

Vergaand defosfateren RWZI Harderwijk onder de loep

Rob Portielje, Eddy Lammens, Leo van Ballegooijen, Ruurd Noordhuis

maart 2005

RIZA Werkdocument 2005.062X



Vergaand defosfateren RWZI Harderwijk onder de loep

RIZA Werkdocument 2005.062X

Inhoudsopgaven

1 Inleiding	5
2 Ontwikkelingen waterkwaliteit en ecosysteem	7
2.1 Fysisch-chemische waterkwaliteit.....	7
2.2 Waterplanten	8
2.3 Vis	8
2.4 Driehoeksmosselen.....	12
2.5 Watervogels.....	13
3 Modelaanpassingen	17
3.1 Algemeen	17
3.2 Modelvergelijkingen	17
4 Scenarioberekeningen	21
5 Resultaten	23
5.1 Kansverdelingen voor totaal-P, chlorofyl-a en doorzicht	23
5.2 Overschrijdingskansen van kritische waarden voor totaal-P en doorzicht	27
5.3 Chara-bedekking in relatie tot doorzicht.....	28
6 Conclusies	31
6.1 Ontwikkeling waterkwaliteit en ecologie over de periode 1999-2003	31
6.2 Toekomstige ontwikkelingen en effecten van de vierde trap zuivering.....	31
Referenties.....	33

1 Inleiding

In het midden van de jaren negentig zijn de Veluwerandmeren omgeslagen van een troebel, door draadvormige blauwalgen gedomineerd ecosysteem naar een helder, door ondergedoken waterplanten (voornamelijk kranswieren) gedomineerd ecosysteem. In 1999 is de Stabiliteitsstudie Veluwerandmeren (Meijer et al., 1999) uitgevoerd. Hierin is geanalyseerd in hoeverre de verbeterde toestand van de ecosystemen van de Veluwerandmeren, met helder water en uitgebreide velden ondergedoken waterplanten, bestand is tegen variaties van jaar tot jaar in weersomstandigheden en tegen de verwachte toekomstige ontwikkelingen in externe belasting. Daarnaast is geanalyseerd in hoeverre de te verwachten toename in externe belasting met fosfor (P) door autonome ontwikkelingen (klimaat, bevolkingsgroei) gecompenseerd kan worden door aanvullende maatregelen, met name de installatie van een vierde traps zuivering bij de RWZI Harderwijk en de aanleg van de Delta Schuitenbeek.

De conclusies van de Stabiliteitsstudie (Meijer et al., 1999), en bij een update daarvan (Portielje en Rijdsijk, 2003) waarbij aanvullende waterkwaliteitsgegevens van de meren tot en met 2000 zijn toegevoegd, waren:

- 1) De te verwachten toename in de externe belasting van het Veluwemeer wordt vrijwel volledig gecompenseerd door introductie van een vierde-trap zuivering bij de RWZI Harderwijk.
- 2) Voor een stabiel helder ecosysteem met een zomergemiddeld doorzicht van gemiddeld één meter een interne bedekking (totale bedekking gecorrigeerd voor de dichtheid van de vegetatie) met waterplanten van 30% van het totale meeroppervlak gehandhaafd zou moeten worden.

In juni 2000 is met de bestuurlijke overeenkomst tussen het Waterschap Veluwe en Rijkswaterstaat IJsselmeergebied in het kader van BOVAR-IIVR een principe besluit genomen over de uitvoering van vergaand defosfateren bij de rwzi Harderwijk (IIVR maatregel WA1). Dit besluit is in juni 2001 bekrachtigd in het convenant IIVR. Destijds is tevens afgesproken dat medio 2005 het definitieve besluit over de bouw zal worden genomen. In de voorliggende studie wordt onderzocht in hoeverre de twee bovengenoemde conclusies, met inachtneming van de ontwikkelingen in de Veluwerandmeren in de periode tot en met 2003, en veranderde inzichten in de autonome ontwikkeling tot 2015 en tot 2030, nog steeds geldig zijn.

Ten behoeve van de Stabiliteitsstudie (Meijer et al., 1999) is een empirisch model ontwikkeld dat de relaties tussen externe fosforbelasting, eutrofiëringsvariabelen en de toestand van het aquatisch ecosysteem beschrijft. Om de nieuwe vragen te analyseren, is van dit model een update gemaakt door gegevens uit recente jaren toe te voegen en de relaties tussen fosforbelasting, eutrofiëringsvariabelen en ecosysteemvariabelen te herberekenen. Hiermee is vervolgens een aantal toekomstscenario's doorgerekend.

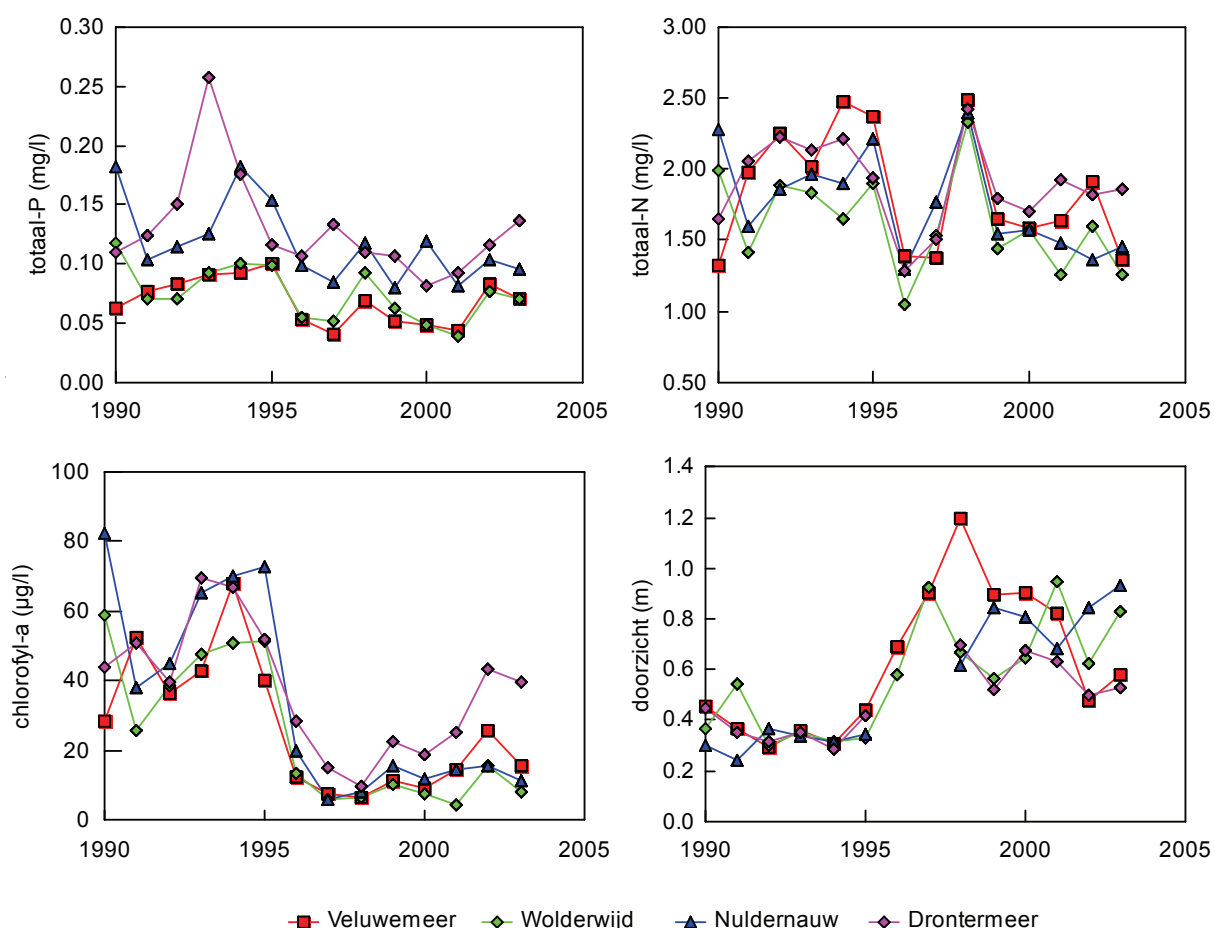
Leeswijzer

In hoofdstuk 2 worden de ontwikkelingen in de waterkwaliteit (eutrofiëring indicerende parameters) en het aquatisch ecosysteem (fytoplankton, waterplanten, driehoeksmosselen, vis en watervogels) over de periode tot en met 2003 beschreven. Hoofdstuk 3 beschrijft de modelaanpassingen ten gevolge van het toevoegen van recente meetgegevens. Met het aangepaste model wordt een aantal scenario's doorgerekend, die beschreven worden in hoofdstuk 4. Hoofdstuk 5 beschrijft de resultaten van de scenarioberekeningen en hoofdstuk 6 de conclusies.

2 Ontwikkelingen waterkwaliteit en ecosysteem

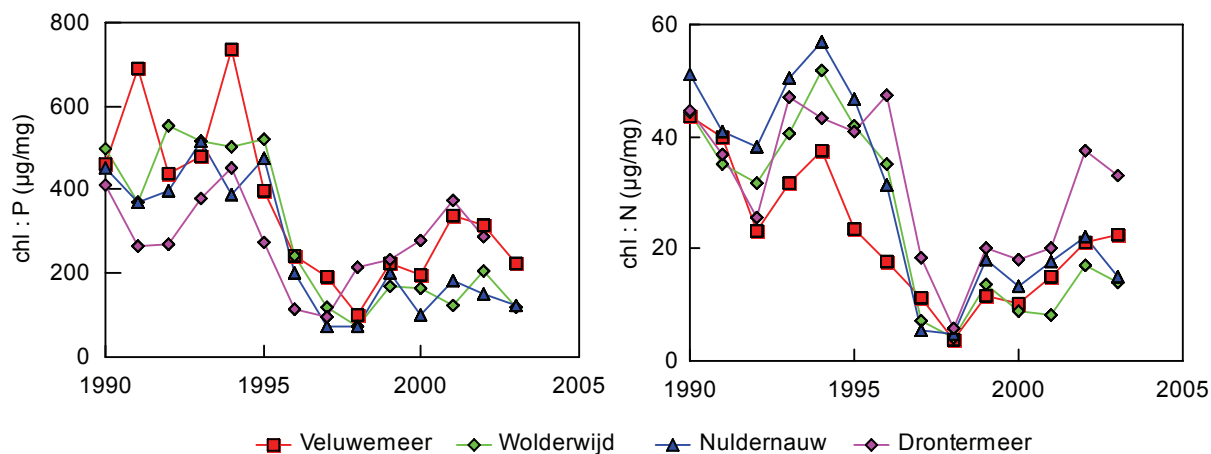
2.1 Fysisch-chemische waterkwaliteit

Figuur 2.1 geeft de ontwikkelingen van de zomergemiddelden voor totaal-P, totaal-N, chlorofyl-a en doorzicht in het Veluwemeer over de periode 1990-2003. Opvallend in de recente jaren is de forse toename van totaal-P tussen 2001 en 2002. Deze toename ging gepaard met een toename van chlorofyl-a en een afname van het doorzicht. Voor stikstof is de variatie van jaar tot jaar vooral afhankelijk van de verschillen tussen droge en natte jaren. De jaren 1996 en 2003 waren zeer droog, terwijl 1994 en 1998 juist nat waren. De chlorofyl-a concentraties hebben zich na de zeer sterke afname in alle meren tussen 1995 en 1996 gestabiliseerd op een niveau van rond of onder de 20 $\mu\text{g/l}$. Het Drontermeer, waar deze concentraties weer geleidelijk opgelopen zijn tot circa 40 $\mu\text{g/l}$, is hierop een uitzondering. In het Veluwemeer was in 2002 een (tijdelijke) toename te zien. Wat betreft het doorzicht is er in het Veluwemeer tussen 2001 en 2002 sprake geweest van een forse afname van ruim 0,8 m naar 0,5 m. In 2003 heeft het doorzicht zich weliswaar enigszins hersteld, maar was nog niet op het oude niveau terug.



Figuur 2.1. Zomergemiddelden voor totaal-P, totaal-N, chlorofyl-a en doorzicht in het de Veluwerandmeren over de periode 1990-2003.

De ratio's tussen chlorofyl-a en nutriënten zeggen iets over de top-down controle van het fytoplankton door o.a. grazers. Na een gestage afname van de chlorofyl-a : totaal-P en chlorofyl-a : totaal-N ratio's tussen 1994 en 1998, is er sindsdien weer sprake van een geleidelijke toename (Figuur 2.2). Dit duidt dus op een verminderde top-down controle van het fytoplankton door met name graas door zoöplankton.



Figuur 2.2. Zomergemiddelde ratio's chlorofyl : totaal-P en chlorofyl : totaal-N over de periode 1990-2003.

2.2 Waterplanten

Waterplanten zijn volledig gekarteerd in 2001 en 2003. In 2002 is in Veluwemeer een beperkte kartering uitgevoerd. De ontwikkelingen laten zien dat tussen 2001 en 2002 de bedekking in het Veluwemeer met kranswieren aanzienlijk is afgenomen. In 2003 lijkt deze afname tot stilstand te zijn gekomen. De afname van de waterplanten tussen 2001 en 2002 trad dus tegelijkertijd op met een toename van totaal-P en chlorofyl-a, en een afname van het doorzicht (zie figuur 2.1). In de overige meren is er sprake van een gestage toename van de interne bedekking.

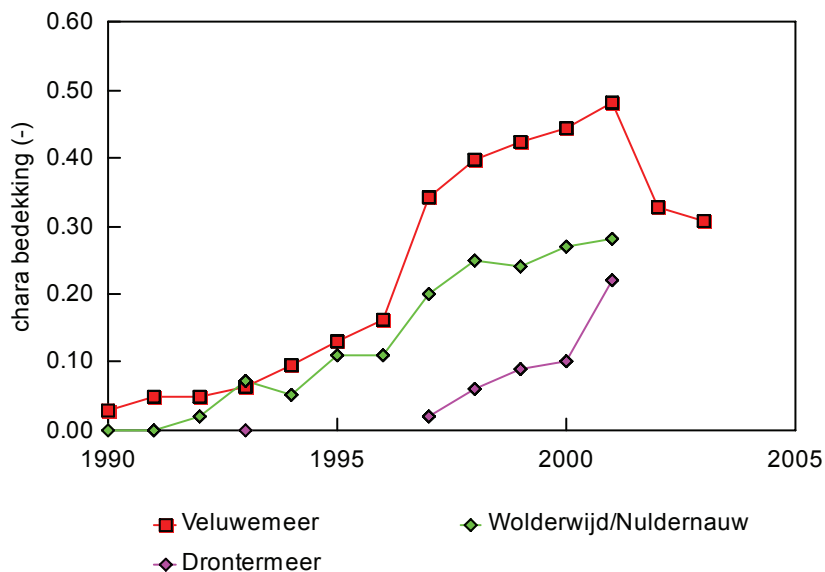
2.3 Vis

De verandering in vissamenstelling in Veluwemeer en Drontermeer

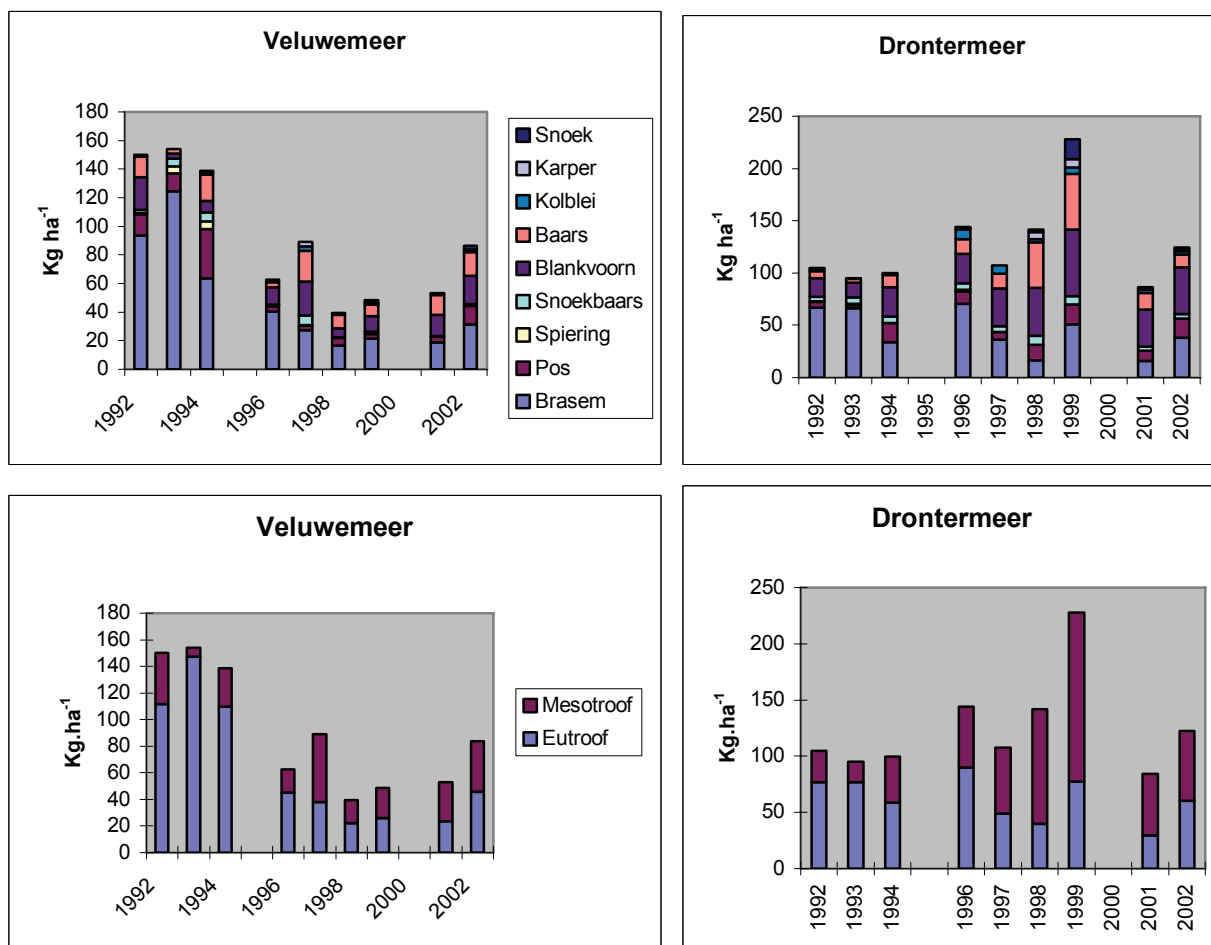
Sinds 1992 is er een verandering opgetreden in dichtheid en samenstelling van de visstand in Veluwemeer. Er is sprake van een afname van ca. 150 kg ha⁻¹ in 1992 naar 50 kg ha⁻¹ in 1999, waarbij vooral de eutrofe soorten afnemen. Daarna is er weer een geleidelijke toename naar 80-90 kg ha⁻¹ in 2002 (figuur 2.4). De toename wordt veroorzaakt door toename van zowel de eutrofe soorten brasem en pos als de mesotrofe soorten baars en blankvoorn.

In het Drontermeer is er slechts sprake van een fluctuatie, hoewel er een verschuiving is opgetreden van vnl. eutrofe naar mesotrofe soorten.

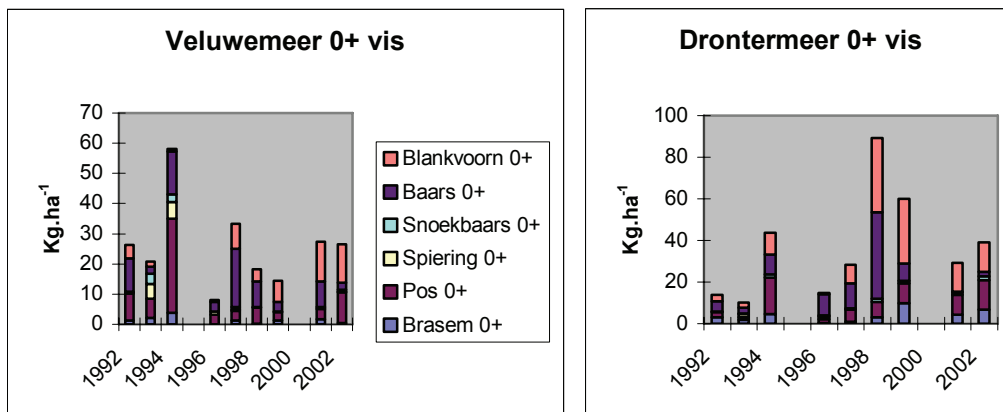
De totale recruitering van 0⁺ vis in Veluwemeer laat geen significante verandering zien (figuur 2.5). De totale hoeveelheid varieert rondom 20 kg.ha⁻¹. Deze hoeveelheid is voldoende om een najaarspiek van *Daphnia* weinig kans te geven. Binnen de soorten is er een geringe verschuiving opgetreden van eutrofe soorten (brasem, pos) naar mesotrofe soorten (baars en blankvoorn). Na 2000 zwakt dit effect enigszins af in zowel Veluwemeer als Drontermeer.



Figuur 2.3. Interne (voor dichtheid gecorrigeerde) bedekking met kranswieren in Veluwemeer, Wolderwijd/Nuldernaau en Drontermeer. De interne bedekking is berekend op basis van bedekkingsklassen 0 tot en met 7 (0, 0-1, 1-5, 5-15, 15-25, 25-50, 50-75 en 75-100%), uit de fractie van het areaal binnen iedere bedekkingsklasse.



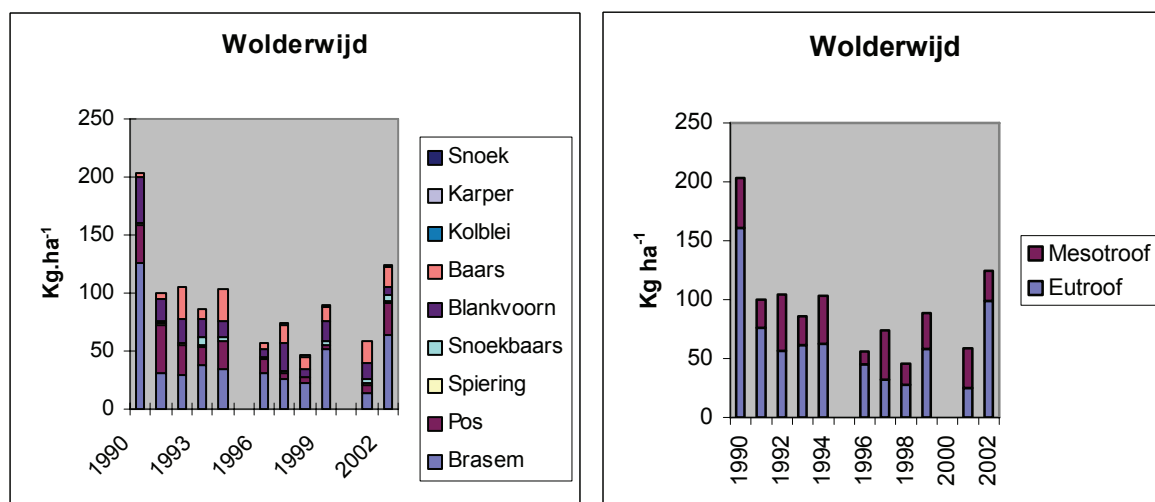
Figuur 2.4. Verandering in de samenstelling van de visstand in Veluwemeer en Drontermeer weergegeven als de meest dominante soorten (boven) en de meest dominante groepen.



Figuur 2.5. Verandering in de samenstelling van de 0+ vis in Veluwemeer en Drontermeer

De verandering in vissamenstelling in Wolderwijd en Nuldernaauw

Na de afvisning in Wolderwijd en Nuldernaauw in de winter van 1990/1991 is de visstand gedaald tot ca. 100 kg.ha⁻¹, en in de tweede helft van de jaren negentig verder tot ca 50 kg.ha⁻¹ (figuur 2.6). Net als in het Veluwemeer lijkt de visstand vanaf 2000 weer geleidelijk toe te nemen tot meer dan 100 kg ha⁻¹. Het zijn vooral de eutrofe soorten brasem en pos die hiervoor verantwoordelijk zijn.



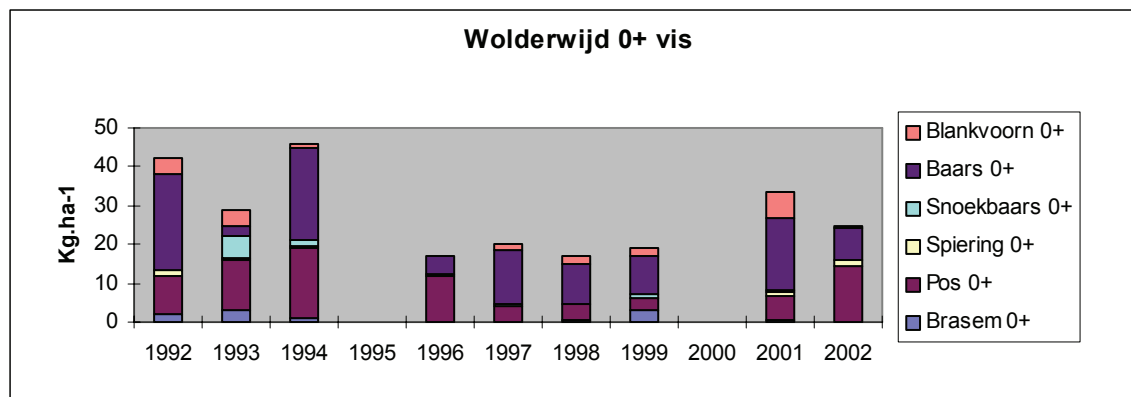
Figuur 2.6 Verandering in de samenstelling van de visstand in Wolderwijd (samen met Nuldernaauw) weergegeven als de meest dominante soorten (links) en de meest dominante groepen.

De totale hoeveelheid 0⁺ vis laat een sterke daling van de eutrofe soorten zien tot 2000 (figuur 2.7), daarna nemen zowel de eutrofe als mesotrofe soorten toe. Pos en baars zijn gedurende de gehele periode dominant in Wolderwijd.

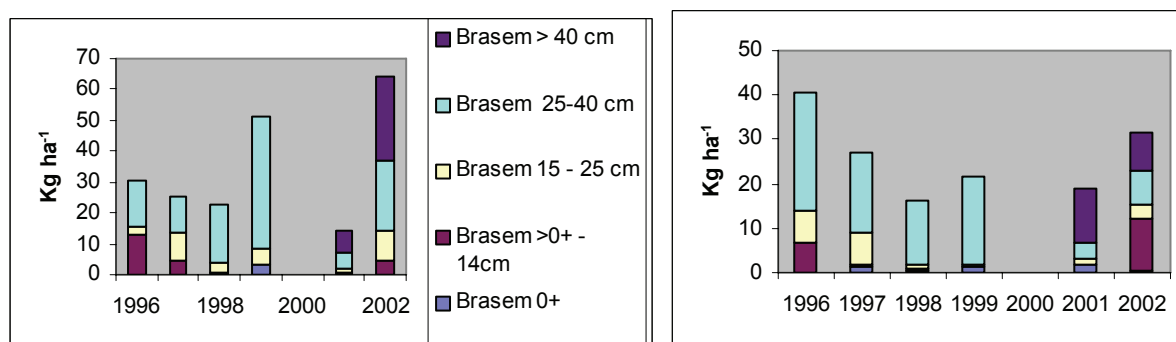
Verandering in de grootte-samenstelling van de brasem populatie

Vanaf 1992 is er door enkele beroepsvissers intensief op brasem gevestigd. Het effect hiervan was dat de grootte-samenstelling van de brasempopulatie veranderde doordat de vis >15 cm sterk gereduceerd werd (figuur 2.8). Brasem >40 cm kwam als gevolg van deze visserijdruk niet meer voor. Sinds 1998 is het aandeel grote brasem flink toegenomen, wat een sterke indicatie is dat de visserijdruk sterk is afgenomen. Brasem krijgt kans om door te groeien en dit is voldoende om de populatie te laten groeien zolang er voldoende voedsel is. Zolang de kranswieren elk jaar weer de kans krijgen om op te komen, blijft de draagkracht beperkt, maar zodra het areaal afneemt door een afname van de

helderheid kan de populatie verder uitbreiden en zal het steeds moeilijker voor de kranswieren zijn om terug te komen. Dit houdt een risico in voor de stabiliteit van het heldere, door waterplanten gedomineerde toestand.



Figuur 2.7. Verandering in de samenstelling van de 0⁺ vis in Wolderwijd



Figuur 2.8. Verandering in de grootte- samenstelling van brasem populatie in Wolderwijd/Nuldernew (links) en Veluwemeer (rechts).

Aantal soorten

Opvallend is verder dat in deze korte periode een sterke toename van het aantal soorten optrad van 9 in 1992 naar 16 in 1998 en 21 in 2002. Alle nieuwe soorten zijn direct of indirect verbonden met de ontwikkeling van vegetatie. In 1996 waren afgezien van de bittervoorn alle hier genoemde soorten reeds gevangen met het elektrisch schepnet in een onderzoek van Perrow (1996). Omdat de 'nieuwe' soorten geassocieerd zijn met vegetatie zijn ze met kuil moeilijker te vangen dan de open water soorten die tot 1992 alleen voorkwamen.

Tabel 2.1. Lijst van soorten geregistreerd in de kuilvisserij (bron: Witteveen + Bos).

Soort	1992	1998	2002
Aal	+	+	+
Alver		+	+
Baars	+	+	+
Bittervoorn			+
Blankvoorn	+	+	+
Brasem	+	+	+
Driedoornige Stekelbaars		+	+
Giebel			+
Karper	+	+	+
Kleine Modderkruiper		+	+
Kolblei	+	+	+
Pos	+	+	+
Rietvoorn		+	+
Rivierdonderpad			+
Roofblei			+
Snoek		+	+
Snoekbaars	+	+	+
Spiering	+	+	+
Tienddoornige Stekelbaars		+	+
Winde		+	+
Zeelt			+

2.4 Driehoeksmosselen

De totale dichtheden van Driehoeksmosselen waren in 2002 lager dan in 2000 (Tabel 2.2). Dit gold alleen niet voor de grotere mosselen in het Veluwemeer (> 6mm). De filtratiecapaciteit was lager door verschillen in lengteverdeling en een hoger zwevend stof gehalte (bij hogere voedselconcentraties gaat de filtratiesnelheid omlaag). De filtratiecapaciteit FC is berekend met de formule $FC = 15,43 / (0,293 + 52,38 * e^{-0,367 * L})$, met FC de filtratiecapaciteit in ml per mossel per uur en L de schelpenlengte in mm. Deze formule is bepaald m.b.v. mosselen in het Wolderwijd, en de uitkomst is gecorrigeerd voor het inmiddels sterk afgenomen zomerhalfjaar gemiddelde zwevend stof gehalte volgens de formule $FC = 187,1 * e^{-0,037 * ZS}$, met ZS = zwevend stofgehalte in mg/l. De bemonsteringen zijn uitgevoerd door Bureau Waardenburg en RDIJ. De opname in 1996 heeft vroeger in het seizoen, voor de broedval, plaatsgevonden. De vergelijking van de totale dichtheden met de overige jaren is daarom niet relevant. In het Drontermeer en het Nulderneauw was de achteruitgang relatief sterk en werden ook de waarden van 1998 niet gehaald. In het Veluwemeer en Wolderwijd lagen de waarden tussen die van 1998 en 2000 in. Opvallend is de lage dichtheid van levende Unionidae (zwanemosselen), waarvan de schelpen belangrijk aanhechtingssubstraat voor Driehoeksmosselen vormen. Toch was slechts ongeveer een kwart bezet met mosselen. De korfmossel *Corbicula* werd in 2002 in vrij grote aantallen gevonden, en ook daarvan was een (klein) deel begroeid met driehoeksmosselen.

Ook uit de resultaten van de jaarlijkse bemonstering van de stenen oevers (Tabel 2.3) blijkt dat, behalve in het Nulderneauw, 2002 iets magerder was dan 2000. Op grond van deze reeks zou 2001 nog aanzienlijk slechter moeten zijn geweest, en was in 2002 al sprake van een herstel, dat, afgezien van het Drontermeer, in 2003 verder lijkt te zijn doorgezet. In de overige drie meren waren de aantallen zelfs zeer hoog in 2003. De dip in 2001 was vooral in het Drontermeer en het Veluwemeer extreem, en bij vergelijking met de watervogelgegevens (paragraaf 2.5) blijkt dat in de daaropvolgende winter van 2001/02 alle drie de benthivore eenden (Kuiфеend, Tafelend en Brilduiker) en ook de Meerkoet slechts met lage aantallen vertegenwoordigd waren.

Tabel 2.2. Overzicht van gemeten dichtheden en via de lengteverdeling berekende filtratiecapaciteit van mosselpopulaties in de Veluwerandmeren. De filtratiecapaciteit FC is berekend met de formule $FC = 15,43 / (0,293 + 52,38 * e^{-0,367 * L})$, met FC de filtratiecapaciteit in ml per mossel per uur en L de schelpenlengte in mm. De filtratiecapaciteit is weergegeven voor de totale populatie en voor de fractie mosselen groter dan 10 mm (Smits et al. 2003).

	Drontermeer	Veluwemeer	Wolderwijd	Nuldernauw
Dichtheid totaal in aantal per m2				
1996		239	64	16
1998	220	1249	1977	758
2000	148	1558	3148	827
2002	22	1153	1188	279
Dichtheid mosselen vanaf 7 mm in aantal per m2				
1996		231	71	16
1998	34	164	479	79
2000	67	302	681	306
2002	17	456	524	109
Filtratie per m2 in liter per dag totale populatie				
1996		195	76	32
1998	30	236	340	174
2000	79	385	645	216
2002	9	354	452	80
Filtratie per m2 in liter per dag mosselen >10mm				
1996				
1998	24	131	462	98
2000	99	377	585	96
2002	10	298	390	35
Dichtheid levende Unionidae in aantal per m2				
1996		2,6	4,2	28,8
1998	18,6	4,4	12,3	8,8
2000	9,3	6,5	31,9	8,8
2002	12,9	2,9	8,5	4,2

Tabel 2.3. Aantal Driehoeksmosselen op vijf stenen uit de oeverbeschoeiing aan de polderzijde (bemonsteringen uit september/oktober, aantallen exclusief het kleinste broed).

	Drontermeer	Veluwemeer	Wolderwijd	Nuldernauw
1993	4	1	5	0
1994	11	28	95	11
1995	91	1113	225	18
1996	550	1500	124	15
1997	17	153	220	55
1998	69	175	250	158
1999	76	392	444	245
2000	215	190	437	520
2001	0	7	272	428
2002	94	141	427	776
2003	44	501	510	1500

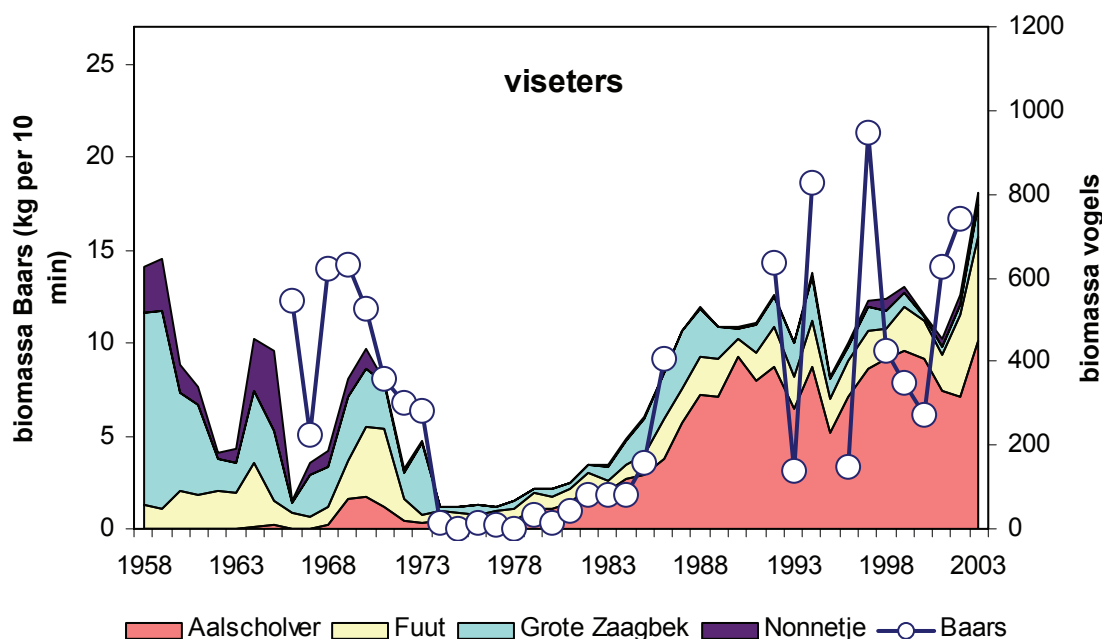
2.5 Watervogels

De seizoenen 2002/03 en vooral 2003/04 waren goed voor watervogels in de Veluwerandmeren, met record aantallen van rond de 80.000 vogels in het Veluwemeer alleen, en in 2002/03 niet minder dan 168.000 in het gehele gebied, vooral dankzij een geschat aantal van meer dan 60.000 Smienten in het Nuldernauw.

Viseters

Na enkele seizoenen die voor sommige viseters iets minder waren, waren 2002/03 en vooral 2003/04 voor alle viseters goed (figuur 2.9). Futen en Nonnetjes bereikten records (d.w.z. sinds de jaren 70), Aalscholvers en Grote Zaagbekken herstelden zich van een tijdelijke inzinking en ook Visdieven en Zwarte Sterns bereikten relatief hoge aantallen. Lepelaars deden het opvallend goed in het Nuldernauw, waarschijnlijk in relatie tot de landschapontwikkeling na aanleg van de Schuitenbeekdam.

De totale visdruk in kg vogels van de vier eerstgenoemde soorten bereikte in 2003/04 recordhoogten in het Veluwemeer en in het Drontermeer (minstens twee keer zo hoog als anders, afgezien van een uitschieter in het Drontermeer in 1994/95). Hiermee was de visdruk daar veel hoger dan in het Nuldernauw, waar de predatiedruk normaal gesproken het hoogst is door hoge aantallen Aalscholvers. In het Wolderwijd was de visdruk zoals altijd het laagst als gevolg van juist lage aantallen Aalscholvers. Het Wolderwijd en het Drontermeer hebben gemiddeld gesproken een laag aandeel Aalscholvers en hoge aandelen Grote Zaagbekken en vooral Futen gemeen. De hoge biomassa van viseters in 2003/04 is opmerkelijk gezien de toename van grote Brasem die in dit rapport op grond van de visbemonsteringen van 2002 wordt gerapporteerd. Deze toename ging echter nog niet gepaard met afname van kleinere vissoorten als Baars en Blankvoorn. Op grond van de vogelgegevens moet de recrutering van vis in het algemeen in 2003 erg goed zijn geweest. Helaas zijn er echter in dat jaar geen visbemonsteringen uitgevoerd.

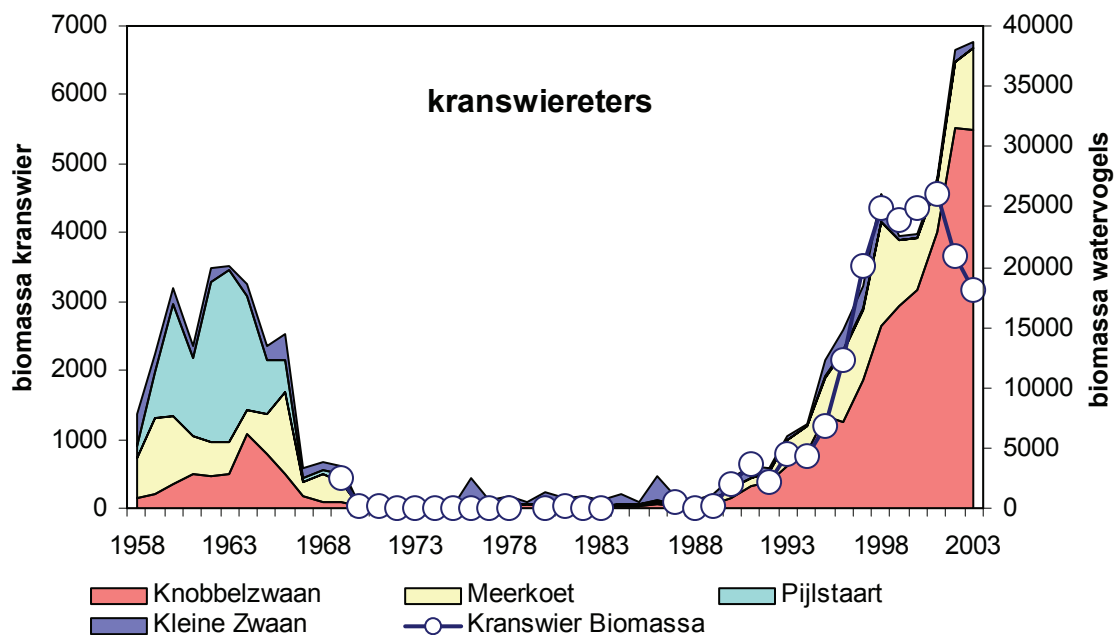


Figuur 2.9. Biomassa van Baars en de vier belangrijkste viseters (gemiddelde aantallen periode juli-juni vermenigvuldigd met gemiddeld lichaamsgewicht per soort) in het Veluwemeer, winter 1958/1959 tot en met winter 2003/2004.

Waterplanteneters

De waterplanteneters vertonen in het algemeen een beeld van stabilisatie (figuur 2.10). Het aantal Knobbelzwanen in het Veluwemeer groeide in 2002/03 nog fors door, maar in 2003/04 was geen sprake meer van toename van de gemiddelde aantallen. Na drie relatief magere jaren vertoonden Meerkoet en Kleine Zwaan herstel: de meerkoet bereikte in het laatste seizoen in het Veluwemeer opnieuw topaantallen van rond de 30.000. Met name het beginnend herstel in 2002/03 is opmerkelijk omdat de zomerconsumptie van Knobbelzwanen in de ondiepe delen in de tussentijd nog verder was toegenomen, terwijl het kranswierareaal op grotere diepte in 2002 fors was teruggelopen. Het aantal

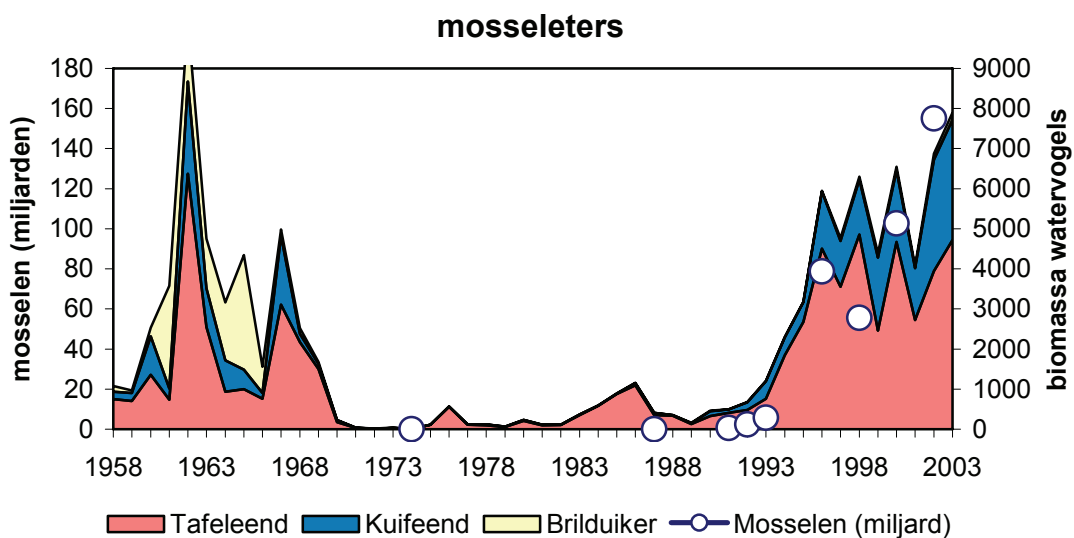
Kleine Zwanen is niet teruggekeerd op de aantallen van 1995-98 maar is ook niet verder afgenomen; de huidige aantallen passen in de range van de jaren tachtig, waardoor de trend over het geheel genomen min of meer neutraal is. In het Wolderwijd en Nuldernauw zijn de aantallen recent echter opvallend laag geweest. Al met al is de rol van concurrentie door Knobbelzwanen dus minder duidelijk dan eerder is gesuggereerd, en in het geval van de Kleine Zwaan speelt zeker ook de afname van de omvang van de internationale populatie een rol. Door de tot voor kort doorgaande toename van de aantallen Knobbelzwanen en het herstel van de Meerkoeten is de graasdruk op kranswier per kg toegenomen tot boven de lange tijd constante druk in de jaren negentig. Gedeeltelijk zou dit verklaard kunnen worden uit het feit dat een (toegenomen) deel van de consumptie al in het groeiseizoen plaatsvindt, zodat hergroei kan optreden, terwijl ook successie in de soortensamenstelling van de kranswervegetatie een rol kan spelen.



Figuur 2.10. Biomassa van kranswier en de vier belangrijkste waterplanteneters (gemiddelde aantallen periode juli-juni vermenigvuldigd met gemiddeld lichaamsgewicht per soort) in het Veluwemeer, winter 1958/1959 tot en met winter 2003/2004.

Mosseleeters

Ook de mosseleeters hebben na een korte dip de laatste twee seizoenen een goed herstel laten zien (figuur 2.11). De aantallen van Kuifeend en Tafeleend lijken daarmee stabiel. In het Drontermeer zijn de dichtheden relatief laag, maar ze stijgen nog wel. De Brilduiker zit na een korte dip in 2001/02 in het hele gebied nog in de lift, met nieuwe records sinds de jaren zeventig voor alle meren in 2003/04 en een totaal maximum van ongeveer 1100 vogels. De voedselbeschikbaarheid laat een vergelijkbaar beeld zien. Bij de kartering van mosselen in 2002 werden in het Veluwemeer en in het Nuldernauw hoge dichtheden gevonden. Uit de stenenbemonstering van de oevers in 2003 kwam vooral een doorgaande toename in Wolderwijd en Nuldernauw naar voren, waarbij de dichtheden in het Nuldernauw verreweg het hoogst waren en in het Drontermeer het laagst. De verspreiding en de dichtheden van de meest strikte mosseleer, de Kuifeend, beantwoordt daaraan.



Figuur 2.11. Dichtheid van Driehoeksmosselen en biomassa van de drie belangrijkste mosselelers (gemiddelde aantallen periode juli-juni vermenigvuldigd met gemiddeld lichaamsgewicht per soort) in het Veluwemeer, winter 1958/1959 tot en met winter 2003/2004.

3 Modelaanpassingen

3.1 Algemeen

De ontwikkeling van het gebruikte model is reeds uitvoerig beschreven in Portielje & Rijdsijk (2003). Het model is empirisch in de zin dat het volledig gebaseerd is op meetwaarden en de hieruit afgeleide onderlinge relaties (multivariate regressievergelijkingen) tussen de gemeten variabelen. Het is stochastisch in de zin dat onzekerheden en natuurlijke variaties (afwijkingen tussen de meetwaarden en de berekende waarden volgens de regressievergelijkingen) expliciet meegenomen worden. Hiermee wordt dus behalve de beste schatting (mediane waarde) ook een bandbreedte voor de uitkomst in de vorm van frequentie-intervallen gegeven.

Doordat het model empirisch is kan gemakkelijk een update worden gemaakt door nieuwe meetwaarden wanneer deze beschikbaar komen toe te voegen, en de multi-variate regressievergelijkingen opnieuw te berekenen. Dit kan leiden tot aanpassingen van de coëfficiënten van de modelvergelijkingen, maar ook tot een verandering van de set significant verklarende variabelen. Met SPSS wordt middels achterwaartse regressie bepaald welke van de geselecteerde verklarende variabelen daadwerkelijk een significante bijdrage leveren, en op basis van deze variabelen wordt een regressievergelijking berekend.

In het aangepast model wordt uitgegaan van interne bedekkingen van waterplanten op basis van zeven bedekkingsklassen (0, 0-1, 1-5, 5-15, 15-25, 25-50, 50-75, 75-100%). De interne bedekking wordt berekend uit de fractie van het areaal binnen iedere bedekkingsklasse vermenigvuldigd met de middenwaarde van de range behorende bij die klasse. Dit levert systematisch hogere interne bedekkingen dan destijds in de Stabiliteitsstudie (Meijer et al., 1999), waar werd uitgegaan van drie bedekkingsklassen (0, 0-15, 15-50, 50-100%). De oorzaak van deze systematische verhoging van de berekende bedekking is dat met name in oude bedekkingsklasse 3 (50-100%), een groot deel van de waarnemingen dichter tegen de 100% aanlag dan tegen de 50%. Opsplitsing van deze bedekkingsklasse in twee nieuwe klassen 50-75% en 75-100% levert dus systematisch een hogere interne bedekking.

3.2 Modelvergelijkingen

Aanvoerposten

Voor de aanvoerposten, beschreven via jaarlijkse debieten en totaal-P concentraties, is eerst via multivariate regressie onderzocht of er een significant verband is tussen de betreffende balanspost en één of meerdere onafhankelijke variabelen. Zo ja, dan wordt de gevonden regressievergelijking gebruikt in het model. Is dit niet het geval dan wordt de betreffende balanspost beschreven als normaal verdeelde stochastische variabele met een gemiddelde μ en standaarddeviatie σ

Tabel 3.1 geeft de gebruikte relaties of kansverdelingen voor de debieten van de belangrijkste aanvoerposten van water naar de Veluwerandmeren. Tabel 3.2 geeft de relaties of kansverdelingen van de bij de aanvoerposten behorende totaal-P concentraties. De water- en stofbalansen van de Veluwerandmeren in de periode 1999-2003 zijn uitvoerig beschreven in Smits (2005).

De autonome ontwikkelingen en vigerend beleid (Rijdsijk, 2004) zijn vertaald naar opzetfactoren die de relatieve verandering in de debieten of concentraties van aanvoerposten in 2015 en 2030 ten opzichte van de situatie in 2003 beschrijven. Deze opzetfactoren zijn gegeven in tabel 3.1 en 3.2.

Tabel 3.1 Gebruikte relaties of kansverdelingen voor de debieten van de aanvoerposten naar de Veluwerandmeren. ε is een normaal verdeelde ruisterm met gemiddelde $\mu=0$ en standaarddeviatie $\sigma(\varepsilon)$. De opzetfactor geeft de verwachte verandering in 2015 en 2030 ten opzichte van de huidige toestand.

	verdeling	Q (10^6 m ³ /jaar)	$\sigma(\varepsilon)$	opzetfactor	
				2015	2030
Algemeen					
neerslag	uit maandelijkse verdeling van neerslagcijfers			1.02	1.03
Veluwemeer					
gemaal Lovink	normaal	$\mu=174.5, \sigma=24.9$	n.v.t.	1.03	1.06
RWZI Harderwijk	regressie	$5.18 + 0.26 * Q_{vm\ neer} + \varepsilon$	0.53	1.31	1.62
beken	regressie	$2.57 + 0.46 * Q_{schuit} + \varepsilon$	0.105	1.06	1.12
kwel	normaal	$\mu=57.3, \sigma=2.8$	n.v.t.	0.91	0.81
Wolderwijd					
Schuitenbeek	relaties per maand met netto neerslag en grondwaterstand			0*	0*
overige beken	regressie	$2.569 + 0.456 * Q_{schuit} + \varepsilon$	0.105	1.07	1.13
Puttnergemaal	regressie	$-0.692 + 0.367 * Q_{ww\ neer} + \varepsilon$	1.073	0*	0*
aanvoer uit Veluwemeer	normaal	$\mu=74.9, \sigma=24.9$	n.v.t.		
kwel	normaal	$\mu=25.6, \sigma=0.44$	n.v.t.	1.00	1.00
Drontermeer					
Puttnerbeek	normaal	$\mu=9.9, \sigma=2.4$	n.v.t.	1.05	1.10
Gemaal de Wenden	normaal	$\mu=25.7, \sigma=4.5$	n.v.t.	1.01	1.02
Gemaal Kampen	normaal	$\mu=10.1, \sigma=3.5$	n.v.t.	1.01	1.02
RWZI Elburg	normaal	$\mu=7.3, \sigma=0.4$	n.v.t.	1.10	1.20
aanvoer uit Veluwemeer					

*) in 2015 en 2030 wordt de afvoer van Schuitenbeek en Puttnergemaal via Delta Schuitenbeek direct afgevoerd via Nijkerkersluis.

Tabel 3.2 Gebruikte relaties of kansverdelingen voor de fosforconcentraties van de aanvoerposten naar de Veluwerandmeren. ε is een normaal verdeelde ruisterm met gemiddelde $\mu=0$ en standaarddeviatie $\sigma(\varepsilon)$ De opzetfactor geeft de verwachte verandering in 2015 en 2030 ten opzichte van de huidige toestand.

	Verdeling	P (mg/l)	$\sigma(\varepsilon)$	opzetfactor	
				2015	2030
neerslag	constant	0.08	n.v.t.	1.00	1.00
Veluwemeer					
gemaal Lovink	normaal	$\mu=0.11, \sigma=0.018$	n.v.t.	1.03	1.06
RWZI Harderwijk	normaal	$\mu=0.72, \sigma=0.135$	n.v.t.	1.00	1.00
beken	normaal	$\mu=0.21, \sigma=0.029$	n.v.t.	1.35	1.35
kwel					
Wolderwijd					
Schuitenbeek	relaties per maand met debiet Schuitenbeek en grondwaterstand		n.v.t.		
overige beken		$0.11 + 0.346 * P_{\text{schuit}} + \varepsilon$	0.028	1.24	1.24
Puttnergemaal	normaal	$\mu=0.41, \sigma=0.08$	n.v.t.	1.35	1.35
aanvoer uit Veluwemeer	per tijdstap door model berekend		n.v.t.		
kwel					
Drontermeer					
Puttnerbeek	normaal	$\mu=0.15, \sigma=0.026$	n.v.t.	1.35	1.35
Gemaal de Wenden	normaal	$\mu=0.14, \sigma=0.039$	n.v.t.	1.00	1.00
Gemaal Kampen	normaal	$\mu=0.18, \sigma=0.058$	n.v.t.	1.00	1.00
RWZI Elburg	normaal	$\mu=0.77, \sigma=0.064$	n.v.t.	0.81	0.81
Aanvoer uit Veluwemeer	per tijdstap door model berekend				

Respons van het meerecosysteem

De relaties die de respons van het meerecosysteem (van externe belasting via concentraties van fosfor en chlorofyl-a in het meer naar doorzicht) beschrijven, zijn opnieuw berekend nadat de gegevens van de recente jaren zijn toegevoegd aan de database. Tabel 3.3 geeft de nieuwe relaties voor:

- de ratio $P_{\text{meer}}/P_{\text{in}}$, ofwel de ratio tussen de volume-gewogen gemiddelde concentratie in de inkomende balansposten en de zomergemiddelde totaal-P concentratie in het meer
- de ratio chl/P, ofwel de verhouding tussen de zomergemiddelde chlorofyl-a concentratie en de zomergemiddelde totaal-P concentratie, en
- de achtergrondstroebelings $1/SD_{\text{res}}$, ofwel de bijdrage aan de lichtuitdoving van componenten anders dan niet-levende algen.

De relaties in Tabel 3.3 zijn tot stand gekomen met behulp van achterwaartse regressie. Naast de interne bedekking met kranzwieren zijn ook de biomassa benthivore vis en de dichtheid van driehoeksmosselen als verklarende variabelen meegenomen, en in het geval van de ratio $P_{\text{meer}}/P_{\text{in}}$ ook de verblijftijd van het water. De biomassa van benthivore vis en de dichtheid van driehoeksmosselen droegen echter in geen van de drie gevallen significant bij.

In vergelijking met de door Portielje & Rijdsdijk (2003) gepubliceerde relaties geldt voor de achtergrondstroebelings $(1/SD)_{\text{res}}$ dat benthivore vis destijds wel significant bijdroeg en de kranzwieren bedekking niet, nu is dat andersom. Dit is te verklaren doordat beide variabelen onderling sterk negatief gecorreleerd zijn. Toevoeging van enkele meetjaren dus kan leiden tot een omwisseling van welke van de twee de meest significante bijdrage levert. De extra bijdrage van de tweede variabele is dan al snel niet significant meer. Daarnaast zijn door de toevoeging van nieuwe meetwaarden de coëfficiënten van de vergelijkingen iets veranderd.

Tabel 3.3. Berekende empirische relaties voor zomergemiddelde concentraties chlorofyl-a en totaal-P, en voor de achtergrondstroebelings ($(1/SD)_{res}$). ε is een normaal verdeelde ruisterm met $\mu=0$ en standaarddeviatie $\sigma(\varepsilon)$. Chara = de interne bedekking met kranswieren op basis van 0-7 bedekkingsklassen.

relatie		R^2_{adj}	$\sigma(\varepsilon)$
$P_{meer}/P_{in} = 0.729 - 0.750 \cdot Chara + 0.079 \cdot \tau + \varepsilon$	n=26	0.42	0.133
$chl-a / P_{meer} = \exp(6.185 - 2.745 \cdot Chara + \varepsilon)$	n=31	0.44	0.401
$(1/SD)_{res} = 1.407 - 1.708 \cdot Chara + 0.019 \cdot chl-a + \varepsilon$	n=20	0.72	0.355

4 Scenarioberekeningen

In deze studie wordt een vijftal scenario's doorgerekend:

- SC 2003: Dit scenario geeft de huidige toestand (2003). Ten opzichte van eerdere modeltoepassingen (Meijer et al., 1999; Portielje & Rijsdijk, 2003) zijn hierin de ontwikkelingen en meetgegevens van het ecosysteem over de periode 2000-2003 extra meegenomen. Op basis van de totale dataset zijn de relaties in de tabellen 3.1 tot en met 3.3 afgeleid. Zoals beschreven in hoofdstuk 2 worden de jaren 2000-2003 gekenmerkt door een afname van de waterplanten en doorzicht sinds 2002, en een toename van de totaal-P concentratie en de biomassa benthivore vis. Daarnaast zijn de balansposten over die jaren toegevoegd aan de reeksen op basis waarvan nieuwe regressies of frequentieverdelingen zijn afgeleid.
- SC 2015: dit betreft de verwachte situatie in 2015 op basis van autonome ontwikkelingen en vigerend beleid.
- SC 2030: dit betreft de verwachte situatie in 2030 op basis van autonome ontwikkelingen en vigerend beleid.
- SC 2015 + 4^e trap: dit betreft de verwachte situatie in 2015 op basis van autonome ontwikkelingen en vigerend beleid, aangevuld met een vierde traps zuivering op de RWZI Harderwijk.
- SC 2030 + 4^e trap: dit betreft de te verwachten situatie in 2030 op basis van autonome ontwikkelingen en vigerend beleid, aangevuld met een vierde traps zuivering op de RWZI Harderwijk.

Ieder scenario wordt doorgerekend voor een viertal verschillende waarden van de interne bedekking met Chara (0, 0.1, 0.2 en 0.3), en bestaat uit 4000 onafhankelijke runs.

De resultaten van de scenarioberekeningen worden gepresenteerd als de mediane waarde inclusief het centraal 80% frequentieinterval (= de bandbreedte tussen het 10^e en het 90^e percentiel) van het zomergemiddelde van de totaal-P en chlorofyl-a concentratie en het doorzicht, in relatie tot de interne bedekking met kranswieren. Daarnaast wordt de overschrijdingskans van kritische waarden voor de het zomergemiddelde van de totaal-P concentratie (de kans dat totaal-P > 0.1 mg P/l) en het doorzicht (de kans dat doorzicht < 0.5 m), eveneens in relatie tot de interne bedekking met kranswieren gepresenteerd.

5 Resultaten

5.1 Kansverdelingen voor totaal-P, chlorofyl-a en doorzicht

Veluwemeer

Figuur 5.1 geeft de frequentieverdelingen van totaal-P, chlorofyl-a en doorzicht in het Veluwemeer voor de scenario's 2003, 2015, 2030, 2015 + 4^e trap en 2030+4^e trap. De verwachte autonome ontwikkelingen leiden tot een geleidelijke toename van de totaal-P concentratie tot 2030. De figuur toont aan dat de vierde traps zuivering bij de RWZI Harderwijk de te verwachten toename van de zomergemiddelde totaal-P concentratie in het Veluwemeer in 2015 en 2030 ten opzichte van 2003 geheel compenseert. Door de stabiliserende werking van de waterplanten neemt de totaal-P concentratie neemt ook af met toenemende bedekking met Chara. De verticale lijnen in de figuur geven aan dat de variatie van jaar tot jaar ten gevolge van fluctuaties in weersomstandigheden, met name neerslag, aanzienlijk kan zijn

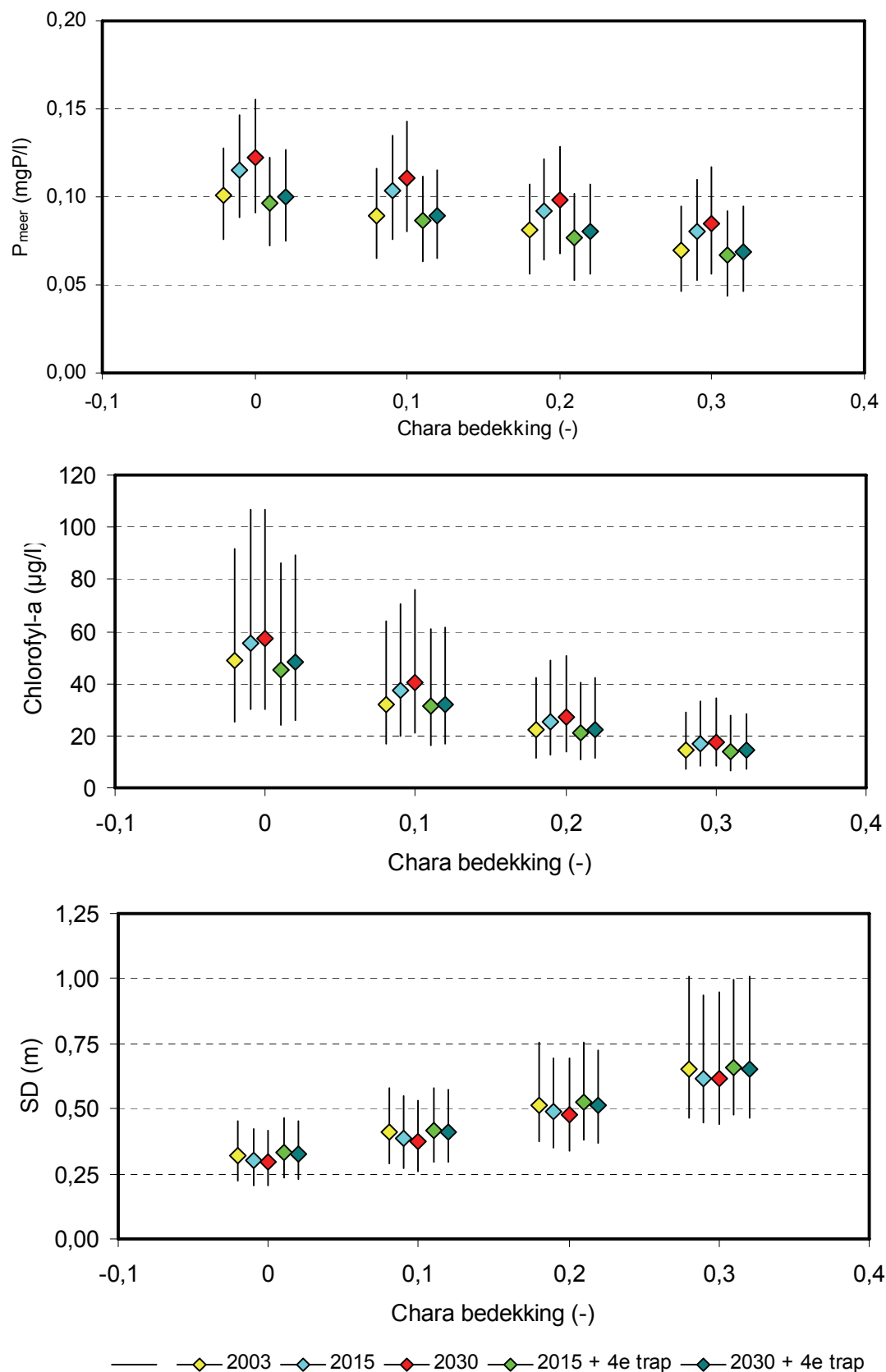
Voor de mediane chlorofyl-a concentratie wordt eveneens een geleidelijke toename verwacht wordt voor 2015 en 2030 ten opzichte van 2003. Ook hiervoor geldt dat de vierde trap bij de RWZI Harderwijk deze verwachte toename geheel compenseert, en dat chlorofyl-a afneemt met toenemende Chara bedekking. Het doorzicht is relatief ongevoelig voor de te verwachten toename in de externe P-belasting, en daardoor ook voor het introduceren van de vierde trap zuivering. De waterplantenbedekking is hier wel zeer bepalend.

Wolderwijd en Nuldernauw

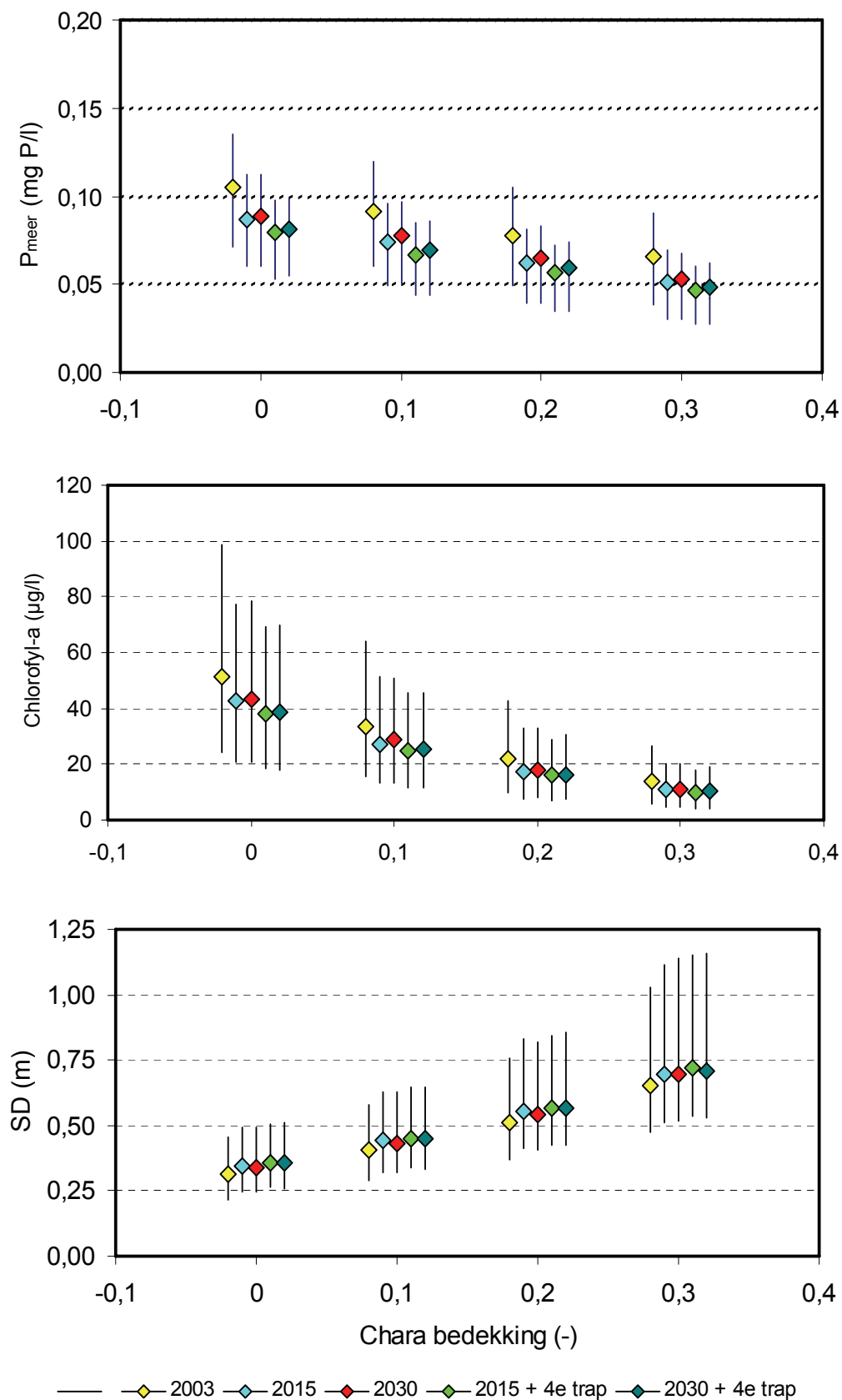
Voor het Wolderwijd geldt dat de effecten van het afleiden van de Schuitenbeek en Puttenergemaal via de Delta Schuitenbeek een grote verbetering tussen 2003 en 2015 tot gevolg hebben (figuur 5.2). Daarna stijgen de concentraties totaal-P en chlorofyl-a weer licht door de verwachte verdere autonome ontwikkeling. De aanleg van de vierde traps zuivering bij Harderwijk levert een extra verbetering in de vorm van een verlaging van de totaal-P en chlorofyl-a concentratie en een geringe extra toename van het doorzicht. Ook hier geldt, evenals voor het Veluwemeer, dat de te handhaven waterplantenbedekking zeer bepalend is voor de concentraties totaal-P en chlorofyl-a, en voor het doorzicht.

Drontermeer

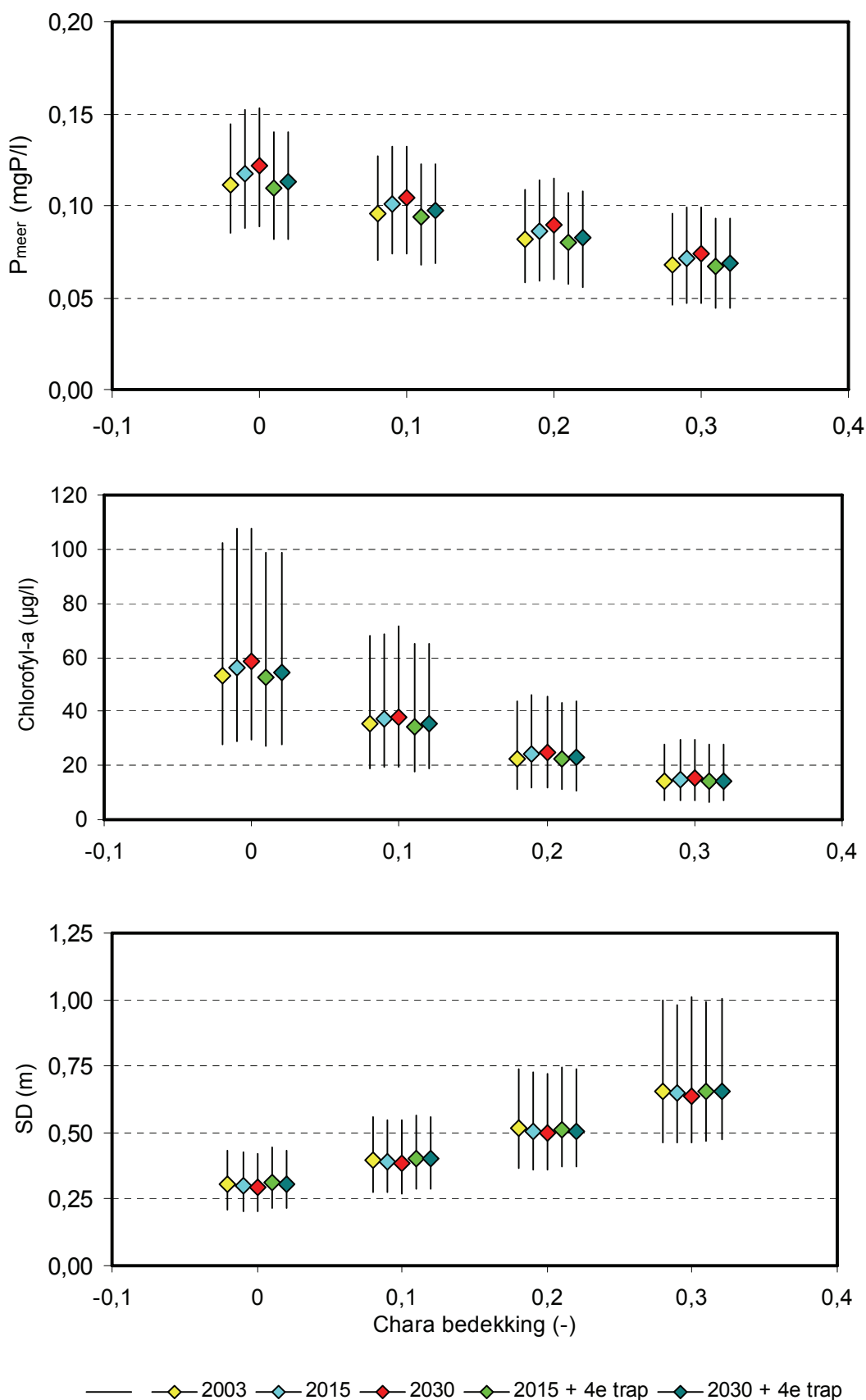
In het Drontermeer is het effect van de vierde traps zuivering op de kansverdelingen van totaal-P, chlorofyl-a en doorzicht merkbaar, maar aanzienlijk geringer dan in het Veluwemeer. De vierde traps zuivering compenseert ook hier volledig de nadelige effecten van de autonome ontwikkelingen, alhoewel de verwachte veranderingen ten gevolge van deze autonome ontwikkelingen voor het Drontermeer relatief gering zijn (figuur 5.3).



Figuur 5.1. Mediane waarde (symbolen) voor zomergemiddelden van totaal-P (boven), chlorofyl-a (midden) en doorzicht (onder) in het Veluwemeer, en het centraal 80% frequentie-interval (10^e tot 90^e percentiel, verticale lijnen) in relatie tot de interne kranswieren (Chara) bedekking.



Figuur 5.2. Mediane waarde (symbolen) voor zomergemiddelden van totaal-P (boven), chlorofyl-a (midden) en doorzicht (onder) in het Wolderwijd en Nuldernauw, en het centraal 80% frequentie-interval (10^e tot 90^e percentiel, verticale lijnen) in relatie tot de interne kranswieren (Chara) bedekking.



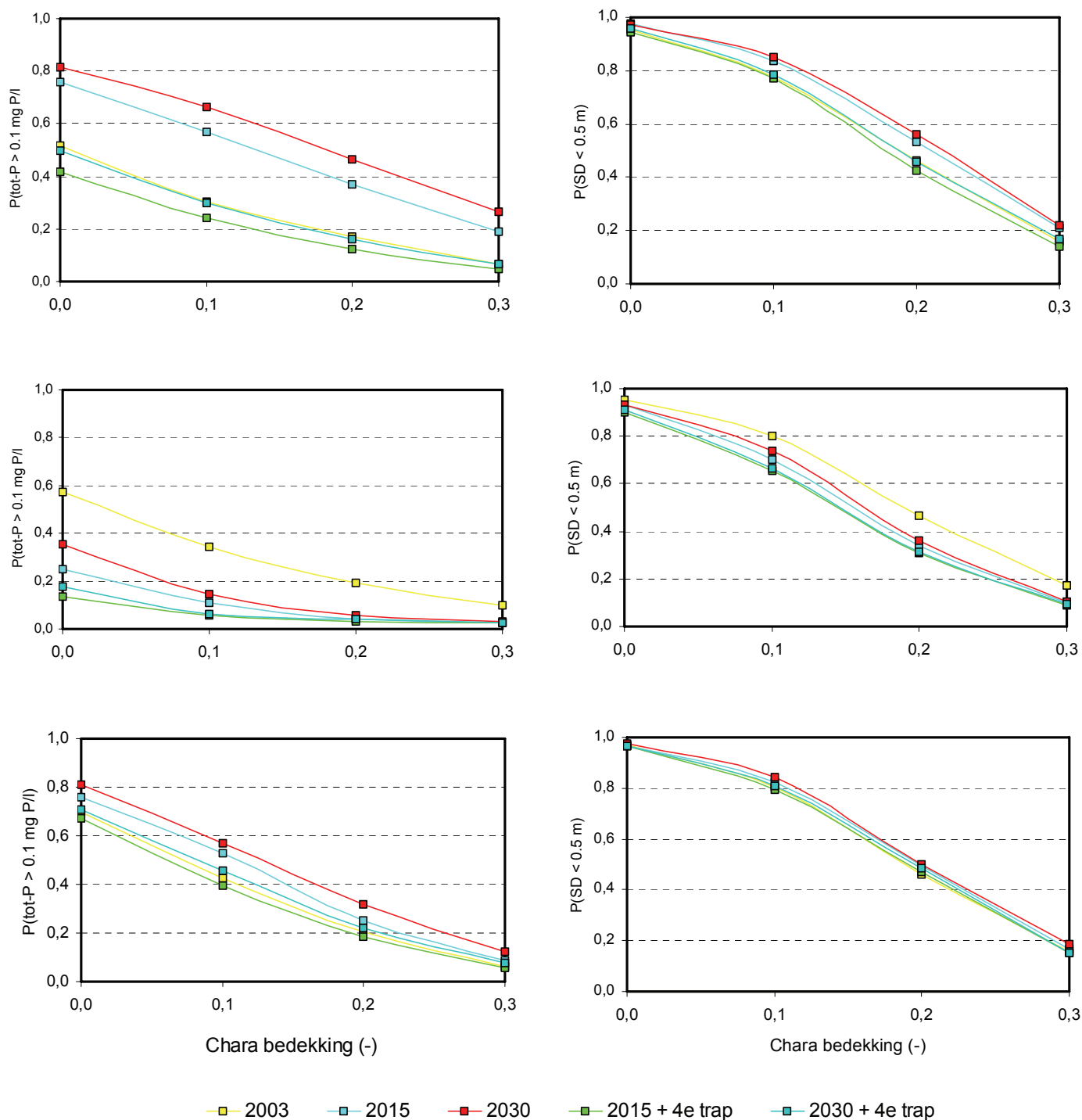
Figuur 5.3. Mediane waarde (symbolen) voor zomergemiddelden van totaal-P (boven), chlorofyl-a (midden) en doorzicht (onder) in het Drontermeer, en het centraal 80% frequentie-interval (10^e tot 90^e percentiel, verticale lijnen) in relatie tot de interne kranswieren (Chara) bedekking.

5.2 Overschrijdingskansen van kritische waarden voor totaal-P en doorzicht

Volgend uit de verschuivingen van de frequentieverdelingen van totaal-P concentraties en doorzicht met toenemende kranswieren bedekking, nemen ook de kansen op overschrijding van kritische waarden voor zowel totaal-P als doorzicht af met toenemende bedekking met kranswieren. De kans op overschrijding van een zomergemiddelde totaal-P concentratie van 0,1 mg P/l in het Veluwemeer (figuur 5.4 boven) neemt fors toe in de scenario's 2015 en 2030 ten opzichte van scenario 2003. Deze toename kan echter volledig gecompenseerd worden door een vierde traps zuivering bij de RWZI Harderwijk: bij scenario 2030 + 4^e trap zijn de overschrijdingskansen vrijwel gelijk aan die bij scenario 2003, en bij scenario 2015 + 4^e trap zelfs nog lager. Voor het doorzicht geldt eveneens dat de vierde trapszuivering de toename van de kans dat het doorzicht lager is dan de kritische waarde van 0,5 m in scenario's 2015 en 2030 ten opzichte van scenario 2003 volledig compenseert. De toename in de overschrijdingskansen volgens de scenario's 2015 en 2030 ten opzichte van scenario 2003 zijn voor het doorzicht echter geringer dan voor totaal-P.

In het Wolderwijd (figuur 5.4 midden) daarentegen nemen de overschrijdingskansen van kritische waarden voor zowel totaal-P als doorzicht aanzienlijk af tussen scenario 2003 en scenario 2015, waarna deze in scenario 2030 weer licht toenemen. Dit wordt veroorzaakt doordat de afleiding van de Schuitenbeek en het Puttenergemaal via de Delta Schuitenbeek reeds in de autonome ontwikkeling tot 2015 is opgenomen. De vierde traps zuivering bij RWZI Harderwijk heeft een geringe extra daling van de overschrijdingskansen tot gevolg.

Voor het Drontermeer zijn is de stijging van de overschrijdingskansen tussen de huidige toestand en de te verwachten toestand in 2015 en 2030 relatief gering (figuur 5.4 onder). Analooq aan de situatie in het Veluwemeer geldt ook hier dat de overschrijdingskansen zullen toenemen, maar dat deze toename (meer dan) volledig gecompenseerd kan worden door de installatie van de vierde trap zuivering bij de RWZI Harderwijk.



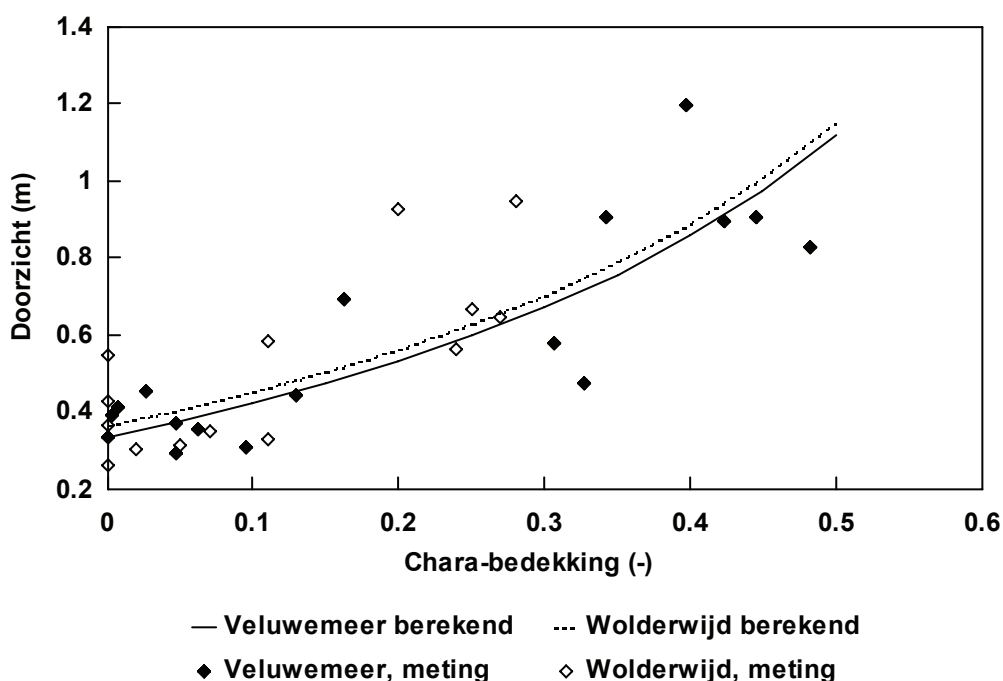
Figuur 5.4. Over- en onderschrijdingskansen voor kritische waarden voor een zomergemiddelde concentratie van totaal-P > 0,10 mg P/l en een doorzicht < 0,5 m (rechterpanelen) in Veluwemeer (boven), Wolderwijd en Nuldernaauw (midden) en Drontermeer (onder)

5.3 Chara-bedekking in relatie tot doorzicht

Op basis van de relaties in tabel 3.1 is berekend wat de interne bedekking met Chara dient te zijn om gemiddeld een gewenst doorzicht te kunnen bereiken. Figuur 5.5 geeft de gemiddelde relatie tussen waterplantenbedekking en het zomergemiddeld doorzicht, en vergelijkt deze met de gemeten waarden in Veluwemeer en Wolderwijd.

Op basis van de nieuwe relaties, berekend op basis van interne bedekkingspercentages gebaseerd op 0-7 dichtheidsklassen, is voor een zomergemiddeld doorzicht van één meter een interne bedekking nodig van 0.45. Dit is aanzienlijk hoger dan de 0.3 die destijds door Meijer et al. (1999) berekend is. Het verschil ligt deels in verschillen in de berekeningswijze van de interne bedekking. Op basis van 0-7 bedekkingsklassen is de uit karteringen berekende interne bedekking gemiddeld 16% hoger dan op basis van 0-3 bedekkingsklassen. Daarnaast is in de nieuwe relaties het effect van de waterplantenbedekking op het doorzicht iets geringer, waardoor een hogere bedekking nodig is om gemiddeld een meter doorzicht te behalen. De ontwikkelingen in de laatste jaren hebben laten zien dat de heldere toestand nog niet stabiel is, en dat slechtere omstandigheden in één jaar tijd toch tot een aanzienlijke terugval van de kranswieren bedekking kunnen leiden. Dit geeft aan dat verstoring van de waterplanten, bijvoorbeeld door zandwinning, risico's op het versneld instorten van de chara-velden tot gevolg kan hebben.

De verschillen tussen Veluwemeer en Wolderwijd/Nuldernauw zijn, ondanks kleine verschillen in P_{in} en een langere verblijftijd in Wolderwijd/Nuldernauw, zeer gering.



Figuur 5.5. Berekend (lijnen) en gemeten (symbolen) zomergemiddeld doorzicht in Veluwemeer en Wolderwijd bij de huidige externe belasting in relatie tot de interne bedekking met kranswieren (Chara).

6 Conclusies

6.1 Ontwikkeling waterkwaliteit en ecologie over de periode 1999-2003

Tussen 2001 en 2003 heeft zich in de totaal-P concentraties in Veluwemeer en Wolderwijd een sterke stijging voorgedaan, die gepaard ging met een toename van chlorofyl-a en, met name in het Veluwemeer, een forse afname van het doorzicht. In 2003 is er een licht herstel opgetreden. In het Drontermeer is de chlorofyl-a concentratie over de gehele periode weer toegenomen. Opvallend is de sterke afname in totaal-N in het Veluwemeer in 2003 ten opzichte van 2002.

Gerelateerd aan bovenbeschreven ontwikkelingen is ook de ecologische toestand veranderd. De interne bedekking met waterplanten (met name kranswieren) is tussen 2001 en 2002 sterk afgenomen. Deze afname heeft zich in 2003 niet verder doorgezet, en de bedekking lijkt zich weer te hebben gestabiliseerd. Deze stabilisatie geldt ook voor de plantenetende watervogels. De stabilisering van de heldere toestand door ondergedoken waterplanten is op grond van de gegevens van recente jaren iets minder sterk dan in de Stabiliteitsstudie (Meijer et al., 1999) werd gevonden. Dit, samen met een methodische verandering, resulteert in een hogere benodigde interne bedekking (45% in plaats van 30%) om in meer dan de helft van de jaren een zomergemiddeld doorzicht van één meter te kunnen behalen.

De dichtheid en de samenstelling van de visstand in Veluwemeer en Wolderwijd vertoont in de recente jaren weer een geleidelijke toename. Zowel in Wolderwijd als in Veluwemeer was de dichtheid van brasem in 2002 sterk toegenomen. De toename heeft niet zozeer te maken met een sterkere recrutering van brasem, maar veeleer met een afname in de visserijdruk, waardoor de grootte-samenstelling van de brasempopulatie verschuift en de biomassa toeneemt. Dit indiceert dat het ecosysteem zonder externe visserijdruk toch weer iets sterker richting een troebele toestand wordt getrokken.

De driehoeksmosselen zijn gedurende de periode sinds 1998 eerst toegenomen en daarna weer iets afgenomen. De aantallen mosseletende watervogels hebben zich de laatste jaren gestabiliseerd op een hoog niveau, dat ook hoger ligt dan in de jaren zestig het geval was. Ondanks dat verwacht kan worden dat driehoeksmosselen door hun filtercapaciteit bijdragen aan het stabiliseren van de heldere toestand, is dit middels multivariate regressie nog niet significant aantoonbaar. Dit geldt zowel voor de relaties tussen P_{meer} en P_{in} en die tussen chlorofyl-a en totaal-P, als voor de achtergrondstroebelings.

6.2 Toekomstige ontwikkelingen en effecten van de vierde trap zuivering

De autonome ontwikkelingen en het vigerend beleid leiden tot een toename van de totaal-P concentratie in het Veluwemeer tot 2015. Introductie van de vierde trap zuivering bij de RWZI Harderwijk compenseert deze toename vrijwel volledig. Deze conclusie is onveranderd ten opzichte van de conclusie die destijds bij de Stabiliteitsstudie Veluwerandmeren (Meijer et al., 1999) en in een eerste update daarvan (Portielje en Rijdsijk, 2003) was getrokken.

Het Wolderwijd/Nuldernauw en Drontermeer ondervinden ook een positief effect van de vierde trap zuivering bij de RWZI Harderwijk, met name wat betreft totaal-P en chlorofyl-a, maar zijn zoals te verwachten hier minder gevoelig voor dan het Veluwemeer, waar deze RWZI direct op loost. Het Wolderwijd ondervindt gunstige effecten van de afleiding van de Schuitenbeek en het Puttnergemaal via de Delta Schuitenbeek, een maatregel die in de autonome ontwikkeling is opgenomen. De vierde trap zuivering bij de RWZI Harderwijk zorgt hier voor een geringe extra verbetering.

De stabiliteit van het ecosysteem is gebleken lager te zijn dan werd verwacht. De aanzienlijke afname van de waterplantenbedekking en het doorzicht in het Veluwemeer tussen 2001 en 2002 trad al op bij een totaal-P concentratie van 0,08 mg P/l. Deze verandering trad op tijdens een zeer natte zomer, maar waarschijnlijk speelt daarnaast ook de invloed van zandwinning in het Veluwemeer en de hiermee gepaard gaande toename van de achtergrondstroebeling een rol.

Referenties

Meijer, M-L, R. Portielje, R. Noordhuis, W. Joosse, M. van den Berg, B. Ibelings, E. Lammens, H. Coops & D. van der Molen (1999). Stabiliteit van de Veluwerandmeren. RIZA rapport 99.054, BOVAR rapport 99.06.

Perrow, M.R. & A.J.D. Howitt (1996). The distribution of fish in relation to macrophytes in Veluwemeer. ECON. Norwich.

Portielje, R. & R.E. Rijdsijk (2003). Stochastic modeling of nutrient loading and lake ecosystem response in relation to submerged macrophytes and benthivorous fish. *Freshwater Biology* 48, 741-755.

Rijdsijk, R.E. (2004). Balansen voor de Veluwerandmeren; de verwachting voor 2030 opnieuw getoetst. RWS IJG.

Smits J., N. Kuyembeh, A. Bak, S. Bouma & P. Schouten (2003). Driehoeksmosselen (*Dreissena polymorpha*) in de randmeren in 2002. Rapport Rijkswaterstaat Dir. IJsselmeergebied, Lelystad

Smits, J.B. (2005). Balansen Veluwerandmeren 1999-2003. RDIJ-rapport: 2005-1
ISBN: 9036913322