

Effecten van maatregelen op de waterkwaliteit van de Zuidelijke Randmeren

10 september 2001

Effecten van maatregelen op de waterkwaliteit van de Zuidelijke Randmeren

10 september 2001

Auteurs: R. Portielje, K.D. Oostinga, C.W.M.
Boender-Daane

Inhoudsopgave

Inhoudsopgave	3
Samenvatting	5
1 Inleiding	7
2 Modelontwikkeling	10
2.1 Modelopbouw	10
2.2 Modelonderdelen	11
2.2.1 Meteorologie	11
2.2.2 Externe water- en nutriëntenbelasting	11
2.2.3 Nutriëntenconcentraties in de meren	15
2.2.4 Chlorofyl-a en doorzicht	18
2.2.5 Ecologische variabelen	19
3 Maatregelen	20
3.1 Beschrijving maatregelen	20
3.1.1 S0 Uitgangssituatie	20
3.2 Reductie van belasting uit puntbronnen (maatregelen A)	21
3.2.1 A1 Reductie P-concentratie in het effluent van direct lozende RWZI's	21
3.2.2 A2 Reductie P-concentratie in het effluent van indirect lozende RWZI's	21
3.2.3 A3 Eem defosfateren	22
3.2.4 A4 Helofytenfilter in Eemmondig	22
3.2.5 A5 Reduceren fosfaatbelasting vanuit het Nuldernauw	22
3.2.6 A6 Reduceren fosfaatbelasting vanuit IJmeer	22
3.2.7 A7 Saneren 2200 woningen bij Ede	23
3.3 Reductie van belasting uit diffuse bronnen (maatregelen B)	23
3.3.1 B1 Reductie aandeel landbouw/diffuse bronnen in Eem	23
3.3.2 B2 Reductie emissies door scheepvaart/recreatie	24
3.4 Hydrologische ingrepen (maatregelen C)	24
3.4.1 C1 Verlagen resuspensie	24
3.4.2 C2 Reductie P-concentratie gemalen	24
3.4.3 C3 Stopzetten uitslag gemalen	24
3.4.4 C4 Reductie inlaat Rijn	24
3.4.5 C5 Reductie debiet Nuldernauw	25
3.4.6 C6 Reductie debiet IJmeer	25
3.4.7 C7 Doorspoelen met water uit Nuldernauw	25
3.4.8 C8 Doorspoelen met water uit IJmeer	25
3.4.9 C9 Toename inlaat vanuit Rijn	25
3.5 Interne maatregelen D	26
3.5.1 D0 Aanwezigheid van waterplanten	26
3.5.2 D1 Peilbeheer meer	29
3.5.3 D2 Lokaal ver(on)diepen, verandering diepte	29
3.5.4 D3 Toevoegen substraat en/of entmateriaal van driehoeksmosselen en waterplanten.	30
3.5.5 D4 Natuurontwikkeling	30

3.5.6	D5 Doorgaan / intensivering pootvisserij	30
3.6	Combinaties van maatregelen	31
3.6.1	S1 autonome ontwikkelingen	31
3.6.2	Scenario A, B en D	31
4	Effecten maatregelen	34
4.1	Totaal-P	34
4.1.1	Effecten van reductie puntbronnen (maatregelen A) op P-totaal	36
4.1.2	Effecten van reductie diffuse bronnen (maatregelen B) op P-totaal	36
4.1.3	Effecten hydrologische maatregelen (C) op P-totaal	37
4.1.4	Effecten interne maatregelen (D) op P-totaal	37
4.2	Chlorofyl-a	39
4.2.1	Effecten van reductie puntbronnen (A) op chlorofyl-a gehalte	39
4.2.2	Effecten reductie diffuse bronnen (B) op chlorofyl-a gehalte	42
4.2.3	Effecten hydrologische maatregelen (C) op chlorofyl-a gehalte	42
4.2.4	Effecten interne maatregelen (D) op chlorofyl-a gehalte	42
4.3	Doorzicht	43
4.4	Waterplanten	44
4.5	Mengscenario's	45
5	Discussie	48
6	Conclusies	53
	Literatuurlijst	55
	Bijlage 1 Effecten maatregelen	57

Samenvatting

In het kader van het project BEZEM (Bestrijding eutrofiëring Zuidelijke Randmeren) is een quick-scan uitgevoerd naar de effecten van een groot aantal mogelijke maatregelen die tot doel hebben de waterkwaliteit van genoemde meren te bevorderen en te laten voldoen aan hiervoor geformuleerde doelstellingen. Hiertoe is een empirisch model opgesteld dat de waterkwaliteit berekent op basis van (veranderingen in) de verschillende balansposten en fysische en biologische systeemkenmerken.

Onder de 23 voorgestelde maatregelen bevinden zich maatregelen die voor de meeste parameters geen effect hebben, of zelfs tot een verslechtering van de situatie kunnen leiden. Deze maatregelen vallen af om nader te onderzoeken.

Andere maatregelen hebben in meer of mindere mate wel effect. Een aantal van deze maatregelen zijn echter zeer moeilijk uitvoerbaar en deze komen daardoor ook niet in aanmerking om nader bekeken en eventueel uitgevoerd worden.

De overblijvende maatregelen hebben wel een gewenst effect op de waterkwaliteit. Het gaat hierbij om de aanpassingen aan de RWZI's die direct op de meren lozen (A1), aanpassingen aan de RWZI's die indirect op de meren lozen (A2), reduceren van de emissies van diffuse bronnen en de landbouw (B1) en het verkrijgen van waterplanten in de zuidelijke randmeren (D0).

Maatregelen die zich richten op een reductie van de externe belasting met P, hetzij vanuit puntbronnen hetzij vanuit diffuse bronnen, hebben een direct effect op de totaal-P concentraties in de meren en op de chlorofyl-a concentraties. Dit effect is proportioneel aan de relatieve reductie van de externe belasting. Zo heeft reductie van de effluent totaal-P concentraties van alle direct of indirect lozende RWZI's tot 0,2 mg/l een reductie van ca 17% van de externe belasting van het Eemmeer vanuit de Eem tot gevolg. Daarnaast is ook een reductie op termijn van de P belasting vanuit diffuse bronnen noodzakelijk.

Maatregelen die alleen de externe P-belasting reduceren resulteren in slechts kleine veranderingen van de helderheid van het Eemmeer. De achtergrondstroebelings is nog immer te hoog. Maatregelen die zich richten op een reductie van de troebelheid van het water kunnen de helderheid van het Eemmeer wel gunstig beïnvloeden. Hierbij wordt gedacht aan het bewerkstelligen van een omslag in het ecosysteem richting dominantie van waterplanten en verdere uitbreiding van driehoeksmosselen en met een lage biomassa van benthivore vis, of door het reduceren van resuspensie. Voor het Gooimeer geldt dat inmiddels (situatie 1999–2000) een doorzicht is bereikt dat dicht tegen de streefwaarde aanligt en niet noemenswaardig verder zal toenemen door deze maatregelen.

Voor de verdere bestrijding van de eutrofiëring van de Zuidelijke Randmeren en het op termijn behalen van de streefwaarden wordt aanbevolen combinaties van maatregelen die a) de externe P-belasting verder reduceren en die b) gericht zijn op het scheppen van de randvoorwaarden voor optimalisering van interne terugkoppelingsmechanismen door een omslag in het ecosysteem verder te onderzoeken.

1 Inleiding

Voor het project BEZEM (Bestrijding Eutrofiëring Zuidelijke Randmeren) zijn voor de periode 1990 tot en met 1999 gedetailleerde water- en stofbalansen opgesteld (Oostinga, 2001), en is de toestand van de waterkwaliteit en ecologische parameters, en de ontwikkelingen daarin, in beeld gebracht (Portielje et al., 2001). Met de resultaten van beide producten is een model bestaande uit (relatief) eenvoudige rekenregels ontwikkeld, waarmee de effecten van beheersmaatregelen op de fysisch-chemische en ecologische waterkwaliteit ingeschat kunnen worden.

Het doel van de studie is het inschatten van de effecten van beheersmaatregelen op de waterkwaliteit van de Zuidelijke Randmeren, en toetsing daarvan aan de doelstellingen van het Eem- en Gooimeer: Deze doelstellingen zijn:

- Het zomergemiddelde totaal-P gehalte bedraagt niet meer dan 0,06 mg P/l, het zomergemiddelde doorzicht tenminste 1,0 meter en er is geen overlast door algengroei
- Het water in de zuidelijke en oostelijke randmeren is schoon en helder, kenmerkend voor een matig voedselrijk (mesotroof) systeem.
- Het water moet minimaal voldoen aan normen voor karperachtigen, blauwalgen zijn niet dominant.

De overige doelstellingen zoals deze zijn vastgelegd kunnen in een later stadium aan de orde komen. Hieronder vallen: het dieren- en plantenleven is uitbundig en veelsoortig, algengroei is beperkt en niet overmatig. De visstand is gevarieerd, zonder een sterke dominantie van een of enkele soorten; er is een grote biodiversiteit met onbegroeid open water, water- en oeverplantenvegetaties en gradiënten tussen water en land, en de meren vervullen een belangrijke rol in de West-Europese vogeltrekroute. Er is voldoende rust voor de otter, ruiende en foeragerende watervogels en in riet broedende soorten. De verdeling van habitats is: 60% waterplanten; 10% riet en biezen en 30% onbegroeid.

Voor de modellering is in eerste instantie gekozen voor een eenvoudige opzet, gebaseerd op empirische rekenregels die afgeleid zijn uit de beschikbare gegevens uit de twee bovengenoemde voorstudies (Portielje et al., 2001; Oostinga, 2001), en waarbij gebruik gemaakt is van expertise opgedaan bij eerdere vergelijkbare studies, met name de Stabiliteitsstudie Veluwerandmeren (Meijer et al., 1999). Met het model is het mogelijk om op eenvoudige wijze de effecten van een relatief groot aantal specifieke maatregelen te kunnen doorrekenen (quick-scan). Deze maatregelen zijn op het gebied van (reductie van) de externe nutriëntenbelasting, hydrologie en interne maatregelen. In een latere fase van het project kan desgewenst gerekend gaan worden met complexere (waterkwaliteits)modellen om

nader te kunnen inzoomen op maatregelen die op basis van de quick-scan beschreven in dit rapport veelbelovend lijken, zowel wat betreft haalbaarheid als effectiviteit. Een haalbaarheidsstudie van ecologische streefbeelden ligt niet binnen de scope van dit project. De informatie die uit deze studie koppeling komt kan wel (door anderen) gebruikt worden voor het vaststellen van ecologische streefbeelden.

Leeswijzer

In dit rapport worden achtereenvolgens behandeld de modelontwikkeling (hoofdstuk 2), de door te rekenen maatregelen (hoofdstuk 3), de resultaten van deze berekeningen (hoofdstuk 4), een discussie van deze resultaten (hoofdstuk 5) en de conclusies die hieruit getrokken kunnen worden vergezeld van een aanbeveling voor vervolgacties (hoofdstuk 6).

2 Modelontwikkeling

2.1 Modelopbouw

Het model doorloopt een aantal stappen:

1. Meteorologie
2. Water- en nutriëntenbelasting uit externe bronnen
3. Nutriëntenconcentraties in het meer
4. Chlorofyl-a concentraties en doorzicht in het meer
5. (---> optioneel: kansen voor waterplanten)

Bij de ontwikkeling van het model is uitgegaan van het principe dat onzekerheden expliciet in beeld kunnen worden gebracht. Hiertoe wordt gebruik gemaakt van Monte-Carlo simulaties. Hierbij wordt bij een berekening de onzekerheid in alle individuele relaties simultaan meegenomen. Door dit een groot (n-)aantal malen uit te voeren, worden dus ook n waarden voor een bepaalde uitvoervariabele gegenereerd. Deze uitvoervariabele wordt geïnterpreteerd in termen van een kansverdeling, en gepresenteerd als de mediaan van deze verdeling en het bijhorende (centrale) 90% betrouwbaarheidsinterval.

Het afleiden van empirische rekenregels gebeurt als volgt:

Eerst wordt getest of een bepaalde variabele significant gerelateerd is aan één of meerdere onafhankelijke variabelen. Blijkt dit het geval te zijn dan wordt de (multivariate) regressievergelijking bepaald alsmede de kansverdeling van de residuen (de verschillen tussen individuele meetwaarden en de berekende waarde op basis van de regressievergelijking). Volgens het principe van lineaire regressie zijn deze residuen bij benadering normaal verdeeld, met een gemiddelde $\mu=0$ en de standaarddeviatie wordt bepaald.

Indien een variabele niet significant gecorreleerd blijkt te zijn met enige andere variabele, dan wordt de kansverdeling van deze variabele direct bepaald uit de spreiding in de beschikbare gegevens. Het model leest deze kansverdeling in de vorm van een aantal percentielwaarden (0%, 5%, 10%, ..., 90%, 95%, 100%) in. Per simulatie wordt dan een random waarde uit deze kansverdeling getrokken.

Het testen van het model gebeurt door voor de verschillende stappen in het model de empirische frequentieverdeling op basis van de beschikbare data van variabelen te vergelijken met de door het model gesimuleerde frequentieverdeling. Indien deze lijnen niet veel van elkaar afwijken is het model dus in staat de data goed te reproduceren. Dit betreft de uitgangssituatie (het zogenaamde nul-scenario).

2.2 Modelonderdelen

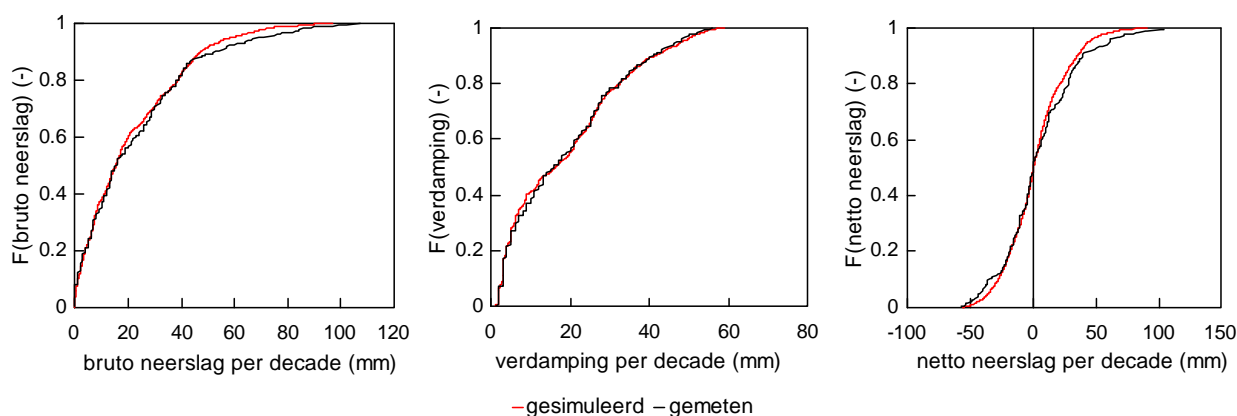
2.2.1 Meteorologie

De meteorologische variabelen die gebruikt zijn, zijn temperatuur, neerslag en verdamping. Er is geen correlatie gevonden tussen neerslag en temperatuur. Deze worden dus als onafhankelijke variabelen getrokken uit hun historische verdelingen.

Voor neerslag en verdamping is gebruik gemaakt van gegevens van de periode 1930-1998, voor temperatuur van de periode 1990-1999. De kansverdelingen van bruto neerslag en verdamping vertonen een seizoensafhankelijkheid. Een kansverdeling per kwartaal voor zowel bruto neerslag als verdamping is in staat de historische kansverdeling goed te reproduceren (figuur 2.1). Wijziging van deze kansverdelingen maakt het eventueel mogelijk scenariostudies naar de effecten van klimaatveranderingen uit te voeren.

.....
Figuur 2.1

Gemeten en gesimuleerde
frequentieverdelingen van bruto
neerslag, verdamping en netto neerslag.



2.2.2 Externe water- en nutriëntenbelasting

Balansposten

Voor de in het model opgenomen balansposten van Eem- en Gooimeer (Tabel 2.1) zijn relaties afgeleid die het debiet en de concentraties totaal-N en totaal-P beschrijven. Alleen de belangrijkste balansposten, met name de posten die een wezenlijk deel van de totale water- of nutriëntenbelasting vertegenwoordigen, of die een onderdeel vormen van door te rekenen beheersmaatregelen, zijn expliciet opgenomen. Voor het Eemmeer is daarom een aantal balansposten (Arkervaart, RWZI Bunschoten, Gemaal Laak, Gemaal Veendijk en Gemaal Westdijk) samengevoegd tot één.

Debiëten

De water- en nutriëntenbelasting wordt per decade bepaald. Alle debiëten zijn uitgedrukt in m³/dag en worden constant verondersteld gedurende een decade. Voor de bepaling van een

seizoensafhankelijkheid wordt het decadenummer als verklarende variabele meegenomen in de regressieanalyse.

Eemmeer

- De aanvoer vanuit de Eem (Q_{eem}) vertoont een significante seizoensafhankelijkheid, uitgedrukt in het decadenummer DEC, en een afhankelijkheid van de netto neerslag NNS gedurende een decade (data 1990-1998). Deze twee factoren samen verklaren 52% van de variantie in het debiet van de Eem. De overige 48% variantie wordt dus verdisconteerd in de ruisterm.
- Het debiet bij de Nijkerkersluis (Q_{nijk}) is significant gecorreleerd met Q_{eem} , de netto neerslag en het decadenummer
- Voor Q_{wiel} en Q_{Gooij} (Gooijergracht) is een seizoensafhankelijke normale verdeling gevonden.
- De somdebiet van de overige balansposten van het Eemmeer (Arkervaart, RWZI Bunschoten, Gemaal Laak, Gemaal Veendijk en Gemaal Westdijk) vertoont een significante afhankelijkheid van de netto neerslag en het decadenummer.
- De uitwisseling van Gooimeer naar Eemmeer, $Q_{\text{Gooi} \rightarrow \text{Eem}}$, is positief gecorreleerd met de inlaat in het Gooimeer vanuit het IJmeer, Q_{IJmeer} , en negatief gecorreleerd met de uitwisseling in de andere richting ($Q_{\text{Eem} \rightarrow \text{Gooi}}$). De gegevens waren beschikbaar op dagbasis als de resultante van beide posten. Per dag heeft dus slechts één van beide een waarde afwijkend van nul, maar wanneer het totale debiet per decade beschouwd wordt, kunnen beide een waarde groter dan nul hebben.

Gooimeer

De balansposten van het Gooimeer die expliciet beschreven worden, zijn de aanvoer vanuit het Eemmeer ($Q_{\text{Eem} \rightarrow \text{Gooi}}$, verreweg de grootste post op de waterbalans van het Gooimeer), de aanvoer vanuit het IJmeer (Q_{IJmeer}), twee kleinere posten ($Q_{\text{RWZI Huizen}}$ en Q_{Quest}) en neerslag.

- $Q_{\text{Eem} \rightarrow \text{Gooi}}$, is zeer sterk gecorreleerd met de totale aanvoer naar het Eemmeer ($Q_{\text{som}} = Q_{\text{eem}} + Q_{\text{nijk}} + Q_{\text{gooij}} + Q_{\text{wiel}} + Q_{\text{rest}} + Q_{\text{neerslag}}$).
- Voor Q_{IJmeer} is geen significante correlatie gevonden met enige andere variabele. Deze wordt derhalve als onafhankelijke kansverdeling ingevoerd en direct gesampled uit de empirische frequentieverdeling.
- Dit geldt eveneens voor Q_{Quest} en $Q_{\text{RWZI Huizen}}$. Deze laatste twee vormen wat betreft de debieten slechts een kleine post op de totale waterbelasting van het Gooimeer, maar zijn wel van belang wat betreft de belasting met nutriënten.

De gevonden relaties zijn gegeven in Tabel 2.1

Tabel 2.1

Relaties voor debieten (m³/d) voor individuele balansposten. Voor beschrijving zie tekst. NNS = netto neerslag (mm), DEC = decadenummer

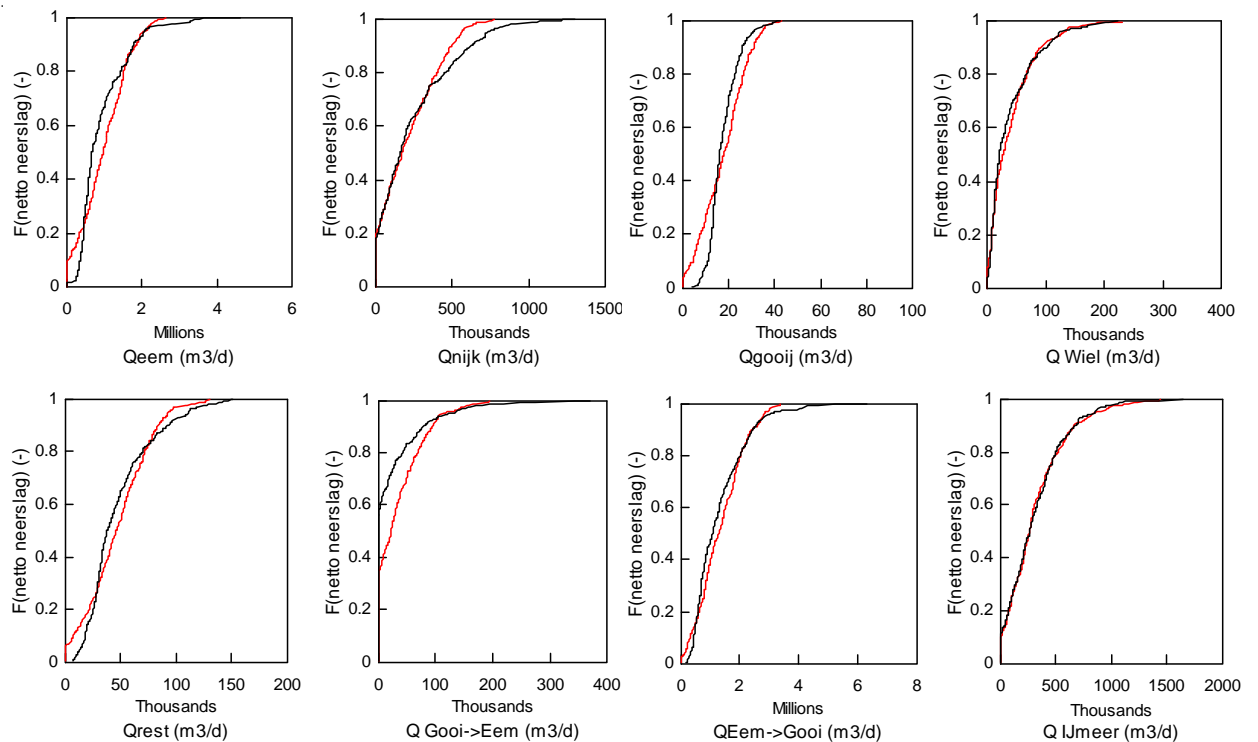
Post	Relatie	r ²	n	$\sigma(\epsilon)$
Q_{eem}	$9.467 \cdot 10^5 + 18176 \text{ NNS} + 36725 \cdot \text{DEC} + \epsilon$	0.52	323	$5.34 \cdot 10^5$
Q_{nijk}	$-68064 + 0.170 Q_{\text{eem}} - 636 \text{ NNS} + 9283 \text{ DEC} + \epsilon$	0.46	323	$1.79 \cdot 10^5$
Q_{wiel}	seizoensafhankelijke normale verdeling	-	-	-
Q_{Gooij}	seizoensafhankelijke normale verdeling	-	-	-
$Q_{\text{Gooi} \rightarrow \text{Eem}}$	$-395 + 0.120 Q_{\text{IJmeer}} - 0.00936 Q_{\text{Eem} \rightarrow \text{Gooi}} + \epsilon$			$3.52 \cdot 10^4$
$Q_{\text{Eem} \rightarrow \text{Gooi}}$	$10719 + 0.981 Q_{\text{som}} + \epsilon$	0.98		$1.15 \cdot 10^5$
Q_{rest}	$28671 + 622.0 \text{ NNS} + 1828 \text{ DEC} + \epsilon$	0.56	72	$2.13 \cdot 10^4$
Q_{IJmeer}	empirische kansverdeling	-	-	-

Q_{Quest}	empirische kansverdeling	-	-
$Q_{RWZI\ Huizen}$	empirische kansverdeling	-	-

Een vergelijking tussen de op basis van de beschikbare data bekende frequentieverdeling (gemeten) en de frequentieverdeling die op grond van de relaties in Tabel 2.1 met het model gesimuleerd wordt, laat zien dat het model de meeste posten goed kan reproduceren (figuur 2.2). Een balanspost die volledig uit de empirische kansverdeling wordt gesampled, wordt uiteraard vrijwel perfect gereproduceerd (zie Q_{IJmeer} , hetzelfde geldt voor de niet in figuur 2.2 opgenomen kleine posten Q_{Quest} en $Q_{RWZI\ Huizen}$). Voor de balansposten die als een (multi-variate) regressievergelijking beschreven wordt, is er wel een afwijking die veroorzaakt wordt door non-lineariteiten die niet in de regressievergelijking opgenomen (kunnen) worden. Met name Q_{Gooij} en $Q_{Gooi \rightarrow Eem}$ laten een relatief grote afwijking zien. Het betreft hier echter relatief kleine balansposten. Een goede voorspelling van Q_{Eem} is gezien de grootte van de debieten het belangrijkste.

.....
 Figuur 2.2

Gemeten (zwart) en gesimuleerde (rood) debieten van de belangrijkste balansposten.



Eem

De Eem levert verreweg de grootste bijdrage aan de externe nutriëntenbelasting van de Zuidelijke Randmeren (Oosting, 2001). De totaal-P concentratie in de Eem is significant gecorreleerd met het debiet. Voor de afleiding van een regressievergelijking voor de totaal-P concentratie als functie van het debiet van de Eem is slechts gebruik gemaakt van de concentraties gemeten sinds december 1994. Even daarvoor trad een plotselinge daling (staptrend) op in de totaal-P gehalten vanwege verbeterde P-zuivering op de RWZI Amersfoort

(Oostinga, 2001). De hoge totaal-P concentraties in de Eem in het najaar van 1998 hangen samen met zeer hoge afvoeren ten gevolge van extreme regenval in die periode.

De totaal-N concentraties vertoonden geen (stap)trend, en hiervoor is derhalve de gehele periode 1990-1999 gebruikt voor de regressievergelijking. De totaal-N concentratie is significant gecorreleerd met de luchttemperatuur. Seizoen of debiet leveren geen significante verbetering van de regressievergelijking op (Tabel 2.2).

Tabel 2.2

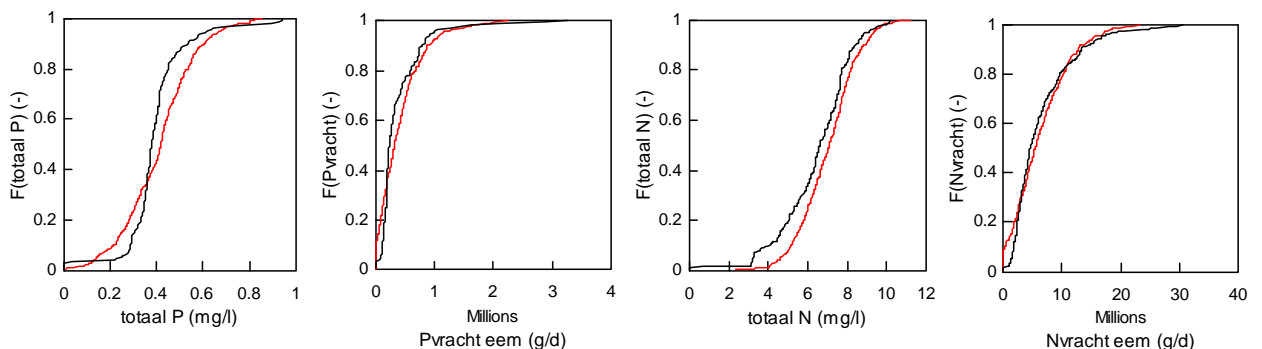
Relaties voor concentraties totaal-N en totaal-P in de Eem. T = temperatuur (°C)

	Relatie	r ²	n	σ(ε)
totaal-P	$0.282 + 1.539 \cdot 10^{-7} Q_{\text{eem}} + \varepsilon$	0.42	37	0.118
totaal-N	$8.403 - 0.138 T + \varepsilon$	0.31	135	1.282

Een vergelijking tussen de gemeten en gesimuleerde concentraties en vrachten in de Eem laat zien dat de mediane totaal-P concentratie redelijk goed gereproduceerd wordt, maar dat door het model gegenereerde concentraties een iets grotere spreiding hebben dan de meetgegevens. Voor totaal-N worden de concentraties iets te hoog geschat. De vrachten worden wel goed gereproduceerd (figuur 2.3).

Figuur 2.3

Frequentieverdelingen van gemeten (zwart) en gesimuleerde (rood) totaal-P en totaal-N concentraties en vrachten in de Eem.



Nijkerkersluis

De concentraties van het inkomende water bij de Nijkerkersluis zijn gelijk gesteld aan die in het Nuldernauw. Deze zijn uiteraard onafhankelijk van het debiet. Gezien de dalende trend in de totaal-P concentratie in het Nuldernauw wordt voor de simulaties van de huidige toestand slechts gebruik gemaakt van de concentraties en de frequentieverdeling daarvan sinds 1996. Sinds dat jaar zijn de concentraties niet meer sterk veranderd. Indien de jaren van voor 1996 ook meegenomen zouden worden, zou dit een overschatting van de P-belasting van het Eemmeer vanuit het Nuldernauw in de huidige toestand betekenen. De totaal-N concentratie in het Nuldernauw vertoont geen noemenswaardige trend meer, maar is significant gecorreleerd met het decadenummer.

Aan de uitwisselingsposten tussen Eemmeer en Gooimeer onderling wordt de gesimuleerde concentratie in de meren toegekend.

Voor de overige posten is gewerkt hetzij met een (multi-variate) regressievergelijking indien een significante relatie met één of meerdere verklarende variabelen is gevonden is, hetzij met de empirische kansverdeling afgeleid uit de meetgegevens (Tabel 2.3).

Tabel 2.3

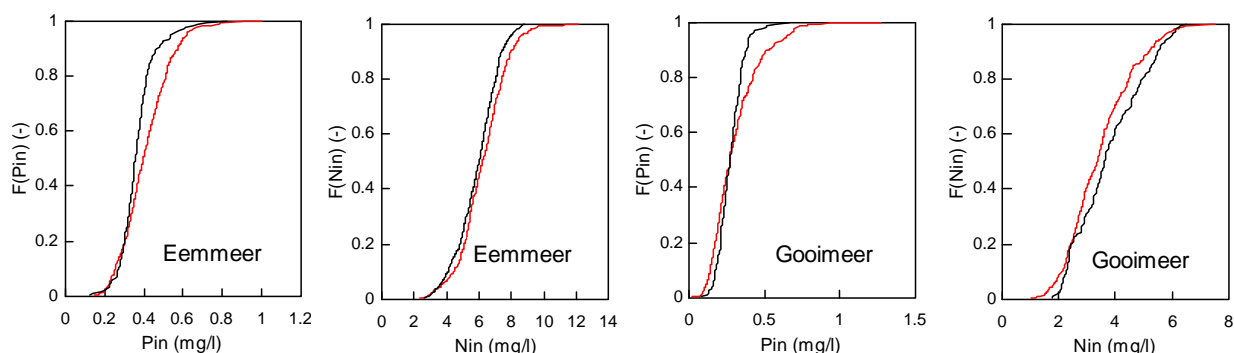
Relaties voor nutriëntenconcentraties in de overige aanvoerposten. Voor de posten waar alleen een empirische kansverdeling gebruikt wordt, zijn de 10%, 50% (mediaan) en 90% waarden van die verdeling gegeven.

conc (mg/l)		10%	50%	90%	r ²	n	σ(ε)
P _{nijk}	Empirisch	0.05	0.09	0.13			
P _{wiel}	Empirisch	0.23	0.36	0.63			
P _{gooij}	Empirisch	0.86	1.32	2.04			
P _{rest}	$1.161 - 1.74 \cdot 10^{-6} Q_{rest} - 0.0285 DEC + \epsilon$						0.386
P _{Umeer}	Empirisch	0.06	0.08	0.16			
P _{RWZI Huizen}	empirisch	0.16	0.26	0.71			
P _{Quest}	empirisch	0.78	2.73	6.88			
N _{nijk}	$1.715 + 0.0538 DEC + \epsilon$						0.66
N _{wiel}	$2.29 + 5.5 \cdot 10^{-6} Q_{wiel} + 0.098 DEC + \epsilon$						0.73
N _{Gooij}	empirisch	16.0	24.2	33.8			
N _{rest}	empirisch	4.8	6.1	7.9			
N _{Umeer}	empirisch	1.1	2.0	3.3			
N _{RWZI Huizen}	$8.22 - 2.72 \cdot 10^{-4} Q_{RWZI Huizen} + 0.183 DEC + \epsilon$						2.20
N _{Quest}	empirisch	3.6	6.0	15.1			

Uit alle balansposten tezamen wordt, op basis van de beschreven relaties voor debieten en concentraties, per meer de volume-gewogen concentratie P_{in} en N_{in} bepaald. Uit een vergelijking van de gemeten en gesimuleerde frequentieverdelingen blijkt dat met name de frequentieverdeling van totaal-N zeer goed gereproduceerd wordt. Voor totaal-P wordt de mediaan goed berekend, maar met name de bovengrens van het 90% betrouwbaarheidsinterval iets overschat (figuur 2.4).

Figuur 2.4

Gemeten (zwart) en gesimuleerde (rood) frequentieverdelingen van P_{in} en N_{in}, de volume-gewogen gemiddelde concentraties in het inkomende water in Eemmeer en Gooimeer.



2.2.3 Nutriëntenconcentraties in de meren

Per decade wordt op basis van de empirische relaties voor N_{meer}/N_{in} en P_{meer}/P_{in} een concentratie in het meer bepaald.

In zowel Eemmeer als Gooimeer is de relatie $N_{\text{meer}}/N_{\text{in}}$ significant gecorreleerd met T_{20} (de temperatuur (°C) gemiddeld over de voorgaande 20 dagen), τ (de gemiddelde verblijftijd van het water in het meer in dagen) en $n\tau$ (het aantal malen dat het water in het meer volledig is ververst sinds 1 januari 1990) (Tabel 2.4). Deze laatste term dient om veranderingen in de tijd in deze relatie te verdisconteren. In het algemeen is deze verandering in meren beter evenredig te stellen met het aantal malen dat het meerwater ververst is, dan direct met de tijd (Jeppesen et al., 19..). Het systeemgedrag met betrekking tot de retentie van N is dus aan verandering onderhevig. Dit levert meteen een beperking op aan de bruikbaarheid van de simulatieresultaten: deze gelden voor de huidige situatie. Aan het eind van de gegevensreeks bedroeg was $n\tau = 221$ in het Eemmeer en $n\tau = 61$ in het Gooimeer. Voor de simulaties worden deze beide waarden ingevoerd in bovenstaande relaties.

Daar de leeftijd van het water een belangrijke verklarende factor is voor het quotiënt $N_{\text{meer}}/N_{\text{in}}$, dient de spreiding hierin ook goed door het model beschreven te kunnen worden. Dat hangt uiteraard af van de nauwkeurigheid waarmee de debieten van de balansposten beschreven worden. Voor zowel Eem- als Gooimeer komt de gesimuleerde frequentieverdeling van de leeftijd (= gemiddelde verblijftijd) van het aanwezige meerwater redelijk goed overeen met de uit de waterbalansen berekende frequentieverdeling (figuur 2.5) De negatieve temperatuurafhankelijkheid van het quotiënt (= positieve temperatuurafhankelijkheid van de retentie) die optreedt is te verklaren uit de biologische aard van de onderliggende processen die zorgen voor N retentie. Opvallend is dat, hoewel de bijdrage van de term met $n\tau$ aan de vergelijking gering is, de coëfficiënt van $n\tau$ in het Eemmeer negatief is ($N_{\text{meer}}/N_{\text{in}}$ neemt af in de tijd, ofwel de retentie van N neemt toe), terwijl deze in het Gooimeer positief is ($N_{\text{meer}}/N_{\text{in}}$ neemt toe in de tijd).

Opvallend is dat $P_{\text{meer}}/P_{\text{in}}$ in zowel Eem- als Gooimeer niet significant correleert met één van de onderzochte variabelen (T_{20} , τ en $n\tau$). Daarom wordt volstaan met de empirische kansverdeling zoals deze uit de data volgt (figuur 2.6).

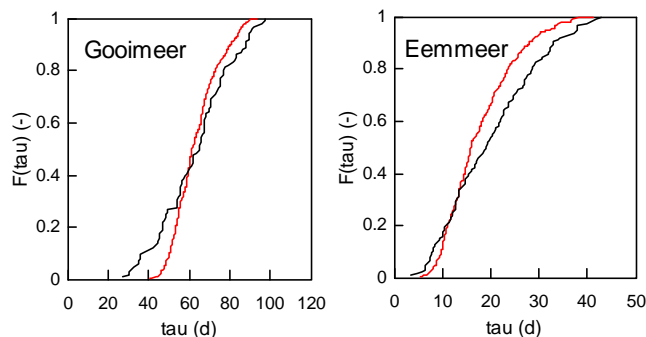
Tabel 2.4

Relaties voor het quotiënt $N_{\text{meer}}/N_{\text{in}}$ afhankelijk van T_{20} , τ en $n\tau$ in Eem- en Gooimeer.

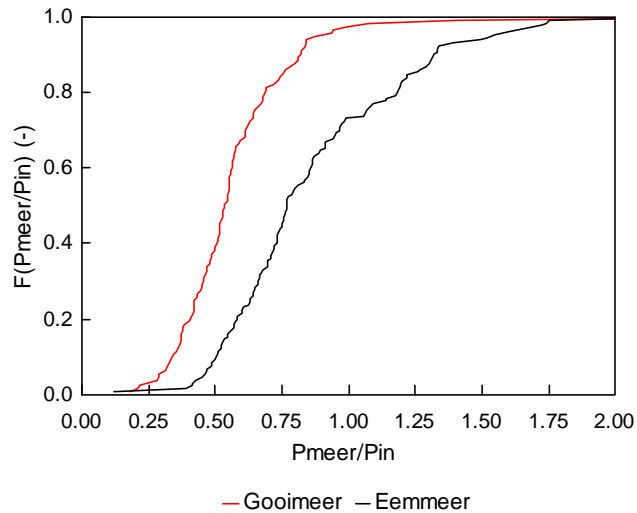
				r^2	n	$\sigma(\epsilon)$
Eemmeer	$N_{\text{meer}}/N_{\text{in}}$	$1.198 - 0.0196 T_{20} - 0.0033 \tau - 0.00157 n\tau + \epsilon$	0.29	125	0.24	
Gooimeer	$N_{\text{meer}}/N_{\text{in}}$	$1.146 - 0.0184 T_{20} - 0.0047 \tau + 0.00093 n\tau + \epsilon$	0.60	110	0.13	

Figuur 2.5

Gemeten en gesimuleerde frequentieverdeling van de gemiddelde leeftijd van het water in Gooimeer en Eemmeer.

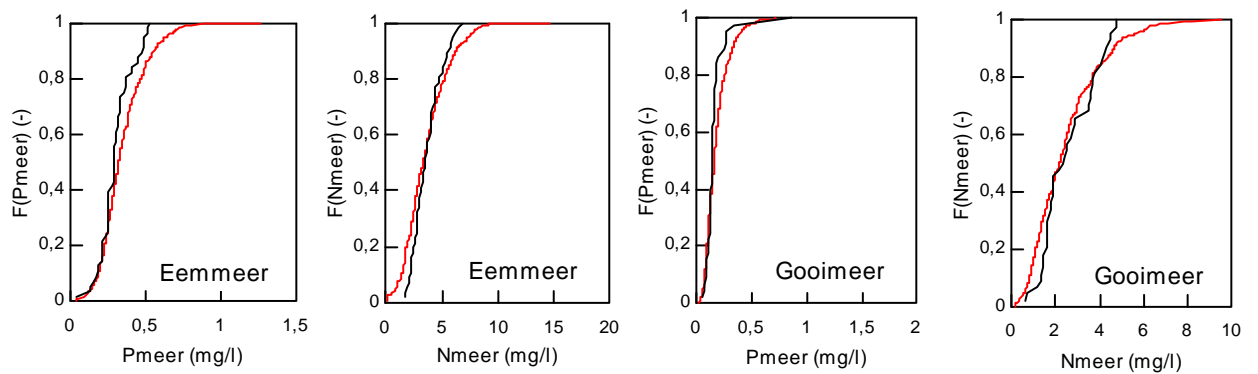


Figuur 2.6
Empirische kansverdeling voor het quotiënt P_{meer}/P_{in} in Gooimeer en Eemmeer.



Uit een vergelijking van de frequentieverdeling van gesimuleerde totaal-N en totaal-P concentraties met de monitoring gegevens (figuur 2.7) blijkt dat de medianen in alle gevallen goed worden gereproduceerd. De 90% waarden worden echter iets overschat.

Figuur 2.7
Gesimuleerde en gemeten frequentieverdeling van totaal-N en totaal-P concentraties in Eemmeer en Gooimeer.

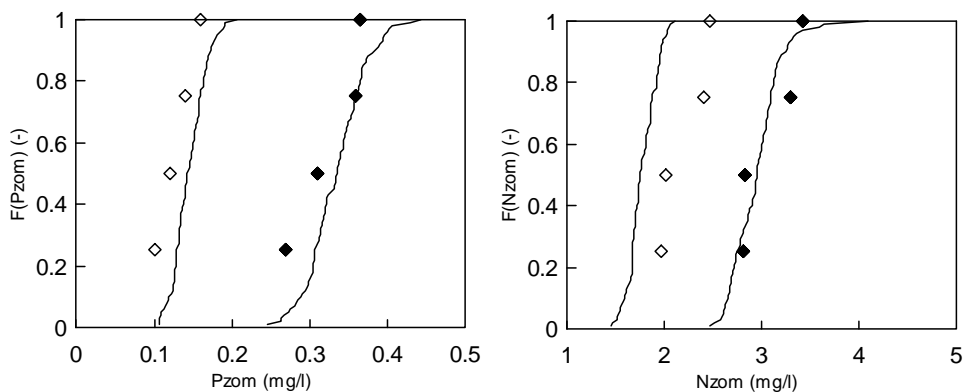


Uit de per decade gegenereerde waarden voor N_{meer} en P_{meer} worden vervolgens zomergemiddelde waarden bepaald door middeling van de waarden in decaden 10 tot en met 27 (1 april tot en met 30 september).

Figuur 2.8. geeft een vergelijking met de voor de huidige toestand gesimuleerde frequentieverdeling van de zomergemiddelde totaal-P en totaal-N gehalten in het Eem- en Gooimeer met de waarden uit de periode 1996-1999.

Figuur 2.8

Vergelijking van gesimuleerde frequentieverdeling van de zomergemiddelde totaal-N en totaal-P concentraties in Eemmeer (dichte symbolen) en Gooimeer (open symbolen), met de waarden in de periode 1996-1999



De ratio $N_{\text{meer}}/N_{\text{in}}$ is in beide meren significant gecorreleerd met T_{20} , τ en n ?. De ratio $P_{\text{meer}}/P_{\text{in}}$ is echter niet significant gecorreleerd met één van deze variabelen en wordt daarom op basis van een empirische kansverdeling gemodelleerd.

2.2.4 Chlorofyl-a en doorzicht

Uit zomergemiddelde N en P concentraties worden vervolgens zomergemiddelden voor chlorofyl-a en doorzicht bepaald. Hierbij wordt het volgende principe gehanteerd: de chlorofyl-a : totaal-P ratio wordt stochastisch gemodelleerd, het totaal-N legt alleen een maximum op aan het chlorofyl-a gehalte. Hiervoor wordt de landelijke relatie uit de Vierde Eutrofiëringsevenquête gebruikt (Portielje & Van der Molen, 1998).

Het doorzicht wordt bepaald door de bijdragen van twee termen aan de lichtuitdoving, uitgedrukt in het reciproke doorzicht: die door algen (gerelateerd aan chlorofyl-a) en die door een bijdrage door overige (niet-algen) componenten, de achtergrondstroebelings. De bijdrage van chlorofyl-a volgt direct uit de gesimuleerde chlorofyl-a concentratie en de relatie (Portielje & Van der Molen, 1998):

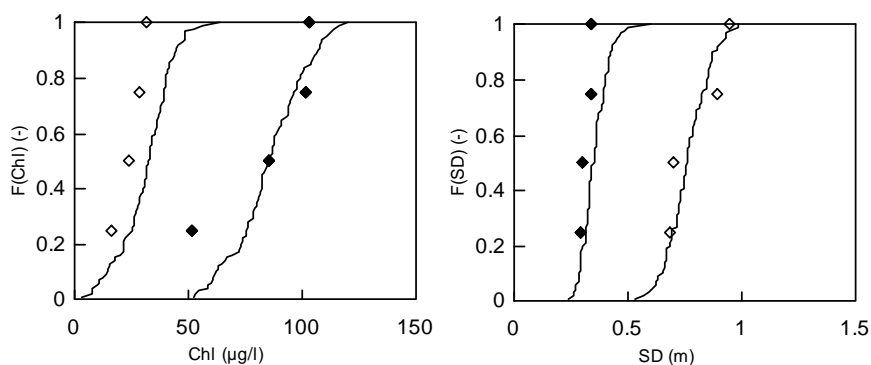
$$(1/SD)_{\text{chl-a}} = 0,011 \text{ chl-a}$$

De bijdrage van de achtergrondstroebelings door niet-algen wordt stochastisch gemodelleerd uit de historische distributies. Deze zijn bij benadering normaal verdeeld, met in het Gooimeer $\mu = 0,85 \text{ m}^{-1}$ en $\sigma = 0,13 \text{ m}^{-1}$, en in het Eemmeer $\mu = 1,95 \text{ m}^{-1}$ en $\sigma = 0,49 \text{ m}^{-1}$.

Figuur 2.9 geeft een vergelijking tussen de gesimuleerde frequentieverdeling voor het nulscenario (huidige toestand) en de gemeten waarden in de periode 1996-1999.

Figuur 2.9

Gesimuleerde frequentieverdeling van zomergemiddelde chlorofyl-a concentratie en Secchi diepte in Gooimeer (open symbolen) en Eemmeer (dichte symbolen), en gemeten waarden in de periode 1996-1999.



2.2.5 Ecologische variabelen

Waterplanten zijn in de Zuidelijke Randmeren slechts in zeer geringe mate aanwezig. Ook bij de laatste kartering (zomer 2000) was dit nog het geval, ondanks dat in het Gooimeer sinds enige jaren het doorzicht dermate verbeterd is dat verwacht kan worden dat de kansen voor de ontwikkeling van waterplanten zeker verbeterd moeten zijn ten opzichte van een aantal jaren geleden. Op basis van kennis met betrekking tot de ontwikkeling van Chara in de Veluwerandmeren kan wel een inschatting gemaakt worden voor de potentiële ontwikkeling van de planten in de Zuidelijke Randmeren bij een bepaalde waterhelderheid. Hierbij wordt rekening gehouden met het specifieke diepteprofiel van het Eemmeer en het Gooimeer.

In eerste instantie wordt voor de berekening van de kansen voor de ontwikkeling van waterplanten gebruik gemaakt van kennis van deze ontwikkeling zoals deze in de Veluwerandmeren heeft plaatsgevonden. Op basis van die gegevens wordt de mogelijke ontwikkeling van vegetatie ruimtelijk expliciet (per gridcel) bepaald, in relatie tot het quotiënt van zomergemiddeld doorzicht en de diepte ter plekke in de gridcel (Portielje & Van den Berg, 2001). Het betreft hier de ontwikkeling van kranswieren, in een later stadium kan evt. de potentie voor andere soorten bekeken worden (bv Schedefonteinkruid).

3 Maatregelen

3.1 Beschrijving maatregelen

Om de bovenstaande doelstellingen te realiseren zijn 23 globale maatregelen geformuleerd. De maatregelen zijn te onderscheiden in vier categorieën: vermindering van de aanvoer van fosfaat uit puntbronnen (maatregelen A), reductie van de emissies uit diffuse bronnen, zoals landbouw en scheepvaart (maatregelen B), hydrologische maatregelen (maatregelen C) en interne maatregelen (maatregelen D). Deze maatregelen, de haalbaarheid hiervan en de bijbehorende kosten zijn uitgebreid beschreven door DHV (2001). Hieronder volgt voor de duidelijkheid een korte omschrijving van de verschillende maatregelen.

3.1.1 SO Uitgangssituatie

Bij de ontwikkeling van de empirische relaties (zie hoofdstuk 2) is uitgegaan van de gemiddelde situatie over de jaren 1996-1999. De laatste jaren is de waterkwaliteit in de Zuidelijke Randmeren echter sterk verbeterd (Portielje et al., 2001). Gezien deze snel veranderende waterkwaliteit geven de voorspelde concentraties in zowel het nulscenario als na maatregelen, gebaseerd op het gemiddelde over de periode 1996-1999, een overschatting van de situatie in 2000. Om het effect van de verschillende maatregelen eerlijk te kunnen beoordelen en een vergelijking met MTR- en streefwaarden mogelijk te maken, dienen deze autonome ontwikkelingen meegenomen te worden. Daarom wordt als nulscenario gehanteerd de situatie in 2000, waarin deze autonome ontwikkeling is verdisconteerd. Daartoe is een regressie uitgevoerd over de periode 1996-1999 en geëxtrapoleerd naar 2000.

Dit komt neer op de volgende correctiefactoren:

Eemmeer:

totaal-P in 2000 = 0.64*totaal-P in 1996-1999

totaal-N in 2000 = 0.84*totaal-N in 1996-1999

Achtergrondstroebelings in 2000 = 0.76*achtergrondstroebelings in 1996-1999

Gooimeer:

Achtergrondstroebelings in 2000 = 0.83*achtergrondstroebelings in 1996-1999

Met behulp van de gecorrigeerde P- en N-belasting vanuit het Eemmeer, kan voor het Gooimeer een juiste voorspelling gemaakt worden voor totaal-P en totaal-N.

3.2 Reductie van belasting uit puntbronnen (maatregelen A)

3.2.1 A1 Reductie P-concentratie in het effluent van direct lozende RWZI's

Voor een reductie van de P-concentratie tot 1,0 mg P/l is een eenvoudige biologische of chemische fosfaat reductie installatie in te passen in de bestaande structuur van de zuivering. Voor verdere reductie is een 4^{de} trapszuivering nodig. De biologische installatie werkt op basis van een anaërobe tank met een volume van 2 x DWA (Droog Weer Afvoer), met een verblijftijd van 1 uur. Deze optie is duur. De chemische installatie werkt met dosering van ijzerzouten. De 4^{de} trapszuivering bestaat uit een aparte installatie voor de behandeling van het effluent water van de RWZI. Het toe te passen proces is de vlokkenfiltratie. Deze techniek berust op het chemisch proces waarbij het fosfaat in oplossing in het effluent water zich bindt aan het toe te voegen ijzerchloride. Het maatgevend volume is 1,2 x DWA. Het zandfilter is het onderdeel dat de meeste ruimte inneemt.

De RWZI's Huizen, Bunschoten en Nijkerk lozen direct op de meren, die van Hilversum en Blaricum via de Gooijergracht. Alhoewel hier geen gegevens beschikbaar van zijn wordt aangenomen dat tijdens het transport door de Gooijergracht een retentie van gemiddeld 10% optreedt.

Maatregel A1a is de vermindering van de P-concentratie tot 1,0 mg/l, A1b tot 0,5 mg/l en A1c tot 0,2 mg/l. Om het effect van de aanpassingen van de RWZI's Hilversum en Blaricum te berekenen, zijn voor de Gooijergracht opzetfactoren bepaald van 0,7; 0,3 en 0,1 bij een respectievelijke reductie van de effluentconcentraties naar 1,0; 0,5 en 0,2 mg P/l.

3.2.2 A2 Reductie P-concentratie in het effluent van indirect lozende RWZI's

De RWZI's Amersfoort, Soest/Baarn, Bennekom, Ede, Veenendaal en Woudenberg lozen via de Eem op de meren. Om de effecten van reductie van de effluent P-vracht van deze RWZI's op de P-belasting van het Eemmeer door te kunnen rekenen moet derhalve ook rekening gehouden worden met retentie van P die optreedt tijdens transport door de achtereenvolgende waterlopen in het stroomgebied van de Eem. Alhoewel hierover geen kwantitatieve gegevens beschikbaar zijn, is bekend dat deze retentie zeer aanzienlijk kan zijn. In deze studie wordt aangenomen dat de gemiddelde retentie 50% bedraagt. De toe te passen techniek is de zogenaamde 4^{de} trapszuivering. Deze techniek berust op het chemische proces waarbij het fosfaat in oplossing van het effluent water zich bindt aan het toe te voegen ijzerchloride.

Maatregel A2 wordt onderverdeeld in drie sub-maatregelen:

- A2a: Indien de huidige P-concentratie in het effluent hoger is, wordt deze verlaagd tot 1,0 P/l. Er komt dan 3595 kg P/jaar minder in de Eem. Dit levert alleen voor de RWZI Amersfoort een verbetering op ten opzichte van de huidige situatie.
- A2b: De concentratie in het effluent wordt verlaagd naar 0,5 mg P/l. Er komt dan 22856 kg P/jaar minder in de Eem.
- A2c: De concentratie in het effluent wordt verlaagd naar 0,2 mg P/l. Er komt dan 39552 kg P/jaar minder in de Eem.

Aan de hand van deze getallen zijn opzetfactoren berekend, waarmee de uiteindelijke verlaging van het fosfaatgehalte bij de monding van de Eem bepaald kan worden. Voor A2a is dat 0,9844, voor A2b 0,9011 en voor A2c 0,8288.

3.2.3 A3 Eem defosfateren

Om het fosfaatgehalte bij de monding van de Eem omlaag te brengen, kan gebruik gemaakt worden van een "open water" defosfateringsinstallatie. De fosfaatverwijdering vindt plaats door middel van chemische precipitatie. De bezinkruimte kan een afgescheiden deel zijn van het ontvangende water en mag niet door vaartuibewegingen verstoord worden. Voor het laatste is het nodig dat een schutsluis voor de scheepvaart gebouwd wordt. De totaal benodigde oppervlakte bedraagt 12 ha. Bij deze methode is een defosfatering haalbaar van 70% (de opzetfactor voor de P-concentratie in de Eem bedraagt dus 0,3).

3.2.4 A4 Helofytenfilter in Eemmonding

Het fosfaat uit de Eem kan voor een gedeelte verwijderd worden door een helofytenfilter in de monding, aan weerszijden van de vaargeul. Er is een gebied van 500 ha nodig en het water uit de Eem moet naar het filter toe gepompt worden. De capaciteit van het helofytenfilter is 5000 kg P reductie per jaar. Dit geeft een opzetfactor van $(115500 - 5000) / 115500 = 0,957$ (A4a). Door jaarlijks te maaien kan de reductie vermeerderd worden tot 20000 kg P per jaar. Dit geeft een opzetfactor van $(115500 - 20000) / 115500 = 0,827$ (A4b).

3.2.5 A5 Reduceren fosfaatbelasting vanuit het Nulderneauw

Voor de reductie van de fosfaatbelasting vanuit het Nulderneauw moeten de bronnen die afwateren op het Nulderneauw aangepakt worden. Twee maatregelen die al uitgevoerd worden zijn de aanleg van de delta Schuitenbeek en een 4^{de} trapszuivering van de RWZI Harderwijk. De monding van de Schuitenbeek en de uitlaat van het Puttenergemaal worden afgeleid door een moerasgebied richting Nijkerkersluis. Het water van de Schuitenbeek vermengt nu niet meer met het water van het Nulderneauw, maar stroomt direct in het Nijkerkernauw. Er wordt evenals in de Gooijergracht een retentie van totaal-P van 10% aangehouden tijdens transport door de Delta Schuitenbeek. Bij de 4^{de} trapszuivering in de RWZI Harderwijk wordt een reductie tot 0,2 mg P/l gehaald.

Onduidelijk is of met deze maatregelen ook daadwerkelijk 10 en 25% reductie van de fosfaatbelasting vanuit de Nijkerkersluis gehaald wordt. In eerste instantie is uitgegaan van deze getallen. 10% reductie van de fosfaatbelasting vanuit het Nulderneauw geeft een opzetfactor van 0,9 voor de aanvoerpost Nulderneauw (A5a). 25% reductie van de fosfaatbelasting vanuit het Nulderneauw geeft een opzetfactor van 0,75 voor de aanvoerpost Nulderneauw (A5b).

3.2.6 A6 Reduceren fosfaatbelasting vanuit IJmeer

Voor de reductie van de P-vracht vanuit het IJmeer, kunnen verschillende puntbelastingen op het Markermeer aangepakt worden. Het merendeel van de geregistreerde P-vrachten zijn afkomstig uit gemalen of sluizen met een agrarisch achterland. Natte jaren geven laten dan ook een hoge vracht zien.

Er zijn 5 locaties die over de 3 meetjaren een relatief hoge vracht lozen op het Markermeer. Deze zijn:

-
- De Blocq van Kuffeler (Hoge afdeling),
 - De Blocq van Kuffeler (Lage afdeling),
 - Houtrib (Houtribdijk),
 - Krabbersgat (Houtribdijk),
 - Wortman (Lage afdeling).

De bij deze gemalen en inlaten optredende puntbelasting kan worden verminderd door daar lokaal te defosfateren. Dit kan middels chemische precipitatie en bezinking, waarbij het bezinkbekken niet door vaartuibewegingen verstoord mag worden. Bij deze methode is een defosfatering van 70% haalbaar. Overigens is de fosfaatconcentratie in het IJmeer momenteel beduidend lager dan in het Gooimeer, waardoor de aanwezige invloed van het Markermeer en het IJmeer op de Zuidelijke Randmeren al verlagend werkt op de totaal-P concentratie. 10% reductie van de fosfaatbelasting vanuit het IJmeer geeft een opzetfactor van 0,9 voor de aanvoerpost IJmeer (A6a). 25% reductie van de fosfaatbelasting vanuit het IJmeer geeft een opzetfactor van 0,75 voor de aanvoerpost IJmeer (A6b).

3.2.7 A7 Saneren 2200 woningen bij Ede

Er zijn in de gemeente Ede (binnen het stroomgebied van de Eem) nog 2200 woningen niet op een riolering aangesloten. De woningen die op het riool worden aangesloten zullen in het geheel geen belasting meer op de grondwaterkwaliteit hebben. Woningen die niet op het riool kunnen worden aangesloten krijgen een IBA-systeem voor de zuivering van afvalwater en zullen dan nog een zeer sterk gereduceerde invloed op de grondwaterkwaliteit hebben.

Daar deze woningen zich ver bovenstrooms in het stroomgebied van de Eem bevinden, wordt de retentie in de waterlopen alvorens het Eemmeer bereikt geschat op circa. 70%. Sanering van deze woningen levert op deze wijze een opzetfactor voor de totaal-P concentratie in de monding van de Eem van 0.994, ofwel de verlaging bedraagt minder dan 1%.

3.3 Reductie van belasting uit diffuse bronnen (maatregelen B)

3.3.1 B1 Reductie aandeel landbouw/diffuse bronnen in Eem

Er kunnen verschillende maatregelen getroffen worden om uitspoeling vanuit landbouwgronden te verminderen. De eerste is fosfaatnulbemesting; geen fosfaat meer toevoegen. De tweede is een bodemchemische maatregel: toepassen van gesynthetiseerd ijzerhydroxide. Ten slotte kunnen ook hydrologische maatregelen getroffen worden op perceelniveau: het aanbrengen van diepe drainage in plaats van ondiepe drainage. Het verminderen van de mestgift waardoor het overschot afneemt is ten allen tijde duurzaam. Er kan een reductie van 20% gerealiseerd worden. De bodemchemische variant kent een reductie van 60 – 70%, maar ten aanzien van de duurzaamheid en effectiviteit op langere termijn is nog enige onzekerheid, als gevolg van de veroudering van ijzerhydroxide. Het aanleggen van diepe drainage zou een reductie van 80 – 90% opleveren en de duurzaamheid lijkt gegarandeerd.

In de Eemvallei ligt het aandeel van diffuse bronnen op de totale emissie van P in de range 64-82% van de totale P vracht in de monding van de Eem, en dit relatieve aandeel vertoont de afgelopen twee decennia een stijgende trend door de uitgevoerde saneringen van puntbronnen. Reductie van de diffuse bronnen met 25% komt in het uiterste geval (met gemiddeld 50% retentie in de waterlopen), neer op

een opzetfactor voor P_{Eem} van 0,80 (scenario B1b). Een reductie van de P-vracht vanuit diffuse bronnen met 10% komt neer op een opzetfactor voor P_{Eem} van 0,92 (scenario B1a).

3.3.2 B2 Reductie emissies door scheepvaart/recreatie

De reductie van emissies door scheepvaart en recreatie kan gerealiseerd worden door in de vaartuigen vuilwatertanks in te bouwen, die bij speciale inzamelpunten in de jachthavens gelegeerd kunnen worden. Het aandeel van de scheepvaart en recreatie op de totale P belasting in de Zuidelijke Randmeren is echter zeer gering. De geschatte opzetfactor voor het Eemmeer bedraagt slechts 0,997 (invloed slechts 0.3 %).

3.4 Hydrologische ingrepen (maatregelen C)

3.4.1 C1 Verlagen resuspensie

Resuspensie van bodemmateriaal kan een niet te verwaarlozen bijdrage leveren aan de troebelheid van het water. Resuspensie kan optreden door windinvloed of door invloed van menselijke activiteiten, zoals scheepvaart. Voor dit laatste geldt dat dit met name een lokaal effect heeft in de vaargeul. **Er is in het Ketelmeer wat onderzoek gedaan naar de erosie door schepen (Kappe et al 1989, Kappe en De Rijk 1991). Schepen kunnen een flinke lokale en momentane vertroebeling betekenen. Er wordt veel grof materiaal opgewerveld, dat binnen enkele minuten en maximaal binnen een half uur weer bezinkt op vrijwel dezelfde plek als waar het opgewerveld is. Het effect is klein als de kielspeling (afstand tussen kiel en bodem) meer dan 1 meter bedraagt (G. Blom, pers. comm.).**

Resuspensie kan ook verlaagd worden door het aanwezige slib weg te baggeren of het aangevoerde slib (voornamelijk vanuit de Eem) op te vangen in een slibvang.

3.4.2 C2 Reductie P-concentratie gemalen

Bij de gemalen Veendijk, Westdijk, Laak en Wiel kan een met behulp van een "open water" defosfateringsinstallatie (zie A3) een reductie van 70% gehaald worden. Bij gemaal Wiel geeft dit een opzetfactor van 0,3. De andere gemalen zijn ondergebracht bij concentraties overig Eemmeer.

3.4.3 C3 Stopzetten uitslag gemalen

Het reduceren van de uitslag van water van de verschillende gemalen naar het Eemmeer (Veendijk, Westdijk, Laak en Wiel) tot 0 m³/s is eigenlijk geen reële optie. Het opslaan van zulke grote hoeveelheden water is onmogelijk. Het aanleggen of kiezen voor alternatieve afvoerroutes is zeer moeilijk omdat het gehele omliggende gebied ook op het Eemmeer afwatert. De dichtstbijzijnde andere afwateringsmogelijkheid is het Nuldernauw, een randmeer met afvoer naar het Eemmeer.

Toch is deze maatregel doorgerekend, omdat dit gebruikt kan worden als een gevoeligheidsanalyse voor het model.

3.4.4 C4 Reductie inlaat Rijn

Jaarlijks wordt er bij Rhenen circa 20 miljoen m³ Rijnwater in het stroomgebied van de Eem ingelaten, voornamelijk tijdens de zomermaanden. Ten opzichte van het totale jaardebiet dat de monding van de Eem verlaat is dat minder dan 10%. De concentratie

totaal-P in het Rijnwater bedraagt thans circa 0,15 mg P/l en die van totaal-N circa 3 mg N/l. Er wordt aangenomen dat tijdens transport door de Eemvallei circa 70% retentie van totaal-P optreedt, de theoretische concentraties in het Rijnwater bij instroom in het Eemmeer, zijn dan nog respectievelijk 0,045 mg P/l en 0,9 mg N/l. Door de relatief lage concentratie van P in het Rijnwater ten opzichte van die van het gebiedseigen water vindt er in feite een verdunning van de P-concentratie in de Eem plaats. Hierbij is geen rekening gehouden met eventuele nadelige effecten door mobilisatie van P ten gevolge van een afwijkende macrochemie van het Rijnwater (hogere chloride en sulfaatgehalten die mobilisatie van P vanuit met name veen kunnen veroorzaken).

3.4.5 C5 Reductie debiet Nuldernauw

Door het inlaatdebiet te verminderen zal er minder water en daarmee minder fosfaat vanuit het Nuldernauw naar het Eemmeer stromen. De waterbalans van de meren zal worden beïnvloed. Een reductie van het debiet uit het Nuldernauw met 10% geeft een opzetfactor van 0,9 voor de aanvoer bij de Nijkerkersluis (C5a). Een reductie van het debiet uit het Nuldernauw met 25% geeft een opzetfactor van 0,75 voor de aanvoer bij de Nijkerkersluis (C5b).

3.4.6 C6 Reductie debiet IJmeer

Het IJmeer staat in open verbinding met het Gooimeer. Om de invloed van het IJmeer op het Gooimeer te reduceren zal er een hydrologische scheiding moeten worden gecreëerd. Dit kan door middel van een damwand ter hoogte van de Hollandse Brug en een sluizencomplex ten behoeve van de scheepvaart. Door te spuien kan er een reductie van het debiet van 10% of 25% gerealiseerd worden. Een reductie van 10% geeft een opzetfactor van 0,9 voor het debiet uit het IJmeer (C6a). Een reductie van 25% geeft een opzetfactor van 0,75 voor het debiet uit het IJmeer (C6b).

3.4.7 C7 Doorspoelen met water uit Nuldernauw

De huidige inlaat vanuit het Nuldernauw kan worden vergroot, waardoor het Eemmeer en het Gooimeer worden doorgespoeld met water met een lage P-concentratie. Een toename van 10% geeft een opzetfactor van 1,1 voor het debiet uit het Nuldernauw (C7a). Een toename van 25% geeft een opzetfactor van 1,25 voor het debiet uit het Nuldernauw (C7b).

3.4.8 C8 Doorspoelen met water uit IJmeer

Doordat het IJmeer en het Gooimeer geen hydrologische scheiding hebben bestaat er in deze meren ook hetzelfde waterpeil. Om te kunnen doorspoelen zal er water uit het IJmeer bovenstrooms in het Eemmeer moeten worden ingebracht. Dit kan door inlaten van water via gemaal De Blocq bij Almere op de watergangen van de Zuidelijke Flevopolder en vervolgens spuien/lozen op het Eemmeer. Een toename van 10% geeft een opzetfactor van 1,1 voor het debiet uit het IJmeer (C8a). Een toename van 25% geeft een opzetfactor van 1,25 voor het debiet uit het IJmeer (C8b).

3.4.9 C9 Toename inlaat vanuit Rijn

Door het inlaatdebiet van de inlaat Grebbedijk te vergroten kan er water van de Rijn ingelaten worden op het Valleikanaal en zo ook op de Eem en het Eemmeer. Een extra debiet van 25% komt overeen met circa 85 miljoen m³/jaar, wat bij de Grebbesluis moet worden ingelaten.

Er is alleen inlaat gedurende het zomerhalfjaar (decade 10 t/m 27). De concentratie van totaal-P in het Rijnwater bedraagt 0,15 mg P/l en die van totaal-N 3 mg N/l. Er vindt tijdens het transport door de Eemvallei 70% retentie plaats. De theoretische concentraties in het Rijnwater bij instroom in het Eemmeer zijn dan nog respectievelijk 0,045 mg P/l en 0,9 mg N/l.

3.5 Interne maatregelen D

3.5.1 D0 Aanwezigheid van waterplanten

Ook in de huidige toestand van de Zuidelijke Randmeren zou een veel groter areaal met waterplanten bedekt kunnen zijn. In de Veluwerandmeren is de toename van de waterplanten gepaard gegaan met een verbetering van de waterkwaliteit die verder ging dan op grond van de reductie van de externe nutriëntenbelasting alleen verwacht kon worden. Extra terugkoppelingen in het meerecosysteem kunnen dus voor een extra verbetering zorgen. Daarom wordt eerst gekeken wat het potentiële effect op de waterkwaliteit is als het volledige areaal benut is door waterplanten. Hierbij wordt gebruik gemaakt van de ervaringen hiermee in de Veluwerandmeren.

Een module voor de potentiële ontwikkeling van Chara in de zuidelijke randmeren, afgeleid uit monitoringgegevens van de Veluwerandmeren, wordt gekoppeld aan het model. Op basis van de berekende doorzichten en het diepteprofiel van de meren is de gemiddelde potentiële interne bedekking van de zuidelijke randmeren te berekenen.

Terugkoppeling door waterplanten

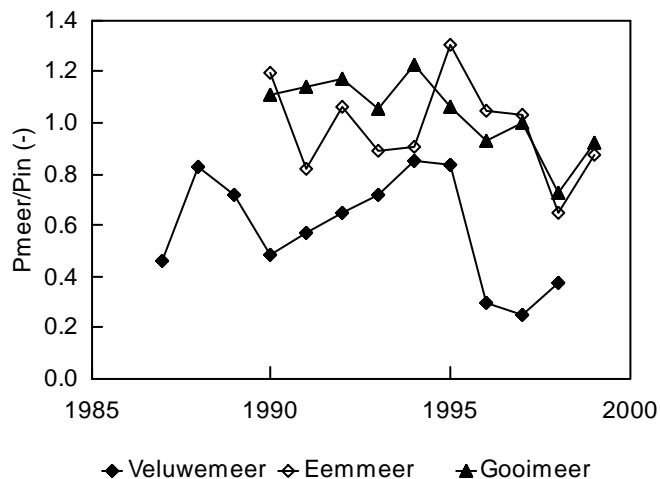
Vervolgens wordt een inschatting gemaakt van de mogelijke terugkoppeling die deze ontwikkeling kan hebben op de onderlinge relaties tussen eutrofiëringsvariabelen. In de Veluwerandmeren is de toename van de kranswieren samengegaan met een significante afname van zowel de ratio $P_{\text{meer}}/P_{\text{in}}$ ratio, de ratio chlorofyl-a : P_{meer} en de achtergrondstroebelings (Portielje & Rijsdijk, subm.).

$P_{\text{meer}}/P_{\text{in}}$

In het Veluwemeer is met name na de explosieve toename van kranswieren in 1996 de verhouding $P_{\text{meer}}/P_{\text{in}}$ sterk gedaald van circa 0.8 in de jaren voor 1996 tot 0.3-0.4 in de jaren erna (figuur 3.5.1). Een mogelijke toename van kranswieren in de Zuidelijke Randmeren zal, gezien de huidige waarde van de ratio $P_{\text{meer}}/P_{\text{in}}$ van circa 0.8, deze ratio dus fors kunnen doen afnemen. Dit heeft dan een forse verlaging van de totaal-P concentraties in het Eemmeer en Gooimeer tot gevolg, en beïnvloedt daarmee ook het chlorofyl-a gehalte en (in mindere mate) het doorzicht.

.....
Figuur 3.5.1

Verloop van de ratio $P_{\text{meer}}/P_{\text{in}}$ in de Zuidelijke Randmeren in vergelijking met het verloop in het Veluwemeer.



Voor een inschatting van deze mogelijke verbetering dient echter rekening gehouden te worden met de verblijftijd van het water in de meren. Uit de massabalans van een meer kan afgeleid worden dat:

$$C_{meer}/C_{in} = 1 / (1 - k \tau)$$

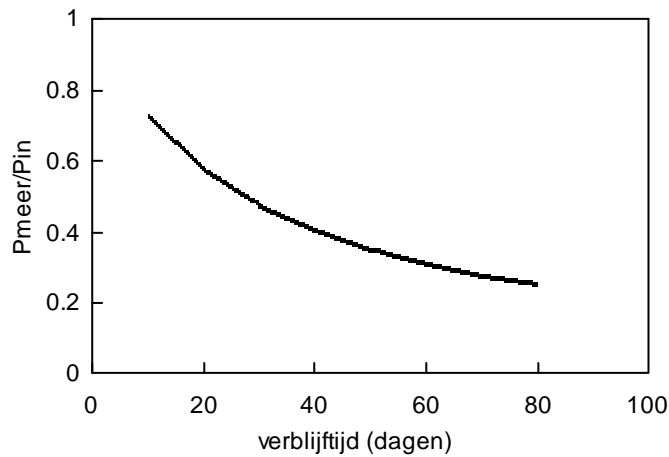
met τ de verblijftijd en k een eerste orde reactiesnelheid die het netto effect van alle processen die op de component inwerken weergeeft. Wanneer we de situatie van het Veluwemeer, met een τ van gemiddeld 51 dagen, en een ratio P_{meer}/P_{in} van 0.35, substitueren in bovenstaande vergelijking, levert dit $k = -0.0365 \text{ dag}^{-1}$. De ratio P_{meer}/P_{in} bij een waterplantenbedekking $> 30\%$ als functie van de verblijftijd is gegeven in figuur 3.5.2.

Betrokken op het Eemmeer, met een gemiddelde verblijftijd van 29 dagen (Oostinga, 2001), levert dit bij een bedekking overeenkomend met die in het Veluwemeer dat $P_{meer}/P_{in} = 0.49$. Voor het Gooimeer, met een gemiddelde verblijftijd van 53 dagen (Oostinga, 2001) levert dit $P_{meer}/P_{in} = 0.34$. Er is dus nog een verlaging van de ratio P_{meer}/P_{in} ten opzichte van de huidige waarden mogelijk. In het Eemmeer bedroeg deze in de periode 1996-1999 op basis van de mediaan 0.78, in 2000 op basis van deze mediaan en een geëxtrapoleerde trend nog 0.60. Ten opzichte van deze laatste waarde is er dus nog een verlaging tot 0.49 mogelijk, bij de huidige verblijftijd. In het Gooimeer is deze mogelijke verlaging bij toename van de waterplantenbedekking veel sterker, gezien de langere verblijftijd van het systeem.

Het geschetste verband tussen de ratio P_{meer}/P_{in} en de verblijftijd geldt in een situatie waarin nalevering vanuit het sediment geen grote rol van betekenis meer heeft, en in evenwicht is met de actuele P concentraties in de waterkolom.

Figuur 3.52

Verband tussen de ratio P_{meer}/P_{in} en de verblijftijd bij een waterplanten bedekking groter dan 30%.



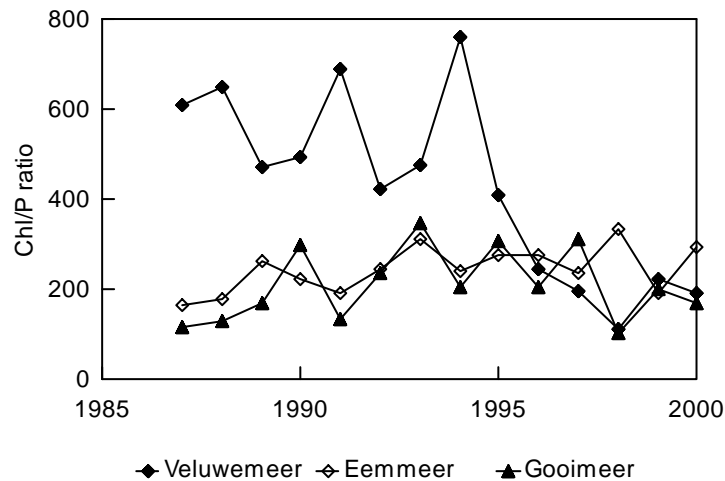
Chlorofyl-a : P_{meer}

De verwachting is echter dat het effect van een mogelijke toename van de kranswieren bedekking in de Zuidelijke Randmeren op de chlorofyl-a : P_{meer} ratio's geringer zal zijn dan destijds in de Veluwerandmeren het geval was. Daar bedroeg deze chlorofyl/P_{meer} ratio bij een interne kranswierbedekking van 30% nog maar ca. 20% van de waarde bij de uitgangssituatie met een bedekking van 0%, met een afname van 600 naar 100-200 tijdens de periode van uitbreiding van de kranswievelden (figuur 3.5.3).

In de Zuidelijke randmeren is de uitgangssituatie echter anders. De chlorofyl : P_{meer} ratio was hier gedurende de gehele jaren negentig al relatief laag, variërend tussen 100 en 350 (gemiddeld 240), en een verdere afname van deze ratio door een mogelijke toename van kranswieren zal derhalve relatief gering zijn.

Figuur 3.5.3

Verloop in de tijd van de chlorofyl/P_{meer} ratio in de Zuidelijke Randmeren in vergelijking met het Veluwemeer.



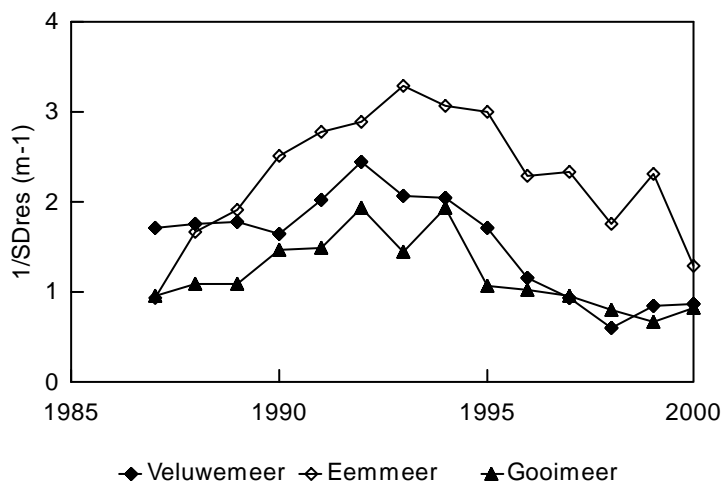
Achtergrondstroebelung

De achtergrondstroebelung in het Gooimeer is met name na 1995 sterk afgenomen. Het gemiddelde over de periode 1990-1994 bedroeg 1.64 m⁻¹, en over de periode 1998-2000 was dat 0.8 m⁻¹. Ter vergelijking: in het Veluwemeer is de achtergrondstroebelung met de toename van de Chara afgenomen van ruim 2 m⁻¹ naar ca. 0.8 m⁻¹ (figuur 3.5.4). Een verdere afname in het Gooimeer ten gevolge van een mogelijke toename van Chara zal dus relatief kleiner zijn dan in het Veluwemeer het geval was. Voor dit terugkoppelingsmechanisme geldt dus

eveneens als voor de chlorofyl-a : P_{meer} ratio, dat het potentiële effect ervan op de waterkwaliteit geringer zal zijn dan in het Veluwemeer het geval was, vanwege de al aanzienlijk betere uitgangssituatie voordat er sprake is van een toename van de waterplanten. In het Eemmeer is ondanks de al forse afname sinds ca 1993 van ruim 3m^{-1} naar circa 1.5m^{-1} , een verdere afname van de achtergrondstroebelings nog wel mogelijk.

Figuur 3.5.4

Verloop in de tijd van de achtergrondstroebelings (=troebelings veroorzaakt door overige componenten dan algen), uitgedrukt in de bijdrage aan het reciproke doorzicht $1/SD_{\text{res}}$ (m^{-1}).



Op basis van het bovenstaande kunnen voor de terugkoppelingsmechanismen de volgende aannamen gemaakt worden een interne bedekking met kranwieren van $> 30\%$ bereikt wordt:

- $P_{\text{meer}}/P_{\text{in}}$ (Gooimeer) = 0.34
- $P_{\text{meer}}/P_{\text{in}}$ (Eemmeer) = 0.49
- chlorofyl-a : P_{meer} = 200
- achtergrondstroebelings (uitgedrukt als $1/SD_{\text{res}}$) = 0.8m^{-1}

3.5.2 D1 Peilbeheer meer

Het peil kan verhoogd en verlaagd worden door middel van al aanwezige technische voorzieningen als sluizen en gemalen.

Bij peilbeheer wordt het diepteprofiel gecorrigeerd voor een peilverschil tijdens de zomerperiode. De gevoeligheid van de potentiële interne Chara bedekking voor een peilverlaging van $0,1\text{m}$ blijkt zeer gering te zijn.

De berekende potentiële bedekkingen geven een ondergrens, daar geen rekening is gehouden met mogelijke terugkoppelingsmechanismen, waarbij de waterplanten de verhoudingen van $P_{\text{meer}}/P_{\text{in}}$, $\text{Chl}/P_{\text{meer}}$ en SD/Chl veranderen ten gunste van een hoger doorzicht en dus een hogere bedekking.

3.5.3 D2 Lokaal ver(on)diepen, verandering diepte

Het water aan de polderkant is over het algemeen dieper dan $1,5\text{meter}$. Het zou eventueel zinvol zijn om een gedeelte hiervan te verondiepen. Ook kan de invloed van wind verminderd worden door het aanleggen van vooroevers, waardoor er minder resuspensie is en de waterplanten op grotere diepte kunnen kiemen.

3.5.4 D3 Toevoegen substraat en/of entmateriaal van driehoeksmosselen en waterplanten.

Driehoeksmosselen kunnen bij voldoende aanwezigheid of filtercapaciteit de helderheid van het water verhogen. Om algenbloei te kunnen compenseren zou per dag 1/3 deel van het totale watervolume gefiltreerd moeten worden. In het Gooimeer werd (in 1998?) bijna 17% van de inhoud per dag gefiltreerd. In het Nijkerkernauw was dit 3,3% en in het Eemmeer 2,1% van het totale volume. In 2000 is het filtratievolume door mosselen in het Gooimeer en het Eemmeer gestegen tot boven de 30%, in het Nijkerkernauw is het aantal mosselen en daarmee het filtratievolume afgenomen. Het aanbrengen van het juiste substraat kan een maatregel zijn om de driehoeksmos te stimuleren, het is echter de vraag of dit echt helpt.

Waterplanten hebben voldoende licht en een stevige bodem nodig om te kunnen groeien. Mogelijk is er wel voldoende zaadbank aanwezig. Mogelijke maatregelen zijn dus plaatselijk ver(on)diepen van de meren, het aanbrengen van het juiste substraat en het verwijderen van bodemwoelende vis. Eventueel kunnen waterplanten geënt worden om de ontwikkeling te stimuleren, alhoewel de effecten hiervan bij andere locaties gering waren.

3.5.5 D4 Natuurontwikkeling

Bij natuurontwikkeling worden omstandigheden gecreëerd waarvan zoveel mogelijk planten en dieren kunnen profiteren. Hiervoor kan een breed scala van maatregelen getroffen worden. Voorbeelden hiervan zijn: geleidelijke overgangen creëren tussen land en water, opspuiten van eilanden, vooroevers aanleggen + herprofilieren bodemprofiel en luwtedammen aanleggen. De praktijk leert dat verdwenen flora en fauna weer terugkeren en dat de natuurwaarden toenemen. Ook in de Zuidelijke Randmeren zijn dergelijke ingrepen mogelijk. Welke ruimte noodzakelijk is om dergelijke maatregelen door te voeren is moeilijk in te schatten. Het ambitieniveau van de verschillende actoren in het Zuidelijk Randmeren gebied zullen die gezamenlijk moeten vaststellen. Aansluiten bij bestaande natuurwaarden kan hierbij dienen als uitgangspunt. De praktijk heeft geleerd dat ingrepen, indien goed uitgevoerd, een belangrijke bijdrage kunnen leveren aan de ontwikkeling van de natuur in een bepaald gebied. Effectiviteit en duurzaamheid zijn dan uiteraard hoog. Door de toename van de natuurwaarden neemt ook de belevingswaarde voor de mens toe. Dus dergelijke maatregelen bieden voordelen op verschillende vlakken. Als nadeel kan gezien worden dat de beschikbare recreatieve ruimte zal afnemen.

3.5.6 D5 Doorgaan / intensivering pootvisserij

Het uitdunnen van de visstand, met name de bodemwoelende en planktonetende soorten, leidt er toe dat watervlooien en waterplanten meer ontwikkelingsmogelijkheden krijgen. Hierdoor kunnen omstandigheden ontstaan dat kan leiden tot helder water. Het uitdunnen van de visstand kan op twee manieren gerealiseerd worden: (1) een intensieve eenmalige visserij waarbij het visbestand terug gebracht wordt tot 45 kg/ha of (2) een extensieve langdurige afvisregime waarbij 30-40 kg/ha per jaar afgevisd wordt. Voor de Zuidelijke Randmeren zal echter gelden dat het alleen uitdunnen van de visstand niet voldoende zal zijn om helder water te krijgen. Eenmalig afvissen, waarbij ook de kleine vis moet worden weggevangen, is

moeilijk realiseerbaar, vanwege de grootte van de Zuidelijke Randmeren. Bovendien staat het gebied in open verbinding met verschillende wateren, waardoor het effect al snel teniet gedaan kan worden. Met de extensieve variant is nog weinig ervaring opgedaan, waardoor op voorhand niet is aan te geven wat het mogelijke resultaat is van een dergelijke aanpak. De uitdunningsvisserij is nu uitsluitend gericht op brasem. Hierdoor zal de dominantie van blankvoorn toenemen, waardoor de predatiedruk op de driehoeksmosselen sterk kan toenemen.

3.6 Combinaties van maatregelen

Naar aanleiding van de effecten op de waterkwaliteit van de verschillende maatregelen en de haalbaarheid hiervan zijn een aantal maatregelen uitgezocht waarvan het cumulatieve effect is uitgerekend.

3.6.1 S1 autonome ontwikkelingen

In de eerste plaats zijn alle maatregelen bij elkaar gevoegd die al in het gebied zullen worden uitgevoerd of al in uitvoering zijn. Dit zijn het aanpassen van de RWZI's zodat een effluent van maximaal 1,0 mg/l wordt uitgelaten (A1a en A2a), het aanpassen van de woningen bij Ede (A7), het omleiden van de Delta Schuitenbeek en de inwerkingstelling van de vierde trap bij Harderwijk. Deze combinatie van maatregelen wordt S1 genoemd.

Het is mogelijk dat de concentraties in het Nuldernauw zullen veranderen als gevolg van het omleggen van de monding van de Schuitenbeek. De gevolgen hiervan zijn berekend volgens de voorspellingen van Meijer et al. (2000) over de effecten voor en na het uitvoeren van deze maatregelen.

Dit komt voor het Eemmeer neer op het volgende:

- Van de waterbelasting vanuit het Nuldernauw wordt het debiet van de Schuitenbeek en het Puttnergemaal afgetrokken.
- De concentraties in het inkomende water vanuit het Nuldernauw zijn herberekend met het model zoals gebruikt in de Stabiliteitsstudie Veluwerandmeren, waarbij de resultaten van het scenario met Delta Schuitenbeek en Vierde trap zuivering RWZI Harderwijk zijn gebruikt.
- Als extra balanspost voor het Eemmeer wordt de water- en stofbelasting vanuit Schuitenbeek en Puttnergemaal toegevoegd (met correctie van 10% retentie van P in de Delta).

Door de aanleg van de Delta Schuitenbeek nemen de totaal-P concentraties in het aanvoerwater vanuit het Nuldernauw iets af. Daar tegenover staat de Delta Schuitenbeek als extra balanspost. Een eerste berekening liet zien dat de gevoeligheid van de concentraties in het Eemmeer voor deze verschuivingen te verwaarlozen zijn, met andere woorden de aanleg van de Delta Schuitenbeek heeft geen noemenswaardige effecten op de waterkwaliteit van het Eemmeer.

3.6.2 Scenario A, B en D

De tweede groep maatregelen die wordt gecombineerd is het maximaal aanpassen van zowel direct- als indirect lozende RWZI's, tot 0,2 mg P/l. Dit is een combinatie van de maatregelen A0, A1c en A2c. Deze groep maatregelen heet scenario A.

De derde groep maatregelen omvat de maatregelen van scenario A met als toevoeging het reduceren van de diffuse bronnen en de landbouw met 25 % (B1b). Deze groep maatregelen wordt scenario B genoemd en bestaat uiteindelijk uit A0, A1c, A2c en B1b. Tot slot worden de maatregelen van scenario B gecombineerd met het effect dat de aanwezigheid van waterplanten in de beide meren zal hebben (D0). Deze groep maatregelen, uiteindelijk bestaand uit A0, A1c, A2c, B1b en D0 wordt scenario D genoemd.

Het samenvoegen van de maatregelen kan in sommige gevallen inhouden dat op dezelfde balanspost reducties plaatsvinden. In deze gevallen zijn de verschillende opzetfactoren opnieuw uitgerekend. Dit is het geval bij scenario S1 en B waarbij meerdere maatregelen effect hebben op de kwaliteit van de Eem.

4 Effecten maatregelen

De maatregelen zijn opgedeeld in maatregelen die betrekking hebben op de vermindering van fosfaat aanvoer uit puntbronnen (maatregelen A), reductie van P aanvoer uit de landbouw en scheepvaart (maatregelen B), hydrologische maatregelen zoals aanpassingen aan gemalen en het verhogen/verlagen van de doorspoeling van de meren vanuit aangrenzende meren (maatregelen C) en de interne maatregelen (maatregelen D). Daarnaast zijn een aantal maatregelen aan elkaar gekoppeld om het gecombineerde effect van meerdere maatregelen inzichtelijk te maken.

De maatregelen zijn doorgerekend voor het Eemmeer en Gooimeer. Van verschillende maatregelen zijn meerdere niveau's onderscheiden. Zo is bij de aanpassing aan de RWZI's gekeken naar de effecten van verschillende na te streven effluent totaal-P concentraties van respectievelijk 1,0 mg/l, 0,5 mg/l en 0,2 mg/l. Omwille van de overzichtelijkheid zijn niet alle niveau's in de figuren geplaatst. Alleen het meest vergaande niveau staat in de figuren vermeld. In bijlage 1 staan de resultaten van alle maatregelen vermeld.

De voorgestelde maatregelen hebben voornamelijk betrekking op totaal-P. Voor de reductie van totaal-N zijn geen maatregelen opgesteld. Het model berekend wel het totaal-N gehalte. Deze berekening heeft als voornaamste functie het bepalen van de bovengrens voor chlorofyl-a wanneer stikstof de beperkende factor is. Voor de effecten van de maatregelen op totaal-N is het model verder niet geschikt. De effecten op het stikstofgehalte worden dan ook niet in dit rapport besproken.

4.1 Totaal-P

Voor het Eemmeer geldt voor alle maatregelen dat de gebiedsgerichte streefwaarde voor de zomergemiddelde totaal-P concentratie niet gehaald wordt. Dit gaat meestal eveneens op voor de MTR-waarde. De gebiedsgerichte streefwaarde staat in de figuren aangegeven met de doorgetrokken rode streep, de MTR-waarde met de onderbroken blauwe streep (figuren 4.1 t/m 4.8). Ten opzichte van de Ausgangssituatie (scenario S0) zijn bij verschillende maatregelen wel effecten te zien. In het Gooimeer komt de zomergemiddelde totaal-P concentratie bij alle maatregelen, evenals bij de Ausgangssituatie, onder de MTR-waarde. Bij meerdere maatregelen komt de concentratie zelfs dicht bij de gebiedsgerichte streefwaarde en in sommige gevallen wordt deze streefwaarde ook daadwerkelijk bereikt. Hieronder wordt per groep maatregelen ingegaan op de effecten op het fosfaat gehalte in het Eemmeer en Gooimeer.

.....
Figuur 4.1
Totaal-P gehalten in het Eemmeer bij
maatregelen A, in mg/l.

.....
Figuur 4.2
Totaal-P gehalten in het Gooimeer bij
maatregelen A, in mg/l.

.....
Figuur 4.3
Totaal-P gehalten in het Eemmeer bij
maatregelen B, in mg/l.

.....
Figuur 4.4
Totaal-P gehalten in het Gooimeer bij
maatregelen B, in mg/l.

4.1.1 Effecten van reductie puntbronnen (maatregelen A) op P-totaal

De eerste twee maatregelen hebben betrekking op de reductie van P-totaal in het effluent van de RWZI's. De eerste maatregel betreft de RWZI's die rechtstreeks op de meren lozen (A1), de tweede maatregel betreft de RWZI's die indirect op de meren lozen (A2). Beide maatregelen hebben in het Eemmeer effect, waarbij maatregel A1 het grootste effect heeft (figuur 4.1).

De derde maatregel omvat het defosfateren van de Eem (A3). Dit is de maatregel die het grootste effect heeft van alle maatregelen in deze groep. Dit is tevens de enige maatregel waarbij de mediaan en de spreiding lager uitkomt dan in de Ausgangssituatie. Dit betekent dat het onder het gehalte uit de Ausgangssituatie komt. Daarnaast is A3 de enige maatregel waarbij waarschijnlijk wordt bereikt dat P-totaal in het Eemmeer onder de MTR-waarde komt.

Het plaatsen van het helofyten filter in de monding van de Eem (A4) heeft een effect dat vergelijkbaar is met de aanpassing in de indirect lozende RWZI's.

De laatste drie maatregelen, het reduceren van de fosfaat belasting vanuit het Nuldernauw (A5) of het IJmeer (A6) en het saneren van de 2200 woningen bij Ede (A7) hebben vrijwel geen effect in het Eemmeer. In vergelijking met het Ausgangssituatie bevindt het resultaat van deze maatregelen zich in de range van de Ausgangssituatie.

In het Gooimeer is een vergelijkbaar beeld met het Eemmeer te zien, waarbij de effecten van de maatregelen iets zijn afgevlakt. Daarnaast is P-totaal lager dan in het Eemmeer en is de spreiding van het resultaat kleiner (figuur 4.2).

De effecten van het aanpassen van de RWZI's zijn gelijk en overeenkomstig de effecten van het plaatsen van het helofyten filter in de monding van de Eem. Opnieuw heeft het defosfateren van de Eem het grootste effect, waarbij P-totaal waarschijnlijk rond de gebiedsgerichte streefwaarde uitkomt.

De maatregel waarbij P-totaal vanuit het Nuldernauw wordt aangepast heeft in het Gooimeer geen effect op P-totaal. Dit geldt eveneens voor de sanering van de woningen bij Ede. Het reduceren van de fosfaatbelasting vanuit het IJmeer geeft eveneens waarschijnlijk geen verlaging van P-totaal tot gevolg. De spreiding laat zien dat mogelijk een hele kleine verhoging van P-totaal kan optreden.

4.1.2 Effecten van reductie diffuse bronnen (maatregelen B) op P-totaal

In het Eemmeer heeft de reductie van de emissie uit de landbouw en overige diffuse bronnen met 25% (B1) een vrijwel even groot effect als het aanpassen van de effluent concentraties van indirect lozende RWZI's tot 0,2 mg P/l (scenario A1). De reductie van de emissies door de scheepvaart en de recreatie (B2) heeft geen zichtbaar effect (figuur 4.3).

In het Gooimeer is het effect van de reductie van de landbouw en diffuse bronnen eveneens vergelijkbaar met het effect van de aanpassing van de RWZI's (figuur 4.4). Ook in het Gooimeer heeft het verminderen van de emissies door de scheepvaart en recreatie geen effect. Opnieuw is de spreiding in de voorspelde P-totaal concentraties kleiner dan in het Eemmeer en ligt het gehalte aan P-totaal lager.

4.1.3 Effecten hydrologische maatregelen (C) op P-totaal

In het Eemmeer zijn de effecten van de hydrologische maatregelen (C) kleiner dan die van de maatregelen A. De P-totaal concentraties blijven voor alle scenario's boven de MTR-waarde (figuur 4.5).

De maatregelen waarbij vanuit de gemalen tot 70% minder fosfaat in de meren wordt ingelaten (C2) en die waarbij de gemalen worden afgekoppeld zodat geen water meer in de meren wordt gepompt (C3) hebben een lichte verlaging van het P-totaal van het Eemmeer tot gevolg. Stopzetting van de inlaat van Rijnwater bovenstrooms (C4), heeft een verhoging van de P-totaal concentratie in het Eemmeer tot gevolg. Bij de huidige P-totaal concentraties in de Rijn die lager zijn dan die van het gebiedseigen water heeft inlaat van Rijnwater dus een verdunnend effect. De reductie van het debiet vanuit het Nuldernauw (C5) of IJmeer (C6) heeft geen noemenswaardig effect op P-totaal in het Eemmeer. Het verhogen van het debiet vanuit het Nuldernauw (C7), IJmeer (C8) of de inlaat van Rijnwater (C9) hebben een heel lichte verlaging tot gevolg.

In het Gooimeer zijn de effecten van genoemde hydrologische maatregelen in vergelijking met het Eemmeer, minder uitgesproken. De voorspelde P-totaal gehalten liggen tussen de MTR- en de gebiedsgerichte streefwaarde in en hebben een kleinere spreiding dan in het Eemmeer (figuur 4.6).

De maatregelen waarbij veranderingen aan de gemalen plaatsvinden hebben geen effect, de spreiding van het berekende P-totaal gehalte is iets groter dan in de uitgangssituatie. Dit geldt eveneens voor de overige maatregelen met uitzondering van C4 en C5. De reductie van het debiet vanuit het Nuldernauw heeft in het geheel geen effect en de spreiding van het berekende P-totaal gehalte is eveneens overeenkomstig de uitgangssituatie. De reductie van de inlaat met Rijnwater (C4) heeft een heel licht verhogend effect op P-totaal. Wel is de spreiding van het berekende P-totaal gehalte iets groter dan in de uitgangssituatie, waardoor het uiteindelijke effect zowel hoger als iets lager dan de uitgangssituatie kan uitkomen.

4.1.4 Effecten interne maatregelen (D) op P-totaal

Bij het huidige doorzicht, indien geen rekening gehouden wordt met de mogelijke terugkoppelingsmechanismen, waarbij de waterplanten de verhoudingen van $P_{\text{meer}}/P_{\text{in}}$, $\text{Chl}/P_{\text{meer}}$ en SD/Chl veranderen ten gunste van een hoger doorzicht, bedraagt de potentiële bedekking met charofyten in Eemmeer en Gooimeer respectievelijk circa 20% en 40%. Indien wel rekening gehouden wordt met de mogelijke terugkoppelingen zoals beschreven in hoofdstuk 3.5 kan in beide meren een bedekking >40% gehaald worden.

In de eerste plaats is berekend wat de effecten zijn van de mogelijke aanwezigheid van waterplanten op het P-totaal, N-totaal en chlorofyl-a gehalte en het doorzicht door de in hoofdstuk 3.5 beschreven terugkoppelings-mechanismen onder de huidige omstandigheden (maatregel D0).

Daarna is uitgerekend wat de extra effecten op de potentiële ontwikkeling van de waterplanten, en de daarbij horende effect op het P-totaal, N-totaal en chlorofyl-a gehalte is bij de verschillende maatregelen (maatregelen D1 en D2).

Bij de biologische maatregelen is bekeken wat de bedekking van waterplanten in de beide meren zou kunnen zijn, waarbij rekening is gehouden met de diepte en het doorzicht. Deze maatregelen hebben betrekking op het veranderen van het peil met 0,1 m hoger of lager dan in de huidige situatie (D1) en het lokaal verondiepen van de beide meren (D2).

Bij het doorrekenen van de maatregelen D moet wel in de gaten worden gehouden dat gerekend wordt met de potentiële aanwezigheid van waterplanten, en de effecten daarvan op het systeem. Ook in de huidige situatie zouden voldoende waterplanten in het Eemmeer kunnen voorkomen, wanneer gekeken wordt naar het doorzicht en de diepte. Tot nu toe komen in het Eemmeer echter vrij weinig tot geen waterplanten voor.

.....
Figuur 4.5
Totaal-P gehalten in het Eemmeer bij
maatregelen C, in mg/l.

.....
Figuur 4.6
Totaal-P gehalten in het Gooimeer bij
maatregelen C, in mg/l.

.....
Figuur 4.7
Totaal-P gehalten in het Eemmeer bij
maatregelen D, in mg/l.

.....
Figuur 4.8
Totaal-P gehalten in het Gooimeer bij
maatregelen D, in mg/l.

Wanneer waterplanten zouden voorkomen in het Eemmeer en rekening wordt gehouden met de terugkoppelingseffecten (D0), heeft dit tot gevolg dat het totaal-P gehalte enigszins zal dalen ten opzichte van de uitgangssituatie S0 (figuur 4.7). Het effect is vergelijkbaar met het reduceren van het fosfaatgehalte vanuit de gemalen (C2). Een peilverlaging of peilverhoging (maatregel D1) als extra maatregel heeft daarbij vrijwel geen extra effect op P-totaal van het Eemmeer. Van het plaatselijk verondiepen wordt een vergelijkbaar effect verwacht. Aangezien in de huidige situatie al voldoende mogelijkheden zijn voor de waterplanten om zich te vestigen, maar dit momenteel nog niet gebeurt.....
....overige maatregelen...

In het Gooimeer heeft een ontwikkeling van waterplanten alleen al het effect dat de gebiedsgerichte streefwaarde waarschijnlijk wordt bereikt (D0). Daarnaast is evenals in het Eemmeer ook in het Gooimeer geen noemenswaardig extra effect gevonden van een peilverandering op het zomergemiddeld P-totaal gehalte door de (figuur 4.8).
....overige maatregelen....

4.2 Chlorofyl-a

In de figuren staat de MTR-waarde voor chlorofyl-a aangegeven als een blauwe onderbroken streep. Voor deze parameter is geen kwantitatieve streefwaarde vastgesteld. Bij alle maatregelen wordt voldaan aan de MRT-waarde (figuren 4.9 t/m 4.16). Over het algemeen zijn de chlorofyl-a gehalten in het Eemmeer hoger dan in het Gooimeer. Daarnaast is de spreiding in het Eemmeer groter.

4.2.1 Effecten van reductie puntbronnen (A) op chlorofyl-a gehalte

De meeste maatregelen hebben in meer of mindere mate een verlagend effect voor het chlorofyl-a gehalte in het Eemmeer (figuur 4.9). De grootste daling vindt plaats bij de defosfatering van de Eem (A3). Daarnaast is een duidelijk effect te zien (hoewel de spreiding nog binnen de uitgangssituatie valt), voor de maatregel waarbij de RWZI's die rechtstreeks op de meren lozen, worden aangepast (A2). Een kleine daling treedt op bij de reductie van fosfaat bij de RWZI's die indirect op de meren lozen (A1), het helofytenfilter aan de monding van de Eem

(A4) en de reductie van de fosfaatbelasting vanuit het Nuldernauw (A5). Bij de reductie van de fosfaatbelasting vanuit het IJmeer (A6) en de sanering van de woningen bij Ede (A7) treedt vrijwel geen verandering op.

In het Gooimeer is de situatie vergelijkbaar waarbij de effecten minder sterk zijn dan in het Eemmeer. De chlorofyl-a gehalten zijn bij alle maatregelen en de uitgangssituatie beduidend lager dan in het Eemmeer (figuur 4.10). Opnieuw neemt het chlorofyl-a gehalte bij de meeste maatregelen af. De sterkste afname vindt plaats bij de defosfatering van de Eem. Ook bij de reductie van fosfaat van de RWZI's die rechtstreeks op de meren lozen is een afname te zien. Een hele kleine afname treedt op bij de reductie van fosfaat bij de overige RWZI's, de aanleg van het helofytenfilter aan de monding van de Eem en het reduceren van de fosfaatbelasting vanuit het Nuldernauw of het IJmeer. Bij de sanering van de woningen bij Ede treedt vrijwel geen verandering in het chlorofyl-a gehalte in het Gooimeer op.

.....
Figuur 4.9
Chlorofyl-a gehalten in het Eemmeer bij
maatregelen A, in $\mu\text{g/l}$.

.....
Figuur 4.10
Chlorofyl-a gehalten in het Gooimeer bij
maatregelen A, in $\mu\text{g/l}$.

.....
Figuur 4.11
Chlorofyl-a gehalten in het Eemmeer bij
maatregelen B, in $\mu\text{g/l}$.

.....
Figuur 4.12
Chlorofyl-a gehalten in het Gooimeer bij
maatregelen B, in $\mu\text{g/l}$.

.....
Figuur 4.13
Chlorofyl-a gehalten in het Eemmeer bij
maatregelen C, in $\mu\text{g/l}$.

.....
Figuur 4.14
Chlorofyl-a gehalten in het Gooimeer bij
maatregelen C, in $\mu\text{g/l}$.

.....
Figuur 4.15
Chlorofyl-a gehalten in het Eemmeer bij
maatregelen D, in $\mu\text{g/l}$.

.....
Figuur 4.16
Chlorofyl-a gehalten in het Gooimeer bij
maatregelen D, in $\mu\text{g/l}$.

4.2.2 Effecten reductie diffuse bronnen (B) op chlorofyl-a gehalte

Bij de reductie van het aandeel landbouw en diffuse bronnen (B1) treedt een lichte daling in het chlorofyl-a gehalte van het Eemmeer op (figuur 4.11). Bij de reductie van de emissie van de scheepvaart (B2) is vrijwel geen effect te verwachten.

In het Gooimeer neemt het chlorofyl-a gehalte licht af bij de reductie van de landbouw (figuur 4.12). Deze afname is vergelijkbaar met de afname bij A1 (RWZI's). Bij de reductie van de emissies van de scheepvaart is vrijwel geen afname te constateren.

4.2.3 Effecten hydrologische maatregelen (C) op chlorofyl-a gehalte

In het Eemmeer wordt bij de meeste maatregelen een lichte daling van het chlorofyl-a gehalte geconstateerd (figuur 4.13). De daling is het sterkste bij het reduceren van de toevoer van fosfaat vanuit de gemalen (C2). De grootte van het effect is vergelijkbaar met de reductie van fosfaat vanuit het Nuldernauw (A5).

Bij de maatregel waarbij de reductie van de inlaat vanuit de Rijn wordt stopgezet (C4) is een stijging van het chlorofyl-a gehalte te zien. Bij de reductie van het debiet vanuit het Nuldernauw (C5) is geen verandering ten opzichte van de uitgangssituatie te verwachten.

Het Gooimeer laat een vergelijkbaar beeld zien waarbij de chlorofyl-a gehalten allen lager zijn dan in het Eemmeer en het effect enigszins is afgevlakt (figuur 4.14). Ook in het Gooimeer is bij de meeste maatregelen een lichte daling van het chlorofyl-a gehalte te constateren. Daarnaast neemt ook in het Gooimeer het gehalte aan chlorofyl-a toe wanneer de aanvoer vanuit de Rijn wordt gereduceerd.

4.2.4 Effecten interne maatregelen (D) op chlorofyl-a gehalte

Bij de biologische maatregelen wordt in het Eemmeer het grootste effect al bereikt door de aanwezigheid van waterplanten (D0) (figuur 4.15). Hierdoor wordt de grootste daling van het chlorofyl-a gehalte van alle afzonderlijke maatregelen bereikt. De hierop volgende peilveranderingen hebben vrijwel geen effect op het chlorofyl-a gehalte in het Eemmeer.

...overige biologische maatregelen....

In het Gooimeer wordt de grootste daling van het chlorofyl-a gehalte eveneens bewerkstelligd door de aanwezigheid van waterplanten

(figuur 4.16). Bij de stijging van het waterpeil vindt ten opzichte van D0 een hele lichte toename van het chlorofyl-a gehalte plaats. De peilverlaging heeft vrijwel geen effect.
overige biologische maatregelen...

4.3 Doorzicht

In het Eemmeer hebben de meeste maatregelen een doorzicht rond de MTR-waarde tot resultaat. Bij de biologische maatregelen bestaat de mogelijkheid dat het doorzicht in de buurt komt van de gebiedsgerichte streefwaarde. In het Gooimeer bevinden de doorzichten van de maatregelen zich rond de gebiedsgerichte streefwaarde. De spreiding is in beide meren bij vrijwel alle maatregelen in dezelfde orde van grootte (tabellen 4.1 t/m 4.4).

Effecten reductie puntbronnen (A) op het doorzicht

De verschillende maatregelen hebben geen effect op het doorzicht in het Eemmeer (tabel 4.5). Wel is bij het defosfateren van de Eem in de spreiding een lichte toename te zien in het doorzicht.

In het Gooimeer is eveneens over het algemeen geen verandering van het doorzicht te verwachten (tabel 4.5). Bij de defosfatering van de Eem wordt ook in het Gooimeer een lichte toename van het doorzicht voorspeld.

Tabel 4.5

Doorzicht bij de maatregelen A in het Eemmeer en Gooimeer, in m. Tussen haakjes staat de 10 en 90 percentiel aangegeven.

	Eemmeer	Gooimeer
S0	0,46 (0,37-0,59)	0,91 (0,79-1,08)
A1c	0,47 (0,38-0,62)	0,94 (0,81-1,11)
A2c	0,47 (0,37-0,62)	0,92 (0,80-1,10)
A3	0,51 (0,41-0,69)	0,99 (0,86-1,17)
A4b	0,47 (0,38-0,61)	0,92 (0,80-1,09)
A5b	0,46 (0,39-0,60)	0,91 (0,78-1,09)
A6b	0,45 (0,37-0,59)	0,91 (0,80-1,08)
A7	0,46 (0,37-0,58)	0,91 (0,78-1,09)
Streefwaarde	1,0	1,0
MTR-waarde	0,4	0,4

Effecten reductie diffuse bronnen (B) op het doorzicht

Bij geen van de maatregelen is in zowel het Eemmeer als het Gooimeer een noemenswaardige verandering van het doorzicht te verwachten (tabel 4.6).

Tabel 4.6

Doorzicht bij de maatregelen B in het Eemmeer en Gooimeer, in m. Tussen haakjes staat de 10 en 90 percentiel aangegeven.

	Eemmeer	Gooimeer
S0	0,46 (0,37-0,59)	0,91 (0,79-1,08)
B1b	0,47 (0,38-0,62)	0,93 (0,81-1,10)
B2	0,46 (0,37-0,60)	0,91 (0,79-1,08)
Streefwaarde	1,0	1,0
MTR-waarde	0,4	0,4

Effecten hydrologische maatregelen (C) op het doorzicht

Alleen bij de reductie van de aanvoer van Rijnwater is in het Eemmeer een daling van het doorzicht te verwachten (tabel 4.7). De overige maatregelen hebben geen effect op het doorzicht.

In het Gooimeer heeft geen van de maatregelen een te meten effect op het doorzicht (tabel 4.7).

Tabel 4.7

Doorzicht bij de maatregelen C in het Eemmeer en Gooimeer, in m. Tussen haakjes staat de 10 en 90 percentiel aangegeven.

	Eemmeer	Gooimeer
S0	0,46 (0,37-0,59)	0,91 (0,79-1,08)
C2	0,47 (0,38-0,62)	0,92 (0,79-1,08)
C3	0,45 (0,37-0,59)	0,91 (0,78-1,08)
C4	0,44 (0,36-0,55)	0,89 (0,77-1,07)
C5b	0,45 (0,37-0,59)	0,91 (0,79-1,07)
C6b	0,46 (0,37-0,59)	0,91 (0,79-1,07)
C7b	0,46 (0,37-0,60)	0,92 (0,79-1,09)
C8b	0,46 (0,37-0,59)	0,92 (0,78-1,09)
C9b	0,46 (0,38-0,59)	0,93 (0,79-1,10)
Streefwaarde	1,0	1,0
MTR-waarde	0,4	0,4

Effecten interne maatregelen (D) op het doorzicht

In het Eemmeer heeft alleen al de aanwezigheid van waterplanten een effect op het doorzicht dat omhoog gaat (tabel 4.8). De peilveranderingen hebben geen aanvullend effect op het doorzicht. Voor het Gooimeer laten de simulaties geen extra effect zien van de aanwezigheid van waterplanten op het doorzicht (tabel 4.8).

Tabel 4.8

Doorzicht bij de maatregelen D in het Eemmeer en Gooimeer, in m. Tussen haakjes staat de 10 en 90 percentiel aangegeven.

	Eemmeer	Gooimeer
S0	0,46 (0,37-0,59)	0,91 (0,79-1,08)
D10	0,73 (0,50-0,99)	0,93 (0,80-1,12)
D1a	0,71 (0,51-0,98)	0,92 (0,80-1,11)
D1b	0,73 (0,49-0,98)	0,93 (0,79-1,09)
Streefwaarde	1,0	1,0
MTR-waarde	0,4	0,4

4.4 Waterplanten

Bij de biologische maatregelen is eveneens uitgerekend wat de potentiële bedekkingsgraad door waterplanten kan zijn. De veranderingen van de hoeveelheid waterplanten is alleen voor de biologische maatregelen doorgerekend.

Al bij de huidige situatie (S0) kan in het Eemmeer een redelijk groot areaal aan waterplanten in het Eemmeer voorkomen (figuur 4.17). Indien daarnaast rekening wordt gehouden met het terugkoppelingseffect van de waterplanten op het doorzicht, het fosfaat-, stikstof- en chlorofyl-a gehalte (D0) wordt in theorie een nog groter areaal aan waterplanten gerealiseerd. Het veranderen van het waterpeil heeft geen effect op de bedekkingsgraad van de waterplanten.

In het Gooimeer kan bij de huidige situatie eveneens een vrij hoge bedekkingsgraad aan waterplanten aanwezig zijn (figuur 4.18). Wanneer de terugkoppeling van de verschillende parameters wordt meegenomen treedt geen verandering in de potentiële bedekkingsgraad op. Het veranderen van het waterpeil heeft evenmin effect.

Figuur 4.17

Potentiële bedekkingspercentage waterplanten in het Eemmeer bij biologische maatregelen, in %.

.....
Figuur 4.18
Potentiële bedekkingspercentage
waterplanten in het Gooimeer bij
biologische maatregelen, in %.

4.5 Mengscenario's

De mengscenario's bestaan uit samengevoegde maatregelen. Dit betreft samenvoegingen van maatregelen die afzonderlijk al een effect hebben. Daarnaast zijn de effecten van al geplande maatregelen in het gebied doorgerekend (S1). De scenario's bestaan uit a) maatregelen die betrekking hebben op het aanpassen van RWZI's (A) en b) daaraan toegevoegd maatregelen die op de diffuse bronnen en de landbouw ingrijpen (B). Tot slot worden de biologische effecten meegenomen in de berekeningen (D).

Effecten op het P-totaal

In het Eemmeer is een lichte daling van P-totaal te zien wanneer de autonome ontwikkelingen worden meegenomen (figuur 4.19). Het maximaal aanpassen van de RWZI's heeft waarschijnlijk tot effect dat P-totaal in het Eemmeer, met 0,15 mg/l, rond de MTR-waarde komt. Bij het meenemen van de aanpak aan diffuse bronnen (B) en de biologische effecten (D) is te verwachten dat P-totaal met 0,12 mg/l onder de MTR-waarde komt te liggen.

In het Gooimeer is een vergelijkbaar beeld te zien (figuur 4.20). Het meenemen van de diffuse bronnen leidt waarschijnlijk tot P-totaal rond de streefwaarde (0,07 mg/l), wanneer ook de biologische effecten worden meegenomen is de verwachting dat P-totaal onder de streefwaarde komt (0,04 mg/l).

Effecten op het chlorofyl-a gehalte

Het autonome scenario brengt vermoedelijk weinig verandering in het chlorofyl-a gehalte van het Eemmeer (figuur 4.21). De samengevoegde maatregelen hebben allen een duidelijk effect op het chlorofyl-a gehalte. Het effect neemt per toevoeging toe totdat een gehalte van 23 µg/l wordt voorspeld.

In het Gooimeer zijn de effecten minder duidelijk aanwezig. Het meenemen van de biologische processen heeft het grootste effect (figuur 4.22). Hierbij wordt een gehalte van 8 ug/l voorspeld.

Effecten op het doorzicht

In het Eemmeer is het doorzicht van het autonome scenario niet verschillend van het uitgangssituatie. Het scenario waarbij de puntbronnen worden aangepakt (A) en het scenario waarbij tevens de diffuse bronnen worden gesaneerd (B) hebben een vergelijkbaar effect. Het doorzicht wordt rond de 0,5 m. Het meeste effect heeft het scenario waarbij de biologische processen worden meegenomen (D), deze heeft waarschijnlijk een doorzicht van 0,84 m tot gevolg. Het Gooimeer laat een lichte stijging van het doorzicht zien, waarbij de streefwaarde zeer dicht genaderd wordt. Het grootste doorzicht wordt bereikt wanneer zowel de punt- als de diffuse bronnen worden aangepakt (B). Het voorspelde doorzicht is dan bijna 1 m.

Effecten op de waterplanten

In het Eemmeer is door het totaal pakket aan maatregelen nog een lichte stijging van het waterplanten areaal te verwachten, tot 48% bedekking. In het Gooimeer is de toename van het waterplanten areaal minder sterk, de verwachting is dat uiteindelijk een bedekking van 41 % kan worden bereikt.

.....
Figuur 4.19

Totaal-P in het Eemmeer bij de scenario's, in mg/l.

.....
Figuur 4.20

Totaal-P in het Gooimeer bij de scenario's, in mg/l.

.....
Figuur 4.21
Chlorofyl-a gehalten in het Eemmeer bij
de scenario's, in µg/l.

.....
Figuur 4.22
Chlorofyl-a gehalten in het Gooimeer bij
de scenario's, in µg/l.

5 Discussie

In deze studie is een quick-scan analyse uitgevoerd van de effecten van een groot aantal mogelijke maatregelen op de waterkwaliteit van de Zuidelijke Randmeren, wat betreft de totaal-P en chlorofyl-a concentraties en het doorzicht. Deze studie dient als uitgangspunt voor het verder inzoomen op maatregelen die op basis van deze analyse als kansrijk worden aangemerkt.

Onder de 23 voorgestelde maatregelen bevinden zich maatregelen die voor de meeste parameters geen effect hebben, of tot een verslechtering van de situatie kunnen leiden. Dit betreft de maatregelen waarbij de fosfaatbelasting vanuit het Nuldernauw (A5) of IJmeer (A6) wordt gereduceerd, de sanering van de woningen bij Ede (A7) en reductie van emissies door de scheepvaart en recreatie (B2). Ook de maatregelen waarbij een reductie van de inlaat van Rijnwater (C4), een reductie van het debiet vanuit het Nuldernauw (C5), een reductie van het debiet vanuit het IJmeer (C6), verhogen van het debiet vanuit het Nuldernauw (C7) of het verhogen van het debiet vanuit de Rijn (C9) worden voorgesteld, hebben geen noemenswaardig, of in sommige gevallen een ongewenst effect.. Tot slot is van het veranderen van het peil (D1) en het lokaal verondiepen van de meren (D2) geen noemenswaardige toename te verwachten van de potentiële bedekking met waterplanten, alhoewel met lokaal verondiepen de aanwezigheid van waterplanten op plaatsen waar dit gewenst is wel kan worden gestimuleerd.

Andere maatregelen hebben in meer of mindere mate wel effect. Een aantal van deze maatregelen zijn echter zeer moeilijk uitvoerbaar. Het voorstel is dan ook om deze maatregelen niet mee te nemen in de verdere besluitvorming. Het betreft de maatregelen waarbij de Eem wordt gedefosfateerd (A3), een helofytenfilter in de monding van de Eem wordt aangelegd (A4), de gemalen minder fosfaat uitlaten (C2), de gemalen worden afgekoppeld (C3) of het debiet vanuit het IJmeer wordt verhoogd (C8).

De overblijvende maatregelen waarvan wel effect wordt verwacht zijn aanpassingen aan de RWZI's die direct op de meren lozen (A1), aanpassingen aan de RWZI's die indirect op de meren lozen (A2), reduceren van de emissies van diffuse bronnen en de landbouw (B1) en het verkrijgen van waterplanten in de zuidelijke randmeren (D0).

Voor enkele maatregelen is een achteruitgang in de waterkwaliteit voorspeld. Voor sommige hiervan kan dit wel verklaard worden. Een verslechterde waterkwaliteit als gevolg van de reductie van het debiet vanuit het Nuldernauw (C5) is te verklaren doordat een grotere fractie van het water in de meren zal bestaan uit Eemwater met een slechtere kwaliteit.

Ook bij de reductie van het debiet vanuit het IJmeer is een ongewenst effect op de waterkwaliteit te verklaren door het minder inlaten van water met een relatief goede kwaliteit. De gemiddelde concentratie fosfaat in het gehele IJmeer zijn reeds relatief laag. Door de

verminderde verdunning zou de P-totaal concentratie in het Gooimeer waarschijnlijk stijgen.

Het Rijnwater werkt verdunnend op het Eemwater, vandaar dat de beperkte inlaat hiervan waarschijnlijk een negatief effect zal hebben.

De voorgestelde maatregelen die betrekking hebben op een reductie van de externe P belasting vertalen zich in een opzetfactor die de relatieve belasting vanuit een bron na een maatregel ten opzichte van die in de huidige situatie weergeeft. Sanering van zowel puntbronnen (P-effluent naar 0,2 mg/l) als diffuse bronnen met 25% hebben een reductie van de belasting vanuit de Eem met een kleine 40% tot gevolg. De te verwachten effecten op de concentraties in het Eemmeer zijn dan ook maximaal van deze orde-grootte. Dit is voldoende om de MTR-waarde van 0,15 mg P/l te kunnen behalen, echter onvoldoende voor het behalen van de streefwaarde van 0,06 mg P/l. Alleen een extreme maatregel als het chemisch defosfateren van de Eem (mocht dit haalbaar zijn), leidt tot een reductie van de belasting waarbij de streefwaarde in beeld komt. Andersom redenerend zou, om de streefwaarde van 0,06 mg P/l te halen de gemiddelde concentratie in het inkomende water, bij een ratio $P_{\text{meer}}/P_{\text{in}}$ van circa 0,5 (de geschatte minimale ratio bij de huidige verblijftijd, met terugkoppeling door waterplanten en driehoeksmosselen) dus 0,12 mg/l mogen bedragen. Ter vergelijking: in 1999 bedroeg P_{in} nog 0,31 mg/l, ofwel ten opzichte van dat jaar is er een reductie van de externe P-belasting nodig van circa 60%, zelfs wanneer voor de ratio $P_{\text{meer}}/P_{\text{in}}$ een waarde van 0,5 wordt gehaald. De streefwaarde voor totaal-P in het Eemmeer ligt dus nog ver weg, de MTR waarde lijkt echter wel haalbaar.

Een verlaging van P_{in} is wel mogelijk door doorspoeling met grote hoeveelheden water met een lage totaal-P concentratie. Hierbij valt met name te denken aan water vanuit het Nuldernauw. Er is dan echter een aanzienlijk groter doorspoeldebiet nodig dan de in deze studie onderzochte +25% ten opzichte van het huidige debiet. Bijkomend nadeel is dat dan de verblijftijd in het Eemmeer substantieel verder verlaagd wordt, waardoor de minimale ratio $P_{\text{meer}}/P_{\text{in}}$ hoger wordt.

Uit de simulaties is gebleken dat het doorzicht in het Eemmeer niet erg gevoelig is voor de voorgestelde P-reducerende of hydrologische maatregelen. Dit wordt veroorzaakt door het feit dat de achtergrondstroebelings (lichtuitdoving door componenten anders dan algen) thans nog dermate hoog is dat dit een bovengrens oplegt aan het doorzicht die niet veel hoger is dan het huidige doorzicht en lager is dan de streefwaarde. Het doorzicht is dus nauwelijks gevoelig voor een reductie van het chlorofyl-a gehalte, gestuurd door de P-belasting. Maatregelen die de achtergrondstroebelings verlagen door verlaging van resuspensie (maatregel C1) of door het stimuleren van ecologische terugkoppelingsmechanismen (maatregelen D) kunnen dus wel een gunstig effect op het doorzicht hebben. Deze effecten zijn op dit moment nog niet goed kwantificeerbaar, en zijn ingeschat op basis van ervaringen in het Veluwemeer. In het Gooimeer is de afgelopen jaren de achtergrondstroebelings al afgenomen tot een waarde vergelijkbaar met die in het Veluwemeer, in het Eemmeer is deze nog aanzienlijk hoger. Verder verlaging van de achtergrondstroebelings is hier nog wel

mogelijk, alhoewel verschillen in bodemtype, met name de aanwezigheid van een gedeelte met venige bodem aan de zuidkant van het Eemmeer, hier mogelijk beperkingen aan oplegt.

Een aantal bronnen van onzekerheden zijn bij de simulaties aan het licht gekomen. Voor een inschatting van het effect van maatregelen die de emissie van N- of P in het stroomgebied van de Eem betreffen dient rekening gehouden te worden met processen die optreden tijdens transport door de bodem of door de waterlopen in dit stroomgebied. In de huidige studie is dit opgevangen door de aanname dat een bepaalde retentie optreedt, hetgeen tot gevolg heeft dat de hoeveelheid P die het Eemmeer bereikt een vaste fractie is van de emissie. Voor emissies bovenstrooms in het stroomgebied is deze fractie geschat op 70%, voor wat meer benedenstrooms gelegen emissies op 50%. Voor korte trajecten, zoals de Gooijergracht en de Delta Schuitenbeek is een retentie van 10% gebruikt. Hierbij is de retentie van 10% in de Gooijergracht gebaseerd op de verhouding van de effluentconcentraties van de RWZI's Blaricum en Hilversum en de gemeten concentraties in de Gooijergracht in 1999. Nader inzoomen op deze retentie in met name het stroomgebied van de Eem kan de nauwkeurigheid van het inschatten van effecten van emissie reducerende maatregelen in het stroomgebied bevorderen.

Bij de berekening van de effecten van een potentiële toename van waterplanten, met name kranswieren, op de waterkwaliteit is gebruik gemaakt van de ervaringen die hiermee zijn in de Veluwerandmeren. De ecologische toestand in de Zuidelijke Randmeren verschilt echter van die in de Veluwerandmeren hierin dat gedurende de laatste jaren een toename van Driehoeksmosselen reeds een deel van de terugkoppelingsmechanismen zoals beschreven in hoofdstuk 3.4 in werking heeft gezet. Dit heeft geleid tot met name een lagere achtergrondstroebelings.

Over de oorzaak waarom thans nog geen waterplanten aanwezig zijn in de Zuidelijke Randmeren, terwijl dit op grond van de diepteverdeling en het huidige doorzicht in beide meren wel het geval zou kunnen zijn, bestaat nog geen duidelijkheid. Mogelijk speelt de beschikbare zaadbank in de meren hierbij een rol. Nader onderzoek hiernaar wordt aanbevolen. Ook is uit de ontwikkeling van de kranswieren in de Veluwerandmeren gebleken dat kolonisatie van een meer met een vergelijkbare oppervlakte een traag proces is dat ruim tien jaar in beslag kan nemen. Naast waterplanten en driehoeksmosselen speelt ook de rol van benthivore vis een rol. In de Veluwerandmeren is gebleken dat het laag houden van de brasemstand door de beroepsvisserij een niet te verwaarlozen rol speelt bij het stabiliseren van de bereikte heldere toestand (Lammens et al., 2001). De rol van deze beroepsvisserij in de Zuidelijke Randmeren verdient ook nadere aandacht.

Aan de rol van stikstof is in deze studie slechts een marginale rol toegekend. De belasting reducerende maatregelen onder A en B richten zich voornamelijk op P omdat dit thans het beperkende element is. In het begin van de jaren 1990 leek op basis van concentraties opgeloste stikstoffracties nog wel regelmatig N-limitatie op te treden (Portielje et al., 2001), maar door de veel sterkere reductie van P ten opzichte van N over de afgelopen tien jaar is dit thans niet meer het geval. In de huidige studie wordt stikstof alleen meegenomen

om, in het geval er een overmaat van P is, een bovengrens aan het mogelijke chlorofyl-a gehalte op te leggen. Daarnaast zijn van een aantal maatregelen de effecten op de externe N-belasting onvoldoende bekend. De totaal-N gehalten in beide meren laten over de afgelopen tien jaar wel een negatieve trend zien (Portielje et al., 2001).

6 Conclusies

Naar verwachting zullen afzonderlijke maatregelen die enkel zijn gericht op het reduceren van de externe P toevoer (meestal) niet leiden tot het bereiken van een situatie waarin in het Eemmeer wordt voldaan aan de gebiedsgerichte streefwaarden. Wanneer meerdere maatregelen gecombineerd worden, is het bereiken van deze gewenste situatie op verschillende vlakken waarschijnlijk wel mogelijk. Voor het Gooimeer ligt het bereiken van deze streefwaarden wel in het verschiet.

Het meeste effect is te verwachten van een gecombineerde aanpak van het aanpassen van de RWZI's naast op termijn een reductie van emissies uit diffuse bronnen in het stroomgebied van de Eem, en het stimuleren van het ecosysteem richting de aanwezigheid van voldoende waterplanten en driehoeksmosselen en een beperking van de biomassa benthivore vis (D).

Aanbevolen wordt derhalve om combinaties van zowel externe als interne maatregelen nader te onderzoeken zowel naar effect als naar uitvoerbaarheid, om deze mogelijk in een later stadium uit te voeren.

Literatuurlijst

DHV, 2001. Maatregelen voor verbetering waterkwaliteit Zuidelijke Randmeren, kosten van maatregelen; Eindrapportage. In opdracht van Rijkswaterstaat Directie IJsselmeergebied. DHV Water BV, Amersfoort. dossier T8704-01-001.

Jeppesen, et al., 19..

Meijer M-L., R. Portielje, R. Noordhuis, W. Joosse, M. van den Berg, B. Ibelings, E. Lammens, H. Coops en D. van der Molen, 1999. RIZA, Lelystad. BOVAR rapport 99.06; RIZA rapport 99.054; ISBN 90-369-5283-2.

Oostinga, K.D., 2001. Balansen Zuidelijke Randmeren 1990-1999. Rijkswaterstaat Directie IJsselmeergebied, Lelystad. BEZEM deelrapport 3; RDIJ rapport 2001-3;; ISBN 90-369-1265-2.

Portielje, R., R. Noordhuis en M-L. Meijer, 2001. Waterkwaliteit van de Zuidelijke Randmeren (Eem- en Gooimeer) 1990-1999. RIZA, Lelystad. BEZEM deelrapport 1; RIZA rapport 2001.018; ISBN 90-369-5372-3.

Portielje, R. en R.E. Rijdsdijk, subm.

Portielje, R. en van den Berg, 2001.

Portielje, R. en van der Molen, 1998.

Bijlage 1 Effecten maatregelen

Voor de 23 maatregelen zijn de effecten op de waterkwaliteit voor P-totaal, chlorofyl-a gehalte en doorzicht uitgerekend. Daarnaast is ook N-totaal berekend, maar enkel als beperkende factor voor chlorofyl-a. Deze resultaten zijn dan ook niet meegenomen in de onderstaande tabellen. Het betreft de resultaten van alle maatregelen, op alle niveau's.

In de tabellen staat de mediaan met daarnaast het 10- en 90-percentiel aangegeven, voor zowel het Eemmeer als het Gooimeer. Eerst wordt het P-totaal gehalte, daarna het chlorofyl-a gehalte en tot slot het doorzicht aangegeven. Voor de interne maatregelen wordt ook ingegaan op het potentiële areaal aan waterplanten. Tot slot staan de resultaten vermeld van de gecombineerde maatregelen.

Tabel b1.1
Effect op P-totaal voor de maatregelen, in mg/l.

	Eemmeer			Gooimeer		
	mediaan	10- percentiel	90- percentiel	mediaan	10- percentiel	90- percentiel
S0	0,22	0,18	0,25	0,10	0,09	0,12
A1a	0,20	0,17	0,23	0,10	0,08	0,12
A1b	0,18	0,15	0,21	0,09	0,08	0,11
A1c	0,17	0,14	0,20	0,09	0,07	0,10
A2a	0,21	0,18	0,25	0,10	0,08	0,12
A2b	0,20	0,17	0,24	0,10	0,08	0,12
A2c	0,19	0,16	0,23	0,09	0,08	0,11
A3	0,12	0,10	0,15	0,06	0,05	0,08
A4a	0,21	0,18	0,25	0,10	0,09	0,12
A4b	0,19	0,16	0,23	0,09	0,08	0,11
A5a	0,22	0,18	0,25	0,10	0,09	0,12
A5b	0,22	0,18	0,25	0,10	0,09	0,12
A5c	0,22	0,19	0,26	0,11	0,09	0,13
A6a	0,22	0,18	0,25	0,10	0,09	0,12
A6b	0,22	0,18	0,25	0,10	0,08	0,12
A7	0,22	0,18	0,25	0,10	0,09	0,12
B1a	0,20	0,17	0,24	0,10	0,08	0,12
B1b	0,19	0,16	0,22	0,09	0,08	0,11
B2	0,22	0,18	0,25	0,10	0,09	0,12
C2	0,20	0,17	0,24	0,10	0,08	0,12
C3	0,21	0,18	0,25	0,10	0,08	0,12
C4	0,25	0,22	0,30	0,11	0,09	0,14
C5a	0,22	0,19	0,25	0,10	0,09	0,12
C5b	0,22	0,19	0,26	0,10	0,09	0,12
C6a	0,22	0,19	0,25	0,10	0,09	0,12
C6b	0,22	0,19	0,26	0,11	0,09	0,13
C7a	0,21	0,18	0,25	0,10	0,09	0,12
C7b	0,21	0,18	0,25	0,10	0,08	0,12
C8a	0,21	0,19	0,25	0,10	0,09	0,12
C8b	0,21	0,18	0,25	0,10	0,08	0,12
C9b	0,21	0,18	0,25	0,10	0,08	0,12
D10	0,20	0,17	0,24	0,06	0,05	0,08
D1a	0,20	0,17	0,24	0,06	0,05	0,08

D1b 0,20 0,17 0,24 0,06 0,05 0,08

Tabel b1.2

Effect op chlorofyl-a bij de maatregelen, in ug/l.

	Eemmeer			Gooimeer		
	mediaan	10- percentiel	90- percentiel	mediaan	10- percentiel	90- percentiel
S0	55	41	71	23	14	34
A1a	50	38	64	22	12	32
A1b	45	33	59	21	11	31
A1c	42	32	56	20	11	29
A2a	53	40	69	22	13	34
A2b	51	37	67	22	12	32
A2c	48	36	64	21	12	31
A3	30	21	41	14	8	21
A4a	53	40	69	23	13	34
A4b	48	36	62	21	11	31
A5a	55	40	70	22	13	33
A5b	54	40	70	23	13	32
A5c	55	44	68	23	13	32
A6a	54	40	70	23	13	34
A6b	55	40	71	22	13	32
A7	54	40	70	23	14	34
B1a	52	38	66	22	12	33
B1b	48	36	62	20	11	31
B2	54	41	71	23	13	33
C2	50	37	67	22	12	33
C3	53	40	71	23	13	35
C4	64	47	85	25	15	38
C5a	55	41	71	23	13	35
C5b	55	42	73	23	13	35
C6a	54	40	71	23	13	34
C6b	55	42	71	24	13	35
C7a	54	39	70	23	13	34
C7b	53	39	70	23	13	33
C8a	55	42	71	22	13	34
C8b	54	39	70	22	12	34
C9b	53	39	70	22	12	33
D10	40	27	54	12	6	19
D1a	40	27	54	11	6	18
D1b	41	28	55	12	6	19

Tabel b1.3
Effect op het doorzicht bij de maatregelen, in m.

	Eemmeer			Gooimeer		
	mediaan	10- percentiel	90- percentiel	mediaan	10- percentiel	90- percentiel
S0	0,46	0,37	0,59	0,91	0,79	1,08
A1a	0,44	0,35	0,59	0,92	0,80	1,08
A1b	0,48	0,39	0,61	0,93	0,80	1,09
A1c	0,47	0,38	0,62	0,94	0,81	1,11
A2a	0,46	0,38	0,58	0,91	0,79	1,10
A2b	0,46	0,37	0,61	0,91	0,80	1,09
A2c	0,47	0,37	0,62	0,92	0,80	1,10
A3	0,51	0,41	0,69	0,99	0,86	1,17
A4a	0,46	0,38	0,60	0,92	0,79	1,08
A4b	0,47	0,38	0,61	0,92	0,80	1,09
A5a	0,45	0,37	0,58	0,91	0,80	1,09
A5b	0,46	0,38	0,60	0,92	0,81	1,08
A5c	0,47	0,37	0,60	0,92	0,81	1,08
A6a	0,46	0,37	0,58	0,91	0,79	1,08
A6b	0,45	0,37	0,59	0,91	0,80	1,08
A7	0,46	0,37	0,58	0,91	0,78	1,09
B1a	0,47	0,38	0,62	0,92	0,80	1,10
B1b	0,47	0,38	0,62	0,93	0,81	1,10
B2	0,46	0,37	0,60	0,91	0,79	1,08
C2	0,47	0,38	0,62	0,92	0,79	1,08
C3	0,45	0,37	0,59	0,91	0,78	1,08
C4	0,44	0,36	0,55	0,89	0,77	1,07
C5a	0,45	0,37	0,58	0,91	0,78	1,09
C5b	0,45	0,37	0,59	0,91	0,79	1,07
C6a	0,46	0,38	0,59	0,91	0,79	1,07
C6b	0,46	0,37	0,59	0,91	0,79	1,07
C7a	0,45	0,37	0,59	0,91	0,78	1,08
C7b	0,46	0,37	0,60	0,92	0,79	1,09
C8a	0,46	0,37	0,59	0,92	0,79	1,10
C8b	0,46	0,37	0,59	0,92	0,78	1,09
C9b	0,46	0,38	0,59	0,93	0,79	1,10
D10	0,73	0,50	0,99	0,93	0,80	1,12
D1a	0,71	0,51	0,98	0,92	0,80	1,11
D1b	0,73	0,49	0,98	0,93	0,79	1,09

Tabel b1.4
Effecten P-totaal bij scenario's, in mg/l.

	Eemmeer			Gooimeer		
	mediaan	10- percentiel	90- percentiel	mediaan	10- percentiel	90- percentiel
S0	0,22	0,18	0,25	0,10	0,09	0,12
S1	0,21	0,18	0,24	0,11	0,09	0,12
A	0,15	0,12	0,17	0,08	0,07	0,10
B	0,12	0,11	0,14	0,07	0,06	0,08
D	0,12	0,10	0,14	0,04	0,03	0,05

Tabel b1.5
Effecten chlorofyl-a bij scenario's, in ug/l.

	Eemmeer			Gooimeer		
	mediaan	10- percentiel	90- percentiel	mediaan	10- percentiel	90- percentiel
S0	55	41	71	23	14	34

S1	53	38	66	23	13	33
A	37	27	48	18	10	27
B	31	23	40	15	8	23
D	23	16	32	8	4	13

.....
Tabel b1.6
 Effecten op doorzicht bij scenario's, in m.

	Eemmeer		Gooimeer			
	mediaan	10- percentiel	90- percentiel	mediaan	10- percentiel	90- percentiel
S0	0,46	0,37	0,59	0,91	0,79	1,08
S1	0,46	0,38	0,63	0,93	0,79	1,06
A	0,50	0,40	0,67	0,95	0,81	1,12
B	0,52	0,41	0,68	0,98	0,85	1,15
D	0,84	0,55	1,16	0,96	0,83	1,15