikkeling van waterplanten gezien de situatie van 1996. De waterstand in de Grensmaas was toen langdurig lager dan normaal en de waterplanten ontwikkelden zich bijzonder goed.



**Aanbevelingen voor inrichting en beheer**

- Met de verbreding van de Grensmaas zal er ook in gemiddelde jaren op veel meer plaatsen een geschikt lichtklimaat ontstaan voor waterplanten.

**6.3.5 Slib en de zuurstofhuishouding**

*In de Maas is een negatieve invloed op de macrofauna en vissen te verwachten, met name in de stuwpannen.*

Door het O<sub>2</sub>-verbruik van de algen worden 's nachts O<sub>2</sub>-gehalten bereikt beneden het MTR. In de literatuur zijn geen gegevens gevonden over de relatie algenbloei en vissen en macrofauna in de Maas.

**Aanbevelingen voor nader onderzoek**

- Relatie tussen de algenontwikkeling in stuwpannen, het zuurstofverbruik en de invloed op heterotrofe organismen in de Maas. Dit onderzoek kan aanwijzingen geven richting beheer van de stuwen.

**6.4 Eindbeschouwing invloed slib op de ecologische ontwikkeling van de Maas**

Het is niet eenvoudig een totaaloordeel te geven over de invloed van slib op de ecologische ontwikkeling van de Maas. De relaties tussen ecologie en slib zijn complex en bovendien wordt de ecologische ontwikkeling van de Maas niet alleen door slib bepaald. Factoren als de waterkwaliteit, het ontbreken van geschikte habitats, de invloed van schepen spelen ook een belangrijke rol in de ecologische ontwikkeling van de Maas.

Daarnaast is slib ook een natuurlijk gegeven in de rivier. In een gezond riviersysteem hoort ook een zekere mate van slib aanwezig te zijn (zwevend en gesedimenteerd).

Diverse ingrepen in het systeem zoals kanalisatie (ook van zijbeken- en rivieren), het plaatsen van stuwen, het kappen van de bossen op de oevers en de toename in het verharde oppervlak en lozingen hebben het natuurlijk evenwicht in de rivier verlegd naar ander evenwicht, een andere slibhuishouding. Hoewel de exacte veranderingen en de effecten hiervan niet allemaal binnen de reikwijdte van deze verkennende studie konden worden vastgelegd, is er toch op een aantal punten een tipje van de slibsluier opgelicht.

De algencomponent in het slib is aan te wijzen als een van de belemmeringen voor een succesvolle ontwikkeling van het ecosysteem in de Maas. De algen beperken de ontwikkeling van waterplanten, macrofauna, vissen op verschillende wijzen, zowel in stuwpannen als vrij afstromende trajecten. Aankoeken, beperken van de zichtdiepte en de invloed op de O<sub>2</sub> huishouding (in stuwpannen) zijn daarbij de belangrijkste processen.

Sedimentatie van het slib, waardoor habitats worden afgedekt, vormt over het algemeen niet een aanwijsbaar groot probleem voor het zomerbed. Er treedt uitsluitend in de zomer sedimentatie op die gering is en daarnaast nog al verspreid voorkomt. Het diepe zomerbed is echter voor veel soorten geen geschikte habitat. Dat zijn de ondiepe oeverzones. Hier kan het opslibben een probleem vormen wanneer de stroming niet sterk genoeg is om het slib in transport te houden. Een voorbeeld zijn de natuurvriendelijke oevers, die in een hoog tempo opslibben.

Door maatregelen te nemen op het gebied van inrichting en beheer kan de invloed van de algen en het opslibben van oevers worden teruggedrongen. Sleutelfactoren hierbij zijn:

- het aanpassen van het stuwbeheer (verkorten van de verblijftijd van het water);
- realisatie van meer bos en struwelen langs de Maas om meer hout in het water te brengen (voedselbron en geschikt habitat voor filterfeeders);





- verbreden en verontdiepen van de Maas waardoor geschikte standplaatsen ontstaan voor waterplanten, die kunnen functioneren als primaire voedselbron, concurrerend zijn met de algen voor stikstof en fosfaat en habitats kunnen vormen voor macrofauna en paaipplaatsen voor vissen;
- tegelijk met het verbreden en verontdiepen van de Maas moet de inrichting van de oevers dusdanig zijn dat de doorstroming is gegarandeerd. Dit beperkt de slibsedimentatie en biedt kansen voor de ecologische ontwikkeling van de oeverzone;
- het verbeteren van de waterkwaliteit, hoewel dit waarschijnlijk op lange termijn pas effect zal sorteren.



## 7 Literatuur

### Literatuur Ecologie

- Admiraal, W., van der Velde, G., Smit, H., Cazemier 1993 The rivers Rhine and Meuse in the Netherlands: presentstate and signs of ecological recovery *Hydrobiologia* 265: 97-128
- Admiraal, W., van-Zanten, B., 1988 Impact of biological activity on detritus transported in the lower river Rhine: an exercise in ecosystem analysis *Freshwat. Biol.* 20: 215-225
- Berger, H.J.E., Mugie, A.L., 1994 Hydrologische systeembeschrijving Maas RIZA rapport 94.022: 141 pp.
- de-Boer, D., 1992 Vegetaties in het oevermilieu van de Grensmaas. 1 Veldopname en verwerking van gegevens *Ecological Rehabilitation River Meuse* 6: 101 pp + bijl.
- Descy, J.P., 1984 Ecologie et distribution de diatomées benthiques dans le bassin Belge de la Meuse *Kon. Belg. Inst. Nat. Wet., Studiedoc.* 18: 25 pp. + 70 pp.
- Gosselain, V., Descy, J-P., Everbecq, E., 1994 The phytoplankton community of the River Meuse, Belgium: seasonal dynamics (year 1992) and the possible incidence of zooplankton grazing *Hydrobiologia* 289: 171-191
- de-la-Haye, M., 1992 Groei en overleving van de vlottende waterranonkel (*Ranunculus fluitans*) in de Maas: transplantatie en semi-veldexperimenten RIZA Nota 92.017: 31 pp.
- de-la-Haye, M.A.A., 1993 Worden groei, overleving en kieming van vlottende waterranonkel (*Ranunculus fluitans* Lamarck) in Maaswater beïnvloed door waterstandsfluctuaties? *Rapport ecologisch herstel rivieren* 53: 50 pp.
- de-la-Haye, M.A.A., 1994 De invloed van stroomsnelheid op de aangroei van benthische algen en de aanhechting van Maasslib op kunstmatig substraat in stroomgoten *Rapp. ecologisch Herstel Maas* 19: 34 pp. + bijl.
- de-la-Haye, M.A.A., 1994 Heeft vlottende waterranonkel een toekomst in de Grensmaas? *Report Ecol Rehabilitation of the R. Meuse* 18: 32 pp. + bijl.
- Haslam, S.M., 1978 River plants. The macrophytic vegetation of watercourses *Cambridge Univ. Press* 396
- Helmer, W., Klaassen, G., Silva, W., 1991 Toekomst van een grindrivier. Deel 5. Rivierkundige aspecten van natuurontwikkeling *Stroming bureau voor Natuur- en Landschapsontw.* 85 pp.
- Helmer, W., Klink, A., Overmars, W., Barneveld, H., 1992 Levende rivieren. Studie in opdracht van het Wereld Natuur Fonds *Rapport Wereld Natuur Fonds* jan-28
- Hynes, H.B.N., 1960 The biology of polluted waters *Liverpool Univ. press* 202 pp.
- Ibelings, B., Admiraal, W., Bijkerk, R., Ietswaart, T., Prins, H., 1998 Monitoring algae in Dutch rivers: does it meet its goals? *J. applied Phycology* 10: 171-181
- Ibelings, B.W., Török, L. & Dimitru R., *in press*. Plankton dynamics along a hydrological gradient in Danube Delta Lakes. In Oosterberg, W. (ed.) *Ecological gradients in Danube Delta Lakes*. RIZA.
- Ietswaart, Th., van Dijk, G., 1996 Effecten van eutrofiëring en hydrologische omstandigheden op fytoplankton in de Maas *Rapport RIVM* 733008002: 78 pp.



- Kerkhofs, M.J.J., Prins, K.H. (red.), 1995 Biologische monitoring zoete rijkswateren: watersysteemrapportage Maas 1992 RIZA nota 95.001 : 1-86
- Klink, A., bij de Vaate, A., Kerkhofs, S., 1994 Algenaangroei en slibak-kumulatie op stenen in de Grensmaas Rapp. Med. Hydrobiol. Advb. Klink 46: 37 pp. + bijl.
- Klink, A., 1998 De Maasplassen, typologie en toekomst. Een onderzoek van macrofauna en waterplanten Rapport AquaSense 98.0971: 61 pp. + bijl.
- Klink, A., bij de Vaate, B., 1994 De Grensmaas en haar problemen zoals blijkt uit hydrobiologisch onderzoek aan makro-evertebraten Hydrobiologisch Adviesburo Klink Rapp. Med. 53: 62 pp. + bijl.
- Klink, A.G., 1982 Het genus *Micropsectra* Kieffer (Diptera, Chironomidae). Eentaxonomische- en oekologische studie Medeklinker 2: 59 pp. + bijl.
- Klink, A.G., 1983 Key to the Dutch larvae of *Paratanytarsus* Thienemann & Bause with a note on the ecology and the phylogenetic relations Medeklinker 3: 36 pp.
- Klink, A.G., 1985 Hydrobiologie van de Grensmaas. Huidig functioneren, potenties en bedreigingen Hydrobiol. Adviesburo Klink Rapp. Meded. 15: 38 pp. + bijl.
- Klink, A.G., 1991 Ecologisch relevante factoren bij het inrichten van een nevengeulencomplex in de Rijn Hydrobiol. Adviesburo Klink Rapp. Med. 36: 29 pp. + bijl.
- Klink, A.G., 1991 Maas 1986 - 1990. Evaluatie van 5 jaar hydrobiologisch onderzoek van makro-evertebraten Hydrobiologisch Adviesburo Klink Rapp. Med. 39: 38 pp. + bijl.
- Koot, A.C.J., 1980 Behandeling van afvalwater Waltman: Delft 393 pp.
- Meurisse-Genin, M., Reydam-Detollenaere, A., Stroot 1987 Les macro-intertebrates benthique de la Meuse belge: bilan de cinq années de recherches (1980-1984) Arch. Hydrobiol. 109(1): 67-88
- Micha, J.C. & Borlee, M.C., 1989 Recent historical changes on the Belgian Meuse. In: Historical change of large alluvial rivers: Western Europe G.E. Petts (ed.), John Wiley & Sons: New York p. 269-295
- Moller Pillot, H.K.M., 1995 Een leidraad voor het determineren van de larven van het geslacht *Einfeldia* in Nederland Interne Rapp. 1-aug
- Moller-Pillot, H.K.M., 1984 De larven der Nederlandse Chironomidae (Diptera) (Inleiding, Tanypodinae & Chironomini) Ned. Faun. Meded. 1A: 1-277
- Moller-Pillot, H.K.M., 1984 De larven van de Nederlandse Chironomidae (Diptera) (Orthoclaadiinae sensu lato) Ned. Faun. Meded. 1B: 1-175
- de-Nie, H.W., 1997 Atlas van de Nederlandse zoetwatervissen Sticht. Atlas Verspr. Ned. Zoetwatervissen 151 pp.
- OVB 1997 Hoe gevoelig zijn vissen voor zuurstofgebrek? OVB berichten 1997 (3): 99-103
- Peeters, E.T.H.M., 1988 Hydrobiologisch onderzoek in de Nederlandse Maas. Makrofauna in relatie tot biotopen Verslag Natuurbeheer, Landbouw Universiteit 150 pp.
- Petts, G.E., 1988 Accumulation of fine sediment within substrate gravels along two regulated rivers, UK In: Regulated rivers: research and management John Wiley & Sons, Ltd. 2: 141-153
- Rajagopal, S., van der Velde, G., Paffen, B.G.P., bij de Vaate, A., 1998 Ecology and impact of the exotic amphipod, *Corophium curvispinum* Sars, 1895 (Crustacea: Amphipoda), in the Rivers Rhine and Meuse Publ. En Rapp. Ecologisch Herstel Rijn 75: 89 pp.
- Reynolds, C.S., 1984 The ecology of freshwater phytoplankton Cambridge Univ. Press 384 pp.



- Reynolds, C.S., 1994 The long, the short and the stalled: on the attributes of phytoplankton selected by physical mixing in lakes and rivers *Hydrobiologia* 289: 9-21
- Reynolds, C.S., Descy, J-P., 1996 The production, biomass and structure of phytoplankton in large rivers *Arch. Hydrobiol. Suppl.* 113: 161-187
- Reynolds, C.S., Descy, J-P., Padisak, J., 1994. Are phytoplankton dynamics in rivers so different from those in shallow lakes? *Hydrobiologia* 289: 1-7.
- Rivier, B., Sequier, J., 1985 Physical and biological effects of gravel extraction in river beds. In: Alabaster, J.S. (ed.). *Habitat modification and freshwater fisheries* Butterworths London 278 pp.
- de-Ruyter-van-Steveninck, E.D., Admiraal, W., e.a., 1990 Changes in plankton communities in regulated reaches of the Lower Rhine *Regulated Rivers Res. & Manage.* 5: 67-75
- de-Ruyter-van-Steveninck, E.D., van-Zanten, B., e.a. 1990 Phases in the development of riverine plankton: examples from the Rivers Rhine and Meuse *Hydrobiol. Bull.* 24(1): 47-55
- RIWA 1997 Jaarverslag 1996. Deel B: de Maas RIWA Jaarversl. 136 pp.
- RIWA 1999 Jaarverslag 1998. Deel B: de Maas RIWA Jaarversl. 122 pp.
- Smit, H., 1995 Macrozoobenthos in the enclosed Rhine-Meuse Delta *Academisch Proefschrift K.U. Nijmegen* 192 pp.
- bij-de-Vaate, A., van-Viersen, W., (eds.), 1990 Licht en waterplanten. Oorzaken van biomassafluctuaties van onderwatervegetaties in het Veluwe-meer Vakgroep Natuurbeheer L.U. Wageningen 203 pp + bijl
- van-der-Velde, G., 1980 Studies in Nymphaeid-dominated systems with special emphasis on those dominated by *Nymphoides peltata* (Gmel.) O.Kuntze (Menyanthaceae) *Acad. Proefschr., Sticht. Studentenpers Nijmegen* 163 pp.
- Vannote, R.L., Minschall, G.W., Cummins, K.W., Sedell, J.R., Cushing, C.E., 1980 The river Continuum Concept *Can. J. Fish. Aquat. Sc.* 37: 130-137
- van-Urk, G., 1984 Algen en de zuurstofhuishouding van de Rijn *H2O* 17(5): 96-100
- Verbeek, P., 1996 Waterplanten in de Grensmaas 1996. Inventarisatie en standplaatskarakterisering Rapport Natuurbalans - Limes Divergens 17 pp. + bijl.
- Weeda, E.J., Westra, R., Westra, C., Westra, T., 1988 Nederlandse oecologische flora. Wilde planten en hun relaties 4 IVN i.s.m. VARA en VEWIN 317 pp.
- Wiederholm, T. (ed.) 1983 Chironomidae of the holarctic region. Keys and diagnoses part 1. Larvae *Ent. Scand. Suppl.* 19: 1-457
- Wiederholm, T. (ed.), 1986 Chironomidae of the Holarctic region. Keys and diagnoses 2. Pupae *Entomologica Scandinavica Suppl.* 28: 482 pp.
- Wiederholm, T. (ed.), 1989 Chironomidae of the holarctic region. Keys and diagnoses part 3. Adult males *Entomologica Scandinavica Suppl.* 34: 532 pp.
- Wijngaarden, M. van 1996 MER Zandmaas, sedimentatie in de uiterwaarden Memo WST 96.077: 6 pp.
- Zuurdeeg, B.W., 1980 De natuurlijke chemische samenstelling van het Maaswater *H2O* 1: 1-7





**Literatuur slibhuishouding**

- Anonymus, 1968. Materiaaltransport door de Maas. Rijkswaterstaat Directie Limburg, Studiedienst Maas.
- Anonymus, 1979a. Slib in Rijn en Maas; een beschrijving van de kwalitatieve en kwantitatieve aspecten van slib in de Rijn en Maas in relatie tot de drinkwatervoorziening, deel I Samenvattend rapport. Rijncommissie Waterleidingbedrijven en Rijksinstituut voor Drinkwatervoorziening.
- Anonymus, 1979b. Slib in Rijn en Maas; een beschrijving van de kwalitatieve en kwantitatieve aspecten van slib in de Rijn en Maas in relatie tot de drinkwatervoorziening, deel II Theoretische aspecten. Rijncommissie Waterleidingbedrijven en Rijksinstituut voor Drinkwatervoorziening.
- Anonymus, 1979c. Slib in Rijn en Maas; een beschrijving van de kwalitatieve en kwantitatieve aspecten van slib in de Rijn en Maas in relatie tot de drinkwatervoorziening, deel III Toetsing theorie aan metingen. Rijncommissie Waterleidingbedrijven en Rijksinstituut voor Drinkwatervoorziening.
- Anonymus, 1981a. Morfologische verschijnselen Grensmaas, figuren en foto's, verslag vooronderzoek. Waterloopkundig laboratorium.
- Anonymus, 1981b. Morfologische verschijnselen Grensmaas, tekst en tabellen, verslag vooronderzoek. Waterloopkundig laboratorium.
- Anonymus, 1998 (concept). Beheersvisie Maas, achtergrondrapport, Grontmij in opdracht van Rijkswaterstaat directie Limburg.
- Anonymus, 1999 (concept). Vaststellen ecologisch verantwoorde afvoerfluctuatienorm voor de Grensmaas. Witteveen en Bos in opdracht van RIZA, EHM-rapport nr. 31
- Anonymus, 1994. De kwaliteit van de Maas in 1994. Internationale Commissie voor de Bescherming van de Maas.
- Appelman, K, M.J.J. Kerkhofs and Bakker, H.C. & H.J. den Hollander, 1994. Kartering van zwevend stof en chlorofyl met satelliet remote sensing in Maas en Maasplassen. Meetkundige Dienst in opdracht en in samenwerking met het RIZA. Report of the project Ecological Rehabilitation of the rivier Meuse. EHM nr. 20. RIZA en RWS, directie Limburg.
- Asselman, N.E.M. 1997. Suspended sediment in the rivier Rhine; The impact of climate change on erosion, transport and deposition. Proefschrift Rijksuniversiteit Utrecht.
- Bakkum, R. & J. van Gils, 1995. MER Grensmaas, huidige toestand waterkwaliteit. Waterloopkundig laboratorium.
- Berger, C.I. & H.E.J. Bak-Eijsberg, 1998. Overschrijdingsfrequenties van waterstanden voor de Maas tussen Lith en Heesbeen; RIZA, werkd. 97.153x.
- Berger, H.E.J., 1991. Systeembeschrijving Maas. RIZA, werkdocument nr. 91.050x.
- Boogaard, 1988. Aansluiting van het kanaal Wessem-Nederweert aan de Maas, effecten op stroming en sedimentatie.
- Boon, J.G., 1995. Afvoergolf Rijn/Maas; verspreiding van rivierwater, slib en nutriënten in de Noordzee. Waterloopkundig Laboratorium.
- Bos, A.D. 1998. Rivierverruiming in de Maas; een studie naar de hydraulische en ecologische gevolgen van rivierverruiming voor de opvang van toekomstig verhoogde afvoeren door klimaatsverandering. Stageverslag in opdracht van Rijkswaterstaat, directie Limburg.
- Brink, N. van den, 1994. Effecten van stroomgeulverbreding en weerverlaging op slibsedimentatie in de Grensmaas. RIZA, reports of the project Ecological rehabilitation of the rivier Meuse, no. 22-1994.
- Bruggen, M. van, P.B.M. Stortelder, C. van de Guchte & W.F. van Hooft, 1995. Hoogwater januari en februari 1995: kwaliteit en risico's van het door Rijn en Maas aangevoerde rivierslib. RIZA en RIVM, RIZA notanr. 95.019.



- Dijkzeul, A. 1981. De waterkwaliteit van de Maas in Nederland in de periode 1953-1980. Rijksinstituut voor Zuivering van Afvalwater, notanr. 81-048.
- Hal, L. van, 1994a. Meetverslag slibonderzoek Grensmaas periode mei/juni 1992, Periode november/mei 1993. RIZA, werkdocument 94.043X.
- Hal, L. van, 1994b. Meetverslag slibonderzoek Grensmaas periode 20 februari t/m 20 mei 1994. RIZA, werkdocument 94.166X.
- Harper, D.M. & A.J.D. Ferguson (eds), 1995. The ecological basis for river management.
- Haselen, C.O.G., van, 1995. Sedimentatie van zwevende stof in het zomer- en winterbed van de Maas. Stagerapport in opdracht van RIZA.
- Heijdt, L.M. van der & J.J.G. Zwolsman, 1996. Influence of flooding events on the suspended matter quality of the Meuse river (the Netherlands). Presented at the North American Water and Environment Congress 1996.
- Helmer, W., G. Klaassen & W. Silva, 1991. Toekomst voor een grindrivier; deel 5 Rivierkundige aspecten van natuurontwikkeling. RIZA, notanr. 91.007.
- Heylen, J., 1995. The floods on the common Meuse at the Belgian-Dutch border in december 1993 and 13 months later in january-february 1995. Ministry of the Community of Flandres environment and infrastructure department.
- Hoogeveen, P.M.T.C., 1992. Resultaten van het waterkwaliteitsonderzoek in de Maas in Nederland 1972-1991. RIZA, rapportnr. 92.048.
- Hoogeveen, P.M.T.C., 1995. Resultaten van het waterkwaliteitsonderzoek in de Maas in Nederland 1974-1993. RIZA, rapportnr. 95.018.
- Klaassen, G.J. 1990, Sediment transport in armoured rivers during floods, Delft Hydraulics, Report Q 790.
- Ludikhuize D., 1996a. MER Zandmaas, Slibtransport in de Maas. Memo 17 mei 1996. WST.03.01.
- Ludikhuize, D. 1997. Memo Slibbalans Maas. Memo WST 97.084, concept, RIZA.
- Ludikhuize, D., 1996b. Memo Sedimentatie winterbed Maas; schatting bodemkwaliteit. Memo WST 96.168.
- Ludikhuize, D., 1996c. MER Zandmaas, Slibtransport in de Maas. RIZA, WST 96.03.01.
- Micha, J.C. and Borlee, M.C., 1989. Recent historical changes of the Belgian Meuse, In Petts, G.E., Historical change of large alluvial rivers, Western Europe, John Wiley Publ.Cy.
- Middelkoop, H. 1997. Embanked floodplains in the Netherlands; geomorphological evolution over various time scales. Proefschrift faculteit Ruimtelijke Wetenschappen, Universiteit Utrecht.
- Obrdlik, P. 1995. Binnenschiffahrt und Ökologie. WWF-Auen-Institut, Rastatt.
- Paalvast, P., 1993. "La Moyenne Meuse" als referentie voor de Grensmaas ? Een inventarisatie. Reports of the project "Ecological rehabilitation of the river Meuse. EHM nr. 16a-1993. RIZA en RWS directie Limburg.
- Peeters, E.T.H.M. & R. Gylstra, 1995. ecologische karakterisering van de Limburgse maasplassen op grond van fysische en chemische variabelen en fytoplankton. Agricultural University Wageningen, Dept. Of Waterquality and Aquatic Ecology in commission of RIZA. Reports of the project "Ecological rehabilitation of the river Meuse. EHM nr. 27-1995. RIZA en RWS directie Limburg
- Rooy, M. de. 1997. Het vuil, de stad en de Maas. In Reinwater kwartaaltijdschrift 1997 (4) blz.16-19.
- Tebbens, L.A., 1999. Late quaternary evolution of the Meuse fluvial system and its sedimentcomposition; a reconstruction based on bulk sample



geochemistry and forwardmodelling. Proefschrift Landbouwniversiteit Wageningen.

- Veen, R. van der, 1993. Onderzoek naar effecten van gewijzigd peilbeheer op zuurstof- en nutriëntengehaltes in de Maas. RIZA Lelystad, werkdoc. 93.104 X.
- Wijngaarden, M. van, 1996. Memo MER Zandmaas: sedimentatie in uiterwaarden. Memo WST 96.077.
- Wijngaarden, M. van, 1997. Slibdikte-meting Zandmaas; baggertraject 1 meting 8 juli 1997 in het kader van monitoring Baggerbestek 1. RIZA Dordrecht, werkdocument 97.142X.
- Wijngaarden, M. van, 1998. Sedimentatie en erosie van zwevende stof in nevengeulen. RIZA, rapportnr. 97.078.
- Wildt, de, P.J.W. 1981, Sedimenttransport in de Maas. RWS, directie Waterhuishouding en Waterbeweging, district zuidoost, afdeling Maas, not. 81.24



## Bijlage 1

## Begeleidingsgroep Slib in de Maas

| Naam                     | organisatie                       |
|--------------------------|-----------------------------------|
| Sander Bastings          | Rijkswaterstaat, Directie Limburg |
| Tom Buijse               | Rijkswaterstaat, RIZA             |
| Bas Ibelings             | Rijkswaterstaat, RIZA             |
| Wendy Liefveld           | Rijkswaterstaat, RIZA             |
| Marnix Maris             | Maaswerken                        |
| Marian Neven             | Rijkswaterstaat, Directie Limburg |
| Jens Reuber              | Rijkswaterstaat, Directie Limburg |
| Maartje Thijssen         | Rijkswaterstaat, Directie Limburg |
| Marjolijn v. Wijngaarden | Rijkswaterstaat, RIZA             |





# Verantwoording

|                  |                                                                                                                                                                                          |
|------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Titel            | : Slib in de Maas, een tipje van de slibsluier opgelicht.<br>Verkenkende studie naar de kwantitatieve effecten<br>van slib in het zomerbed op de ecologische<br>ontwikkeling van de Maas |
| Opdrachtgever(s) | : Rijkswaterstaat RIZA, Arnhem                                                                                                                                                           |
| Uitgegeven door  | : Grontmij Advies & Techniek                                                                                                                                                             |
| Plaats en datum  | : Arnhem, 21 januari 2000                                                                                                                                                                |
| P.N.             | : 1293331                                                                                                                                                                                |
| Doc.nr.          | : GLD6215                                                                                                                                                                                |
| Status en versie | : Eindrapport, maart 2000                                                                                                                                                                |
| Aantal pagina's  | :                                                                                                                                                                                        |
| Opgesteld        | : M. C van den Burg, J.G.M. Rademakers & A. Klink                                                                                                                                        |
| Gecontroleerd    | :                                                                                                                                                                                        |
| Goedgekeurd      | :                                                                                                                                                                                        |
| Informatie       | : Margreet van den Burg, Arnhem (026-3558888)                                                                                                                                            |

