

# **Ecologisch relevante factoren bij het inrichten van een Nevengeulencomplex in de Rijn**

Een literatuurstudie met makro-evertebraten als uitgangspunt

Alexander Klink

Hydrobiologisch Adviesburo Klink bv Wageningen  
Rapporten en Mededelingen 36 (19 april 1991)

## Voorwoord

Dit onderzoek wordt opgedragen ter nagedachtenis aan Geert van Urk. De talrijke discussies die wij hebben gevoerd over het functioneren van de Rijn als ecosysteem in het verleden hebben veel bijgedragen tot de inhoud van dit rapport. Tevens was hij een groot voorstander van palaeolimnologisch onderzoek, hetgeen ertoe heeft geleid dat we momenteel veel meer weten over de fauna-samenstelling in de vroegere Rijn dan met welke literatuur dan ook te achterhalen zou zijn geweest.

Mijn dank gaat verder uit naar mevr. ir. C. Bakker (RIZA) voor het verstrekken van chlorofyll a, koolstof en silikaat gegevens van de Rijn (1984-1989).

<b>Inhoudsopgave</b>	<b>pag.</b>
Samenvatting	4
1. Inleiding	5
2. Historisch overzicht van de menselijke ingrepen in de loop van de Rijn	6
3. Veranderingen van de habitats als gevolg van menselijke ingrepen	7
4. Wijziging van de voedingsbronnen in relatie met de veranderde habitats	9
5. Indikatorsoorten van de verdwenen habitats	13
6. Vroegere verdeling van de insectenfauna over de habitats	16
7. Ecologisch relevante inrichting van een nevengeulencomplex	17
8. Kolonisatie van het nevengeulencomplex	19
9. Konklusie	20
10. Literatuur	21
Figuur 1: Berekende jaarcyclus van het silikaatgehalte	10
Figuur 2: Seizoensverloop van de aanvoer van POC uit andere bronnen dan het fytoplankton	12
Tabel 1: Geschatte perioden van het verdwijnen van indikatorsoorten en hun habitat	15
Tabel 2: Verdeling van de insectenfauna over de verschillende habitats in de Rijn in 1745 en in 1985	16
Bijlage 1: Veranderingen van het dwarsprofiel van de Waal bij Gorinchem (1731-1959)	
Bijlage 2: Uitwerking van een nevengeulencomplex op grond van ecologische criteria	

## Samenvatting

Het literatuuronderzoek, ondersteund door palaeolimnologisch onderzoek, wijst uit dat alle natuurlijke habitats van makro-evertebraten uit de Rijn zijn verdwenen. In chronologische volgorde van het uitsterven van hun karakteristieke bewoners zijn dit:

snaghabitat (hout in de rivier, afkomstig van het ooibos)	<i>Symposiocladius lignicola</i>
zandbanken	<i>Lipiniella arenicola</i>
vegetatie	<i>Potamanthus luteus</i>
kleibanken	<i>Palingenia longicauda</i>
schuivend zand	<i>Ephoron virgo</i>

Afgezien van verontreiniging zijn de oorzaken hiervan terug te voeren tot het kappen van het ooibos, de normalisatie en de scheepvaart.

Het verdwijnen van deze habitats heeft tevens tot gevolg gehad dat de voedselvoorziening van de makro-evertebraten sterk is gewijzigd cq. eenzijdiger is geworden.

Het inrichten van een nevengeulencomplex moet er op gericht zijn om de natuurlijke habitats te herstellen. Dit betekent dat de vorming van ooibos moet worden gestimuleerd, alsmede de ontwikkeling van een vegetatie, bestaande uit water- en oeverplanten. Verder worden de natuurlijke gradiënten in sedimentsamenstelling en bodemhoogte hersteld door het aanleggen van eilanden in de stroomgeul.

Randvoorwaarden voor de ontwikkeling van de natuurwaarden zijn de afwezigheid van scheepvaart in het nevengeulencomplex en minimalisatie van de invloed die de scheepvaart in de hoofdgeul uitoefent op de nevengeul. Daarnaast is een zekere dynamiek gewenst die overeenkomt met die in een natuurlijke grote rivier.

Nadat de beoogde infrastructuur is aangelegd kan de rekolonisatie van de verdwenen rivierbewoners worden gevolgd om te toetsen of de ecologische doelstelling is bereikt. Hierbij verdient het aanbeveling om soorten te herintroduceren die het nevengeulencomplex niet op eigen kracht kunnen bereiken.

## 1. Inleiding

In dit literatuuronderzoek, uitgevoerd in opdracht van DBW/RIZA (thans RIZA), is gezocht naar de ecologisch relevante factoren voor het inrichten van een nevengeulencomplex. Onder een nevengeul wordt een permanent stromend gedeelte van het zomerbed verstaan dat door één of meerdere eilanden van de hoofdstroom is gescheiden. De reden om aandacht te besteden aan dit verdwenen aspect in de Nederlandse rivieren, is de konstatering dat het spektakulaire biologische herstel van de Rijn, vanaf begin jaren 80 (van Urk, 1984b en mondelinge mededelingen), momenteel stagneert omdat de beperkende factor voor de rekolonisatie van verdwenen soorten steeds minder verband gaat vertonen met de verbetering van de waterkwaliteit en meer in relatie moet worden gezien met de afwezigheid van geschikte habitats (van Dessel, 1989; Schiller, 1990; Smit en van Urk, 1987). Het verdwijnen van deze habitats is hoofdzakelijk het gevolg van werkzaamheden ten behoeve van de bevaarbaarheid en ter eliminatie van het overstromingsgevaar. Behalve de Rijn en de Maas zijn vrijwel alle grote Europese rivieren in meer of minder mate aangepast (Petts, 1989). Hierdoor reikt de informatie over verdwenen habitats verder dan het ecologische belang van de Nederlandse rivieren.

Bij het formuleren van ecologisch relevante factoren voor de inrichting van een nevengeulencomplex zal daarom zoveel mogelijk rekening worden gehouden met het stimuleren van de vorming van deze verdwenen habitats. Dit onderzoek beperkt zich tot het stromende gedeelte van het aquatisch kompartiment van het nevengeulencomplex. De aansluiting van dit complex naar de stagnante wateren in het winterbed, alsmede de hier liggende hogere gronden, kan worden gevonden in studies als het plan Ooievaar (de Bruin e.a., 1987).

## 2. Historisch overzicht van de menselijke ingrepen in de loop van de Rijn (gebaseerd op oude rivierkaarten, Pons, 1957; van de Ven, 1976; van Til, 1979).

De mens heeft zich vanaf ca. 1000 na Chr. ingezet om het rivierengebied beter bewoonbaar te maken. Aanvankelijk was alleen bewoning mogelijk op de oeverwallen die door kaden werden beschermd tegen het water. Bij afvoergolven stroomde het water via de lagere delen in de kommen, waar de klei werd afgezet.

Vanaf 1200 is de waterstaatszorg vanuit het westen in groter verband georganiseerd (Rijnland, 1202-1220) en de Grote Waard (1213). In de 13e en 14e eeuw heeft men zich ook in Brabant en Gelderland georganiseerd (Betuwe, 1327 en de Maaskant, 1331). De aaneensluiting van de onregelmatige bekadingen tot een stelsel van bandijken heeft plaatsgevonden vanaf de 14e eeuw. Hiermee is in grote lijnen het winterbed van de rivieren vastgelegd. In de hierop volgende eeuwen zijn de oobossen gekapt en heeft men allerlei maatregelen genomen om de uiterwaarden zolang mogelijk droog te houden ten behoeve van de veeteelt en kleiwinning. De zomerdijken werden aangelegd of opgehoogd en ook wel werd riet en wilg aangeplant. In het zomerbed werden lange houten kribben aangelegd voor landaanwinning. Dit alles had tot gevolg dat het water zowel in de zomer als in de winter ernstig in haar afstroming werd belemmerd en er veel dijkdoorbraken plaatsvonden.

De (organische) verontreiniging van de rivieren uit deze tijd is treffend beschreven door Velsen (1768):

"Maar by ons heeft men genoegzaam geen aandacht altoos, op dat gewichtig stuk gehad, een ieder heeft met in 's lands rivieren gehandeld en huisgehouden, naar welgevallen; zy zyn genoegzaam geheel zonder toezicht geweest: wierdt haar op een of andere wyze een dodelijke wond toegebracht, niemand bekreunde zig des; niemand droeg er leed over. In de plaats van Goddelyk of Heilig te heeten, waren ze maar geacht als Vuilnis-gooten, waar elk mogt morsen zo als het hem behaagde. Daar door zyn ze geraakt in die wanschappen toestanden, als in dit werkje wordt aangewezen"

In 1798 werd het beheer van de Rijntakken onder het centrale bestuur gebracht van de Bataafse Republiek. Deze vaardigde in 1806 een rivierwet uit waarin het werd verboden, behoudens een vergunning, werken aan te leggen tussen de bandijken die de vrije afstroming van het water konden belemmeren.

In deze tijd waren er nog vele eilanden (middelzanden) in de rivieren aanwezig. Tussen de eilanden en de oevers stroomden de hoofd- en nevengeulen. De hogere delen van deze middelzanden bezaten nog oobos of waren omgezet in hooiland. De middelzanden waren vooral in trek bij de zalmvissers, die vermoedelijk door de geringere breedte (en diepte) van de nevengeul de zalm eenvoudiger konden bevissen dan in de hoofdgeul. Al naar gelang het erosie-sedimentatie patroon rond de wandelende eilanden kunnen nevengeulen permanent watervoerend zijn of deels zijn opgeslibd, waardoor ze alleen funktioneerden bij hogere afvoeren.

In de eerste helft van de 19e eeuw is men de rivieren systematisch in kaart gaan brengen en is een aanvang gemaakt met de eerste normalisatie, die beperkt is gebleven tot enkele plaatselijke stroomgeleidingswerken. Er lagen toen nog 31 middelzanden in het traject van Lobith tot Gorinchem. Bij de tweede normalisatie in de tweede helft van de vorige eeuw heeft men gestreefd naar een regelmatig zomerbed met voldoende diepgang voor de scheepvaart (3 m). De kosten van deze normalisatie hebben ruim fl. 30 miljoen gekost en tussen 1886 en 1890 is 3,5 miljoen m<sup>3</sup> zand gebaggerd. Uit deze tijd stammen de meeste kribben en zijn alle middelzanden met de oever verbonden door strekdammen. Dit heeft ertoe geleid dat de breedte van 500-800 m is teruggebracht tot 310-360 m (zie ook bijlage 1). Tenslotte is in het begin van deze eeuw nog een derde normalisatie uitgevoerd, waardoor het zomerbed verder is versmald tot 260 m en de rivier haar huidige loop heeft gekregen.



### 3. Veranderingen van de habitats als gevolg van menselijke ingrepen

#### - Habitat "snag" (engels)

Snag is dood en levend hout dat zich op of in het water bevindt, of takken en bomen die in de bodem begraven liggen.

In de late middeleeuwen zijn de oobossen gekapt en daarmee is de natuurlijke aanvoer van dit materiaal als habitat verloren gegaan. Vervolgens heeft men ten behoeve van de bevaarbaarheid het nog aanwezige hout uit de rivier verwijderd. Dit heeft tot gevolg gehad dat deze habitat in de Rijn vermoedelijk vanaf 1750 grotendeels verdwenen is (van Urk en Smit, 1989). Ook in het buitenland is men de strijd aangegaan tegen het hout in de rivieren ten behoeve van de scheepvaart. In het begin van deze eeuw was de Wolga al grotendeels ontdaan van snag. In de Ural, als één van de laatste grote West-Russische rivieren is pas in de twintiger jaren van deze eeuw een begin gemaakt met snagging (Behning, 1932). Ook in Noord Amerika is het verwijderen van snag al vroeg in de vorige eeuw begonnen (Jackson, ea 1984; Triska, 1984). Het belang van deze habitat wordt onderstreept door Benke e.a. (1985). Snagfauna herbergt in de Satilla River (USA) 60% van de dierlijke biomassa. De helft van de belangrijkste vissoorten haalt tenminste 60% van hun voedsel uit de snaghabitat. De habitat snag is niet alleen van groot belang als substraat voor makro-evertebraten, maar heeft tevens een grote invloed op de morfologie van de bodem. Door de hoge weerstand van snag bezinkt hiertussen het lichtere materiaal dat in een geschoonde rivier in suspensie zou blijven. Als gevolg van snagging treedt dan ook een meer uniform sediment op (Wallace en Benke, 1984). Ook Shepard (1982) stelt vast dat liggende boomstammen het ideale substraat vormen voor makro-evertebraten, enerzijds vanwege het geschikte oppervlak en anderzijds vanwege het invangen van drijvend en zwevend organisch materiaal.

#### - Waterplanten in het zomerbed

In de huidige Rijn tot Gorkum hebben waterplanten in het zomerbed geen betekenis en zijn de oevers kaal (van Urk en Smit, 1989). Deze situatie was al gesignaleerd door Lauterborn (1918), die opmerkt dat de voormalige eilanden in de Rijn met de oevers zijn verbonden en daar als hogere delen opvallen in het landschap. Op de lagere delen in de uiterwaarden is hier en daar wel een moerasvegetatie ontwikkeld. De oevers van de rivier zijn echter kaal, behalve op plaatsen in de luwte van de stroming. Hier is de zandbodem bedekt met een bruine laag kiezelwieren. Ondanks het feit dat oevervegetatie in de Rijn al in het begin van deze eeuw schaars moet zijn geweest is dit geen normale situatie. In een grote rivier behoren drijvende en emergente waterplanten in het zomerbed aanwezig te zijn op plaatsen met een geringe stroomsnelheid (bv. Anderson en Vinikour, 1984 (Mississippi); Behning, 1928 (Wolga); Ekzertzev, 1979 (Wolga voor kanalisatie); Horvath, 1966 (Tisza voor normalisatie); Mackey, 1976, 1977 (Thames); Mischa en Borlee, 1979 (Maas 1910); Russev en Naidenov, 1973 (Donau in niet gestuwde gedeelten); Sambugar, 1981 (Po); Vincent, 1983 (St. Lawrence River); Wasson e.a., 1984 (Saône)).

#### - Habitat van stabiele ondiepe zandige en siltige oeverzônes

Deze overzônes waren nog aanwezig toen Lauterborn (1918) de Nederlandse Rijn beschreef. Sindsdien is door het verder versmalde dwarsprofiel een sterke erosie opgetreden in het zomerbed, waardoor het bed van de Rijn tussen 1930 en 1960 met 1 meter is gedaald (van Urk en Smit, 1989). Dit heeft geleid tot een uniforme diepte van meer dan 3 meter. De diepte waar nog voldoende licht doordringt voor de groei van primaire producenten ligt in de Rijn tussen 70 en 90 cm (resp. naar van Urk, 1984a; Vermaat en van Viersen, 1990). Dit betekent dat de primaire produktie door bentische algen nauwelijks meer van belang is. Hoe rijk aan algen en hoe hoog de primaire produktie van ondiepe stabiele zanden kan zijn blijkt uit McIntire en Amspoker, (1986). Het best gesorteerde zand bezat de geringste bruto primaire produktie van 11 gC/m<sup>2</sup>jaar. Op de overige zandplaten in de benedenloop van de Columbia River varieerde dit van 29-162 gC/m<sup>2</sup>jaar. Uitgaande van hun berekeningen en de gegevens in de Jong, Hofman en Sandee (1988) zou de bruto primaire produktie in het Haringvliet op de ondiepe delen van de Ventjagersplaat ca. 33 mgC/m<sup>2</sup>jaar bedragen. Dit is ongetwijfeld de reden voor de aanwezigheid van een diverse en produktieve gemeenschap van zandbewonende Chironomidae (Smit en Snoek, 1989; Snoek, 1990; Smit e.a., in druk) in vergelijking met de oeverzône van de Waal (van Urk, concept werkdokument).

#### - Habitat schuwend zand

Deze habitat is één van de minst begrepen habitats in een rivier omdat ogenschijnlijk geen voedingsbron aanwezig is voor de hierin levende fauna (Barton, 1980; Whitman en Clark, 1984). De laatste constateren echter dat het schuiven van zand slechts in bepaalde seizoenen plaatsvindt en er detritus in het zand begraven ligt. Williams en Hynes (1974) toonden aan dat de fauna tot een diepte van 70 cm in het zand nog in aanzienlijke dichtheden kan voorkomen. Deze fauna is blijkbaar zeer goed aangepast aan de ogenschijnlijk instabiele habitat. In oude Rijnafzettingen zijn overblijfselen aangetroffen van deze karakteristieke fauna. In de huidige inventarisaties van de Rijn ontbreken vrijwel al deze soorten. Op grond hiervan moet worden aangenomen dat ook deze habitat, voor zover aanwezig, niet meer voldoet aan de eisen van haar karakteristieke bewoners.

#### - Habitat kleibanken

Indien een rivier zich insnijdt in oudere kompakte kleiafzettingen dan ontstaat een habitat die uniek is voor de benedenloop van grote rivieren. Mede door het spectaculaire uitvlieggedrag van haar meest specifieke bewoner, de eendagsvlieg *Palingenia longicauda*, weten we dat deze habitat vroeger in het Nederlandse gedeelte Rijn aanwezig was. Deze eendagsvlieg kwam vroeger algemeen voor in het stroomgebied van de Rijn, Donau en Wolga (resp. Lauterborn 1918, Russev, 1987, Behning, 1928) Thans is de soort in Europa alleen nog aanwezig in de Tisza en de wellicht op enige plaatsen in de Donau en de Axios (Landa en Soldan, 1985). Het laatste Nederlandse museumexemplaar dateert van 1907 (Mol, 1985). Door de normalisatiewerkzaamheden kan de rivier zich niet meer zijwaarts insnijden in oudere afzettingen, waardoor deze habitat tegenwoordig niet meer aanwezig is.

#### - Habitat huidige oevers

De huidige oevers van de Rijn bestaan, mede door de sterk toegenomen golfslag in deze eeuw (van Tiel, 1979) uit zeer goed gesorteerd zand met nauwelijks enige bijmenging van organisch materiaal (< 0.5%) (van Urk, concept werkdokument). Dichtheden aan diatomeeën op dit zand zijn verwaarloosbaar (Klink, ongepubliceerde gegevens) in vergelijking met stabiele zandige oevers waar de waterstand veel minder sterk wisselt (Hickman en Round, 1970; Moss en Round, 1967, de Jong, Hofman en Sandee, 1988; McIntire en Amspoker, 1986). Dit heeft tot gevolg dat de huidige bodemfauna in de ondiepe oeverzone zeer soortenarm is en een zeer geringe biomassa heeft (van Urk concept werkdokument).

#### - Habitat huidige diepe bodems

In tegenstelling tot de situatie voor de normalisatie ligt de gehele bodem van de Rijn nu beneden de eufotische zone, waardoor op de bodem geen primaire produktie meer plaatsvindt. Door de toegenomen erosie in het bovenrivierengebied is deze bodem instabiel en zeer arm aan makro-evertebraten (Marquenie en de Kock, 1984). In de sedimentatiegebieden worden bij de bodembewonende muggelarven (*Chironomus*) hoge percentages misvormingen en een vertraagde ontwikkeling gevonden (van Urk en Kerkum, 1986). De habitat van het schuivende zand, waarin nog organisch materiaal begraven lag is door een combinatie van versmalling van het zomerbed en toegenomen scheepvaart waarschijnlijk overgegaan in een situatie waarin het zand wordt opgewerveld en het organische materiaal wordt uitgespoeld.

#### - Habitat kribben en stortstenen

Sedert het eind van de vorige eeuw is een totaal nieuwe habitat ontstaan van steen (grauwacke). Deze habitat wordt grotendeels bewoond door de organismen die vroeger op de snag en op de waterplanten hebben geleefd. Een beperkt aantal soorten is sterk in betekenis toegenomen met het ontstaan van deze habitat. Momenteel leeft ten minste 77% van de totale insektenfauna op de kribben en stortstenen (Klink, 1989), waarmee deze nieuwe habitat biologisch de belangrijkste plaats inneemt in de huidige Rijn.



#### 4. Wijziging van de voedingsbronnen in relatie met de veranderde habitats

De habitats dienen niet alleen als substraat voor makro-evertebraten, maar spelen een hoofdrol in de vorming en retentie van voedsel voor deze organismen (bv. Brown en Ricker, 1982; Culp en Davies, 1985; Cummins, 1973; Cummins e.a., 1989; Dudgeon, 1989; Herbst, 1980; Hill en Webster, 1982; Meyer en O'Hop, 1983; Minschall, 1981; Molles, 1982; Short e.a., 1980; Taylor en Roff, 1984; Wallace e.a., 1982; Webster en Swank, 1985; Winterbourn e.a., 1984). Het verdwijnen van habitats heeft dus ook tot gevolg gehad dat verschillende voedingsbronnen voor makro-evertebraten verloren zijn gegaan. In dit hoofdstuk wordt nader ingegaan op deze voedingsbronnen, die samengevat kunnen worden als particuliere organische koolstof (POC).

##### - Afbraak van snag en planten

De initiële afbraak van snag en planten begint met het uitloggen van oplosbare organische stoffen (Cummins e.a., 1989; Iversen en Madsen, 1977; Petersen en Cummins, 1974; Peters en Colwell, 1989), waarvan het grootste gedeelte glucose is dat snel worden omgezet in bacteriële koolstof (Ittekkot en Arain, 1986; Iversen en Madsen, 1977). Deze bron van POC kan een groot gedeelte (8-61%) van het totale aanbod van POC uitmaken.

De hierop volgende afbraak is afhankelijk van het C/N gehalte van het organische materiaal (Bhowmik e.a., 1985). Algen hebben een lage C/N ratio (5.3-8.8), bladeren van bomen hebben C/N verhoudingen die per soort verschillen tussen 20 en 60. Hout heeft een nog hogere C/N ratio (Shepard en Minshall, 1981). De C/N ratio van bladeren van watergentiaan en gele plomp varieert tussen 13-26. In de wortelstokken is de C/N veel hoger (Brock, 1985). In het algemeen neemt de volledige afbraak van algen dagen, van planten weken tot maanden en van hout tot jaren in beslag. Omdat alle plantensoorten andere afbraaksnelheden kennen en een andere verhouding hebben tussen eiwitten (groei) en vetten (energie) betekent dit dat de snag en vegetatie in het zomer- en winterbed door het jaar heen een gevarieerd menu aanbieden aan de makro-evertebraten (Petersen en Cummins, 1974; Shepard en Minshall, 1981; Ward en Cummins, 1979). Zoals reeds vermeld komt daar nog bij dat snag en vegetatie een zeer hoge ruwheidscoëfficiënt hebben, waardoor het organische materiaal veel beter in het systeem wordt vastgehouden dan in een genormaliseerde rivier zonder snag en vegetatie (Conchou en Pautou, 1987; Wallace en Benke, 1984).

##### - Ontwikkeling en afbraak van kiezelwieren

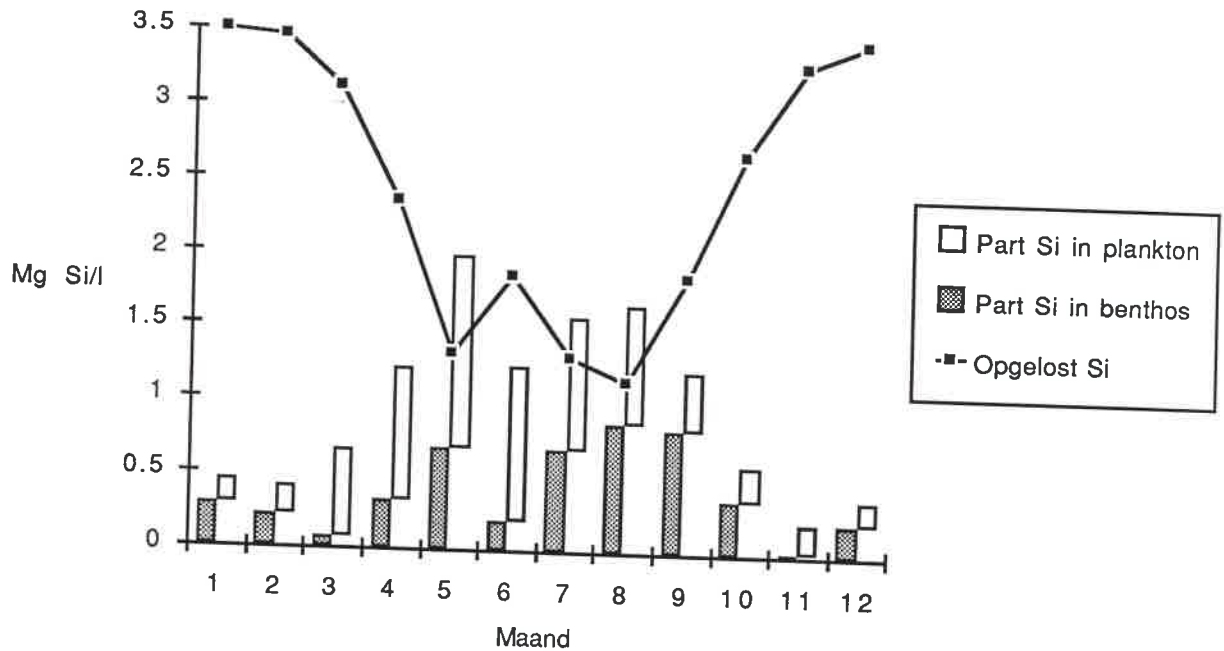
Het fytoplankton in de Rijn wordt gedomineerd door kiezelwieren (Friedrich en Vieweg, 1984; Friedrich, 1990, de Ruyter van Steveninck e.a., 1990). Per soort kan de ontwikkeling en afbraak van een populatie plaatsvinden in enige weken (ongepubliceerde gegevens). De totale hoeveelheid planktonische kiezelwieren vormt echter een betrouwbare bron van voedsel voor filterfeeders. Veel minder is bekend over de hoeveelheden kiezelwieren die vastzitten op stenen en draagalgen. Deze benthische kiezelwieren vormen het voedsel voor de schrapende makro-evertebraten. In het onderstaande is, op grond van het silikaatgehalte in de Rijn, berekend wat het aandeel van de benthische kiezelwieren is in de totale hoeveelheid kiezelwieren in de Rijn. Hierbij is uitgegaan van de samenstelling van de verschillende gesteenten in het stroomgebied van de Rijn en de hieruit voortvloeiende chemische samenstelling van het water (van der Weijden en Middelburg, 1989). De Alpen bestaan bijna uitsluitend uit kalkgesteenten (uitzondering is het stroomgebied van de Ill), terwijl het Duitse deel van het stroomgebied bijna uitsluitend bestaat uit silikaat gesteenten (uitzonderingen zijn de stroomgebieden van de Erft en Lippe). De maandelijkse verdeling van het water, afkomstig uit beide stroomgebieden, is berekend uit afvoergegevens over de periode 1951-1970 (CHR/KHR, 1978). Uit de chemische samenstelling en de afvoerdeling van beide soorten water is over de afzonderlijke maanden het opgeloste Si-gehalte berekend wat in de Rijn bij Lobith aanwezig zou zijn, indien dit silikaat niet zou zijn opgenomen door planktonische of benthische kiezelwieren. Dit Si-gehalte kan worden beschouwd als het geologische gehalte aan silikaat in de Rijn. Als dit gehalte wordt verminderd met het werkelijk opgeloste gehalte aan silikaat, dan volgt hieruit de hoeveelheid silikaat die door de planktonische + benthische kiezelwieren uit het water is opgenomen.

De hoeveelheid silikaat die is opgenomen door de planktonische kiezelwieren is berekend uit het chlorophyll a gehalte in de Rijn volgens Admiraal e.a. (1990a). De hoeveelheid silikaat dat is opgenomen door benthische kiezelwieren kan dan worden berekend als de hoeveelheid geologisch Si - opgelost Si - Si in planktonische kiezelwieren.

In figuur 1 is het jaarverloop van de verschillende vormen van silikaat in de Rijn bij Lobith weergegeven.

Uit de berekeningen blijkt dat planktonische kiezelwieren ca. 60% uitmaken van het totaal aan kiezelwieren (planktonisch + benthisch). Uit analyses van kiezelwieren in oude afzettingen blijkt dat ca. 40% van de kiezelwieren planktonisch was. Bij recenter afgezette sedimenten is 53% van de kiezelwieren planktonisch (ongepubliceerde gegevens). Er lijkt dus een verschuiving te zijn opgetreden in het voordeel van de planktonische algen.

Verloop van het opgeloste gehalte aan Si en de berekende genese van biogeen particulier Si door diatomeeën.



Figuur 1: Berekende jaarcyclus van het opgeloste silikaatgehalte en het verloop van particuliere silikaat in de planktonische en vastzittende kiezelwieren

Uit het jaarverloop van de planktonische en benthische kiezelwieren blijkt dat beide groepen gedurende het voorjaar en de zomer een belangrijke bron van voedsel kunnen vormen voor de filterende en schrapende makro-evertebraten. Dit jaarverloop komt dan ook sterk overeen met het voorkomen van de belangrijkste filterende insecten (*Hydropsyche* en *Rheotanytarsus*) op kunstmatig substraat in de Rijn (bij de Vaate en Greijdanus-Klaas, 1990). Ook de insecten die leven van benthische kiezelwieren (*Cricotopus* spp.) vertonen een dergelijk beeld. Beide groepen insecten worden niet op stenen aangetroffen in de periode november-maart/april (bij de Vaate en Greijdanus-Klaas, 1990; Klink, 1990).

Uit de analyse van kiezelwieren in oude en recente afzettingen lijkt het aandeel van de planktonische kiezelwieren te zijn toegenomen (zie boven). Wordt nu de samenstelling van de insectenfauna, afkomstig van recente exuvia monsters vergeleken met die uit een oude Rijnafzetting (1745), dan blijkt dat, van de insecten die kiezelwieren eten, tegenwoordig 43% van deze insecten (op basis van aantal) is aangewezen op planktonische kiezelwieren en de resterende 57% benthische kiezelwieren gebruikt als voedsel. In de afzetting uit 1745 was deze verdeling wezenlijk anders. Daar bedroeg het aantal planktoneters slechts 27%, terwijl de resterende 73% van deze groep insecten leefden van benthische kiezelwieren (ongepubliceerde gegevens). Uit de analyses van zowel kiezelwieren als insecten, kan worden afgeleid dat de verdeling van planktonische en benthische kiezelwieren zich in de Rijn heeft gewijzigd in het voordeel van de planktonische kiezelwieren.



#### - Ontwikkeling en afbraak van draadalg

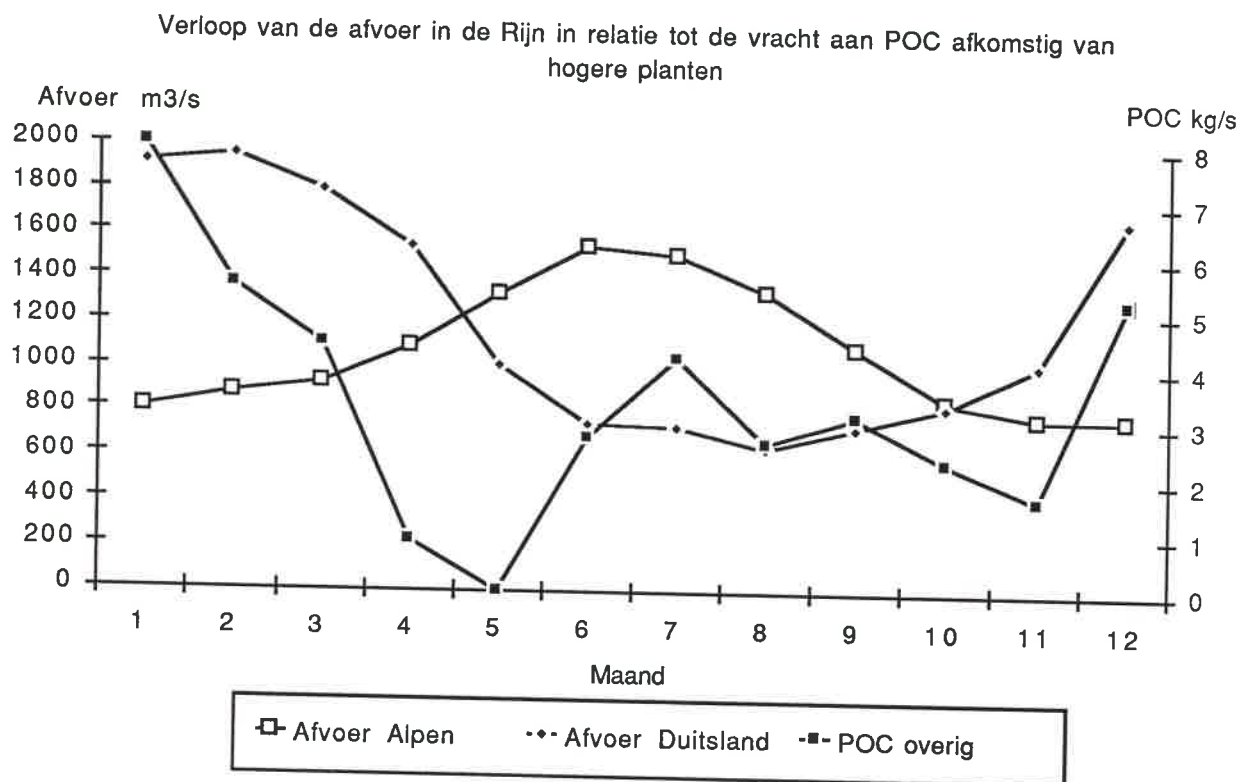
Lauterborn (1918) vermeldt *Cladophora glomerata* als enige draadalg op stenen. Vermoedelijk is *C. glomerata* nog steeds de meest verbreide draadalg op de stenen in de Rijn omdat het een indikator is voor kulturele eutrofiëring en stenen een voortreffelijk substraat vormen voor deze soort (Rosemarin, 1985). In de Belgische Maas is *C. glomerata* zeer talrijk en één van de zeer weinige soorten die voorkomt benedenstrooms het industriegebied van Luik (Descy, 1973). Ook in de Nederlandse Maas is *C. glomerata* de enige talrijke soort op stenen in de oeverzône (eigen waarnemingen ecologisch meetnet Maas). *Cladophora glomerata* vormt in de herfst (10°C) akineten (restsporen) die dienen als overwinteringsstadium. In het voorjaar ontwikkelen deze restsporen zich tot nieuwe draadalg van een temperatuur van 15°C (Rosemarin; 1985). Ook deze groep van primaire producenten kan slechts in de maanden april-oktober een bijdrage leveren aan het particuliere organische materiaal. In de geraadpleegde literatuur is geen vermelding gevonden van makro-evvertebraten die specifiek gebruik maken van deze voedingsbron.

#### - Ontwikkeling en afbraak van mossen

In het begin van deze eeuw werd door Lauterborn (1918) alleen *Fontinalis antipyretica* vermeld als een bewoner van stenen in de Nederlandse Rijn. Eigen waarnemingen vanaf 1981 hebben geen enkele vondst van dit mos op de stenen in de Rijn opgeleverd.

#### - Aanvoer van particulier organisch materiaal van bovenstrooms

Naast de aanvoer van fytoplankton van bovenstrooms, is de vracht van particuliere detritus (terrestrisch of aquatisch van oorsprong) berekend dat afkomstig is van hogere planten. Hierbij is gecorrigeerd voor de anorganische koolstof in de zwevende stof en zijn de aandelen van koolstof uit bacteriën en zoöplankton verwaarloosd (de Ruyter van Steveninck e.a., 1990 en Admiraal e.a., in druk). In de maanden juni-oktober hangt de vracht van particuliere detritus samen met de afvoer van smeltwater uit de Alpen ( $R = 0.68$ ). In de maanden november-mei bestaat er een sterke relatie tussen de particuliere detritus en de afvoer van het regenwater uit het Duitse stroomgebied ( $R = 0.88$ ). De stijging van het POC in december volgt op de periode van bladval, maar valt tevens samen met een sterke stijging van de totale afvoer waardoor organisch materiaal uit het winterbed kan worden meegevoerd. De sterke stijging van het POC gehalte in juni kan verklaard worden uit het meegevoerde terrestrische materiaal tijdens het smelten van de sneeuw in de Alpen. Dit materiaal zou dan grotendeels slecht afbreekbaar zijn, omdat goed afbreekbaar organisch materiaal wordt weggevangen in het Bodenmeer (Zumstein en Buffle, 1989). Het lot van dit organische materiaal kan worden achterhaald door analyses van pigmenten (Chlfa + Feo-a) en het N gehalte in de sedimenten van de Waal, Nieuwe Merwede, Hollands Diep en Haringvliet (naar gegevens van de Jong, Hofman en Sandee, 1988). De gemiddelde ratio  $N/(Chlfa+Feo-a)$  van het sediment in de onderscheiden riviertrajekten bedraagt respectievelijk 145 (89-200), 70 (18-114), 70 (26-125) en 111 (43-200). Ter vergelijking bedraagt de  $N/Chlfa$  ratio in fytoplankton 4,5 (Admiraal ea. in druk). De ondiepe delen van de Ventjagersplaat hebben een  $N/(Chlfa+Feo-a)$  ratio van 10. De lage ratio's die plaatselijk optreden in de Nieuwe Merwede en het Hollands Diep wijzen erop dat hier het fytoplankton (en losgeslagen benthische algen) tot bezinking komen. Het overgrote deel van het bezonken organische materiaal is echter afkomstig van detritus (hoge  $N/Chlfa$  ratio). De gehalten aan N in het sediment vanaf de Waal tot het Haringvliet bedragen respectievelijk 0,17; 0,46; 0,51 en 0,51 mgN/g nat sediment. Dit is in overeenstemming met het genormaliseerde bed van de Rijn, waarin geen structuren meer aanwezig zijn om het organische materiaal vast te houden.



Figuur 2: Seizoensverloop van de aanvoer van POC uit andere bronnen dan het fytoplankton

Als gevolg hiervan sedimenteert dit organische materiaal hoofdzakelijk in het benedenrivierengebied (van Urk e.a. 1990). Uit een vergelijking van de voedingsgewoonten van insecten die in recente exuviaemonsters zijn verzameld en degene die in een Rijnafzetting van 1745 zijn aangetroffen, kan worden afgeleid dat tegenwoordig 17% van de insectenfauna leeft van detritus dat afkomstig is van hogere planten. De soortensamenstelling in 1745 wijst erop dat toen 46% van de insecten zich voedde met organisch materiaal, afkomstig van hogere planten. De aard van het voedsel dat insecten tot zich nemen is afgeleid uit Cummins (1973), waarbij maaginhouden, habitat en morfologische aanpassingen van monddelen zijn betrokken. Voor belangrijke soorten die niet door Cummins (1973) worden vermeld is deze indeling aangevuld met eigen analyses. Deze indeling naar type voedsel is een (te) grote generalisatie van het daadwerkelijk gekonsumeerde voedsel (Shepard en Minshall, 1984). Volgens Ward en Cummins (1979) kan één soort op één plaats door het jaar heen andere voedingsbronnen benutten, evenals dit kan optreden op het zelfde tijdstip maar op een andere plaats. Dit betekent dat de achteruitgang van 46% naar 17% met enige reserve moet worden beschouwd.

Samenvattend kan worden aangenomen dat de detritus van hogere planten gefaseerd door het jaar wordt aangevoerd. In hoeverre dit materiaal goed of slecht afbreekbaar is, dient nader te worden onderzocht. Deze POC bezinkt grotendeels in de sedimentatiegebieden en komt daardoor niet ten goede aan de eigenlijke rivierfauna. Voorts wordt in analyses van oude boorkernen bevestiging gevonden voor de afname van detritus van hogere planten in de rivier. Uit oude boorkernen en geologische berekeningen lijken planktonische algen in de afgelopen 250 jaar de overhand te hebben gekregen boven vastzittende algen. De planktonische algen bezinken eveneens in het sedimentatiegebied en hier vooral in de Nieuwe Merwede en het Hollands Diep.



## 5. Indikatorsorten van de verdwenen habitats

Op grond van literatuurgegevens en palaeolimnologisch onderzoek in de Rijn (gebaseerd op Klink, 1989 en basisgegevens die daaraan ten grondslag liggen) is voor iedere verdwenen habitat tenminste één soort aangewezen als indikator voor die betreffende habitat. Deze soorten kunnen als ecologische doelstelling worden opgenomen voor een nevengeulencomplex. In het onderstaande zal een schatting worden gemaakt van de periode waarin deze soorten (en veelal de habitat) zijn verdwenen.

Uit een aantal boorkernen in het huidige zomer- en winterbed van de Rijn zijn resten van makro-evertebraten geanalyseerd. De afzettingen zijn globaal gedateerd met behulp van oude rivierkaarten (1745-1980). Van één rivierafzetting is de ouderdom (> 5100 jaar) vastgesteld met behulp van <sup>14</sup>C. De resten van de makro-evertebraten in deze afzettingen geven dus een beeld van de veranderingen in de Rijn van zijn natuurlijke toestand naar de huidige situatie.

### - Snaghabitat

In de oudere afzettingen (tot ca. 1900) zijn Simuliidae aangetroffen die nieuw zijn voor de Nederlandse fauna omdat ze door van der Wulp (1877) niet beschreven of genoemd zijn en er in latere naamlijsten van de Nederlandse Diptera ook geen melding van wordt gemaakt (de Meijere, 1935, 1939 en Mol, 1984). De meest abundante soort is *Byssodon maculata*. Van de andere soort (afbeelding in Klink, 1983) is geen beschrijving gevonden (mededeling H. Zwick). Behning (1928) vermeldt *B. maculata* (syn. *Nevermannia maculata*) in zijn monografie over de Wolga in het begin van deze eeuw:

*Nevermannia maculata* treedt massaal op in de Wolga. De volwassenen vliegen uit in het voorjaar bij dalende afvoeren. De larven van de volgende generatie hechten zich met hun speekseldraden vast op takken en twijgen die onder water liggen op plaatsen met een "behoorlijke" stroomsnelheid. Deze takken kunnen volledig bedekt zijn door deze larven. De larven voeden zich vrijwel uitsluitend met kiezelwieren die ze met de waaiers op hun kop uit de stroming filteren.

Op grond van de geschatte leeftijden van de afzettingen is deze soort op zijn laatst rond de eeuwwisseling uit de Rijn verdwenen. Gezien het feit dat de soort niet door van der Wulp (1877) is vermeld, doet vermoeden dat de soort tegen het eind van de vorige eeuw niet massaal optrad in de Rijn. Dit moet in een verder verleden wel het geval zijn geweest, aangezien de soort in oude afzettingen ca. 1-3% uitmaakte van de totale insektenfauna. Belangrijk is in dit verband dat het voedsel van deze soort (planktonische kiezelwieren) in overvloed aanwezig is, maar dat momenteel de natuurlijke habitat ontbreekt. Daarnaast levert onderzoek naar de invloed van golfslag en de kwaliteit van de zwevende stof op deze soort (en andere Simuliidae) wezenlijke informatie op voor de restauratie van het Rijnecosysteem (Klink, 1989).

Een andere soort die karakteristiek is voor de snaghabitat is *Symposiocladius lignicola* (Chironomidae). De larve van deze soort mineert in onder water liggend hout van els, hazelaar en esdoorn (vermoedelijk ook andere houtsoorten). De larve is een obligate bewoner van de snaghabitat. De beschrijving van de volledige metamorfose dateert pas van 1982 (Cranston, 1982). Een vroegere beschrijving van de larve (sub. *Orthocladiinae* gen? *acutilabis*) wordt gegeven door Pankratova (1970), die de soort vermeldt uit de Amur. In de Rijnafzettingen van 1745 of daarvoor (6 afzettingen, waarvan 1 uit de Rijn en 5 uit de huidige Nieuwe Merwede) maakt *Symposiocladius lignicola* tussen 0.6 en 0.8% uit van de totale insektenfauna. In de 33 bodemonsters die na deze periode zijn afgezet, ontbreekt de soort. Op grond daarvan wordt aangenomen dat de soort in de 18 eeuw is uitgestorven, hetgeen overeenkomt met de periode dat de snag op grote schaal uit de Rijn is verwijderd (vanaf 1750, van Urk en Smit, 1989).

### - Vegetatie

Veel soorten makro-evertebraten kunnen op waterplanten worden aangetroffen, maar de meeste zijn niet obligaat gebonden aan de vegetatie. Omdat de vegetatie beschutting biedt tegen de stroming, komen in deze habitat, naast de karakteristieke rivierbewoners ook soorten voor van stilstaand water. Veel kevers, wantsen en slakken die in de stromende rivier ontbreken, kunnen een belangrijk aandeel hebben in de fauna tussen de oeverplanten (Melone, 1981; Querena, 1981; Ravizza, 1981; Sambugar, 1981).

Van de soorten, die gebonden zijn aan vegetatie en waarvan overblijfselen zijn gevonden in oude rivierafzettingen, vertonen de meeste soorten geen duidelijke variatie in de tijd, zodat hiermee niet het verdwijnen van deze habitat kan worden achterhaald. Een uitzondering hierop vormt *Stenochironomus* (Chironomidae). De larven mineren in hout en waterplanten (Borkent, 1984). De Europese soort *S. gibbus* is aangetroffen in dood hout, dode rietstengels en in dode elzetakken. Ook worden gangen gemaakt in bladeren die in open water zijn gevallen. Hierop is geen detritus aanwezig. Bladeren met een sterke algengroei of bedekt door een laag andere bladeren worden niet aangevreten. De bladeren mogen ook niet te dun zijn omdat de larven mineren tussen de bovenste en onderste epidermis (Borkent, 1984). Of *Stenochironomus* uit de rivierafzettingen hebben gemineerd in dood hout of in bladeren kan niet worden vastgesteld. Op grond van de leeftijd van de afzettingen kan worden geschat dat *Stenochironomus* pas in deze eeuw uit de Rijn is verdwenen en dat dit een gevolg is van het verdwijnen van de vegetatie, omdat de snag al 100 jaar eerder geen rol van betekenis meer speelde.

Een andere soort die aan de vegetatie is gebonden, is de eendagsvlieg *Potamanthus luteus*. Ook de overblijfselen van *Potamanthus* zijn frekwent aangetroffen in oude rivierafzettingen. De soort was in het eind van de vorige eeuw nog algemeen in de Rijn (tot Rotterdam!) (Albarda, 1889). Het zijn vooral de oudere larven die zich ophouden tussen de vegetatie langs de oevers waar de stroomsnelheden laag zijn (Russev en Janeva, 1983; Zelinka, 1984). Alhoewel *Stenochironomus* een betere indikator is voor deze habitat dan *Potamanthus luteus*, wordt de laatste toch aangewezen als habitatindikator omdat deze eendagsvliegen veel groter zijn en met het blote oog zijn te herkennen. Hierdoor zijn ze veel eenvoudiger op te sporen en zijn daardoor ook handzamer zijn bij een eventueel uit te voeren herintroductieprogramma.

### - Ondiepe stablele zandige oeverzônes

In deze habitat heeft vermoedelijk de primaire produktie overheerst. De meest karakteristieke bewoner van deze verdwenen habitat is wellicht *Lipiniella arenicola*.

*Lipiniella arenicola* leeft tussen het zand in rivieren en meren op een geringe diepte (Chernovskii, 1961; Moller Pillot, 1984). In de oude rivierafzettingen komt de soort frekwent voor met een maximum van 22% van de totale insektenfauna bij Woudrichem rond de eeuwwisseling. In de huidige Nederlandse Rijn is de soort beperkt tot de hogere platen in het Haringvliet (Smit en Snoek, 1989; Smit e.a., druk; Snoek, 1990) en breidt zich uit in het IJsselmeergebied (van Urk, mondelinge mededelingen). In het bovenrivierengebied zijn geen vindplaatsen van *Lipiniella arenicola* bekend. De soort voedt zich met algen (Moller Pillot, 1984). Uit eigen waarnemingen bleken dit hoofdzakelijk zandbewonende kiezelwieren te zijn. *Lipiniella arenicola* moet als karakteristieke bewoner worden beschouwd van de permanent geïnundeerde zandbanken, waar het licht tot op het zand kan doordringen. De soort ontwikkelt zich minder snel indien deze zandvlakten tijdelijk droog komen te staan (Smit e.a., in druk). Bij droogstand kruipt de larve dieper in het sediment en houdt daar dan een diapause (Smit, mondelinge mededelingen). Uit de palaeolimnologische gegevens en het verdwijnen van zandbanken in de Rijn blijkt dat het verdwijnen van deze habitat in het begin van deze eeuw moet hebben plaatsgevonden.

### - Schulvend zand

De soorten die in de rivierafzettingen zijn aangetroffen en deze habitat bewoonden zijn de Chironomidae: *Beckidia zabolotzki*, *Chernovskiiia macrocera*, *Kloosia pusilla* en *Robackia demejerei*. Van deze soorten is recent *Kloosia pusilla* in het Nederlandse Rijnstroomgebied herontdekt in de IJssel en in de Boven Merwede (inventarisaties DBW/RIZA). Naast deze soort wordt slechts *Robackia demejerei* vermeld uit Nederland (Kruseman, 1933). Bovengenoemde soorten behoren, met een groot aantal nauw verwante Chironomidae, tot de typische psammofiele rivierfauna (bv. Barnum en Bachmann, 1988; Benke, 1984; Chernovskii, 1961; Ferrarese, 1981; Jankovic, 1969; Whitman en Clark, 1984). De meeste van deze soorten zijn uitzonderlijk dun en mogelijk daardoor in staat om tussen de zandkorrels door te kruipen op zoek naar voedsel. Naast deze zeer specifieke en



vroeger vermoedelijk ook zeldzame fauna, hoort ook de eendagsvlieg *Ephoron virgo* in deze habitat thuis. *Ephoron* bewoont echter een breder spectrum van zandbodems (eigen waarnemingen). Overblijfselen van deze soort zijn nog aanwezig in afzettingen van deze eeuw, terwijl het meest recente museumexemplaar is verzameld in 1936 in Wageningen. Tenminste een gedeelte van de fauna van schuivend zand lijkt het tot medio deze eeuw te hebben volgehouden in de Rijn. Voor de habitat van schuivend zand wordt *Ephoron virgo* toegewezen op grond van de veel betere hanteerbaarheid ten opzichte van de zeer kleine Chironomidae. Bovendien kan met het spektakulaire uitvlieggedrag in het eind van augustus worden vastgesteld of rekolonisatie succesvol is en wat de omvang is van de populatie.

#### - Kleibanken

Zoals in bovenstaande al is vermeld, is de eendagsvlieg *Palingenia longicauda* de meest karakteristieke bewoner van deze habitat. De larven graven in de kleibanken U-vormige gangen uit met een lengte tot 25 cm en een diameter tot 1 cm. Door golvende bewegingen onderhouden ze een konstante toevoer van water en zuurstof, alsmede afvoer van uitwerpselen en CO<sub>2</sub>. Ze voeden zich met klei, waarvan het daarin aanwezige organische materiaal wordt verteerd. De larven verlaten alleen 's nachts hun gang om voedsel te zoeken of een betere lokatie te zoeken. De dichtheden van de larven kunnen oplopen tot 3350/m<sup>2</sup> (Russev, 1987). Ook van deze soort zijn regelmatig overblijfselen aangetroffen in, vooral de oudere afzettingen. De soort is in het verleden in enorme aantallen aangetroffen in de Lek, Waal en in de benedenloop van de Maas (Mol, 1985). Uit de overblijfselen in oude afzettingen blijkt dat de soort ook in de IJssel heeft geleefd. *Palingenia longicauda* is in het begin van deze eeuw uit Nederland verdwenen (Mol, 1985).

Uit het verdwijnen van indicatorsoorten in relatie tot het verdwijnen van de habitat kunnen de volgende perioden worden afgeleid:

Habitat	Periode	Indicatoren
Snag	1700-1800	<i>Symposiocladius lignicola</i> , <i>Byssodon maculatum</i>
Vegetatie	1900	<i>Potamanthus luteus</i> , <i>Stenochironomus</i>
Zand	1900	<i>Lipiniella arenicola</i>
Schuivend zand	1950	<i>Ephoron virgo</i>
Kleibanken	1910	<i>Palingenia longicauda</i>

Tabel 1: Geschatte perioden van het verdwijnen van indicatorsoorten en hun habitat

## 6. Vroegere verdeling van de Insektenfauna over de habitats

De natuurlijke verdeling van de insektenfauna over de habitats van de Rijn zou afgeleid kunnen worden uit de afzetting die (veel?) ouder is dan 5100 jaar. Omdat niet bekend of de toenmalige klimatologische omstandigheden met die van de afgelopen eeuwen vergelijkbaar zijn, wordt de wat minder natuurlijke verdeling van de insektenfauna in de Rijn afgeleid uit een afzetting van 1745 bij Lobith. In tabel 1 is deze samenstelling vergeleken met de huidige verdeling over de habitats. Uit de soortsaamenstelling in zandige rivierbodems blijkt dat de daarin levende fauna (uitgezonderd de habitat-indicatoren) niet onder te verdelen is naar een levensgemeenschap van schuivend zand en stabiele zandige oevers. Dit heeft te maken met het natuurlijke patroon van gradiënten in de bodemsaamenstelling die het gevolg zijn van de gradiënten in de stroomsnelheid. Er is echter wel een duidelijk onderscheid te maken in de levensgemeenschap van zandige en slibbige bodems (Klink, 1989; van Urk e.a. 1990). Deze laatste habitat is in het bovenstaande niet ter sprake gebracht omdat de hierin levende fauna niet karakteristiek is voor rivieren, maar hoofdzakelijk wordt aangetroffen in grotere en kleinere stagnante wateren.

Habitat	1745	1985
Snag	67	0
Vegetatie	9	1
Zandige bodem	11	6
Slibbige bodem	14	4
Stortstenen	0	77
niet habitat gebonden	0	12
Totaal	100	100

Tabel 2: Verdeling van de insektenfauna over de verschillende habitats in de Rijn in 1745 en in 1985 (bewerkte basisgegevens Klink, 1989)



## 7. Ecologisch relevante Inrichting van een nevengeulencomplex

In bijlage 2 is de inrichting uitgewerkt van een dergelijk complex

De hoofdstructuur van het nevengeulencomplex wordt gevormd door eilanden, die tot gevolg hebben dat er meerdere geulen ontstaan binnen het nevengeulencomplex. Deze eilanden moeten zodanig worden gekonstrueerd dat er diepe en ondiepe geulen ontstaan met een grote ruimtelijke variatie in stroomsnelheid. In de delen met een hoge stroomsnelheid zijn de voorwaarden aanwezig voor de ontwikkeling van de levensgemeenschap van schuivend zand (de Ephoron habitat). In de minder snel stromende, ondiepe delen zullen benthische algen tot ontwikkeling komen en daarmee zijn de voorwaarden aanwezig voor de ontwikkeling van de stabiele zand habitat (Lipiniella habitat). Nadat deze hoofdstructuur is aangelegd zal op verschillende plaatsen in het nevengeul gebied de snaghabitat gestimuleerd moeten worden door het aanplanten van wilgen langs de waterlijn. Indien bestaande houtopslag aanwezig is kan deze daarvoor worden gebruikt. Naarmate deze bomen zich verder ontwikkelen komt er meer hout onder water terecht, waarmee een eerste aanzet is gegeven voor de ontwikkeling van snag (Symposiocladius habitat).

De volgende stap is het selecteren van lokaties waar oeverplanten zich kunnen en mogen ontwikkelen (Potamanthus habitat), of waar het zelfs een noodzaak is om vegetatie aan te planten voor de stabilisatie van de oever. In het laatste geval zou bijvoorbeeld rietgras (*Phalaris arundinacea*) aangeplant kunnen worden. Deze plant groeit op de meest uiteenlopende bodems. Op grind met zand en een laag gehalte aan organische stof tot slibbige bodems met een hoog organisch stof gehalte. Tevens kan rietgras een langdurige inundatie verdragen (6-7 maanden) of slechts onder water staan bij afvoergolven. Deze opmerkelijke eigenschap kan worden gebruikt om de regeneratie en stabilisatie van oevers te bevorderen. (Conchou en Pautou, 1987).

De vegetatie en de snag zullen de toevoer van grof organische materiaal vergroten. Daarnaast zal er een differentiatie in stroomsnelheid optreden, waardoor de sedimentsamenstelling in de kleinschalige ruimte een gevarieerd karakter krijgt. In de luwten zijn de voorwaarden aanwezig voor de ontwikkeling van waterplanten (Vermaat en van Viersen, 1990). Op deze plaatsen kan het organische materiaal tot bezinking komen en zal ook zwevende stof worden ingevangen. Hierdoor zal op deze plaatsen een bodem ontstaan met een combinatie van bezonken zwevend materiaal en gevallen blad.

Binnen de geschetste hoofd- en nevenstructuren zal hydrologisch onderzoek de vraag moeten beantwoorden welke gemiddelde afvoer moet worden gehanteerd bij een bepaald beschikbaar oppervlak van het geulencomplex. Voorwaarde hierbij is dat de afvoer de natuurlijke afvoer van de Rijn moet volgen om natuurlijke processen zoveel mogelijk te stimuleren. Daarnaast moet de afvoer in het geulencomplex zodanig zijn dat een dynamiek ontstaat die overeenkomt met die in een natuurlijke grote rivier. Bij een te lage dynamiek zal het complex zich ontwikkelen naar een terrestrisch ecosysteem (Décamp e.a., 1988), terwijl bij een te hoge dynamiek de eilanden snel worden weggespoeld of aan de oevers vastgroeien, waardoor de beoogde gradiënten in stroomsnelheid, bodemsamenstelling en bodemdpte zullen verdwijnen.

De vormgeving van het nevengeulencomplex dient er tevens op gericht te zijn om de effecten van de scheepvaart in de hoofdgeul te minimaliseren. Hierbij zijn drie aspecten van belang:

Verstoring, resuspensie en kortstondig droogvallen.

- De verstoring brengt schade toe aan hogere waterplanten (Vermaat en van Viersen, 1990) en benthische algen (McIntire en Amspoker, 1986).

- Resuspensie van gesedimenteerd materiaal kan dramatische gevolgen hebben in het begin van de golfslag. Dit wordt vooral veroorzaakt door de schurende werking van het zwevende materiaal op het substraat (Culp, Wrona en Davies, 1986). Na de passage van de golfbeweging treedt weer sedimentatie op, die de bodemmatrix opvult en daardoor verstikking van de fauna kan veroorzaken (Petts, 1988). In de Mississippi is door Smart, Rada e.a. (1985) een resuspensie tot 1000 ton sediment berekend in de hoofdgeul en 28 ton in een nevengeul per passage van één duwbakkombinatie in de hoofdgeul. Bij recreatievaart in de nevengeul kan de resuspensie aldaar oplopen tot 2,1 ton per passage.

- Door kortstondig droogvallen als gevolg van golfslag treedt sterfte op van eieren (van bijvoorbeeld vissen) (Holland, 1987).

Uit deze effecten kan worden geconcludeerd dat scheepvaart in het nevengeulencomplex zelf beslist ongewenst is.

Bij de inrichting van dit nevengeulencomplex is vooralsnog voorbijgegaan aan de habitat van de kleibanken (*Palingenia* habitat). Deze habitat is specifiek afhankelijk van de bodemsamenstelling (klei) in het winterbed. Indien deze habitat eveneens binnen het nevengeulencomplex moet worden gerealiseerd dan zal hieraan voorafgaand een uitgebreid bodemonderzoek in het (niet afgetichelde) winterbed moeten plaatsvinden.

## 8. Kolonisatie van het nevengeulencomplex

Voor de meeste soorten die momenteel in de Rijn aanwezig zijn zal de kolonisatie van het nevengeulencomplex geen problemen opleveren gezien het enorme verspreidingspotentieel van makro-evertebraten via de drift (bv. Klink, 1989 en 1990).

Een aantal habitatindikatoren zal echter niet in staat zijn om binnen enige jaren de nevengeul op eigen kracht te koloniseren. Dit geldt voor *Byssodon maculatum* en *Palingenia longicauda* die in west Europa bijna of helemaal zijn uitgestorven (respektievelijk: Zwick en Crosskey, 1980, Landa en Soldan, 1985). *Ephoron virgo* en *Potamanthus luteus* zijn nog wel in de Rijn aanwezig maar worden ernstig bedreigd (Ness, 1990; Tittizer, 1990). Vermoedelijk hebben deze soorten momenteel geen omvangrijke populaties meer in de Rijn en lijkt een kolonisatie van het nevengeulencomplex binnen enkele jaren niet realistisch.

*Symposiocladius lignicola* is, mede door de recente beschrijving van de soort (Cranston, 1982), nog onvoldoende bekend om het verspreidingsgebied vast te stellen. Zeker is dat de soort in Nederland aanwezig is (één vindplaats in een Limburgse beek, mondelinge mededeling Moller Pillot). Verder is de soort uit allerlei soorten hout verzameld in Engeland, Duitsland, Scandinavië, Roemenië en Rusland (Cranston, 1982).

Voor deze habitatindikatoren zal een herintroductieprogramma moeten worden ontwikkeld waarbij per soort onderzocht wordt waar zich een grote populatie bevindt en welk stadium (ei, larve of volwassen) het meest in aanmerking komt voor een succesvolle rekolonisatie.



## 9. Konklusie

De veranderingen in de morfologie van het bed van de Rijn en de daarmee samenhangende verandering van habitats, hebben geleid tot een sterke verandering van de insektenfauna in de Rijn. Op grond van het uitsterven van soorten die karakteristiek zijn voor een bepaalde habitat is de rivier, kan worden afgeleid dat de "snag"habitat (hout in de rivier, afkomstig van de rivierbegeleidende bossen) in de 18e eeuw verdwenen is. Kleibanken, zandbanken en oevervegetatie zijn rond het begin van deze eeuw uit de Rijn verdwenen en de habitat van het schuivende zand lijkt omstreeks 1950 niet meer geschikt te zijn voor haar karakteristieke bewoners. Als gevolg van het verdwijnen van deze habitats is het voedselaanbod in de vorm van particuliere organische koolstof eenzijdiger geworden. Dit heeft geleid tot een riviersysteem waar omgevingsheterogeniteit en substraatstabiliteit zijn verdwenen. Dit zijn de twee belangrijkste omgevingsfactoren (Malmquist e.a., 1978). Deze factoren worden als aanknopingspunt gebruikt voor het inrichten van een nevengeulencomplex. Dit houdt in dat bij de inrichting een structuur wordt aangelegd waarin de substraatheterogeniteit wordt bevorderd door het aanbieden van een gedifferentieerd patroon van stroomsnelheden en voedingsbronnen. Aan de andere kant moet de invloed van de scheepvaart worden geminimaliseerd, waardoor de stabiliteit van het aanwezige substraat kan worden gewaarborgd.

Omdat een aantal karakteristieke soorten niet in staat wordt geacht om op eigen kracht het nevengeulencomplex te koloniseren, wordt hiervoor onderzoek voorgesteld ten behoeve van een herintroductieprogramma.



## 10. Literatuur

- Admiraal, W., Breugem, P., Jacobs, D.M.L.H.A., de Ruyter van Steveninck, E.D., 1990  
Fixation of dissolved silicate and sedimentation of biogenic silicate in the Lower Rhine during diatom blooms  
*Biogeochemistry* 9: 175-185
- Admiraal, W., Jacobs, D.M.L.H.A., Breugen, P., de Ruyter van Steveninck, E.D., in druk  
Effects of phytoplankton development on the elemental composition (C, N, P) of particulate material settling in the Lower River Rhine  
*Hydrobiologia*
- Albarda, H., 1889  
Catalogue raisonne et synonymique des Neuropteres observes dans les Pays-Bas et dans les Pays limitrophes  
*Tijdschr. Entomol.* 32: 211-375
- Anderson, R.V., Vinikour, W.S., 1984  
Use of mollusks as pupation sites by *Oecetis inconspicua* Trichoptera Leptoceridae  
*J. Freshwater Ecol.* 2(5): 417-422
- Barnum, J.B., Bachmann, R.W., 1988  
Benthic macroinvertebrate habitat associations of the channelized Middle Missouri River USA  
*J. Iowa Acad. Sci.* 95(2): 60-65
- Barton, D.R., 1980  
Benthic macroinvertebrate communities of the Athabasca River near Ft. MacKay, Alberta  
*Hydrobiologia* 74(2): 151-160
- Behning, A., 1928  
Das Leben der Wolga  
*Die Binnengewässer* 5: 162 pp.
- Behning, A., 1932  
Über Ephemeropterenlarven des Uralflusses (südost-Rußland)  
*Deutsch. ent. Zeit.* 3: 89-94
- Benke, A.C., Henry, R.L. III, Gillespie, D.M., Gillespie, D.M., 1985  
Importance of snag habitat for animal production in southeastern streams  
*Fisheries* 10(5): 8-13
- Bhowmik, N.G., Adams, J.R., Anderson, R.V., Cahill, R.A., DEmissie, M., Gross, D.L., King, J.E., Lubinski, K.S., Risser, P.G., Sparks, R.E., Wendland, W.W., 1985  
Long-term ecological research on Illinois USA rivers  
*Trans. Ill. State Acad. Sci.* 78(3-4): 247-262
- Borkent, A., 1984  
The systematics and phylogeny of the *Stenochironomus* complex (*Xestochironomus*, *Harrisius*, and *Stenochironomus*) (Diptera: Chironomidae)  
*Mem. ent. Soc. Canada* 128: 269 pp.
- Brock, T.C.M., 1985  
Ecological studies on nymphaeid water plants, with emphasis on production and decomposition  
*Proefschr. KU Nijmegen* 204 pp.

- Brown, A.V., Ricker, J.P., 1982  
Macroinvertebrate utilization of leaf detritus in a riffle of the Illinois River, Arkansas  
Ark. Acad. Sci. Proc. 36: 10-13
- de Bruin, D., Hamhuis, D., van Nieuwenhuijze, L., Sijmons, D., Vera, F., 1987  
Ooievaar. De toekomst van het rivierengebied.  
Arnhem, Sticht. Gelderse Milieufederatie pp: 128
- Chernovskii, A.A., 1961  
Identification of larvae of the midge family Tendipedidae  
(Transl. Lees, E. Ed. Marshall, K.E.)  
Nat. Lend. Libr. Sci. Techn. 300 pp.
- CHR/KHR, 1978  
Le bassin du Rhin. Monographie Hydrologique / Das Rheingebiet. Hydrologische Monographie  
CHR/KHR publicaties 279 pp. + bijl.
- Conchou, O., Pautou, G., 1987  
Modes of colonization of an heterogenous alluvial area on the edge of the Garonne River by *Phalaris arundinacea* L.  
Regulated Rivers. Research and management 1: 37-48
- Cranston, P.S., 1982  
The metamorphosis of *Symposiocladius lignicola* (Kieffer) n.gen., n.comb., a wood-mining  
Chironomidae (Diptera)  
Ent. scand. 13: 419-429
- Culp, J.M., Davies, R.W., 1985  
Responses of benthic macroinvertebrate species to manipulation of interstitial detritus in Carnation  
Creek, British Columbia  
Can. J. Fish. Aquat. Sci. 42(1): 139-146
- Culp, J.M., Wrona, F.J., Davies, R.W., 1986  
Response of streambentos and drift to fine sediment deposition vs. transport  
Can. J. Zool. 46: 1345-1351
- Cummins, K.W., 1973  
Trophic relations of aquatic insects  
Ann. Rev. Entomol. 18: 183-206
- Cummins, K.W., Wilzbach, M.A., Gates, D.M., Perry, J.B., Taliaferro, W.B., 1989  
Shredders and riparian vegetation leaf litter that falls into streams influences communities of  
stream invertebrates  
Bioscience 39(1): 24-30
- Decamps, H., Fortune, M., Gazelle, F., Pautou, G., 1988  
Historical influence of man on the riparian dynamics of a fluvial landscape  
Landscape Ecol. 1(3): 163-173
- Descy, J.P., 1973  
La végétation algale benthique de la Meuse Belge et ses relations avec la pollution des eaux  
Lejeunia Nouv. Sér. 66: 1-62
- van Dessel, B., 1989  
Ecologisch herstel van de Rijnmakrofauna.  
Ecologisch Herstel Rijn Publ. en Rapp. 14: 109 pp.

- Dudgeon, D., 1989  
The influence of riparian vegetation on the functional organization of four Hong Kong stream communities  
*Hydrobiologia* 179(3): 183-194
- Ekzertzev, V.A., 1979  
Life in the shore zone of the Volga reservoirs: A. The higher aquatic vegetation of the Volga  
In: *The River Volga and its life*  
*Monogr. Biol.* 33: 271-294
- Ferrarese, U., 1981  
Nota sui ditteri del medio corso del Fiume Po a Caorso (Piacenza)  
*Riv. Idrobiol.* 20(1): 245-254
- Friedrich, G., 1990  
Das Plankton des Rheins als Indikator  
in: *Biologie des Rheins Kinzelbach/Friedrich eds.* p: 181-190
- Friedrich, G., Viehweg, M., 1984  
Recent developments of the phytoplankton and its activity in the Lower Rhine  
*Verh. Internat. Verein. Limnol.* 22(3): 2029-2035
- Herbst, G.N., 1980  
Effects of burial on food value and consumption of leaf detritus by aquatic invertebrates in a lowland forest stream  
*Oikos* 35(3): 411-424
- Hickman, M., Round, F.E., 1970  
Primary production and standing crops of epipsammic and epipelagic algae  
*Br. phycol. J.* 5(2): 247-255
- Hill, B.H., Webster, J.R., 1982  
Aquatic macrophyte breakdown in an Appalachian river  
*Hydrobiologia* 89: 53-59
- Holland, L.E., 1987  
Effect of brief navigation related dewaterings on fish eggs and larvae  
*N. Am. J. Fish Manage.* 7(1): 145-147
- Horvath, A., 1966  
About the mollusks of Tisza before the river control  
*Tiscia* 2: 99-102
- Ittekkot, V., Arain, R., 1986  
Nature of particulate organic matter in the River Indus Pakistan  
*Geochim. Cosmochim. Acta* 50(8): 1643-1654
- Iversen, T.M., Madson, B.L., 1977  
Allochthonous organic matter in streams  
*Folia limnol. Scand.* 0(17): 17-20
- Jackson, G.A., Korschgen, C.E., Thiel, P.A., e.a., 1984  
Problems on the Upper Mississippi River and its tributaries USA need for a long-term resource program  
Butterworth Publ. ISSN 0-250-40599-7 pp: 325-344



- Jankovic, M., 1969  
Die Chironomiden-Biozönosen der jugoslawischen Donaustrecke  
Arch. Hydrobiol. Suppl. 36(1): 61-70
- de Jong, S.A., Hofman, P.A.G., Sandee, A.J.J., 1988  
Gradiënten van fysisch-chemische en biologische parameters in de Rijnbodem  
Rapport DIHO pp: 57 + bijl.
- Klink, A.G., 1983  
Studie over de toepasbaarheid van palaeolimnologisch onderzoek in riviersedimenten. Een middel om biologische beoordeling van rivieren te onderbouwen?  
Hydrobiol. Adviesburo Klink Rapp. Meded. 7: 1-27 + bijl.
- Klink, A., 1989  
The Lower Rhine: palaeoecological analysis In: Historical change of large alluvial rivers: Western Europe  
G.E. Petts (ed.), John Wiley & Sons: New York p. 183-201
- Klink, A.G., 1990  
Drift van makro-invertebraten in de Maas  
RWS/RIZA nota 90.071: 45 pp. + bijl.
- Kruseman, G. Jr., 1933  
Tendipedidae Neerlandicae 1: genus *Tendipes* cum generibus finitimis  
Tijdschr. Ent. 76: 119-216
- Landa, V., Soldan, T., 1985  
Distributional patterns, chorology and origin of the Czechoslovak fauna of mayflies (Ephemeroptera)  
Acta Ent. Bohemoslov. 82: 241-268
- Lauterborn, R., 1918  
Die geografische und biologische Gliederung des Rheinstroms 6: Der Niederrhein  
Sitz.-ber. Heidelb. Akad. Wiss. Abt. B.1 6: 27-87
- MacKey, A.P., 1976  
Quantitative studies on the Chironomidae (Diptera) of the rivers Thames and Kennet 1. The Acorus zone  
Arch. Hydrobiol. 78(2): 240-267
- MacKey, A.P., 1977  
Quantitative studies on the Chironomidae (Diptera) of the rivers Thames and Kennet 3. The Nuphar zone  
Arch. Hydrobiol. 79(1): 62-102
- Malmquist, B., Nilsson, L.M., Svensson, B.S., 1978  
Dynamics of detritus in a small stream in southern Sweden and its influence on the distribution of the bottom animal communities  
Oikos 31(1): 3-16
- Marquenie, J.M., de Kock, W.C., 1984  
Zware metalen in aquatische systemen. Biologisch en geochemisch onderzoek naar het voorkomen en het gedrag van zware metalen in Nederlandse zoetwatergebieden 3. Inventarisatie van gehalten in organismen  
Rapp. TNO R83/103a: 61 pp. + bijl.

- McIntire, C.D., Amspoker, M.C., 1986  
Effects of sediment properties in benthic primary production in the Columbia River estuary Oregon USA  
*Aquat. Bot.* 24(3): 249-268
- de Meijere, J.C.H., 1935  
Vijfde supplement op de nieuwe naamlijst van nederlandse Diptera  
*Tijdschrift voor Entomologie* 78: 188-230
- de Meijere, J.C.H., 1939  
Naamlijst van nederlandse Diptera afgesloten 1 april 1939  
*Tijdschrift voor Entomologie* 82: 137-174
- Melone, G., 1981  
La malacofauna del Fiume Po a Caorso - Isola Serafini  
*Riv. Idrobiol.* 20(1): 255-268
- Meyer, J.L., O'Hop, J., 1983  
Leaf-shredding insects as a source of dissolved organic carbon in headwater streams  
*Am. Midl. Nat.* 109(1): 175-183
- 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
- Minshall, G.W., 1981  
Structure and temporal variations of the benthic macroinvertebrate community inhabiting Mink Creek, Idaho, USA a 3rd-order Rocky Mountain stream  
*J. Freshwat. Ecol.* 1(1): 13-26
- Mol, A.W.M., 1984  
Limnofauna Neerlandica. Een lijst van meercellige ongewervelde dieren aangetroffen in binnenwateren van Nederland  
*Nieuwsbrief E.I.S. Nederland* 15: 1-124
- Mol, A.W.M., 1985  
Een overzicht van de Nederlandse haften (Ephemeroptera) 2. Overige families  
*Ent. Ber.* 45(9): 128-135
- Moller-Pillot, H.K.M., 1984  
De larven der Nederlandse Chironomidae (Diptera) (Inleiding, Tanypodinae & Chironomini)  
*Ned. Faun. Meded.* 1A: 1-277
- Molles, M.C. Jr., 1982  
Trichopteran communities of streams associated with aspen and conifer forests: long-term structural change  
*Ecology* 63(1): 1-6
- Moss, B., Round, F.E., 1967  
Observations on standing crops of epipellic and epipsammic algal communities in Shear Water, Wilts  
*Br. phycol. Bull.* 3(2): 241-248
- Ness, A., 1990  
Auswirkungen des Sandoz-Unfalls auf der Makrozoobenthon des Rheins  
in: *Biologie des Rheins Kinzelbach/Friedrich eds.* p: 245-258

- Pankratova, V.Y., 1970  
[Larvae and pupae of the subfamily Orthocladiinae (Diptera: Chironomidae-Tendipedidae) of the USSR fauna] [Russisch]  
Opred Faune SSSR 102: 344 pp.
- Peters, G.T., Colwell, F.S., 1989  
Effects of stream order and season on mineralization of carbon-14 phenol in streams  
Hydrobiologia 174(1): 79-87
- Petersen, R.C., Cummins, K.W., 1974  
Leaf processing in a woodland stream  
Freshwat. Biol. 4: 343-368
- Petts, G.E., 1988  
Accumulation of fine sediment within substrate gravels along two regulated rivers UK  
Regulated Rivers. Research and Management 2: 141-153
- Petts, G.E., 1989  
Historical analysis of fluvial hydrosystems  
In: Historical change of large alluvial rivers: Western Europe  
G.E. Petts (ed.), John Wiley & Sons: New York p. 1-18
- Pons, L.J., 1957  
De geologie, de bodemvorming en de waterstaatkundige ontwikkeling van het land van Maas en Waal en een gedeelte van het Rijk van Nijmegen  
Versl. Landbouwkund. Ond. (63.11) Bodemk. Stud. 3: 156 pp. + bijl.
- Querena, E., 1981  
Gli Efemerotteri nel medio Po a Caorso (Pc)  
Riv. Idrobiol. 20(1): 195-204
- Ravizza, C.A., 1981  
Note sugli emitteri ed i coleotteri popolanti le acque del medio Po fra Caorso ed Isola Serafini (Pc)  
(Insecta: Hemiptera, Coleoptera)  
Riv. Idrobiol. 20(1): 217-229
- Rosemarin, A.S., 1985  
Reproductive strategy in the filamentous green alga *Cladophora glomerata* (L.) Kütz. - an explanation for its widespread distribution  
Verh. Internat. Verein. Limnol. 22(5): 2872-2877
- Rusev, B., Naidenov, W., 1973  
Limnologische Grundlagenforschung als Voraussetzung für den praktischen Gewässerschutz  
Arch. Hydrobiol. Suppl. 442: 135-148
- Rusev, B.K., 1987  
Ecology, life history and distribution of *Palingenia longicauda* (Olivier) (Ephemeroptera)  
Tijdschr. Entomol. 130(0): 109-127
- Rusev, B.K., Janeva, I.J., 1983  
The significance of mayflies (Ephemeroptera, Insecta) as structural constituents of benthic zoocenoses of the Maritsa River  
Bulg. Acad. Sci. Hydrobiol. 19: 14-23
- de Ruyter van Steveninck, E.D., Admiraal, W., van Zanten, B., 1990  
Changes in plankton communities in regulated reaches of the Lower Rhine  
Regulated Rivers Res. & Manage. 5: 67-75



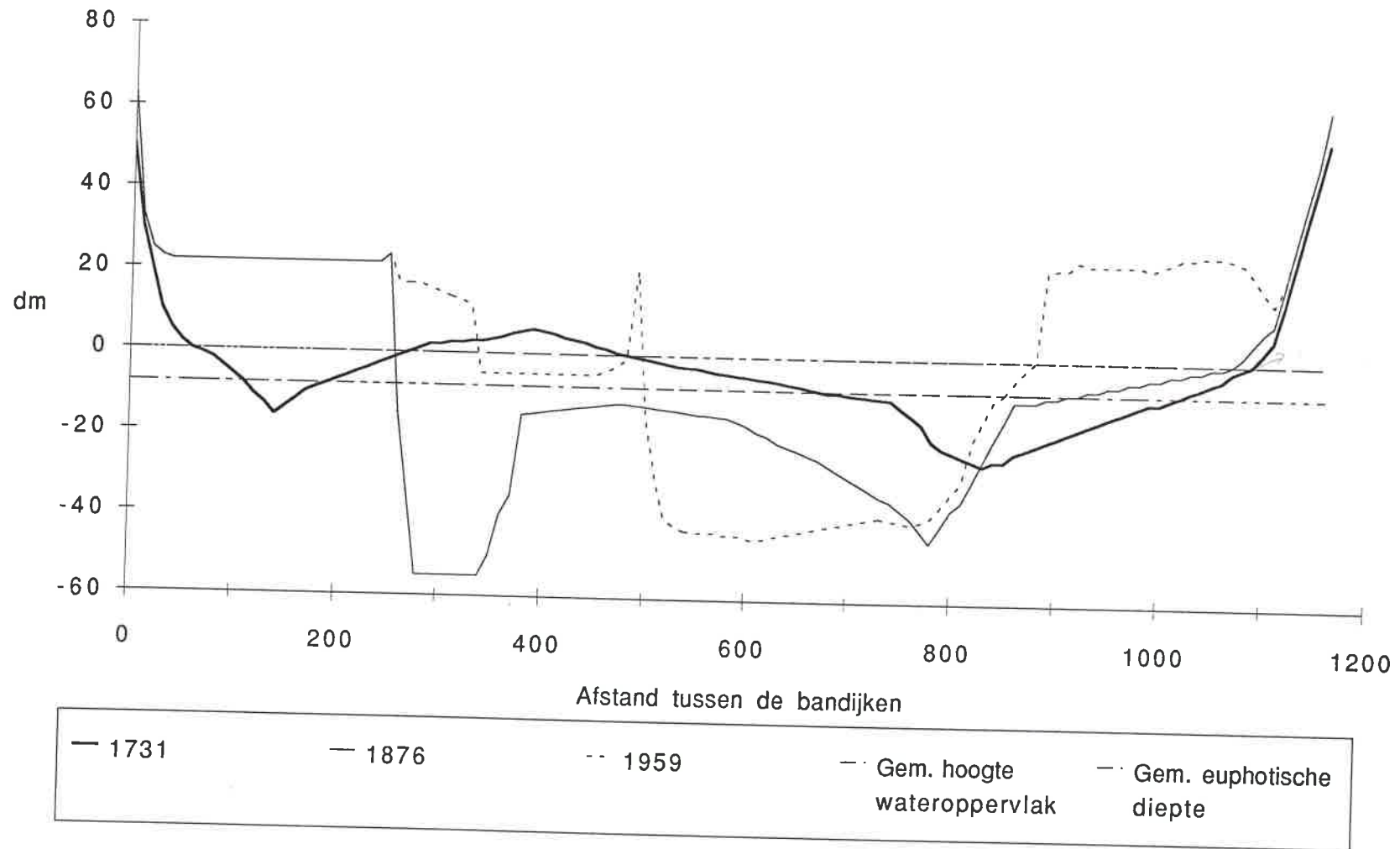
- Sambugar, B., 1981  
Gli oligocheiti raccolti tra i banchi di macrofite nel  
medio Po a Caorso (Pc)  
Riv. Idrobiol. 20(1): 179-186
- Schiller, W., 1990  
Die Entwicklung der Makrozoobentonbesiedlung des Rheins in Nordrhein-Westfalen im Zeitraum  
1969-1987  
in: Biologie des Rheins Kinzelbach/Friedrich eds. p: 259-276
- Shepard, R.B., 1982  
Benthic insect colonization of introduced substrates in the Sangamon river, Illinois  
Trans. Ill. Acad. Sci. 75(1/2): 15-27
- Shepard, R.B., Minshall, G.W., 1981  
Nutritional value of lotic insect feces compared with allochthonous materials  
Arch. Hydrobiol. 90(4): 467-488
- Shepard, R.B., Minshall, G.W., 1984  
Selection of fine-particulate foods by some stream insects under laboratory conditions  
Amer. Midl. Nat. 111(1): 23-32
- Short, R.A., Canton, S.P., Ward, J.V., 1980  
Detrital processing and associated macroinvertebrates in a Colorado mountain stream  
Ecology 61(4): 727-732
- Smart, M.M., Rada, R.G., Nielsen, D.N., Claflin, T., 1985  
The effect of commercial and recreational traffic on the resuspension of sediment in Navigation Pool  
9 of the Upper Mississippi River USA  
Hydrobiologia 126(3): 263-274
- Smit, H., Klaren, P., Snoek, M., in prep.  
Lipiniella arenicola Shilova (Diptera: Chironomidae) on a sandy flat in the Rhine-Meuse estuary;  
distribution, population structure, biomass and production of larvae in relation to periodical  
drainage
- Smit, H., Snoek, W., 1989  
Makrofauna in de oeverzone van het noordelijk Deltabekken. Biomassa en soortsaamenstelling in  
relatie tot hoogteligging, bodemsaamenstelling en verontreiniging  
DBW/RIZA nota 89.012 44 pp. + bijl.
- Smit, H., van Urk, G., 1987  
Het herstel van de ecologische waarden van de Rijn: over de zalm en ecologische doelstellingen  
H2O 17: 427-430
- Taylor, B.R., Roff, J.C., 1984  
Use of ATP and carbon: nitrogen ratio as indicators of food quality of stream detritus  
Freshwat. Biol. 14: 195-201
- van Til, K., 1979  
De Rijntakken van de Bovenrivieren sedert 1600  
Rijksw. Dir. Bovenriv. 36 pp. + bijl.
- Tittizer, T., Schöll, F., Schleuter, M., 1990  
Beitrag zur Struktur und Entwicklungsdynamiek der Benthalfauna des Rheins von Basel bis  
Düsseldorf in den Jahren 1986-1987  
in: Biologie des Rheins Kinzelbach/Friedrich eds. p: 293-324

- Triska, F.J., 1984  
Role of wood debris in modifying channel geomorphology and riparian areas of a large lowland river under pristine conditions: a historical case study  
Verh. Internat. Verein. Limnol. 22(3): 1876-1892
- van Urk, G., 1984a  
Algen en de zuurstofhuishouding van de Rijn  
H2O 17(5): 96-100
- van Urk, G., 1984b  
Lower-Rhine-Meuse In: Ecology of European Rivers  
B.A. Whitton (ed.) p. 437-468
- van Urk, G., Kerkum, F.C.M., 1986  
Misvormingen bij muggelarven uit Nederlandse oppervlaktewateren  
H2O 26: 624-627
- van Urk, G., Kerkum, F.C.M., Wiersma, S.M., 1990  
Chironomiden in zand- en slibbodems in de IJssel  
DBW/RIZA werkdocument 90.068: 18pp.
- van Urk, G., Smit, H., 1989  
The Lower Rhine geomorphological changes In: Historical change of large alluvial rivers: Western Europe  
G.E. Petts (ed.), John Wiley & Sons: New York p. 167-182
- bij de Vaate, A., Greijdanus-Klaas, M., 1990  
Biologische monitoring van rivieren met kunstmatig substraat  
RWS/RIZA nota 90.009 57 pp.
- Velsen, C., 1768  
Rivierkundige verhandelingen. Afgeleid uit waterwigt- en waterbeweegkundige grondbeginselen. En toepasselijk gemaakt op den Rhyn, de Maas, de Waal, de Merwede en de Lek  
Harlingen 3 pp.
- van de Ven, G.P., 1976  
Aan de wieg van Rijkswaterstaat. Wordingsgeschiedenis van het Pannerdens Kanaal  
Gelderse Historische Reeks 8: 437 pp.
- Vermaat, J.E., van Viersen, W., 1990  
Kansen voor waterplanten in de grote rivieren?  
H2O 23(20): 534-536
- Vincent, B., 1983  
Variations spatiales et saisonnières de la structure de groupements macrobenthiques littoraux en climat froid  
Hydrobiologia 102(3):175-186
- Wallace, J.B., Benke, A.C., 1984  
Quantification of wood habitat in subtropical coastal plain streams  
Can. J. Fish. Aquat. Sci. 41(11): 1643-1652
- Wallace, J.B., Webster, J.R., Cuffney, T.F., 1982  
Stream detritus dynamics: regulation by invertebrate consumers  
Oecologia (Berlin) 53: 197-200

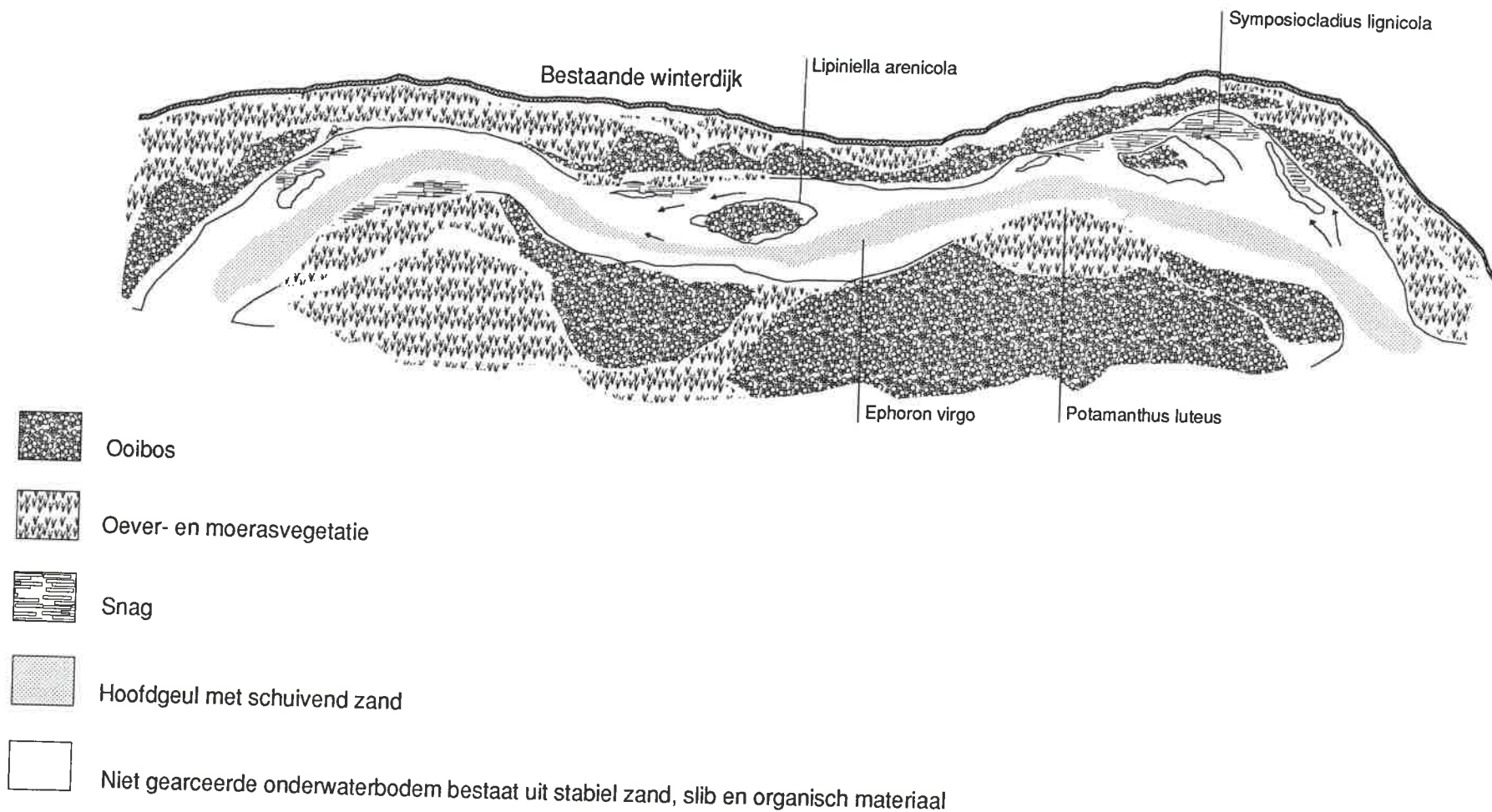
- Ward, G.M., Cummins, K.W., 1979  
Effects of food quality on growth of a stream detritivore, *Paratendipes albimanus* (Meigen)(Diptera: Chironomidae)  
*Ecology* 60(1): 57-64
- Wasson, J.G., Allardi, J., Barbe, J., Coste, M., Lafont, M., Mouthon, J., Philippe, M., Rofes, G., 1984  
Etude ecologique de la Saone entre Auxonne et Tournus. Etat de reference  
Rapp. CEMAGREF, Div. Qual. Eaux/Pêche/Pisc. Lyon 158 pp.
- Webster, J.R., Swank, W.T., 1985  
Within-stream factors affecting nutrient transport from forested and logged watersheds. In: Proceedings of forestry and water quality, a mid-south symp. B.G. Blackmon (ed.), Univ. Arkansas p. 18-41
- van der Weijden, C. H., Middelburg, J.J., 1989  
Hydrogeochemistry of the River Rhine: Long term and seasonal variability, elemental budgets, base levels and pollution  
*Wat. Res.* 23(10): 1247-1266
- Whitman, R.L., Clark, W.J., 1984  
Ecological studies on the sand-dwelling community of an east Texas stream  
*Freshwat. Invertebr. Biol.* 3(2): 59-79
- Williams, D.D., Hynes, H.B.N., 1974  
The occurrence of benthos deep in the substratum of a stream  
*Freshwat. Biol.* 4: 233-256
- Winterbourn, M.J., Cowie, B., Rounick, J.S., 1984  
Food resources and ingestion patterns of insects along a West Coast, South Island, river system  
*N.Z. J. Mar. Freshw. Res.* 18(3): 379-388
- van der Wulp, F.M., 1877  
Diptera Neerlandica. De tweevleugelige insecten van Nederland  
Martinus Nijhoff, 's Gravenhage 497 pp. + bijl.
- Zelinka, M., 1984  
Production of several species of mayfly larvae  
*Limnologica* (Berlin) 15(1): 21-41
- Zumstein, J., Buffle, J., 1989  
Circulation of pedogenic and aquagenic organic matter in an eutrophic lake  
*Water Res.* 23(2): 229-240
- Zwick, H., Crosskey, R.W., 1980  
The taxonomy and nomenclature of the blackflies (Diptera: Simuliidae) described by J.W. Meigen  
*Aquat. Insects* 2(4): 225-247



Verandering van het dwarsprofielen van de Waal bij Gorinchem (1731-1959)



**Uitwerking van een nevengeulencomplex op grond van ecologische criteria**  
 (Ondergrond: de Waal bij Ochten in 1850)



**Bijlage 2**