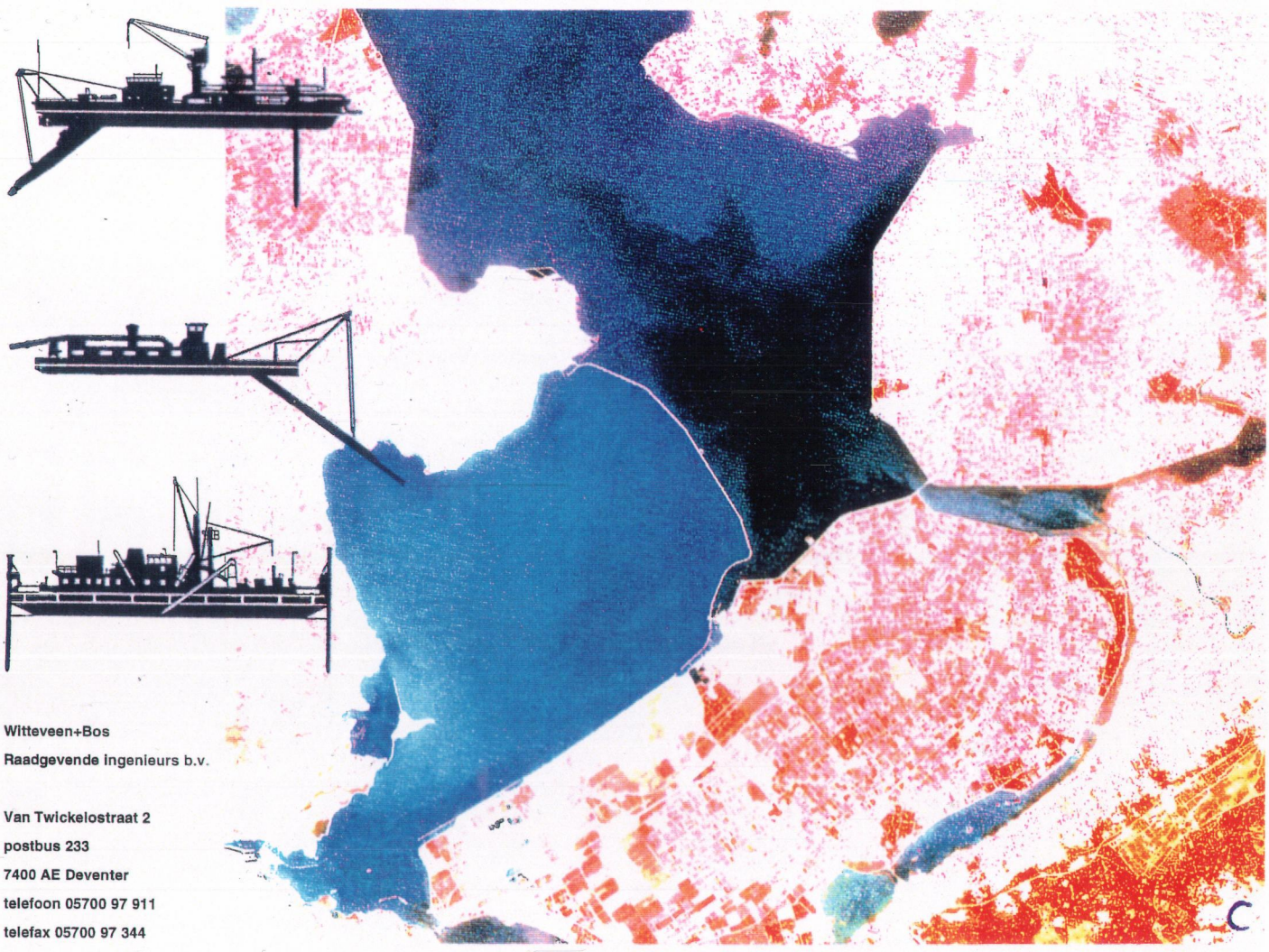
Raadgevende Ingenieurs
Witteveen + Bos

Gebouwen
Infrastructuur
Milieu

Rijkswaterstaat Directie Flevoland
Groene Poot

Natuurontwikkeling IJssel- en Markermeer: verkenning ecologische effecten van verdiepingen



Witteveen+Bos
Raadgevende ingenieurs b.v.

Van Twickelostraat 2
postbus 233
7400 AE Deventer
telefoon 05700 97 911
telefax 05700 97 344

Raadgevende Ingenieurs
Witteveen + Bos

Gebouwen
Infrastructuur
Milieu

Rijkswaterstaat Directie
Flevoland
Groene Poot

Natuurontwikkeling IJssel- en Markermeer: verkenning ecologische effecten van verdiepingen

Rw119.3
juni 1994
WB/LIGW/BRUM

Witteveen+Bos
Raadgevende Ingenieurs b.v.
Van Twickelostraat 2
postbus 233
7400 AE Deventer
telefoon 05700 97 911
telefax 05700 97 344

© Witteveen+Bos Raadgevende Ingenieurs b.v.
Niets uit dit bestek/drukwerk mag worden verveelvoudigd en/of openbaar gemaakt d.m.v. druk, fotokopie, microfilm of op welke andere wijze dan ook zonder voorafgaande toestemming van Witteveen+Bos Raadgevende Ingenieurs b.v., noch mag het zonder een dergelijke toestemming worden gebruikt voor enig ander werk dan waarvoor het is vervaardigd.

19 462 81

INHOUDSOPGAVE Blz.

VOORWOORD

SAMENVATTING

1. INLEIDING 2
1.1. Probleemstelling 2
1.2. Opzet van de studie 2

2. SYSTEEMBESCHRIJVING 3
2.1. Het pelagisch- en benthisch systeem 3
2.2. IJsselmeer en Markermeer 5

3. VERKENNING EFFECTEN VAN VERDIEPINGEN 11
3.1. Effecten op lokale schaal 11
3.2. Effecten op systeemschaal 16

4. CONCLUSIES 17

LITERATUUR

FIGUREN

BIJLAGE I: Indicatieve schatting van het visbestand in IJssel- en Markermeer. Uit: Ligtvoet & Grimm (1993).

VOORWOORD

Wij zijn de heer M. van Oirschot, RIZA Lelystad, erkentelijk voor het ter beschikking stellen van de waterkwaliteitsgegevens van het IJsselmeer over de periode 1972-1992. A.A. Rijsdorp, M. Platteeuw en A.D. Buijse (RWS Directie Flevoland - Groene Poot) worden dank toegezegd voor het doorlezen van een eerste versie van het rapport en voor de stimulerende discussies.

SAMENVATTING

Voorliggende studie beoogt inzichtelijk te maken wat op systeemniveau de mogelijke en waarschijnlijke ecologische effecten zijn van lokale verdiepingen in de grootschalige wateren IJsselmeer en Markermeer, in 1975 van elkaar gescheiden door de aanleg van de Houtribdijk. De ecologische effecten van verdieping worden verkend en geanalyseerd voor zowel het pelagische systeem als voor het benthische systeem. In het pelagische systeem staat de keten fytoplankton - zoöplankton - planktivore vis - piscivore vis - piscivore vogels/visserij centraal; in het benthische web de keten bacteriën/bodemalgen - zoöbenthos - benthivore vis, benthivore vogels - piscivore vis, piscivore vogels, visserij. De belangrijkste factoren die deze componenten beïnvloeden worden geïdentificeerd.

Na de afsluiting hebben de meren zich verschillend ontwikkeld. De analyse van het functioneren van het IJsselmeer en Markermeer wijst uit dat in het Markermeer na de afsluiting in 1975 zowel het benthisch als pelagisch systeem een verminderde produktiviteit vertonen. In het Markermeer heeft zich een omvangrijke slibbodem (IJsselmeerafzetting) gevormd die ca. 50% van het meeroppervlak omvat. De beschikbare gegevens wijzen op een zeer lage dichtheid aan zoöbenthos (in het bijzonder muggelarven) in deze (waarschijnlijk zeer mobiele) slibbodem en op een substantieel verminderd bestand aan benthivore vis, hoofdzakelijk pos foeragerend op muggelarven). Daarnaast ligt in het Markermeer de geschatte planktivore visproduktie in de periode 1975-1991 gemiddeld ca. 30% onder het verwachte niveau. De ratio tussen de vangst per eenheid van inspanning aan spiering (als maat voor het planktivore bestand) en de geraamde planktivore visproduktie op basis van het tot-P gehalte, is in het Markermeer aanzienlijk lager dan op het IJsselmeer. Dit wijst erop dat in het Markermeer de gerealiseerde planktivore visproduktie in verhouding tot de potentie structureel lager ligt dan in het IJsselmeer. Een complex van factoren samenhangend met de hoge concentratie slibdeeltjes in de waterkolom (verslechtering lichtklimaat, verlaging efficiëntie zoöplanktongraas, nutriëntendynamiek) en mogelijk optredende stikstoflimitatie spelen hierbij een bepalende rol.

De aanleg van de Houtribdijk heeft in het IJsselmeer niet geleid tot structurele veranderingen in het pelagisch en benthisch systeem.

Vanuit natuurontwikkelingsoogpunt zijn er in het Markermeer perspectieven om door het aanbrengen van lokale verdiepingen in het inproduktieve oostelijke deel van het meer naar verwachting zowel het functioneren van het benthisch als pelagisch systeem te stimuleren. Heldere eilanden met een produktiever benthisch en pelagisch systeem in een overigens troebel Markermeer lijken een reëel perspectief. Aangebrachte verdiepingen met een flauwhellend talud tot een diepte van 10-15 m leiden waarschijnlijk tot een herstel van het benthische systeem in het Markermeer. Een substantiële verhoging van de visbiomassa in het Markermeer is in deze niet uitgesloten.

Aanbevolen wordt om na nader te onderzoeken of door een goede lokatiekeuze en specifieke morfologie van de verdiepingen (diepe troggen gecombineerd met flauwhellende taluds) kan worden bijgedragen aan de slibbeheersing op systeemniveau. Onderzoek naar de interne slibproduktie in het Markermeer is daarnaast noodzakelijk om inzicht te krijgen in de duurzaamheid van de oplossingen.

In het IJsselmeer wordt van verdiepingen geen bijdrage verwacht aan het verbeteren van het ecologisch functioneren van dit meer. Ontgrondingen zullen in beginsel leiden tot een derving van de benthivore produktie; de eventuele positieve effecten op het pelagisch systeem zullen niet naspeurbaar zijn.

1. INLEIDING

1.1. Probleemstelling

Onder verantwoordelijkheid van Rijkswaterstaat Directie Flevoland en NBLF-Flevoland wordt een lange termijn natuurontwikkelingsvisie voor het IJsselmeergebied opgesteld. In deze visie, gebaseerd op een integrale systeemanalyse, wordt beoogd verschillende ontwikkelingsrichtingen voor de natuur in het IJsselmeergebied te verkennen. De nadruk in de beheersvisie ligt in eerste instantie op het versterken van het ecologisch functioneren van het IJsselmeergebied door middel van habitatontwikkeling. Het belangrijkste instrument hiervoor zijn inrichtingsmaatregelen. Één van de beheersmaatregelen die daarnaast in het kader van de natuurontwikkelingsvisie wordt beschouwd, is het aanbrengen van lokale verdiepingen in het IJsselmeer of Markermeer. Aangaande de mogelijke ecologische effecten van dergelijke ingrepen bleek een hiaat in kennis te bestaan.

Voorliggende studie beoogt inzichtelijk te maken wat op systeemniveau de mogelijke en waarschijnlijke ecologische effecten zijn van lokale verdiepingen in de grootschalige wateren IJsselmeer en Markermeer.

1.2. Opzet van de studie

De ecologische effecten van verdieping worden verkend en geanalyseerd voor zowel het pelagische systeem als voor het benthische systeem. Voor beide deelsystemen worden aan de hand van de belangrijkste systeemvariabelen, factoren en processen die (naar verondersteld) een bepalende rol spelen, eerst op lokaal niveau de ecologische effecten onderzocht. Daarna worden de mogelijk uitstralende effecten op systeemniveau beschouwd. Speciale aandacht gaat daarbij uit naar de effecten op de draagkracht van het systeem voor de visstand en -daarvan afhankelijk- de visetende vogels en de visserij.

2. SYSTEEMBESCHRIJVING

2.1. Het pelagisch- en benthisch systeem

De levensgemeenschap in een water wordt in beginsel in hoge mate bepaald door het nutrientgehalte, de diepte en ruimtelijke complexiteit (zie o.a. Ligtvoet & Grimm, 1993). De ruimtelijke complexiteit van het IJssel- en Markermeer is gering. Het zijn grote open ondiepe meren met een gering areaal ondiepte (minder dan 5% van het totaal meeroppervlak is 0-2 m diep). Door het onnatuurlijk waterpeilverloop en de betrekkelijk steile oevertaluds ontbreekt een oevervegetatie vrijwel geheel (minder dan 1% van het totale meeroppervlak). Het areaal waterplanten is bij het huidige doorzicht van ca. 40-50 cm in het Markermeer en 60-70 cm (1 m in 1993) in het IJsselmeer navenant gering en omvat niet meer dan enkele procenten van het totale meeroppervlak. Voor het ecologisch functioneren van het Markermeer en IJsselmeer als geheel speelt het littoraal derhalve geen belangrijke rol. De draagkracht voor herbivore watervogels is beperkt en plantminnende vissen worden slechts in geringe mate aangetroffen. Ten aanzien van de verdiepingen gaan we ervan uit dat deze worden aangelegd buiten de vastgestelde veiligheidszones in de oeverzones (zie kaart 2 RWS, 1991). In de navolgende beschouwing concentreren wij ons derhalve op het functioneren van het pelagisch en benthisch netwerk in de open, diepere delen van de meren.

In figuur 1a is een vereenvoudigd voedselweb in het open water geschetst. In het pelagiaal staat de keten fytoplankton - zoöplankton - planktivore vis - piscivore vis - piscivore vogels/visserij centraal; in het benthische web de keten bacteriën/bodemalgen - zoöbenthos - benthivore vis, benthivore vogels - piscivore vis, piscivore vogels, visserij. Tevens zijn de belangrijkste factoren aangegeven die de componenten in deze ketens beïnvloeden (vergelijk tabel 1, 2).

De gesteldheid van de bodem is van bepalende invloed op de nutriënt- en energiekringloop: door het hoge adsorberende vermogen en de hoge voedselrijkdom van kleibodems is in kleiwateren het benthische systeem van overheersende betekenis (figuur 1b). Onafhankelijk van het P-gehalte in de waterkolom lijkt -hypertrofe wateren uitgezonderd- het maximaal dragendvermogen op ca. 600 kg/ha te liggen. (Grimm & Backx, 1990).

Tabel 1 Belangrijkste biotische componenten en hun stuurvariabelen in het pelagisch systeem

Algen	Zoöplankton	Vis	Visetende vogels
doorzicht nutriënten temperatuur seston begrazing	algensamenstelling algenproduktie sestonconcentratie diepte predatie	zoöplanktonproduktie predatie/visserij	visstandsamenstelling visproduktie doorzicht diepte

Tabel 2 Belangrijkste biotische componenten en hun stuurvariabelen in het benthische systeem

Bodemalgen	Benthos	Vis	Visetende vogels
licht diepte nutriënten temperatuur bodemtype begrazing	zuurstofconcentratie temperatuur diepte bodemtype/substraat bodemstabiliteit bodemnutriënten detritussedimentatie predatie	zuurstofconcentratie benthossamenstelling benthosproduktie bodemtype predatie/visserij	visstandsamenstelling visproduktie diepte doorzicht

De samenstelling, biomassa en produktie van een levensgemeenschap wordt beïnvloed door producenten (bottom-up) en consumenten (top-down). Welke factor een voedselweb domineert hangt af van de voedselrijkdom van het ecosysteem: In voedselarme (oligotrofe) systemen wordt het voedselweb primair bottom-up gestuurd en wordt de maximaal haalbare biomassa en opbouw van de levensgemeenschap bepaald door de beschikbare nutriënten. In eutrofe systemen bepaalt de nutriëntbeschikbaarheid de **potentiële** biomassa, maar wordt de **gerealiseerde** biomassa en opbouw van de levensgemeenschap voor een groot deel bepaald door top-down mechanismen. Deze top-down mechanismen vormen de basis voor theorieën rond "biomanipulatie" (zie o.a. Shapiro et al., 1982; Shapiro & Wright, 1984), "cascading trophic interactions" (Carpenter et al., 1985) en het ontwikkelde model dat de visstandsamenstelling en predatorstand koppelt aan de visstandproduktie en nutriëntenbeschikbaarheid (Grimm et al., 1992). In het laatste model worden kritische nutriëntgehalten aangegeven waarbij de onderlinge verhouding tussen bottom-up krachten en top-down krachten omslaan (figuur 2).

Het nutriëntgehalte van het IJsselmeer en Markermeer is zodanig dat de systemen in het traject vallen waarin top-down krachten de opbouw van de levensgemeenschap structureren. In het verkennen van de ecologische effecten van verdieping zullen derhalve beide invalshoeken moeten worden beschouwd om tot een zo compleet mogelijk beeld te komen.

In het pelagiaal vormt de primaire produktie door het fytoplankton de basis van het voedselweb. In zijn algemeenheid bestaat er een duidelijke toename in primaire produktie bij een toenemende nutriëntenrijkdom, het best geïllustreerd door de positieve correlatie tussen totaalfosfaat en fytoplanktonbiomassa (McQueen et al., 1986). Daarnaast is een positief verband vastgesteld tussen fytoplanktonbiomassa en -produktie en tussen deze beide parameters en de photosynthetische efficiëntie (Brylinski, 1980). Op het eerste consumentniveau, is de zoöplanktonbiomassa positief gecorreleerd met de fytoplankton chlorofyl a concentratie (McQueen et al., 1986) en is de produktie van zowel zoöplankton als zoöbenthos positief gecorreleerd met fytoplanktonproduktie, met een hogere "turnover" in voedselrijkere dan voedselarme meren (Harper, 1992). In vergaand geëutrofieerde watersystemen waarin voor het zoöplankton moeilijk begraasbare draadvormige of drijflaagvormende blauwalgen het fytoplanktonbestand domineren, neemt de omvang van het fytoplanktonbestand in de waterkolom toe en wordt een groter aandeel van de fytoplanktonproduktie gerecycled door bacteria en sedimenteert uiteindelijk. In het zoöplanktonbestand kan daarbij een verschuiving optreden naar kleiner zoöplankton dat niet direct het fytoplankton begraast, maar de geassocieerde bacteria en detritus.

De produktie van het zoöbenthos is gecorreleerd met de inverse van de waterdiepte waarover mixing van de waterkolom plaatsvindt, hetgeen suggereert dat in ondiepe meren waarin de waterkolom goed wordt gemixed een groter aandeel van de primaire produktie door de benthische gemeenschap wordt gesluisd, waarschijnlijk als gevolg van de korte retentietijd van het detritus in de waterkolom. In diepe wateren is de retentietijd in de waterkolom langer en is het detritus door bacteriën verder afgebroken wanneer het de bodem bereikt dan in ondiepe wateren (Harper, 1992).

De toenemende produktie op het eerste consumentniveau vertaalt zich ook op het tweede consumentniveau (planktivore en benthivore vissen) en derde consumenteniveau (piscivore vissen, vogels en visserij). Hanson & Legett (1982) presenteren voor Amerikaanse meren een correlatie tussen totaalfosfaatgehalte en visbiomassa. Voor Nederlandse wateren is deze correlatie door Grimm & Backx (1990) vastgesteld. Tevens gekoppeld aan de voedselrijkdom van het watersysteem is de visproduktie: de omvang van de jaarlijkse produktie aan planktivore vis blijkt op ca. 80% van de totale visbiomassa te liggen (Grimm & Backx, 1990). Op basis van de produktieschattingen is het mogelijk het dragend vermogen in te schatten voor piscivore watervogels en voor de visserij (zie Ligtvoet & Grimm, 1993; Platteeuw, 1994).

2.2. IJsselmeer en Markermeer

Met het gereed komen van de Houtribdijk tussen Enkhuizen en Lelystad ontstonden het huidige IJsselmeer en Markermeer (figuur 3). Door de Houtribdijk is de uitgangssituatie voor beide meren sterk gewijzigd. De belangrijkste consequenties voor het Markermeer waren dat de aanvoer van voedselrijk water uit de IJssel wegviel en dat het slibtransport vanuit het Markermeer naar de diepere delen van IJsselmeer werd afgebroken. Het wegvallen van de aanvoer van het voedselrijke IJsselwater vertaalde zich aanvankelijk in een sterke afname van het totaal P-gehalte in de waterkolom, maar na 1977 stabiliseerde zich dat op ca. 0,15 mg/l (figuur 4). Ondanks de afname aan fosfaat bleef het chlorofylgehalte over vrijwel de gehele periode vrijwel constant. Blijkbaar was een groot deel van het fosfaat in de periode voor 1975 niet beschikbaar voor primaire produktie, maar was het fosfaat gebonden aan het IJsselslib (tabel V in Jagtman & Van Urk, 1988).

De eerste jaren na de afsluiting neemt het doorzicht in het Markermeer toe, maar daalt sterk vanaf 1981 en bereikt in 1986 het niveau van het (geringe) doorzicht van voor de afsluiting. Parallel daaraan neemt het gehalte aan zwevende stof midden op het meer en langs de dijk in eerste instantie af om vanaf 1979 een stijgende tendens te vertonen (Bekkers, 1989). De trend in het zwevend stof gehalte is daarmee tegengesteld aan die van het chlorofylgehalte. Naar het zich laat aanzien verbeterde het doorzicht aanvankelijk door de verminderde aanvoer van IJsselslib, maar laadde het Markermeer zich in ongeveer 5-6 jaar met slibdeeltjes op, doordat de export van het intern geproduceerde slib naar het IJsselmeer door de dijk was geblokkeerd. Mogelijk is als gevolg van veranderde interne stromingspatronen de eroderende werking van werking van wind en golven in het meer versterkt. Door de morfologie van het meer (bakvormig en ondiep) en het open karakter van het water is de turbulentie (resuspensie) groot. Diepe putten die als bezinkingskernen voor het slib zouden kunnen dienen ontbreken.

Tabel 3 Gemiddelde muggelarven- en wormendichtheid (aantallen/m^2 en gemiddeld asvrij-drooggewicht in g/m2) per bodemklasse in het noordelijk deel van het IJsselmeer in 1984 (bij de Vaate & Wanink, 1985)

	bodemklasse		
	Puur zand	Kleihoudend zand	IJsselmeerafzetting
MUGGELARVEN			
raai 1	1028 ± 1111	5205	175 ± 432
raai 2	1035 ± 789	11119 ± 15460	0
alle lokaties	1062 ± 874	6098 ± 6071	83 ± 296
gemiddelde biomassa (g/m^2)	0,11	0,67	0,01
WORMEN			
raai 1	612 ± 601	5705	749 ± 1656
raai 2	1332 ± 1495	4605 ± 5042	62
alle lokaties	1189 ± 1186	4796 ± 2541	441 ± 1157
gemiddelde biomassa (g/m^2)	0,3	1,5	0,2

Aan de oostkant van het Markermeer langs de Houtribdijk en Oostvaardersdijk heeft een sterke sedimentatie van het slib plaatsgevonden en heeft zich een groot areaal gevormd met een bodem van uiterst fijn slib (IJsselmeerafzetting). De algemene indruk bestaat dat deze slibbodem zeer onstabiel en mobiel is. Verondersteld wordt dat door de instabiliteit van deze fijne slibbodem het zoöbenthos in zijn ontwikkeling wordt geremd. Hoewel feitelijke gegevens voor het Markermeer vooralsnog ontbreken, wordt de benthische fauna van het oostelijk Markermeer als zeer arm beschouwd (vergelijk figuur 3; M.R. van Eerden in Ligtvoet

& Grimm, 1993; A. Bij de Vaate, A. Klink, pers. med.). Uit een bemonstering uitgevoerd in het noordelijke IJsselmeer in 1981 kwam duidelijk naar voren dat de IJsselmeerafzetting zeer arm is aan zowel muggelarven als wormen (tabel 3).

In het westelijk deel van het Markermeer heeft geen vorming van deze slibbodem plaatsgevonden en worden van oudsher de belangrijkste velden driehoeksmosselen gevonden (Bij de Vaate, 1991).

Door de uiterst spaarzame beschikbare gegevens over de ontwikkelingen van de sleutelorganismen in het meer is het niet eenvoudig de gevolgen voor het functioneren van het benthisch en pelagisch systeem te beschrijven. Onderstaand worden de mogelijke gevolgen voor zover deze zich laten inschatten in kaart gebracht. Wij concentreren ons daarbij vooral op het Markermeer aangezien daar de grootste veranderingen zijn opgetreden.

Benthisch systeem
De belangrijkste benthivore vissen in het Markermeer en IJsselmeer zijn aal (muggelarven), brasem (muggelarven, driehoeksmosselen), blankvoorn (driehoeksmosselen) en pos (muggelarven). In relatie tot de veranderingen in het functioneren van de kleibodem in vooral het oostelijk deel van het Markermeer zijn vooral de soorten foeragerend op muggelarven van belang. Over de ontwikkeling van de aal is geen uitspraak te doen. Deze soort wordt op de vaste onderzoeksstations van de jaarlijkse RIVO bemonsteringen in de kuil nagenoeg niet gevangen en aangezien de aaloogst van IJssel- en Markermeer niet apart wordt aangeland en geregistreerd, is er ook op basis van de vangstontwikkeling in de beroepsvisserij geen trendanalyse per meer mogelijk.

Brasem wordt bij de kuilbemonsteringen eveneens slechts in geringe mate aangetroffen: op gewichtsbasis vertegenwoordigt brasem in het Markermeer niet meer dan 1% van de vangst (T. Buijse, pers.med.; Ligtvoet & Grimm, 1993). Informatie betrokken van de beroepsvissers wijzen echter op een aanzienlijk brasembestand in het Markermeer:
- naar opgave van de beroepsvissers wordt er jaarlijks tijdens de wintervisserij met zegens ca. 1500-1800 ton brasem gevangen, overeenkomend met een oogst van ca. 20-26 kg/ha. Naar inschatting van de zegenvissers is op het IJsselmeer ook een omvangrijke brasemstand aanwezig, maar deze kan daar met zegens niet goed worden bevist: in het helderder IJsselmeer zit de brasem dieper en verder uit de oever dan in het troebeler Markermeer.
  De brasem is naar alle waarschijnlijkheid niet afkomstig van het twee meest voedselrijke (Ligtvoet & Grimm, 1993) randmeren Gooi- en Eemmeer, waar omvangrijke brasembestanden voorkomen. De brasem op deze twee randmeren is doorgaans van slechte kwaliteit en kan op het oog worden onderscheiden van de brasem van het Markermeer. De slechte kwaliteit van de brasem op het Gooi- en Eemmeer is de reden waarom in deze meren geen pootvisserij wordt uitgevoerd;
- de omvang van de bijvangsten aan brasem in de kieuwnetvisserij op baars en snoekbaars in het Markermeer is hinderlijk groot, naar inschatting overeenkomstig hoog als in het IJsselmeer.

Een P/B ratio van 1/3 tot 1/4 aanhoudende voor de brasem wijst de jaarlijkse oogst op een bestand van minimaal 60-100 kg/ha. Deze globale raming ligt in de orde van grootte van het brasembestand zoals afgeleid uit het totaal-fosfaatgehalte en de overige visstand (bijlage I). Voor de discrepantie tussen de gegevens afkomstig van de beroepsvisserij en van de RIVO-bemonsteringen is geen duidelijke verklaring. Het is niet uit te sluiten dat het brasembestand op basis van de kuilbemonsteringen wordt onderschat als gevolg van de -uiteindelijk- beperkte bemonsteringsintensiteit en de specifieke omstandigheden per monsterpunt (zie ook Buijse & Dekker, in voorb.).

Pos maakt een belangrijk aandeel uit van de vangst tijdens de kuilbemonsteringen: op gewichtsbasis ca. 25-33% (T. Buijse, pers.med.). De kuilbemonsteringen over de periode 1969-1992 laten een duidelijke achteruitgang zien van het posbestand in zowel het Markermeer als IJsselmeer (figuur 7). Dekker et al (1993) geven in deze aan dat mogelijk de

toegenomen schietfuikvisserij, waarin hoge bijvangsten aan pos, een rol speelt. De gegevens van Buijse & Dekker (in press) suggereren echter een mogelijke interactie tussen het brasembestand en posbestand op het IJsselmeer (figuur 8). Naar het zich laat aanzien hebben zich na twee warme zomers in 1975 en 1976 (Buijse & Dekker, in press) sterke en omvangrijke brasemcohorten kunnen vormen die de ontwikkeling van de brasemstand het volgend decennium hebben bepaald. Na 1975 is het brasembestand zeer sterk gegroeid tot in 1981/82 maximaal het acht- tot tienvoudige niveau van de jaren voor 1975; na 1981/82 neemt de brasemstand weer geleidelijk af tot op het niveau van voor 1975 (figuur 8). Het is opvallend dat het posbestand in het IJsselmeer over deze periode precies de inverse ontwikkeling doormaakt. De trends in beide bestanden wijzen naar alle waarschijnlijkheid op een duidelijke competitie tussen brasem en pos, waarbij de eerste soort dominant is over de tweede. Door het vrijwel ontbreken van brasem in de kuilvangsten kan niet worden vastgesteld of deze trend ook voor het Markermeer geldig is (figuur 8). Op basis van de indicatieve schattingen van de beroepsvissers kan niet worden nagegaan of er de afgelopen decennia structurele veranderingen in de brasemstand van het Markermeer hebben plaatsgevonden.

Figuur 7 laat zien dat het posbestand in het Markermeer vanaf 1979-1980, dat wil zeggen vanaf de periode dat het zwevendstofgehalte in het Markermeer is toegenomen, voortdurend laag is. Voor het Markermeer lijkt het derhalve aannemelijk dat een verminderde produktiviteit van de oorspronkelijke kleibodem (mede) heeft geleid tot een structurele verslechtering van de omstandigheden voor pos. Andere aanwijzingen in deze richting vormen de kleinere gemiddelde lengte van pos in het Markermeer (T. Buijse, pers.med.) en het uitblijven van het herstel van het posbestand in dit meer (figuur 8). De hypothese zou kunnen worden geformuleerd dat als gevolg van de vorming van het grote areaal IJsselmeerslib het bestand aan muggelarven in het Markermeer substantieel is verminderd. Aangezien muggelarven voor pos veruit het belangrijkste voedsel vormen, is het waarschijnlijk dat deze soort sterker heeft te lijden van deze ontwikkeling dan brasem die een minder specifiek menu heeft en ook in ruime mate foerageert op zoöplankton, wormen en driehoeksmosselen.

Op basis van de kuilbemonsteringen lijkt het posbestand in het IJsselmeer ca. 2 maal zo groot te zijn als op het Markermeer, ook in de periode voor de scheiding tussen de meren. Dit is niet wat wij verwachten als -zoals verondersteld- in het Markermeer voor 1975 een hoog produktieve kleibodem aanwezig was. Ook indien de kleibodem geen verhoogde produktiviteit zou vertegenwoordigen is de structureel hogere posstand in het IJsselmeer niet te verklaren. Het is niet uit te sluiten dat de verschillen in bestandsomvang een resultante zijn van de -uiteindelijk- beperkte bemonsteringsintensiteit en de specifieke omstandigheden per monsterpunt (zie ook Buijse & Dekker, in voorb.).

Pelagisch systeem

Het functioneren van het pelagisch systeem wordt verkend aan de hand van de ontwikkelingen in totaal P gehalte en de planktivore visproduktie. Als representatief voor de planktivore visproduktie in de meren is beschouwd de produktie geleverd door het 0+ bestand aan baars en het gehele spieringbestand (figuur 9, 10). Op basis van de RIVO vangsten is voor deze groepen een bestandschatting gemaakt, waarbij een rendement van de kuiltrekken is verondersteld van 80% voor de 0+ baars en 33% voor de meer pelagische spiering. Eerdere indicatieve bestandsschattingen waarbij deze veronderstelde rendementen zijn gehanteerd, gaven ons inziens een redelijk betrouwbaar beeld van de demerse en pelagische visstand (Ligtvoet & Grimm, 1993). Een P/B ratio van 3 aanhoudende voor de 0+ vis (Grimm et al., 1992) en spiering is in figuur 11, 12 de geschatte planktivore visproduktie weergegeven.

In figuur 11 en 12 wordt de geraamde planktivore visproduktie op basis van de RIVO bemonsteringen vergeleken met de berekende potentiële planktivore visproduktie op basis van het tot-P gehalte en de mogelijke invloed van de kleibodem. In het IJsselmeer (figuur 11) zijn twee scenario's onderscheiden, omvattende:

- een optimaal functionerend meer waarin het bodemareaal dat bestaat uit een hoog produktieve kleibodem (potentiële visstand 600 kg/ha) zich vertaalt in een verhoogde produktie in het pelagische systeem;

- een meer waarin de verhoogde produktie in de kleibodems zich niet vertaalt in een verhoogde produktiviteit van het pelagisch systeem: de produktie in het pelagisch systeem wordt dan uitsluitend bepaald door het totaal P gehalte in de waterkolom.

Voor het Markermeer (figuur 12) zijn additioneel nog twee scenario's ingebracht waarin in meer of mindere mate de produktieve kleibodem is verstoord:

- vanaf 1980 een Markermeer waarin de helft van het produktieve kleiareaal geen verhoogde produktie kent;
- vanaf 1980 een Markermeer waarin driekwart van het produktieve kleiareaal geen verhoogde produktie kent.

Er zijn bijzonder weinig gegevens beschikbaar over de periode van voor 1975. Het totaal P-gehalte en chlorofyl a gehalten in Markermeer en IJsselmeer wijken onderling sterk af en vertonen een tegengestelde trend: in het Markermeer is voor de afsluiting het totaal P hoog (gemiddeld 0,26 mg/l; figuur 4) maar -het enige beschikbare- chlorofylgehalte laag (41 µg/l, figuur 6); in het IJsselmeer is het P-gehalte laag (oplopend van 0,12 tot 0,2 mg/l) maar is het chlorofylgehalte hoog (100-120 µg/l, figuur 5). Als we op basis van de CUWVO (1987) het fosfaatgehalte berekenen voor de periode tot en met 1975 aan de hand van de relatie tussen maximaal bereikbare chlorofyl a en totaal P, resulteert dit voor het Markermeer in een P gehalte van 0,09 mg/l en voor het IJsselmeer in 0,2-0,28 mg/l. Aannemende dat deze gehalten de basis van de pelagische voedselketen vormen, is de resulterende visstand en planktivore produktie voor deze waarden berekend (tabel 4).

De grote schommelingen in het planktivore bestand in aanmerking nemende, suggereert figuur 10 en 11 dat de geraamde planktivore visproduktie op basis van de vangsten op hoofdlijnen het niveau weerspiegelt dat verwacht wordt op basis van het totaal-P gehalte. Er zijn echter duidelijke verschillen tussen beide meren. In het IJsselmeer ligt de gemiddelde planktivore visproduktie op het verwachte niveau (tabel 4) met flinke uitschieters naar boven en naar beneden (figuur 10). In het Markermeer ligt de geschatte planktivore visproduktie in de periode 1975-1991 gemiddeld ca. 30% onder het verwachte niveau (tabel 4) en liggen de maxima in deze periode op het maximum zoals berekend op basis van het totaal P-gehalte (figuur 12). Uit figuur 12 komt naar voren dat de ratio tussen de vangst per eenheid van inspanning aan spiering (als maat voor het planktivore bestand) en de geraamde planktivore visproduktie op basis van het tot-P gehalte, in het Markermeer aanzienlijk lager ligt dan op het IJsselmeer. Dit suggereert dat in het Markermeer de gerealiseerde planktivore visproduktie in verhouding tot de potentie structureel lager ligt dan in het IJsselmeer.

De onderliggende oorzaken hiervoor zijn niet duidelijk. Mogelijk speelt een rol een verlaagde begrazingsefficiëntie van het fytoplankton door het zoöplankton als gevolg van de hoge concentratie slibdeeltjes in het Markermeer (Van Donk, 1993), waardoor minder van de primaire produktie in het pelagisch netwerk wordt gebruikt. Indien dit het geval is, heeft dit tevens een verlagend effect op de maximaal realiseerbare planktivore visproduktie. Twee andere factoren die tijdens een discussie-overleg van RWS Groene Poot naar voren werden gebracht en die eveneens zouden kunnen leiden tot een lagere produktie van het pelagisch systeem, zijn de specifieke fosfaat- en stikstofbeschikbaarheid in het Markermeer. Er zijn aanwijzingen dat in het Markermeer de groeisnelheid (niet de te bereiken biomassa) van algen door fosfaat wordt beperkt als gevolg van de adsorbtie- en desorbtieprocessen in relatie tot het gesuspendeerde slib. Is dit het geval dan wordt hierdoor de produktiviteit van het systeem verlaagd. Daarnaast wordt verondersteld dat op het Markermeer mogelijk stikstoflimitatie optreedt (voorlopig verslag Overleg Decompartimentering IJsselmeergebied. RWS Groene Poot, 1994). Op basis van de voorliggende gegevens kan echter geen uitsluitsel worden gegeven of, en zo ja in welke mate, de genoemde factoren een sturende rol spelen.

Tabel 4 **Geschatte visstand (kg/ha) en maximale planktivore visproduktie (kg/ha) op basis van het zomergemiddelde totaalfosfaatgehalte (mgr/l) in Markermeer en IJsselmeer in de periode voor 1975 en in de periode 1975-1991. De schattingen zijn uitgevoerd voor het scenario waarin de hoge produktie van kleibodems volledig tot zijn recht komt ("klei") en voor het scenario waarin de visstand en de produktie geheel afhangt van het fosfaatgehalte ("tot-P"). De totaalfosfaatgegevens van het IJsselmeer en Markermeer vóór 1975 geven een tegengestelde trend te zien (figuur 4); voor deze periode is ook een berekening uitgevoerd voor een totaalfosfaatgehalte afgeleid uit het chlorofyl a gehalte. Zie verder tekst. Ter vergelijking worden de geraamde schattingen van de planktivore visproduktie op basis van de RIVO bemonsteringen gegeven**

	Markermeer		IJsselmeer	
	klei	tot-P	klei	tot-P
voor 1975				
- gemeten zomergemiddelde totaal fosfaat µgr/l	0,26	0,26	0,15	0,15
- totale visstand kg/ha	452	304	304	205
- maximale potentiële planktivore visproduktie kg/ha	362	244	240	164
- zomergemiddelde totaal fosfaat op basis van chlor-a	0,09	0,09	0,24	0,24
- totale visstand kg/ha	373	145	366	288
- maximale potentiële planktivore visproduktie kg/ha	298	116	293	230
- vastgestelde visstand kg/ha	?		?	
- geraamde gemiddelde 0+ produktie in open water kg/ha	148,6	66,8	226,4	144,9
1975 - 1991				
- zomergemiddelde totaal fosfaat µgr/l	0,15	0,15	0,22	0,22
- totale visstand kg/ha	400	205	350	270
- maximale potentiële planktivore visproduktiekg/ha	320	164	279	216
- vastgestelde visstand kg/ha	?		299[1)]	
- geraamde gemiddelde 0+ produktie in open water kg/ha	113,5	60,3	229,6	104,5

[1)] Bijlage I.

Dat lang niet in alle jaren het maximale produktieniveau wordt bereikt, kan veel oorzaken hebben. Allereerst is de recrutering van de belangrijkste 0+ vis sterk afhankelijk van het temperatuurverloop in het voorjaar (spiering succesvol bij koeler voorjaar; baars bij een warm voorjaar en zomer; o.a. Buijse et al., 1993), zodat lang niet altijd een maximale omvang van het 0+ bestand wordt bereikt. Daarnaast kan competitie een rol spelen en kan de produktieruimte voor planktivore vis in meer of mindere mate al worden ingenomen door meerzomerige planktivore vis (vooral baars en blankvoorn tot een lengte van ca. 15 cm) en - in het vroege voorjaar- ook door meerzomerige pos.

Top-down regulering van het 0+ bestand (predatie door piscivore vis en watervogels, visserij) is naar inschatting van ondergeschikt belang. De predatie door watervogels (futen, zaagbekken en nonnetjes) vindt vrijwel uitsluitend plaats in het winterseizoen en omvat naar alle waarschijnlijkheid niet meer dan 5-10% (Platteeuw et al, 1992) of 7-14% (Ligtvoet & Grimm, 1993) van het planktivore visbestand. Het nutriëntniveau in aanmerking genomen, is regulering door het roofvisbestand bestaande uit baars en snoekbaars niet in de lijn der verwachting. Daarbij is het snoekbaarsbestand als gevolg van de zeer hoge visserijdruk en de extreem hoge sterfte van het broed in de schietfuiken (oplopend tot 90%) zeer laag (Buijse et al., 1992; Dekker & Schaap, 1993) en van baars mag mogelijk een beperkte beïnvloeding worden verwacht in geval van zeer sterke (piscivore) jaarklassen.

Conclusies

De omvang van de geraamde planktivore visproduktie (0+baars + spiering) in het open water kan in zowel het Markermeer als IJsselmeer op hoofdlijnen worden verklaard op basis de totaal P concentraties in de waterkolom. Aannemende dat de planktivore visproduktie in de huidige situatie vooral bottom-up wordt gestuurd, suggereert dit dat de aanwezigheid van een hoog produktieve kleibodem in het Markermeer zich niet vertaalt in een verhoogde produktie in het pelagische systeem. (Het tentatieve karakter van de schattingen onderkennende wijzen de geraamde maxima van de planktivore visproduktie in het IJsselmeer mogelijk wel op een verrijkende werking van de kleibodem (figuur 10).

De gemiddelde planktivore visproduktie in het Markermeer ligt in verhouding tot de potentie aanzienlijk lager dan in het IJsselmeer. Dit kan wijzen op een geringere benutting van de primaire produktie. Verondersteld wordt dat door de hoge concentratie slibdeeltjes in de waterkolom het fytoplankton minder efficiënt kan worden begraasd dan in het IJsselmeer en dat derhalve maar een deel van de primaire produktie in de consumentenketen terecht komt.

Er is gegronde aanleiding om te veronderstellen dat zich in het Markermeer na de aanleg van de Houtribdijk veranderingen hebben voorgedaan in de bodemsamenstelling en dat zich in het oostelijk deel van het meer een groot areaal bestaande uit inproduktief slib heeft gevormd (IJsselmeerafzetting). Er zijn onvoldoende gegevens beschikbaar over de sleutelsoorten (macrofauna en benthivore vissen) van het benthische systeem om tot een onderbouwde visie op de ontwikkelingen te komen. De kleine lengte van pos op het Markermeer en het uitblijven van wat lijkt op een herstel van de pospopulatie zoals in het IJsselmeer suggereren structureel ongunstiger omstandigheden voor deze benthivore vis op het Markermeer.

De aanleg van de Houtribdijk heeft in het IJsselmeer niet geleid tot structurele veranderingen in het pelagisch en benthisch systeem. In het Markermeer speelt het slib een alles overheersende rol en lijken zowel het pelagisch als het benthisch systeem aan produktiviteit te hebben ingeboet.

3. VERKENNING EFFECTEN VAN VERDIEPINGEN

3.1. Effecten op lokale schaal

Benthisch systeem

Het aanbrengen van verdiepingen heeft een directe invloed op het benthische systeem. Het effect is afhankelijk van het bodemtype. In onverstoorde bodems zal afhankelijk van de oppervlakte van de verdieping een meer of minder groot deel van de benthische produktie wegvallen. In produktieve gebieden zoals driehoeksmosselarealen in de voormalige getijdegeulen in het IJsselmeer en in het westelijk deel van het Markermeer is het verlies aan produktie hoger dan in betrekkelijk arme zandbodems. Wanneer verdiepingen als gevolg hebben dat de driehoeksmosselvelden verdwijnen of op een diepte komen te liggen beneden de 5 - 6 m, verliezen deze arealen hun functie als foerageergebied voor watervogels die op driehoeksmosselen prederen (De Leeuw & Noordhuis, 1991).

Na de ingreep wanneer de bodem zich zal stabiliseren, zal -afhankelijk van de diepte- de produktiviteit zich gedeeltelijk herstellen. De produktie ligt echter naar verwachting lager dan in de oorspronkelijke situatie:

- door de toegenomen diepte wordt de bezinkingstijd van detritus verlengd en is de afbraak door bacteriën verder gevorderd wanneer het detritus de bodem bereikt (Harper, 1992);
- bij een toenemende diepte wordt de temperatuur lager en neemt het zuurstof gehalte af, waardoor de metabolische activiteiten van het benthos worden verminderd (Harper, 1992);
- bij een toenemende diepte verschuift de soortensamenstelling van het zoöbenthos en neemt de dichtheid af. In het Volkerak-Zoommeer neemt bij toenemende diepte het aandeel Chironomiden af ten gunste van Oligochaeta (wormen) (tabel 5).

Tabel 5 **Dichtheid van het gehele zoöbenthos en ratio Oligochaeta/Oligogaeta + Chironomidae in oktober 1991 in het Volkerak-Zoommeer. Naar: Frantzen & v.d. Velden (1992)**

	dichtheid n/m^2	ratio %
< 1 m	14.430	12,3
1-5 m	9.610	28,2
5-10 m	2.440	65,5
> 10 m	2.390	84,4

Verdiepingen aangelegd in de - naar het zich laat aanzien - improduktieve IJsselmeerafzetting in het Markermeer zouden een positief effect kunnen hebben. Lokaal wordt het slib verwijderd waarbij op de oevertaluds en naar alle waarschijnlijkheid ook in de directe omgeving de oorspronkelijk produktievere kleibodems aan de oppervlakte komen. Het benthische systeem kan hierdoor lokaal zijn oorspronkelijke draagkracht terugkrijgen.

Een ondersteuning van de veronderstelling dat de slibbodem slechte omstandigheden voor benthische organismen vormt en dat deze door verdieping kunnen verbeteren, wordt gevonden in de bemonstering van de bodemfauna die op twee eerdere zandwinlocaties in het Markermeer zijn uitgevoerd. Voor en na de aanleg van de putten zijn in 1979/1980, respectievelijk in 1984/1985 de muggelarven en wormen in de omgeving van de putten en in de putten zelf bepaald (tabel 6).

Tabel 6 **De waargenomen hoeveelheden muggelarven en wormen (gram/m*2) in het Markermeer voor en na zandwinning. N - Noorderput met talud 1:10; Z= zuiderput met talud 1:3. Naar: de Heul & Cazemier (1986)**

Substraat	Waargenomen voor winning	Waargenomen na winning			
		5 m diep		10-15 m diep	
		N	Z	N	Z
klei	2,2	7,9	6,5	1,9	1,5
zand	-	-	-	-	-

De gegevens laten zien dat de biomassa van de muggelarven en de wormen vóór de zandwinning veel lager was dan na de zandwinning. Dit kan samenhangen met de reductie van de hoeveelheden slap en beweeglijk bodemsubstraat op deze plaatsen. Dit wordt getransporteerd naar de diepere delen van de verdieping. Mogelijk krijgen de bodemorganismen daardoor weer een stabiel en vruchtbaar substraat tot hun beschikking. Nader onderzoek naar het zoöbenthos in het Markermeer in verschillende bodemtypen en uit verschillende perioden (voor de afsluiting/na de afsluiting) is nodig om een gefundeerde inschatting te maken van de -eventuele- winst die er te halen is door het lokaal verwijderen van de slibbodem.

Is er inderdaad sprake van een herwonnen produktiviteit van het zoöbenthos dan zal dit een positieve uitstraling hebben naar de hogere trofische niveaus. Op de taluds van verdiepingen zijn relatief hoge dichtheden en grote exemplaren aangetroffen van aal, baars en snoekbaars (Cazimier & v.d Heide, ...). Dat zich rond taluds dikwijls concentraties van grote baarzen en snoekbaarzen bevinden is een algemeen verschijnsel (zie o.a. diepteverspreiding van baars en snoekbaars in het Volkerak-Zoommeer; Ligtvoet et al., 1992, 1993). Ook beroepsvissers maken gebruik van dit gegeven en beschouwen diepere arealen als voorkeursgebied. In Overijssel bijvoorbeeld wordt 70% van de totale snoekbaarsoogst gerealiseerd in de diepere arealen (Klinge et al., 1994).

Wanneer overigens de condities in het meer niet veranderen, is het gezien de grote hoeveelheid slib en de onbekende interne slibproduktie onzeker is hoe lang deze gunstiger situatie gehandhaafd kan blijven, . "Ondersneeuwen" van de vrijgekomen bodemarealen lijkt reëel: putten fungeren als slibvang doordat lokaal de resuspensie afneemt en aanvoer van slib uit het overige water blijft plaatsvinden (Van Duin, 1992). De morfologie van de verdieping in de improduktieve slibgebieden zou enerzijds moeten leiden tot het beschikbaar komen van een zo groot mogelijk vrijgekomen bodemareaal en tot een zo groot mogelijk uitstralend effect, anderzijds tot een zo groot mogelijke duurzaamheid. Uit eerdere verkenningen is gebleken dat ondiepe verdiepingen over grote oppervlakten een groter effect hadden en een grotere uitstraling dan diepe verdiepingen van een kleine oppervlak (Blom, 1992; Van Duin, 1992). In deze studies is aangegeven dat verdiepingen boven de 4 m niet zinvol lijken: het effect van twee even grote slibvangen met een bepaalde diepte is groter dan van een slibvang met een verdieping die tweemaal zo groot is (Van Duin, 1992). Echter vanuit duurzaamheidsoverwegingen lijkt het waardevol de slibberging van een verdieping te maximaliseren en het ondersneeuwen van produktieve bodems te minimaliseren. Een verdieping met een groot oppervlak aan flauwhellende taluds aflopend tot een diepte van 10-15 m, gecombineerd met een centraal gelegen diepe trog van tientallen meters diep lijkt aan beide eisen tegemoet te komen (figuur 14). Een bijkomend voordeel van het vergroten van de lokale diepte is dat niet alleen de bergingscapaciteit wordt vergroot, maar dat dit ook nog extra bijdraagt aan de afname aan gesuspendeerde stof boven de verdieping (Van Duin, 1992).

In de diepe troggen zal regelmatig stratificatie en zuurstofloosheid optreden (Claessen et al, 1989) en zullen de omstandigheden voor organismen ongunstig zijn. Gezien de geringe

omvang van deze arealen op deze dieptes en de geringe bijdrage daarvan aan het benthisch systeem, wordt dit echter niet als een overwegend bezwaar beoordeeld. Biologisch gezien is er uiteindelijk weinig verschil tussen een verdieping tot 30 m of tot 60 m.

Pelagisch systeem
De effecten voor het pelagisch systeem zijn vooral indirect. Zoals in het voorafgaande geconstateerd is er geen aanleiding te veronderstellen dat de produktie in het pelagische systeem sterk wordt gevoed vanuit het benthisch systeem. Het lokale verlies aan benthische produktie zal derhalve naar verwachting geen effect hebben op het pelagiaal.

De nutriëntbelasting van verdiepingen door fosfaatnalevering en de zogeheten "stootbelasting" aan P door opheffing van optredende stratificatie is zeer gering en op systeemniveau nagenoeg verwaarloosbaar (Claesen et al., 1989). Het is echter niet uitgesloten dat zich lokaal wanneer de stratificatie wordt opgeheven (stormen in de zomer; omkering in najaar) lokaal boven vooral diepe putten (vergelijk Claesen et al, 1989) zoveel fosfaat vrijkomt dat er mogelijk een tijdelijke algenbloei optreedt. Als gevolg van de doorgaans langere reaktietijd van organismen hoger in het voedselweb, zal naar verwachting deze tijdelijk produktieverhoging maar beperkt doorwerken naar de hogere trofische niveaus (demping). Een algehele verhoogde produktie van het pelagisch systeem als gevolg van een extra nutriëntentoevoer vanuit verdiepingen is derhalve niet waarschijnlijk.

Zoals boven reeds vermeld, doordat verdiepingen fungeren als bezinkingskernen voor slib en de resuspensie vermindert, neemt de concentratie aan zwevende deeltjes lokaal af (Blom, 1992; Van Duin, 1992). Hierdoor kan het lichtklimaat verbeteren en kunnen de omstandigheden voor zoöplanktongraas worden verbeterd (Van Donk, 1992; Vermij, 1992).

In het IJsselmeer is de planktivore visproduktie overeenkomstig het verwachte niveau en lijkt het pelagisch systeem naar behoren te functioneren. Lokale verdiepingen zullen in dit meer naar verwachting geen merkbare effecten hebben op het pelagisch systeem. In het Markermeer daarentegen lijkt door verschillende processen samenhangend met de hoge slibconcentratie van de pelagische voedselketen onder het verwachte niveau te draaien (tabel 4, figuur 12). Figuur 6 suggereert dat wanneer de slibconcentratie gering is (zoals in de eerste jaren na de afsluiting in 1975), het chlorofyl gehalte en daarmee de primaire produktie kan toenemen. Stikstoflimitatie speelt in die periode naar alle waarschijnlijkheid geen rol: ondanks dat na de afsluiting het stikstofgehalte
beduidend lager ligt dan voor de afsluiting (Bekkers, 1989) neemt de algenbiomassa juist toe (figuur 6).

Dit aannemende ligt het in de lijn der verwachting dat verdiepingen een positief effect zullen hebben op het pelagische systeem: door een verlaging van de slibdeeltjes in de waterkolom wordt het lichtklimaat verbeterd, wordt de primaire produktie gestimuleerd en de begrazingsefficiëntie van het zoöplankton neemt toe waardoor een groter deel van de primaire produktie in de pelagische keten wordt gebruikt. Aannemende dat de effecten zich tot op de bovengelegen trofische niveau (planktivore vis, piscivore vis en piscivore vogels) doorwerken neemt de produktie van het pelagisch systeem lokaal toe.

Niet uitgesloten kan worden dat als gevolg van het herstel van het functioneren van het benthische systeem, indirect de produktie van het pelagische systeem wordt gestimuleerd. In ondiepe wateren met een produktieve kleibodem is vastgesteld dat de omvang van de planktivore visproduktie naar verhouding een even groot aandeel van de totale visstand (80%) omvat als in wateren zonder produktieve bodem (Grimm, in voorb.). Dit betekent dat de hogere produktie gekoppeld aan vruchtbare bodems zich ook vertaald in een hogere produktie in het pelagisch systeem. Gezien de geringe diepte van het Markermeer en de sterke mixing van het water, is een hogere produktie in het pelagiaal als gevolg van een verhoogde benthische produktie derhalve waarschijnlijk.

Bij ondiepe lokale verdiepingen met een oppervlakte van ca. 1200 ha groot kan afhankelijk van de lokale situatie (luwte) het gehalte aan zwevend stof boven de put 40-50% afnemen en is er sprake van een aanzienlijk uitstralend effect (Van Duin, 1992). Het bovenstaande in ogenschouw nemende lijke verdiepingen met een oppervlakte in deze orde van grootte perspectieven te schetsen van heldere, produktievere eilanden in een overigens troebel Markermeer. Ervan uitgaande dat lokaal de gehele pelagische voedselketen profiteert van deze produktieverhoging zouden verhoogde concentraties van planktivore vis en hun belangrijkste predatoren mogen worden verwacht. Het verhoogde doorzicht boven de verdieping en in de directe omgeving creëert gunstiger omstandigheden voor de op zicht jagende piscivore watervogels (Platteeuw, 1994).

Tabel 7 Inschatting lokale effecten van verdiepingen op benthisch systeem in IJsselmeer en Markermeer

IJsselmeer

Bodemalgen 0	Benthos -	Vis -	Visetende vogels -
licht diepte nutriënten temperatuur bodemtype begrazing	zuurstofconcentratie - temperatuur - diepte - bodemtype/substraat 0 bodemstabiliteit 0 bodemnutriënten 0 detritussedimentatie + predatie	zuurstofconcentratie 0/- benthossamenstelling - benthosproduktie - bodemtype 0 predatie/visserij	visstandsamenstelling - visproduktie - diepte - (doorzicht)

Markermeer

Bodemalgen 0	Benthos +	Vis +	Visetende vogels +
licht diepte nutriënten temperatuur bodemtype begrazing	zuurstofconcentratie 0/- temperatuur 0/- diepte 0/- bodemtype/substraat + bodemstabiliteit + bodemnutriënten + detritussedimentatie + predatie	zuurstofconcentratie 0/- benthossamenstelling + benthosproduktie + bodemtype + predatie/visserij	visstandsamenstelling + visproduktie + diepte 0 (doorzicht)

Tabel 8 Inschatting lokale effecten van verdiepingen op pelagisch systeem in IJsselmeer en Markermeer

IJsselmeer

Algen 0	Zoöplankton 0	Vis 0	Visetende vogels 0
doorzicht 0/± nutriënten 0/± temperatuur 0 seston ± begrazing	algensamenstelling 0 algenproduktie 0/± sestonconcentratie 0/± diepte 0 predatie	zoöplanktonproduktie 0 predatie/visserij	visstandsamenstelling 0 visproduktie 0 doorzicht 0/± diepte -

Markermeer

Algen +	Zoöplankton +	Vis +	Visetende vogels +
doorzicht + nutriënten 0/± temperatuur 0 seston - begrazing +	algensamenstelling 0 algenproduktie + sestonconcentratie - diepte 0/± predatie +	zoöplanktonproduktie + predatie/visserij +	visstandsamenstelling 0 visproduktie + doorzicht + diepte 0/-

3.2. Effecten op systeemschaal

In het IJsselmeer hebben verdiepingen naar verwachting vrijwel geen effect op het pelagisch systeem, maar een negatieve invloed op het benthisch systeem (tabel 7, 8). Op systeemniveau zal de negatieve invloed groter zijn naarmate de verdieping een groter areaal omvatten (oppervlakte-effect) en/of dieper zijn.

In het Markermeer ligt dit anders. De beschikbare gegevens lijken uit te wijzen dat het ontstaan van het grote areaal IJsselmeerafzetting in het Markeermeer heeft geleid tot een vergaande verlaging van de produktie van het benthische systeem. Dit aannemende, kunnen verdiepingen mogelijk bijdragen tot een verbetering van het benthische netwerk op systeemniveau. De bijdrage van de verdiepingen hangt dan in hoge mate af van het bodemareaal dat de oorspronkelijke produktiviteit verkrijgt. Ter indicatie: indien door lokale verdiepingen 5-10% van het meeroppervlak (70.000 ha) een produktieve kleibodem oplevert, dan kan dit onder optimale condities tot een visstandverhoging van (3500-7000)*600/70.000 = 30-60 kg/ha. Bij de huidige voedselrijkdom in het Markermeer (tot-P gehalte ca. 0,11 mg/l) en een niet functionerende kleibodem mag een visstand worden verwacht van ca. 165 kg/ha, zodat de mogelijke toename door lokale verdiepingen een structurele verhoging van ca. 15-35% representeert.

Daarnaast kan worden nagegaan of door een goede lokatiekeuze van lokale verdiepingen, verdiept tot enkele tientallen meters, niet kan worden bijdragen aan de slibbeheersing op systeemniveau. Uitgediept tot ca. 40 m, levert een verdieping met een omvang van 2½% (1750 ha) van het meeroppervlak een bergingscapaciteit voor het IJsselmeerslib ter grote van ca. 600 miljoen m^3. Qua omvang zou deze berging ruim voldoende zijn om de huidige hoeveelheid aan IJsselmeerafzetting (naar schatting 50-100 miljoen m3) te bergen.

Een belangrijk aandachtspunt in relatie tot het aanleggen van verdiepingen ten behoeve van de slibproblematiek is de duurzaamheid van de oplossing. Onderzoek naar en gefundeerde voorspellingen aangaande de interne slibproduktie in het Markermeer zouden hierin inzicht moeten geven.

Tabel 9 **Effecten van verdiepingen op lokale schaal en systeemschaal van verdiepingen in IJsselmeer en Markermeer. Voor de inschatting van de effecten op systeemschaal is uitgegaan van verdiepingen die 5-10% van het meeroppervlak omvatten. Voor de effecten op systeemschaal is voor het Markermeer de verwachting geschetst voor de situatie waarin de lokale effecten (afhankelijk van de mogelijkheden om met lokale verdiepingen op systeemschaal de slibbeheersing te aan te pakken) wel (+) of niet (0) doorwerken op systeemschaal. Voor de visserijen is aangegeven of de effecten het gevolg zijn van veranderingen in het pelagisch (p) of benthisch systeem (b)**

	IJSSELMEER		MARKERMEER	
	lokaal	systeem	lokaal	systeem
Benthisch systeem				
verhoging bodemvruchtbaarheid	0	0	+	+
zoöbenthos	-	0	+	+
benthivore vis	-	0	+	+
piscivore vis	-	0	+	+
benthivore vogels	-	0		
benthivore visetende vogels	-	0	+	+
Pelagisch systeem				
nutriënttoevoer	0/± 1)	0	0	0
lichtklimaat	0/±	0	+	0
algen	0/± [1)]	0	+	0/+
zoöplankton	0	0	+	0/+
planktivore vis	0	0	+	0/+
piscivore vis	0	0	+	0/+
pl. vis etende vogels	0	0	+	0/+
Visserij				
spieringvisserij	0	0	0	0/+ (p)
aalvisserij	- (b)	0	+ (b)	0/+ (b)
pootvisserij (brasem)	- (b)	0	0	0/+ (b)
baars/snoekbaarsvisserij	- (b)	0	+ (p,b)	0/+ (p,b)

[1)] ± geeft aan de mogelijk tijdelijke verhoogde nutriëntaanvoer bij opheffen stratificatie en tijdelijk verhoogde algenproduktie. Er wordt van uit gegaan dat deze tijdelijke produktieverhoging niet doorwerkt in de hogere trofische niveaus (demping).

LITERATUUR

Bekkers, L. (1989).
De waterkwaliteit van het Markermeer in de periode van 1972 - 1986. RIZA nota 87.059. 51p.

bij de Vaate, A. & Wanink, J.H. (1985).
De bodemfauna in het noordelijk deel van het IJsselmeer. Rapport NEOM, no. PAC5-N194.

bij de Vaate, A. (1991).
Distribution and aspects op population dynamics of the zebra-mussel, Dreissena polymorpha (Pallas, 1771), in the lake IJsselmeerarea (The Netherlands). Oecologia (86): 40-50.

Blom, G. (1992).
Minder slib in het Markermeer. In Vermey, S.G., Blom, G., van Donk, E. & van Duin, E.H.S. (1992). Werkdocument. De invloed van slibgehalte en waterbodemverdiepingen op de zoöplanktonproduktie in het Markermeer. Directoraat-Generaal Rijkswaterstaat Directie Flevoland; 1992 - 24 Lio. 34 p.

Brylinski, M. (1980).
Estimating the productivity of lakes and reservoirs. In E.D. Le Cren & R.H. Lowe McConnel (eds.). The Functioning of Freshwater Ecosystems. Cambridge University Press, Cambridge, pp. 411-454.

Buijse A.D. & W. Dekker (in press)
Uncertainty in the fish stock assessment in Lake IJsselmeer, The Netherlands, by bottom trawl surveys. Proceedings of the International Symposium and Workshop on Stock Assessment in Inland Fisheries, Hull (UK), 11-15 April 1994.

Buijse, A.D., W.L.T. van Densen & L.A. Schaap (1992).
Year-class strength of eurasian perch **(Perca fluviatilis L.)** and pike perch **(Stizostedion lucioperca (L.))** in relation to stock size, water temperature and wind in Lake IJssel, The Netherlands, 1966-1989. In: A.D. Buijse: Dynamics and exploitations of unstable percid populations. Proefschrift Landbouwuniversiteit Wageningen.

Carpenter, S.R., J.F. Kitchell & J.R. Hodgson (1985).
Cascading interactions and lake productivity. BioScience (35): 634-639.

Cazemier, W.G. (1979).
De gevolgen van zandwinning in het IJsselmeer-Randmerengebied, voor de visstand en de visserij aldaar. Rijksinstituut voor visserijonderzoek, rapport ZS 79-1, 12p.

Claessen, F., Bekkers, L., Dirksen, F., Lisman, R. & Reitsma, T. (1989).
Milieu-effectenstudie voor MER oppervlakte delfstoffenwinning IJsselmeergebied. RIZA nota 89.051. 51p.

CUWVO (1987).
Vergelijkend onderzoek naar de eutrofiëring in Nederlandse meren en plassen. Resultaten van de derde eutrofiëringsenquête.

Dekker, W., L. Schaap & J. van Willigen (1992).
Aanwas van jonge vis in het IJsselmeer. RIVO Rapport BINVIS 92-04.

Dekker, W., & L. Schaap (1993).
De nettenvisserij op baars en snoekbaars van het IJsselmeer, evaluatie van de toestand van de visbestanden tot 1992. RIVO-DLO Rapport 93.005.

Dekker, W., L. Schaap & J. van Willigen (1993).
Bijvangsten in de fuikenvisserij op het IJsselmeer. RIVO-DLO Rapport 93.021. 29 p.

Directoraat-Generaal Rijkswaterstaat Directie Flevoland (1991).
Zand Boven Water. Deel 1: beleidsnota oppervlaktedelfstoffenwinning wateren IJsselmeergebied 1991-2000. Flevobericht nr. 333. 82p.

Directoraat-Generaal Rijkswaterstaat Directie Flevoland (1991).
Zand Boven Water. Deel 2: milieu-effectrapport oppervlaktedelfstoffenwinning wateren IJsselmeergebied 1991-2000. Flevobericht nr. 334. 90p.

Directoraat-Generaal Rijkswaterstaat Directie Flevoland (1991).
Zand Boven Water. Deel 3: aanvullingen op het milieu-effectrapport oppervlaktedelfstoffenwinning wateren ijsselmeergebied. Flevobericht nr. 343. 52p.

Donk, E. van (1992).
Interacties tussen zwevende vaste deeltjes en zoöplankton: een literatuurstudie. In Vermey, S.G., Blom, G., van Donk, E. & van Duin, E.H.S., 1992. Werkdocument. De invloed van slibgehalte en waterbodemverdiepingen op de zoöplanktonproduktie in het Markermeer. Directoraat-Generaal Rijkswaterstaat Directie Flevoland; 1992 - 24 Lio. 15 p.

Duin, E.H.S. van (1992).
Het effect van slibvangen op het slibgehalte in het Markermeer. In: Vermey, S.G., Blom, G., van Donk, E. & van Duin, E.H.S., 1992. Werkdocument. De invloed van slibgehalte en waterbodemverdiepingen op de zoöplanktonproduktie in het Markermeer. Directoraat-Generaal Rijkswaterstaat Directie Flevoland; 1992 - 24 Lio. 17p.

Frantzen, N. & J.A. van der Velden (1992).
Natuurontwikkelingen Volkerak-Zoommeer in 1991. Nota 92.062, RIZA Dordrecht.

Grimm, M.P. & Backx, J.J.G.M. (1990).
The restoration of shallow eutrophic lakes, and the role of northern pike, aquatic vegetation and nutriënt concentration. Hydrobiologia 200/201: 557-566. R.D. Gulati, E.H.R.R. Lammens, M.L. Meijer & E. van Donk (eds), Biomanipulation - Tool for Water Management. Kluwer Academic Publishers.

Grimm, M.P., Jagtman, E. & Klinge, M. (1992).
Fosfaatgehalten en de haalbaarheid van 'Actief Biologisch Beheer'. Een visbiologisch perspectief. H2O 25:424-431.

Hanson & Legett (1982).
Emperical prediction of fish biomass and yield. Can.J.Fish.Aquat.Sci. 39: 257-

Harper, D. (1992).
Eutrophication of Freshwaters - Principles, problems and restoration. Chapman & Hall, London, 327 p.

Heul, J.W. van de & Cazemier, W.G. (1986).
Bodemfauna en visstand in twee speciale zandwinputten in het Markermeer. Rijksinstituut voor visserijonderzoek, rapport BV 86-01. 9 p.

Jagtman, E. & G. van Urk (1988).
Algen in het Markermeer: groei of opwerveling. H_2O (21): 606-610.

Klinge, M., M.P. Grimm & P.H.M. Klein Breteler (1994).
Onderzoek naar de beroepsvisserij in Noordwest Overijssel. Deel 1: inventarisatie en eerste beoordeling bestaande gegevens. Rapport ZL.73.1. Witteveen+Bos Raadgevende ingenieurs b.v., Deventer.

Lanters, R.L.P. (1992).
The spatial distribution of six major fish species in Lake IJsselmeer, The Netherlands, in relation with environmental conditions. RIVO Rapport 92.06.

Leeuw, J. de & R. Noordhuis (1991).
Predatie van driehoeksmosselen door watervogels - literatuuronderzoek en prognose van de invloed op het rendement van het biologisch filter. RIZA nota 91.050.

Ligtvoet, W., H. v.d. Weide & T. Bult (1992).
Omvang en samenstelling van de visstand in het Krammer-Volkerak-Zoommeer in november 1992. Rapport Boz.81.3. Witteveen+Bos Raadgevende ingenieurs b.v., Deventer.

Ligtvoet, W., H. v.d. Weide & M.P. Grimm (1993).
Omvang en samenstelling van de visstand in het Krammer-Volkerak-Zoommeer in november 1992. Rapport Boz.81.7. Witteveen+Bos Raadgevende ingenieurs b.v., Deventer.

Ligtvoet, W. & Grimm, M.P. (1993).
Ecologisch functioneren van de Randmeren in het IJsselmeergebied. Witteveen+Bos rapport werknummer RW119.1. 48p.

McQueen, D.J., J.R. Post & E.L. Mills (1986).
Trophic relationships in freshwater pelagic ecosystems. Can. J. Fish. Aquat. Sci. (43): 1571-1581.

Platteeuw, M. (1994).
Helderheid en trofiegraad van het open water in het IJsselmeergebied. Rapport RWS Directie Lelystad.

Platteeuw, M., J.H. Beekman, T.J. Boudewijn & E.C.L. Marteijn (1992).
Aalscholvers **Phalacrocorax carbo** in het Ketelmeer buiten de broedtijd: aantallen, prooikeuze en voedselaanbod. Limosa 65(3): 93-102.

Shapiro, J. & D.I. Wright (1984).
Lake restoration and biomanipulation: Round Lake, Minesota, the first two years. Freshwat. Biol. (14): 371-383.

Vermey, S.G., Blom, G., van Donk, E. & van Duin, E.H.S. (1992).
Werkdocument. De invloed van slibgehalte en waterbodemverdiepingen op de zoöplanktonproduktie in het Markermeer. Directoraat-Generaal Rijkswaterstaat Directie Flevoland; 1992 - 24 Lio. 29p.

FIGUREN

Figuur 1a Vereenvoudigd voedselweb van het pelagisch systeem. De keten fytoplankton - zoöplankton - planktivore vis piscivore vis - piscivore vogels/visserij staat centraal. Aangegeven zijn de belangrijkste factoren die de componenten in deze keten beïnvloeden (vergelijk tabel 1).

Figuur 1b Vereenvoudigd voedselweb van het benthisch systeem. De keten bacteriën/bodem-algen - zoöbenthos - benthivore vis/benthivore vogels - piscivore vis/ piscivore vogels/ visserij staat centraal. Aangegeven zijn de belangrijkste factoren die de componenten in deze keten beïnvloeden (vergelijk tabel 2).

Figuur 2 Relatie tussen trofiegraad (zomergemiddelde tot-P gehalte in mg/l), omvang (kg/ha) en samenstelling van de visstand, ecosysteemtypen en diversiteit van de levensgemeenschap (boven).
Notatie: v - totale visbiomassa; b - baarsbiomassa; s - snoekbiomassa; c - cyprinidebiomassa; I - baars/blankvoorn water; II - snoek/zeelt water; III snoek-baars/brasem water. Naar Ligtvoet & Grimm (1993).

Figuur 3a Studiegebied IJsselmeer en Markermeer.

Figuur 3b Arealen in het IJsselmeer en Markermeer met hoge concentraties bodemfauna en bodemflora.

Figuur 4 Zomergemiddelde tot-P gehalte in IJsselmeer en Markermeer over de periode 1972-1993. Gegevens: RIZA Lelystad - M. van Oirschot.

Figuur 5 Doorzicht en chlorofylgehalte in het IJsselmeer over de periode 1969-1993. Gegevens: RIZA Lelystad - M. van Oirschot.

Figuur 6 Doorzicht en chlorofylgehalte in het Markermeer over de periode 1969-1993. Gegevens: RIZA Lelystad - M. van Oirschot.

Figuur 7 Gemiddelde vangst van pos (kg/ha) over alle stations in IJsselmeer en Markermeer. Bron: Lanters (1992).

Figuur 8 Biomassa (kg/uur kuilen) aan brasem (boven) en pos (onder) in IJsselmeer (links) en Markermeer (rechts) over de periode 1966-1993. Gegevens: Buijse & Dekker (in press).

Figuur 9 Geschat bestand aan spiering en 0+ baars in het IJsselmeer over de periode 1969-1991. Gebaseerd op Dekker et al. (1992).

Figuur 10 Geschat bestand aan spiering en 0+ baars in het Markermeer over de periode 1969-1991. Gebaseerd op Dekker et al. (1992).

Figuur 11 Geschatte potentiële planktivore visproduktie in het IJsselmeer volgens twee scenario's vergeleken met de planktivore visproduktie geschat op basis van omvang planktivore visstand (vergelijk figuur 8). Scenario's:
- potentie op basis van tot-P gehalte en bijdrage van produktieve kleibodem;
- potentie op basis van tot-P gehalte zonder bijdrage van kleibodem.
  Zie verder tekst.

Figuur 12 Geschatte planktivore visproduktie in het Markermeer volgens vier scenario's vergeleken met de planktivore visproduktie geschat op basis van omvang planktivore visstand (vergelijk figuur 9). Scenario's:
- potentie op basis van tot-P gehalte en bijdrage van produktieve kleibodem;

- potentie op basis van tot-P gehalte en waarbij vanaf 1980 50% van de produktieve kleibodem geen verhoogde produktie kent;
- potentie op basis van tot-P gehalte en waarbij vanaf 1980 75% van de produktieve kleibodem geen verhoogde produktie kent;
- potentie op basis van tot-P gehalte zonder bijdrage van de kleibodem.
  Zie verder tekst.

Figuur 13 Ratio vangst per eenheid van inspanning aan spiering / geraamde maximale planktivore visproduktie op basis van tot-P gehalte in IJsselmeer en Markermeer.

Figuur 14 Mogelijk gunstige morfologie van verdiepingen in Markermeer. Kenmerken:
- diepe trog voor grote slibberging;
- groot areaal flauwhellend talud ten behoeve van herstel benthisch systeem.
  Zie verder tekst.

BIJLAGE I: Indicatieve schatting van het visbestand in IJssel- en Markermeer. Uit: Ligtvoet & Grimm (1993).

Tabel 9. Indicatieve schatting van het visbestand (kg/ha)[1] in IJsselmeer (IJSM) en Markermeer (MM) aan de hand van een interpretatie van de bemonsteringsgegevens van Buijse et al. (1990, 1992), afkomstig van kuilvisserijen in oktober/november over de periode 1981-1988. Bemonsteringskarakteristieken: trekduur 10 min.; netopening 8 m; vaarsnelheid 5,8 km/uur. Blanko = geen data. Voor verdere uitleg zie bijlage II.

	baars[2]	snoekb[2]	pos	spiering	blankv.	brasem	aal[3]	totaal
IJSM								
1981	21,4	2,5	12,0	109,7	42,3	118,7	10	316,6
1982	21,4	2,5	3,3	82,1	61,4	45,8	10	226,5
1983	21,4	2,5	11,4	50,5	62,2	69,2	10	209,9
1984	21,4	2,5	1,6	41,0	60,5	136,7	10	239,6
1985	21,4	2,5	10,1	29,2	52,9	149,3	10	238,1
1986	21,4	2,5	22,0	55,6	47,5	197,7	10	307,3
1987	21,4	2,5	22,6	71,0	32,1	130,0	10	257,1
1988	21,4	2,5	19,4	33,9	12,4	43,2	10	132,0
gemiddeld	21,4	2,5	12,8	59,1	46,4	146,5[4]	10	298,7
%	7,2	0,8	4,3	19,8	15,5	49,9	3,4	100,0
	baars	snoekb	pos	spiering	blankv.	brasem[5]		totaal
MM								
1981	21,4	2,5	31,9	63,1				
1982	21,4	2,5	23,8	20,1				
1983	21,4	2,5	14,6	9,5	13,8			
1984	21,4	2,5						
1985	21,4	2,5	17,6	38,3	11,4			
1986	21,4	2,5	29,1	20,5	9,0			
1987	21,4	2,5						
1988	21,4	2,5	28,8	15,4	4,2			
gemiddeld	21,4	2,5	24,3	27,8	9,6	109,4	10	205,0
%	10,4	1,2	11,9	13,6	4,7	53,2	4,9	100,0

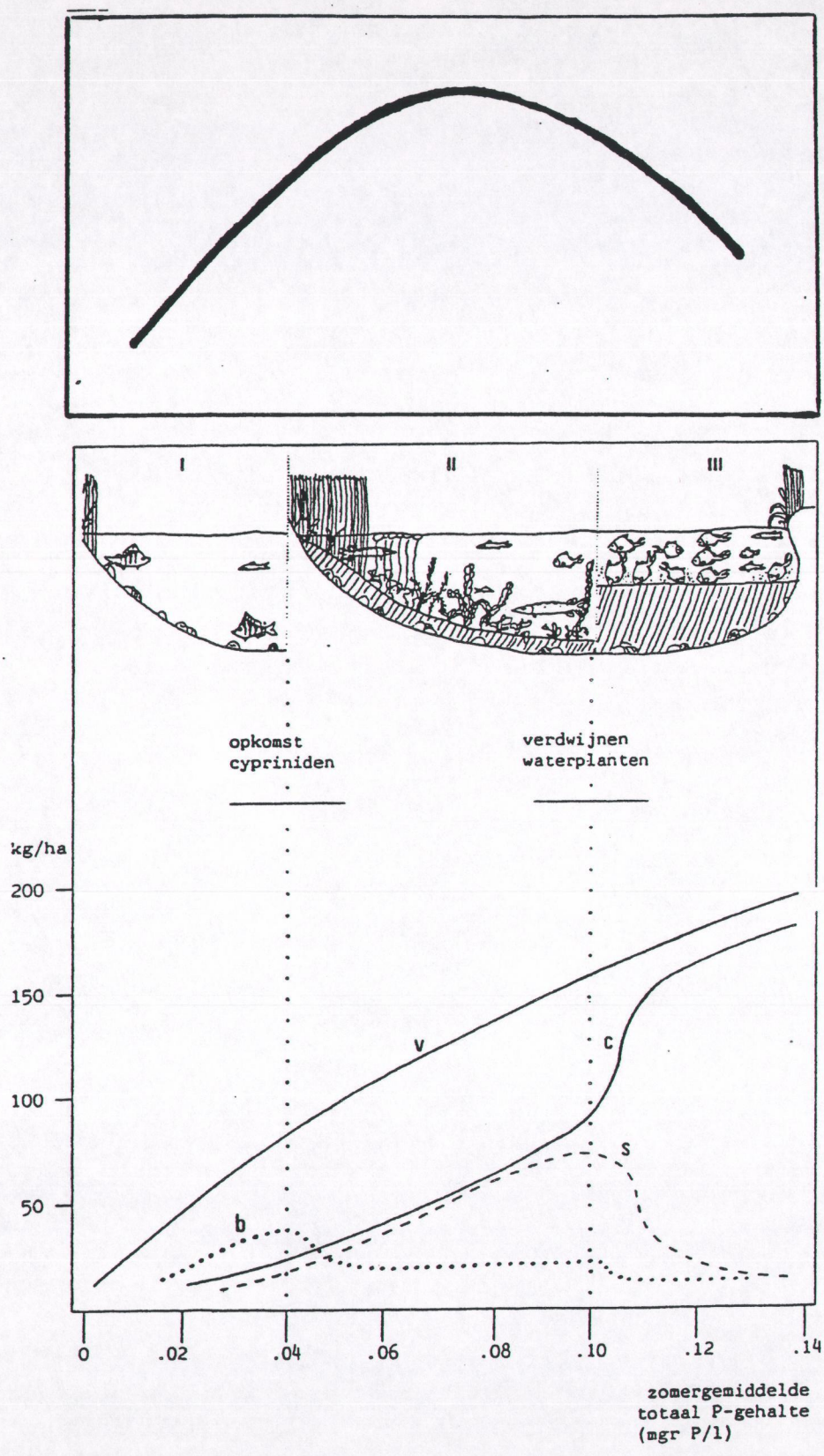
Aannamen:

1. Het aangehouden rendement van de gebruikte kuil is 60% voor grote brasem en 80% voor alle overige soorten (Witteveen+Bos, 1989) met uitzondering van spiering. Voor spiering wordt een rendement van 33% geschat.
2. Gemiddeld baars- en snoekbaarsbestand gebaseerd op een gemiddelde vangst in van respectievelijk 17,1 kg/trek en 2 kg/trek (Buijse et al., 1990) wordt representatief geacht voor de roofvisstand in het IJSM en MM in de periode 1981-1988.
3. Er zijn geen representatieve aalvangsten beschikbaar. De gemiddelde aalstand wordt geraamd op 10 kg/ha.
4. De schattingen voor brasem in het IJSM in 1982,'83 en '88 zijn waarschijnlijk onderschattingen. Het gemiddelde bestand is berekend over de overige 5 jaren.
5. Voor het MM zijn geen gegevens beschikbaar over brasem (zie Buijse et al., 1992). De vermelde brasemstand is berekend uitgaand van een totaal visbestand geraamd op basis van het P-gehalte.

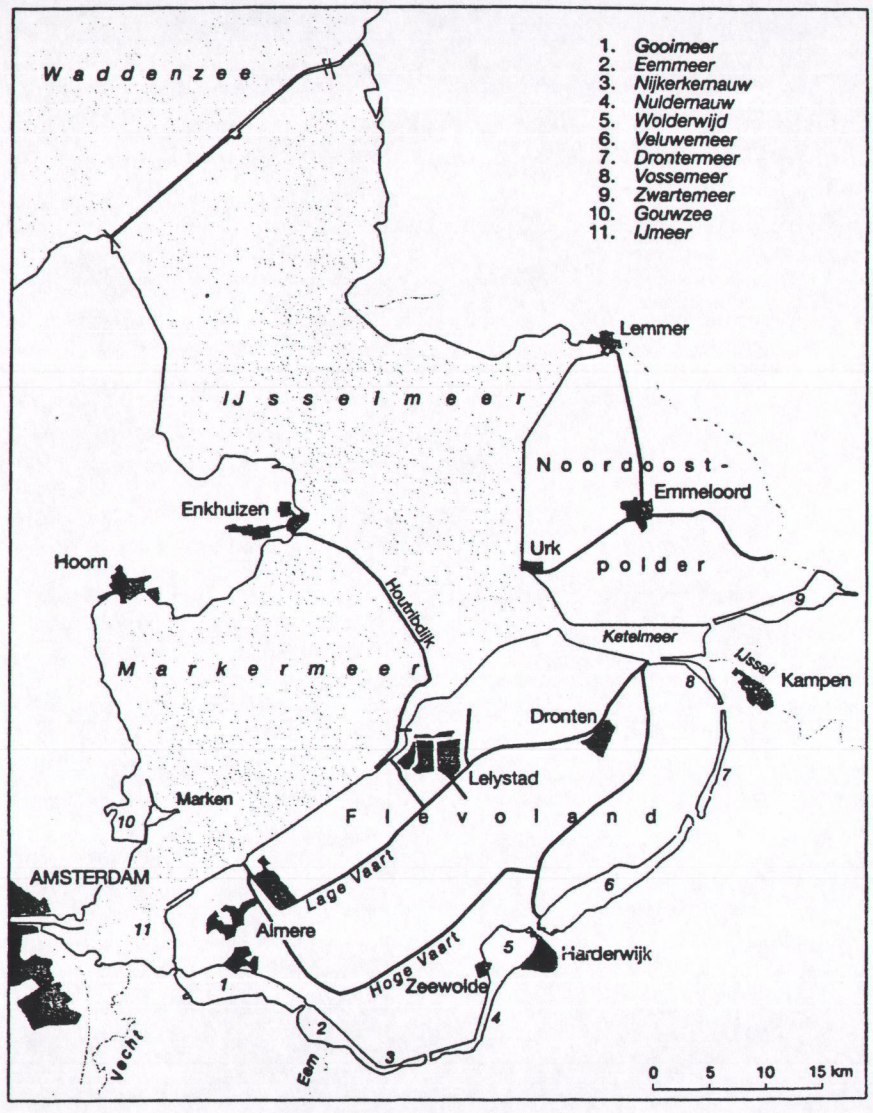
B = bacteriën
D = diepte
DZ = doorzicht
L = licht
T = temperatuur
d/f = detritus/faeces
O_2 = zuurstof
P = fosfaat
N = stikstof
R = resuspensie
S = bodemstabiliteit

Figuur 1a Vereenvoudigd voedselweb van het pelagisch systeem. De keten fytoplankton - zoöplankton - planktivore vis piscivore vis - piscivore vogels/visserij staat centraal. Aangegeven zijn de belangrijkste factoren die de componenten in deze keten beïnvloeden (vergelijk tabel 1).

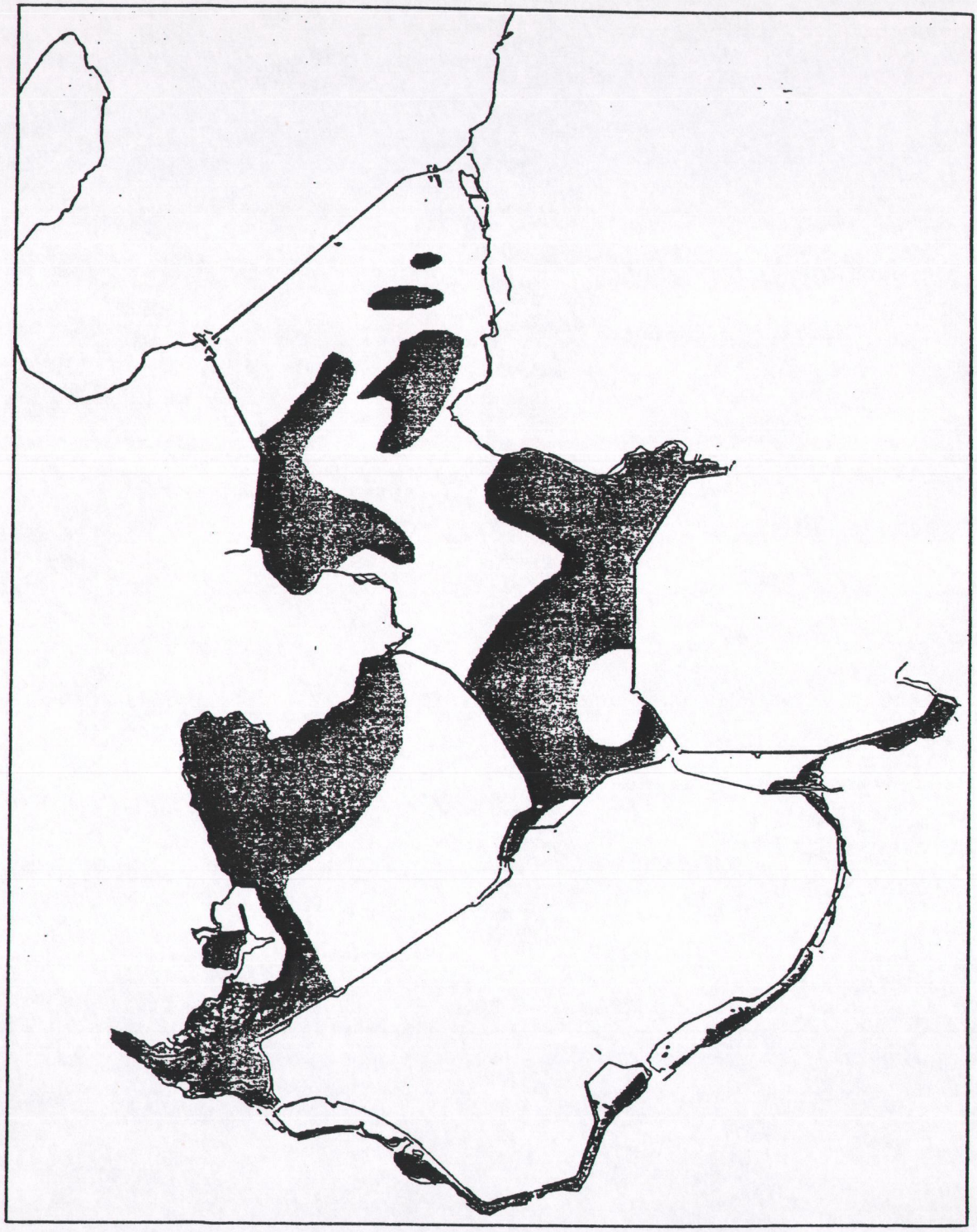
Figuur 1b Vereenvoudigd voedselweb van het benthisch systeem. De keten bacterieën/bodem-algen - zoöbenthos - benthivore vis/benthivore vogels - piscivore vis/ piscivore vogels/ visserij staat centraal. Aangegeven zijn de belangrijkste factoren die de componenten in deze keten beïnvloeden (vergelijk tabel 2).



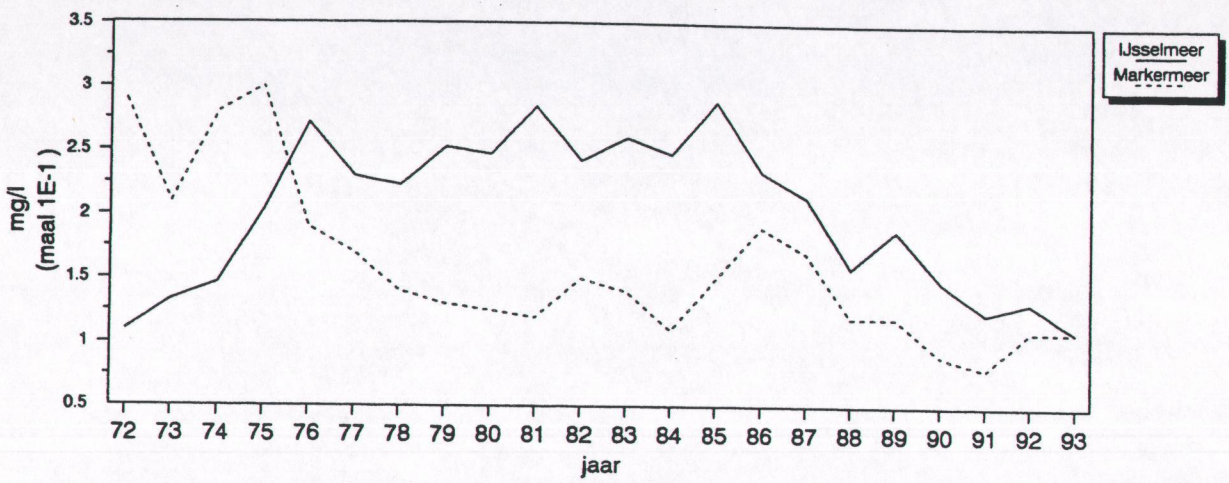
Figuur 2. Relatie tussen trofiegraad (zomergemiddelde tot-P gehalte in mg/l), omvang (kg/ha) en samenstelling van de visstand, ecosysteemtypen en diversiteit van de levensgemeenschap (boven).
Notatie: v - totale visbiomassa; b - baarsbiomassa; s - snoekbiomassa; c - cyprinidebiomassa; I - baars/blankvoorn water; II - snoek/zeelt water; III snoekbaars/brasem water. Naar Ligtvoet & Grimm (1992).



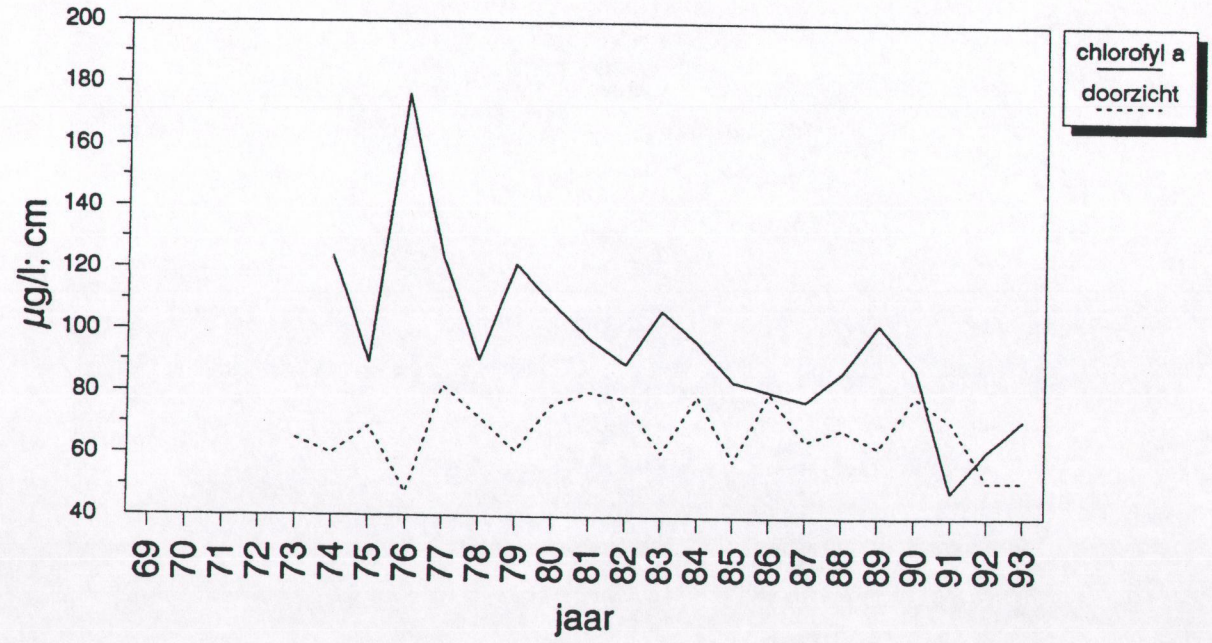
Figuur 3a Studiegebied IJsselmeer en Markermeer. Uit: Van Duin (1992).



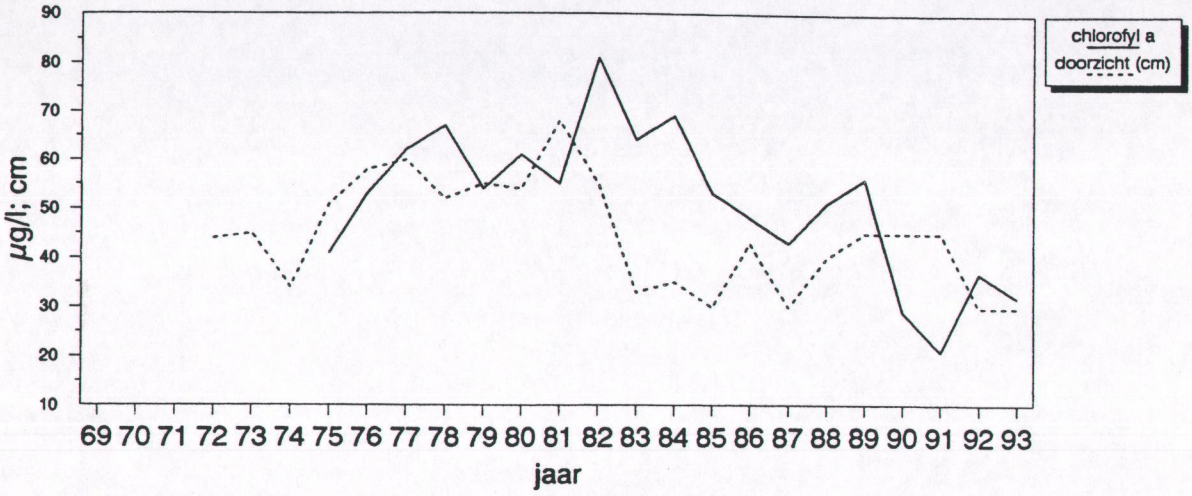
Figuur 3b Arealen in het IJsselmeer en Markermeer met hoge concentraties bodemfauna en bodemflora. Uit: RWS 1991, deel 2.



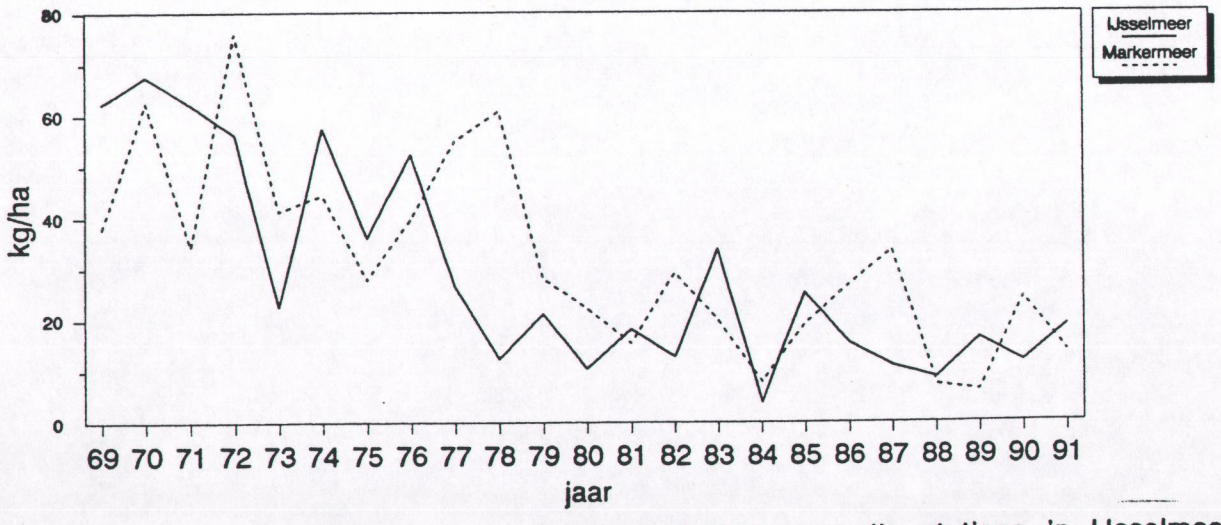
Figuur 4. Zomergemiddelde tot-P gehalte in IJsselmeer en Markermeer over de periode 1972-1993. Gegevens: RIZA Lelystad - M. van Oirschot.



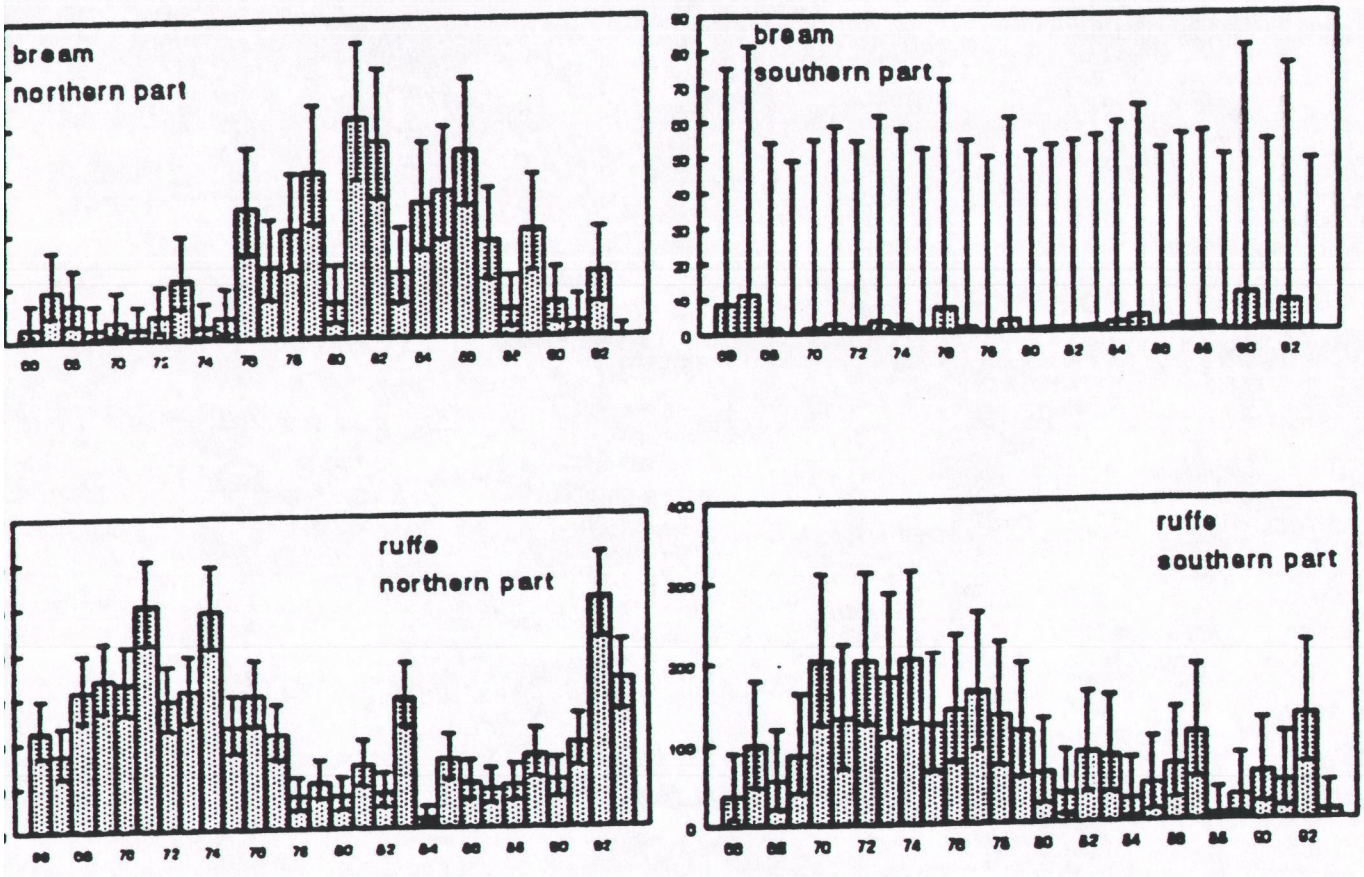
Figuur 5. Doorzicht en chlorofylgehalte in het IJsselmeer over de periode 1969-1993. Gegevens: RIZA Lelystad - M. van Oirschot.



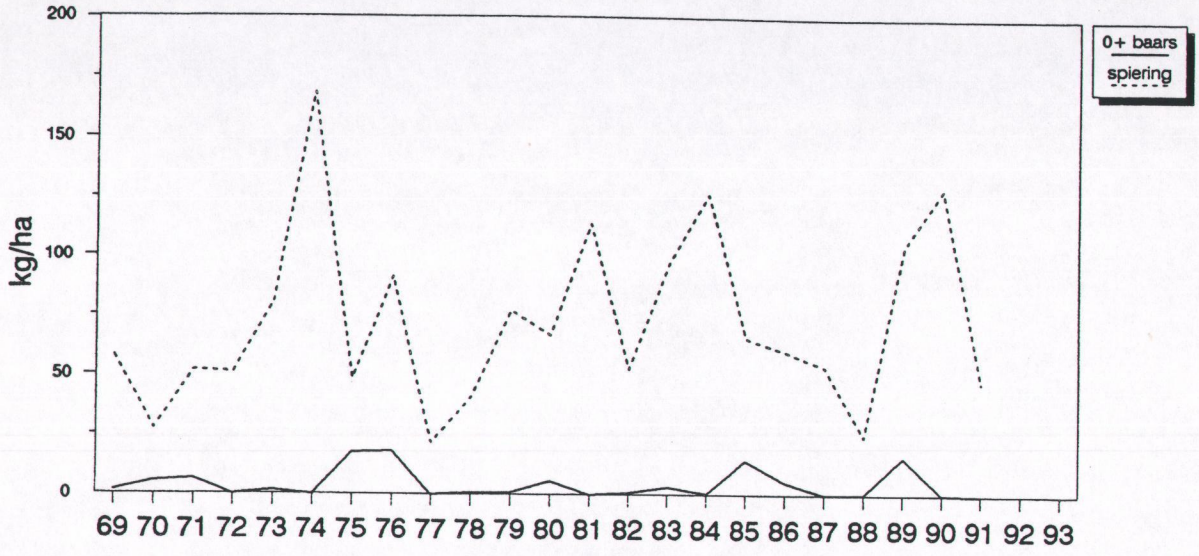
Figuur 6. Doorzicht en chlorofylgehalte in het Markermeer over de periode 1969-1993. Gegevens: RIZA Lelystad - M. van Oirschot.



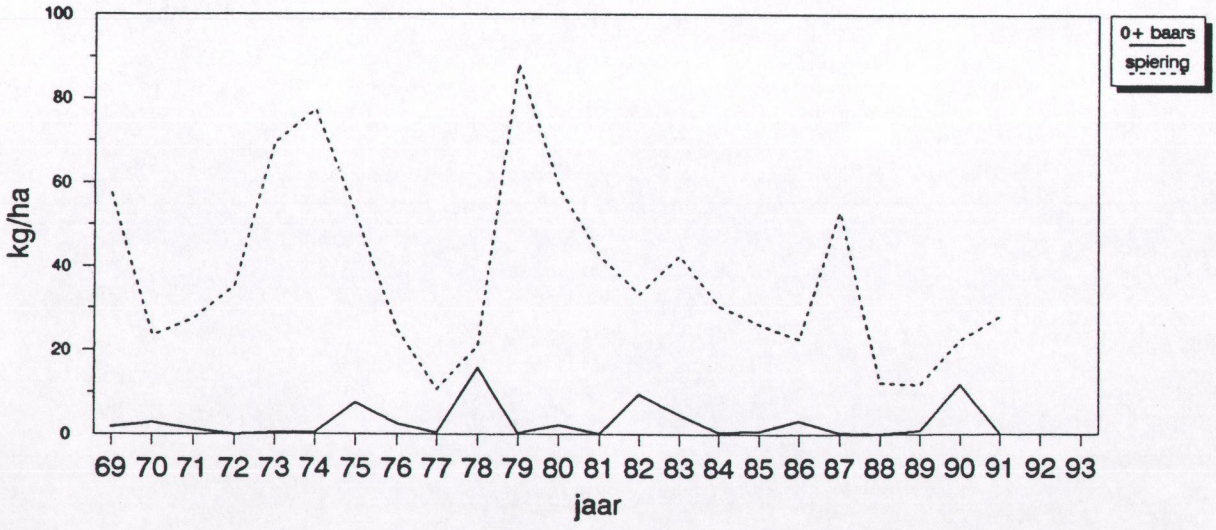
Figuur 7. Gemiddelde vangst van pos (kg/ha) over alle stations in IJsselmeer en Markermeer. Bron: Lanters (1992).



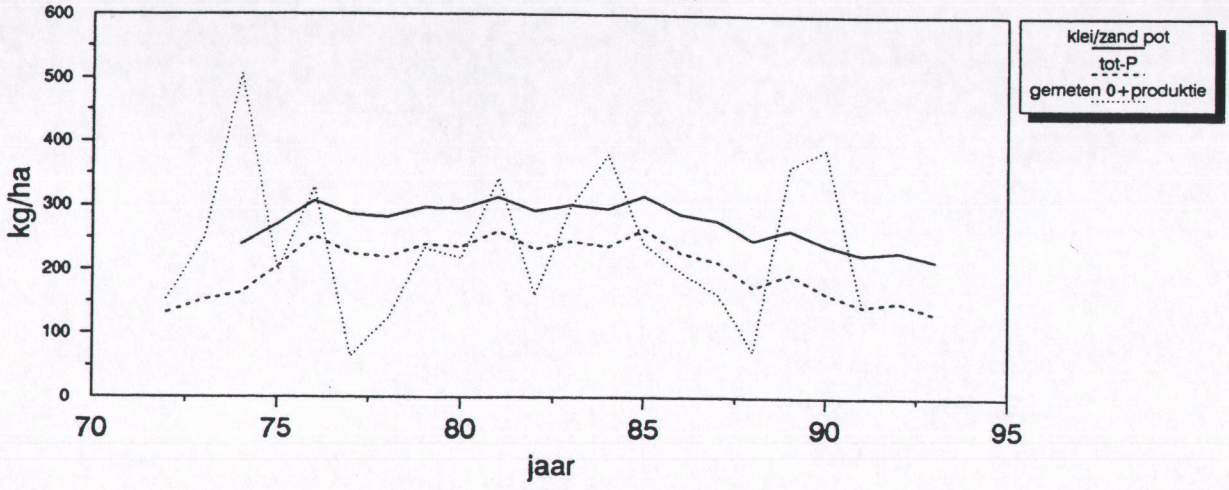
Figuur 8. Biomassa (kg/uur kuilen) aan brasem (boven) en pos (onder) in IJsselmeer (links) en Markermeer (rechts) over de periode 1966–1993. Gegevens: Buijse & Dekker (in press).



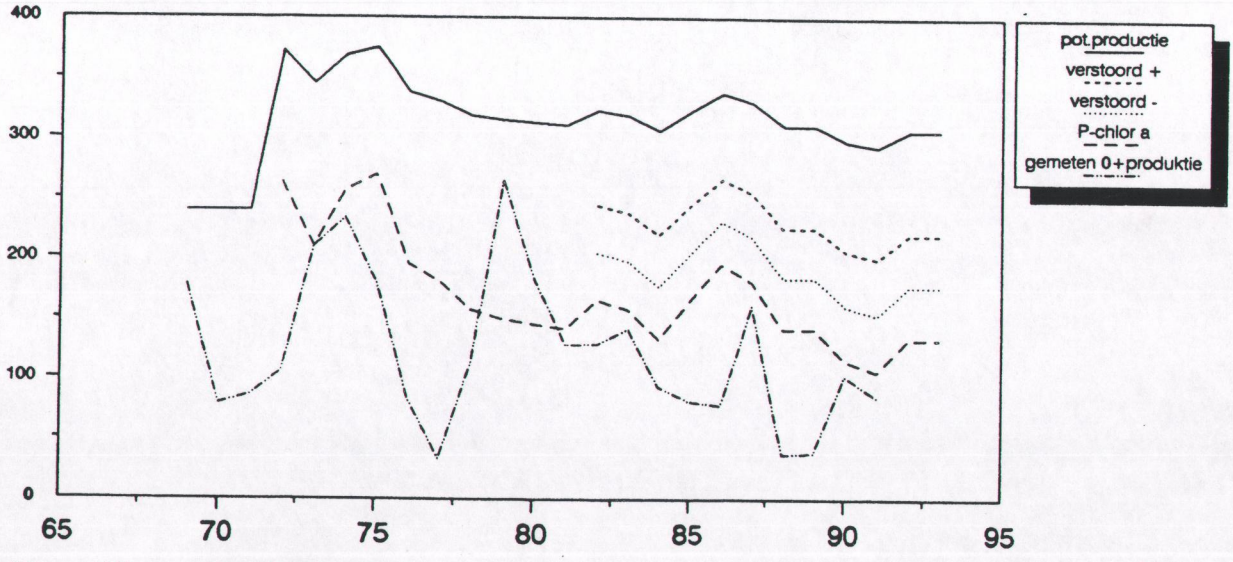
Figuur 9. Geschat bestand aan spiering en 0+ baars in het IJsselmeer over de periode 1969-1991. Gebaseerd op Dekker et al., 1992.



Figuur 10. Geschat bestand aan spiering en 0+ baars in het Markermeer over de periode 1969-1991. Gebaseerd op Dekker et al., 1992.

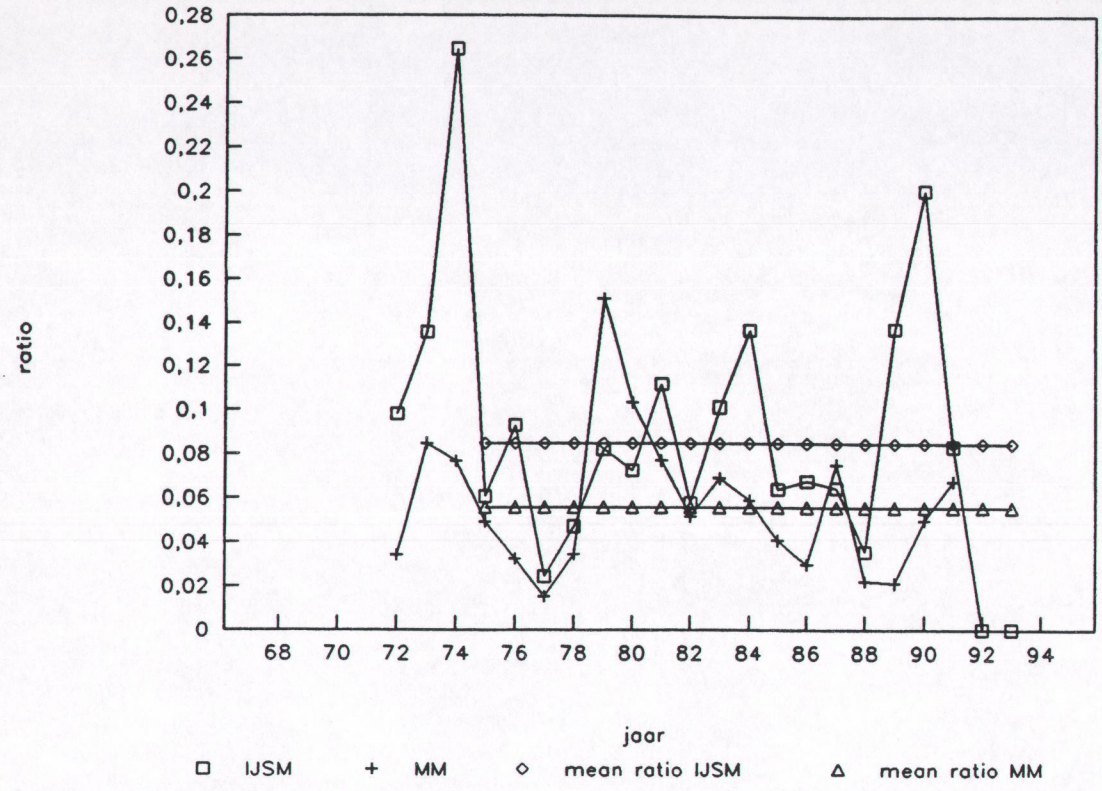


Figuur 11. Geschatte potentiële planktivore visproduktie in het IJsselmeer volgens twee scenario's vergeleken met de planktivore visproduktie geschat op basis van omvang planktivore visstand (vergelijk figuur 8). Scenario's:
- potentie op basis van tot-P gehalte en bijdrage van produktieve kleibodem;
- potentie op basis van tot-P gehalte zonder bijdrage van kleibodem.
Zie verder tekst.

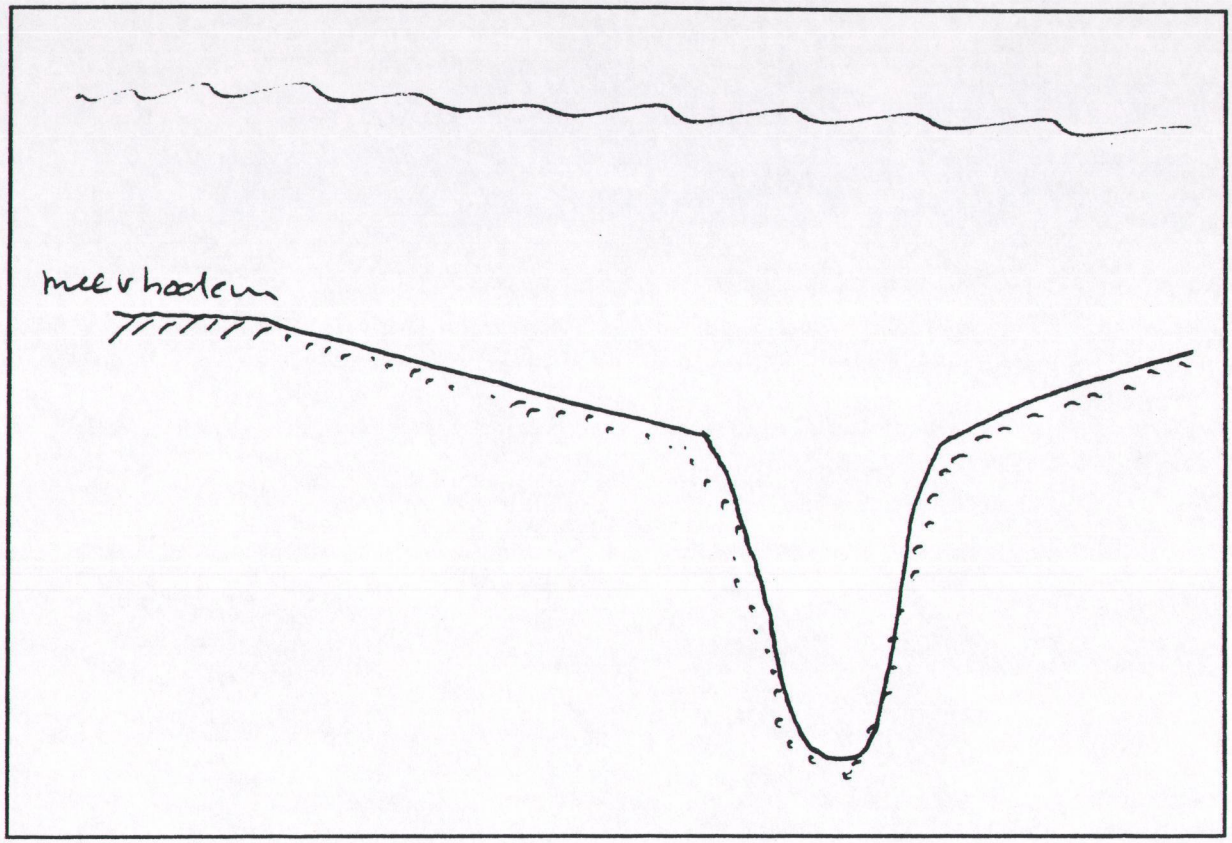


Figuur 12. Geschatte planktivore visproduktie in het Markermeer volgens vier scenario's vergeleken met de planktivore visproduktie geschat op basis van omvang planktivore visstand (vergelijk figuur 9). Scenario's:
- potentie op basis van tot-P gehalte en bijdrage van produktieve kleibodem;
- potentie op basis van tot-P gehalte en waarbij vanaf 1980 50% van de produktieve kleibodem geen verhoogde produktie kent;
- potentie op basis van tot-P gehalte en waarbij vanaf 1980 75% van de produktieve kleibodem geen verhoogde produktie kent;
- potentie op basis van tot-P gehalte zonder bijdrage van de kleibodem.

Zie verder tekst.



Figuur 13. Ratio vangst per eenheid van inspanning aan spiering / geraamde maximale planktivore visproduktie op basis van tot-P gehalte in IJsselmeer en Markermeer.



Figuur 14. Mogelijk gunstige morfologie van verdiepingingen in Markermeer. Kenmerken:
- diepe trog voor grote slibberging;
- groot areaal flauwhellend talud ten behoeve van herstel benthisch systeem.
Zie verder tekst.