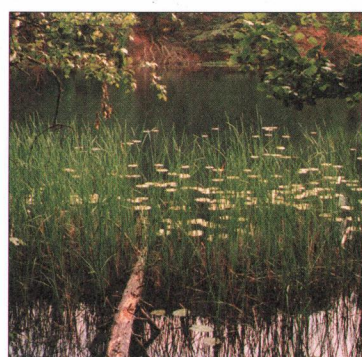
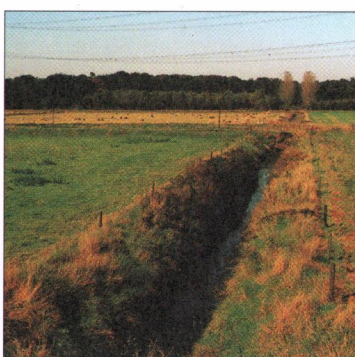


Bepaling van de streefbelasting van het Zuidlaardermeer



Waterschap Hunze en Aa's

Bepaling van de streefbelasting van het Zuidlaardermeer

Witteveen+Bos
van Twickelostraat 2
postbus 233
7400 AE Deventer
telefoon 0570 69 79 11
telefax 0570 69 73 44

1946473

**Bepaling van de streefbelasting
van het Zuidlaardermeer**

registratie SECI/panh/rap.002	projectcode Gn81-1	status ongecontroleerd
projectleider drs. M. Klinge	projectdirecteur drs. M.P. Grimm	datum 5 juli 2002

autorisatie goedgekeurd	naam drs. M. Klinge	paraaf
-----------------------------------	-------------------------------	---------------

aan ongecontroleerde, dus niet goedgekeurde documenten kunnen geen rechten worden ontleend



CONTENTS	blz.
1. INLEIDING	1
1.1. Aanleiding en doel	1
1.2. Aanpak	1
2. BESCHRIJVING VAN HET ZUIDLAARDERMEER	2
3. REVIEW VAN DE LITERATUUR	3
4. SCHATTING VAN DE NUTRIËNTENCONCENTRATIES EN CHLOROFYLGEHALTEN OP BASIS VAN DE SOORTENSAMENSTELLING VAN HET FYTOPLANKTON IN 1916-1917	5
5. EXPERT-JUDGEMENT VAN DE GERAADPLEEGDE EXPERTS	7
6. DISCUSSIE EN ADVIES	8
REFERENTIES	10

bijlagen	aantal bladzijden
I Samenvatting van de literatuur over nutriëntenbelasting op ondiepe meren	4

1. INLEIDING

1.1. Aanleiding en doel

Het Waterschap Hunze en Aa's is voornemens in 2001 een stroomgebiedsvisie voor de Hunze op te gaan stellen. Eén van de pijlers onder deze visie is het project Ecologisch Herstel Zuidlaardermeer. Een recente evaluatie van het proefproject met het compartiment in het meer (Waterschap Hunze en Aa's, 2000) heeft uitgewezen dat de belasting van het Zuidlaardermeer thans nog te hoog is om een duurzame omslag naar helder en plantenrijk water (het streven) te realiseren. Geadviseerd is om de komende tijd in te zetten op een verdere verlaging van zowel de externe als de interne nutriëntenbelasting van het meer. Alvorens tot maatregelen te komen is het daarbij van belang eerst een nadere studie uit te voeren naar de maximaal acceptabele belasting van het meer. Pas als men de gewenste belasting van het meer weet, kan men vast stellen hoe ver de belasting nog teruggedrongen moet worden en kan men op basis daarvan effectieve maatregelen afleiden.

Het **doel** van deze studie is om een inschatting te maken van de na te streven maximale belasting van het meer (de kritische belasting), die leidt tot een duurzame omslag naar een helder meer, dat voldoet aan het streefbeeld voor het Zuidlaardermeer.

1.2. Aanpak

Voor het vaststellen van de kritische belasting bestaat geen standaard methode. De kritische belasting hangt af van de eigenschappen van het watersysteem. Ook het hysteresis effect zal een rol spelen. Hysteresis wil zeggen dat de kritische belasting voor de omslag van een troebel naar een helder meer lager is dan de belasting, waarbij het heldere meer troebel is geworden. Voorgesteld wordt de gewenste belasting te schatten via de volgende werkwijze. In de eerste plaats is de literatuur geanalyseerd. De laatste jaren is er namelijk op dit terrein in binnen- en buitenland het nodige onderzoek verricht. In de tweede plaats worden nutriëntengehalten van de vroegere, heldere toestand afgeleid op basis van historische gegevens van aantallen en soorten fytoplankton in het Zuidlaardermeer. Op basis van de literatuurgegevens en de analyse van historische algengegevens wordt ten slotte een streefbelasting en streefconcentratie voor het Zuidlaardermeer bepaald. Op dit totaal hebben een aantal deskundigen op het gebied van de nutriëntenhuishouding van meren commentaar geleverd. De volgende experts hebben meegewerkt:

- prof. dr. J. Verhoeven van de Universiteit Utrecht. Hij is een expert op het gebied van de nutriëntenhuishouding van wetlands;
- prof. J. Benndorf (Duitsland). Hij heeft veel wetenschappelijk onderzoek naar het ecologisch herstel van met name Duitse meren gedaan en kennis op het gebied van randvoorwaarden voor succesvolle biomanipulatie ontwikkeld;
- dr. Harry Olde Venterink van de Universiteit Utrecht en Rijksuniversiteit Groningen, die veel onderzoek heeft gedaan naar de nutriëntenstromen in moerassen;
- drs. Ronald Bijkerk van Koeman & Bijkerk, ecologisch onderzoek en advies. Hij is een algenspecialist. Op basis van de historische algenwaarnemingen heeft hij een schatting gedaan van de vroegere nutriëntenconcentraties en chlorofylwaarden (zie hoofdstuk 4).

2. BESCHRIJVING VAN HET ZUIDLAARDERMEER

Het Zuidlaardermeer ligt in het noorden van Nederland, tussen Hoogezand, Haren en Zuidlaren. Het meer is op natuurlijke wijze ontstaan. Het meer is ongeveer 600 ha groot en gemiddeld 1 meter diep. Op de bodem van het meer ligt een sliblaag van gemiddeld ongeveer 5-10 cm (Witteveen +Bos, 1999). Het hele jaar door wordt water aangevoerd vanuit het zuiden door de beek de Hunze. De afvoer van de Hunze, die de verblijftijd van het water in het meer bepaald, is erg dynamisch en wisselt van enkele dagen in de winter tot 2-3 maanden in de zomer. Met name korte verblijftijden zijn een typische karakteristiek van het Zuidlaardermeer, waardoor het meer maar ten dele vergelijkbaar is met de andere meren uit de ABB evaluatie plaatsgevonden (Meijer & De Boois, 1998, Meijer et al., 1999). Het totale stroomgebied van de Hunze is circa 50.000 ha groot, dat voornamelijk een landbouwkundige functie heeft. De afvoer vindt plaats via het Drentse Diep naar het Eemskanaal. Het Zuidlaardermeer ligt als het ware midden in een beekstelsel. Het waterpeil van het Zuidlaardermeer valt onder de Eemskanaalboezem en is vastgesteld op + 62 cm.

Over de vroegere situatie voordat het meer eutrofiëerde is geen kwantitatieve informatie over de visstand en het voedingsstoffengehalte beschikbaar. Wel zijn er beschrijvingen van onder meer Havinga (1919), Clason (1928) en verhalen van de beroepsvissersfamilie welke al generaties op het Zuidlaardermeer vist: de familie Vos. Deze geven aan dat er voor de Tweede Wereldoorlog sprake was van minder voedselrijk (maar nog altijd eutroof) water en een snoek-zeelt type visgemeenschap.

Van de ondergedoken waterplanten en de oeverplanten van het meer is wel meer kwantitatieve informatie beschikbaar op basis van beschrijvingen van Havinga (1919) en Clason (1928). Aan het begin van deze eeuw was het Zuidlaardermeer helder en rijk aan ondergedoken waterplanten. Het betrof vele soorten fonteinkruiden (onder andere Paarbladig fonteinkruid, Langstengelig fonteinkruid, Glanzig fonteinkruid, Stompbladig fonteinkruid), Groot blaasjeskruid en ook Kranswieren. Clason (1928) spreekt over het voorkomen van pollen met Doorgroeid en Glanzig fonteynkruid. Deze soorten waterplanten groeien in pollen, waardoor ze nooit in hoge bedekkingen voor kunnen komen.

Het Zuidlaardermeer kenmerkte zich vroeger door een zeer rijke oevervegetatie met een oppervlak van ± 142 ha. Dit is meer dan nu het geval is (totaal circa 80-90 ha). De grotere hoeveelheid vegetatie was vooral in het huidige meer te vinden, met name aan de oostzijde. Dit ondiepe deel van het meer was een moerasachtig gebied. Dit gebied kon op deze plaats voorkomen vanwege de grote natuurlijke schommelingen in de waterstand, waardoor de oostelijke helft van het meer 's zomers geheel droogviel.

Heel vroeger, nog vóór de veenontginningen, werkte het hoogveen in het beekdal als een spons, waardoor de neerslag zich geleidelijker in de Hunze verzamelde en de afvoeren minder fluctueerden. Door de grootschalige ontginningen van veen is de sponswerking verdwenen en waren de natuurlijke waterstandsfluctuaties aan het begin van deze eeuw fors. Het normale peil was net als nu 62 m+NAP. In de zomer kon de waterstand echter sterk dalen, tot 86 cm onder het normale peil. De hoogste waterstand bedroeg circa 50 cm boven het normale peil (totale fluctuatie 136 cm!). Deze schommelingen hadden tot gevolg dat alle oevervegetatie voor vissen beschikbaar was, doordat de oeverlanden in winter en voorjaar overstromden. Op deze oeverlanden zette zich dan slib af. In die periode begon echter al langzaam een einde aan deze situatie te komen, doordat de mensen steeds zwaardere dijken aanlegden.

3. REVIEW VAN DE LITERATUUR

In tabel 3.1. wordt een overzicht gegeven van de verschillende waarden voor de kritische belasting of kritische concentratie voor wetlands en meren. In bijlage I wordt een samenvatting van de literatuur gegeven.

De vergelijking van de verschillende grenswaarden voor de kritische belasting leidt tot de volgende conclusie:

- de kritische fosfaatbelasting vertoont in de beschreven literatuur een bandbreedte van 0,3-2 gP/m²*j;
- de kritisch fosfaat concentratie voor een ondiep, helder meer vertoont een range van 0,064-0,150 mgP/l.

De studie van Richardson et al. (1997) richt zich op de maximale of kritische assimilatie capaciteit van wetlands (in plaats van de kritische P concentratie voor ondiepe meren). Beneden de kritische belasting van 1 gP/m²*j is de maximale concentratie van het water, dat het wetland uit komt 0,040 mgP/l. Het stroomgebied van de Hunze in vroegere tijden kan vergeleken worden met een wetland, vanwege de grote oppervlaktes aan helofyten langs de Hunze en in het Zuidlaardermeer. Daarom achten wij het verantwoord om de kritische assimilatie capaciteit van wetlands als kritische belasting waarde voor het Zuidlaardermeer te gebruiken.

Tabel 3.1. Samenvatting van de review van de literatuur over nutriëntenbelasting, nutriënten concentraties en algenaantallen

auteur	doel studie	data set	type meren	kritische P belasting	kritische totaal P concentratie
Richardson et al., 1997	Bepaling van de kritische assimilatie capaciteit van wetlands.	Analyse van de inkomende P belasting en uitkomende P concentratie van het wetland water.	317 wetlands, geen verdere details.	1 g/m ² /j, hetgeen de kritische assimilatie capaciteit is, boven deze waarde stijgt de P concentratie van het uit het wetland komende water exponentieel.	0,040 mg/l totaal P is de concentratie van het wetland water als de P belasting < 1 g/m ² /j.
Jeppersen et al., 1990	Evaluatie van de korte en lange termijn effecten van biomanipulatie in ondiepe eutrofe meren.	300 ondiepe meren en 3 biomanipulatie experimenten.	Deense meren < 5 m diep en een brede range in oppervlakte, verblijftijd en totaal P concentratie.	0,5-2,0 gP/m ² *j, afhankelijk van de meer morfometrie en verblijftijd. Belasting van 1-2 gP/m ² *y, alleen bij lange verblijftijd.	0,080-0,150 mg/l totaal P voor meren > 10 ha na biomanipulatie in meren < 3 ha kan de kritische concentratie hoger zijn door betere condities.
Meijer et al., 1999	Bepaling van de stabiliteit van de Veluwerandmeren.	Waterkwaliteitsgegevens van de Veluwerandmeren.	Veluwerandmeren in Nederland.	P belastingwaarden behorend bij de maximum concentratie van 0,10 mgP/l voor een veerkrachtig meer zijn: - 0,5 gP/m ² *j voor het Wolderwijd - 1,3 gP/m ² *j voor het Veluwemeer.	De maximale P concentratie is 0,15 mg/L totaal P in resistente meren met 30% oppervlak van 100% bedekking met macrofyten. Maximale P concentratie is 0,10 mgP/l voor een veerkrachtig meer met macrofyten bedekking en een doorzicht > 0,5m.

auteur	doel studie	data set	type meren	kritische P belasting	kritische totaal P concentratie
Ouboter, 1997		Data set met hydrologie, morfologie and waterkwaliteit van het Botshol gebied	Meren in het Botshol gebied	Kritische belasting is geschat op 0,3 gP/m ² *j	Kritische concentratie is 0,064 mgP/l voor de Grote Wijhe en 0,078 mg P/l voor de Kleine Wijhe berekend op basis van de huidige verblijftijd en het volume van de meren

4. SCHATTING VAN DE NUTRIËNTENCONCENTRATIES EN CHLOROFYLGEHALTEN OP BASIS VAN DE SOORTENSAMENSTELLING VAN HET FYTOPLANKTON IN 1916-1917

Er zijn geen metingen van de nutriëntenconcentraties en algenaantallen in vroegere tijden, toen het Zuidlaardermeer nog helder was. Wel heeft Havinga (1919) aan het begin van de eeuw een proefschrift geschreven over het Zuidlaardermeer. In dit proefschrift worden aantallen en de soortensamenstelling van het fytoplankton in het Zuidlaardermeer beschreven in de periode november 1916 en oktober 1917. Op basis van de algenwaarnemingen van Havinga uit die tijd zijn de nutriëntenconcentraties en algenaantallen in de periode 1916-1917 in het Zuidlaardermeer geschat. Dit onderdeel van de studie naar de streefwaarde voor het Zuidlaardermeer is uitgevoerd door Ronald Bijkerk van Koeman & Bijkerk, ecologisch onderzoek en advies. In dit hoofdstuk wordt een samenvatting van de studie gegeven. In het rapport "Schatting van eutrofiëringsparameters voor het Zuidlaardermeer anno 1916/1917 uit de soortensamenstelling van fytoplankton bepaald door Havinga (1919)" van Bijkerk (2002) wordt de hele analyse in meer detail beschreven.

Voor een juiste toepassing van de algenaantallen, zoals beschreven in Havinga (1919) dient rekening te worden gehouden met een verschil in de kwantificering van individuen fytoplankton, tussen de onderzoeker Havinga in 1916-1917 en de algentellingen van 1996-1999. Daarom is een nieuwe berekening gemaakt van de fytoplankton-dichtheid in 1916/1917 volgens de werkwijze die in 1996-1999 is gevolgd. Hieruit blijkt dat de waargenomen maximale dichtheid in 1917 vier keer hoger is dan in de oorspronkelijke gegevens. In de tweede plaats is het betrouwbaarder om een schatting van vroegere nutriëntenconcentraties te baseren op de biomassa van algen in plaats van op de dichtheid. Vanwege deze twee redenen is de oorspronkelijke statistische analyse op basis van algendichtheden door Witteveen+Bos vervangen door een schatting op basis van soortensamenstelling en biomassa.

Uit de oorspronkelijke gegevens is daarom een schatting gemaakt van het chlorofyl-a-gehalte na berekening van het biovolume van de in 1916-1917 aangetroffen algen. Vervolgens is uit het chlorofyl-a-gehalte een schatting gemaakt van het totaal-fosforgehalte, door gebruik te maken van de relaties uit de Vierde Eutrofiëringsenquête. De schattingen zijn getoetst door een vergelijking met qua fytoplankton overeenkomstige watersystemen. Ten slotte is een schatting gemaakt van het doorzicht in 1917 uit de voorkeur van de toen aanwezige blauwalggemeenschap voor bepaalde verhoudingen van zichtdiepte en mengdiepte. In tabel 4.1. zijn de gemaakte schattingen samengevat.

Tabel 4.1. Samenvatting van de geschatte parameterwaarden voor het jaar 1917; de meest waarschijnlijke schatting volgens Ronald Bijkerk is in een grijs veld geplaatst

parameter	waarde 1917	bepalingswijze
chlorofyl-a-gehalte ($\mu\text{g/l}$) ¹⁾	48	uit berekend biovolume per liter met behulp van een regressie van biovolume en chlorofyl-a, met correctie voor ruis op basis van situatie 2001
	57	uit metingen Wolderwijd en Veluwemeer in jaren met overeenkomstig hoge voorjaarspieken van <i>Diatoma tenuis</i>
fosfaatgehalte (mg P/l) ¹⁾	0.17	model Witteveen+Bos voor maximale dichtheid na berekening aantal STOWA individuen/liter
	0.09	uit berekend chlorofyl-a-gehalte via relatie in Portielje & Van der Molen (1998), met correctie voor extra-algaal P op basis van situatie 1996-2000
	0.11	uit metingen Wolderwijd en Veluwemeer in jaren met overeenkomstig hoge voorjaarspieken van <i>Diatoma tenuis</i>
	0.14	uit seizoensmaximum <i>Aphanizomenon</i> met gebruikmaking regressie Pechar & Fott (1991)
	0.10	uit seizoensgemiddelde <i>Aphanizomenon</i> met gegevens Pechar & Fott (1991)
fosfaatbelasting (g P/m ² /j)	0.69-0.74	uit seizoensmaximum <i>Aphanizomenon</i> via interpolatie gegevens Pechar & Fott (1991)
	0.10	uit seizoensgemiddelde <i>Aphanizomenon</i> en gegevens in Pechar & Fott (1991)
doorzicht (cm)	55 (mei-juni)	uit voorkeur voor Zs/Zm-verhouding van abundant aanwezige blauwalgsoorten
achtergronddoorzicht (cm)	80 (mei-juni)	uit geschatte doorzicht en chlorofyl-a-gehalte met gebruikmaking formule in STOWA (1993)

De meest waarschijnlijke schatting van het zomergemiddeld totaal-fosforgehalte in het Zuidlaardermeer in 1917 is een gehalte van 0.09 mg P/l. Hiervan wordt 0.06 mg P/l opgenomen door fytoplankton, tot een zomergemiddeld chlorofyl-a-gehalte van 48 $\mu\text{g/l}$.

Volgens Bijkerk (2002) zijn er geen aanwijzingen dat het Zuidlaardermeer in 1917 een helder meer was met bodemzicht en uitgebreide ondergedoken watervegetaties. Wel waren zichtdiepte (0.6 m) en achtergronddoorzicht (0.8 m) vermoedelijk bijna twee keer hoger dan in 2001. De vegetatie in het open water was niet van groot belang en bestond uit biezeng; planten met drijvende bladeren kwamen in het midden van het meer niet voor.

Het fytoplankton werd in 1916-1917 gedomineerd door eutrafente soorten, die ook nu nog in het plankton aanwezig zijn. In de periode mei-juli konden drijfslagen optreden van potentieel toxische soorten uit de geslachten *Anabaena* en *Aphanizomenon*. Blauwalgen met een optimale ontwikkeling in troebel water (*Planktothrix agardhii*, *Limnothrix* spp.) zijn in 1916-1917 niet aangetroffen, maar zijn tegenwoordig nu en dan talrijk in het meer.

smere

→ nuanceer! - kaartje Havinga → kranswiervelden
- tekt → glanzig foetskruid, doorgroeid foetskruid

5. EXPERT-JUDGEMENT VAN DE GERAADPLEEGDE EXPERTS

Er is commentaar ontvangen van dr. Harry Olde Venterink, prof. dr. Jos Verhoeven, prof. dr. Juergen Benndorf en drs. Ronald Bijkerk. De conclusies van de expert-analyse van Ronald Bijkerk zijn beschreven in hoofdstuk 4. De kritiekpunten op de statistische analyse van vroegere nutriëntengehalten op basis van de algendichtheden worden niet beschreven. Deze punten zijn nu niet meer relevant aangezien, de analyse op basis van algendichtheden vervangen is door de analyse op basis van biomassa en soortensamenstelling van Bijkerk (2002).

De belangrijkste opmerkingen van de experts zijn:

- Ranges in de Jeppersen studie zijn ook al bepaald op basis van een review van de literatuur. De ranges in de Jeppersen studie lijken betrouwbaar. Op basis van een uitgebreidere literatuursearch zou meer literatuur te vinden moeten zijn. De review van de literatuur is op basis van te weinig literatuur uitgevoerd (H. Olde Venterink).
- De studie gaat uit van een fosfaat limitatie, maar de cyanobacterien dominantie duidt op een stikstoflimitatie. Daarom wordt aangeraden om ook de kritische stikstofconcentraties of kritische N/P ratios bepalen (H. Olde Venterink).
- Om er zeker van te zijn dat het meer helder en plantenrijk wordt, wordt aangeraden een streefbelasting te kiezen, die lager ligt dan de kritische belasting van het meer (J. Verhoeven).
- Het is moeilijk om een maximale externe belasting te bepalen. De echte kritische belasting bestaat namelijk uit de som van de interne en externe belasting. De interne belasting is vaak onbekend en heeft een stochastisch karakter. Als de interne belasting relatief laag is, zoals in gestratificeerde meren, dan kan het Vollenweider model voor diepe meren worden gebruikt (Benndorf 1979, Int.Revue.Ges.Hydrobiol.). Dat model gaat uit van opgelost, reactief fosfaat (SRP) in plaats van Totaal P. Op basis van dat model wordt gesteld dat de streefbelasting niet hoger mag zijn dan tussen $0,15 \text{ g SRP/m}^2\text{*j}$ (korte verblijftijd van ± 10 dagen) tot $0,4 \text{ g SRP/m}^2\text{*j}$ (lange verblijftijd van ± 100 dagen). Deze belastingwaarden houden geen rekening met het verschil in interne belasting tussen een diep, gestratificeerd meer en een ondiep meer. Waarschijnlijk zal de maximale externe belasting daarom wat lager liggen dan bovengenoemde belastingwaarden, maar we weten zeker dat zij zeker niet hoger zal zijn. Vanwege de onbekende interne belasting op het Zuidlaardermeer zal de kans op een waterplanten gedomineerd, helder meer toenemen, naarmate de externe belasting lager is (J. Benndorf).
- Bij de oorspronkelijke schatting van de nutriëntengehalten in 1916-1917 op basis van algendichtheden door W+B was er kritiek op de keuze voor een lineaire relatie, die door het nulpunt gaat. Men vraagt zich af waarom er niet van een groeicurve wordt uitgegaan en waarom de lijn door het nulpunt wordt geforceerd (H. Olde Venterink en J. Verhoeven). Hierbij moet worden opgemerkt dat ook de schatting van het totaal P gehalte in 1916-1917 van Bijkerk (2002) op basis van biomassa en soortensamenstelling wordt gebaseerd op de eutrofiëringrelaties van Portielje & Van der Molen (1998). Deze bekende relaties zijn lineair en gaan door het nulpunt.

6. DISCUSSIE EN ADVIES

De vergelijking van de literatuurwaarden en de geschatte waarden op basis van historische algenwaarnemingen laat zien dat de geschatte fosfaat concentraties en belasting binnen de range van de waarden uit de literatuur vallen (zie tabel 6.1.). Op basis daarvan kan men concluderen dat de geschatte waarden op basis van de algenwaarnemingen door Havinga (1919) realistisch zijn. Bestudering van nog meer literatuur zal ons inziens niet veel meer relevante informatie extra opleveren. De belangrijkste literatuur is beschreven in deze studie en aanvullende literatuur zal naar verwachting alleen tot een bredere range aan waarden leiden. Aangezien het Zuidlaardermeer door zijn dynamiek in verblijftijden maar beperkt vergelijkbaar is met andere meren uit de literatuur wordt aangeraden om de streefbelasting en streefconcentratie voor het Zuidlaardermeer te baseren op de afgeleide fosfaatconcentraties uit de analyse van de historische algenwaarden door Bijkerk (2002). Deze waarden zijn geschat op basis van waarnemingen in het Zuidlaardermeer zelf en lijken hiermee betrouwbaarder als uitgangspunt voor de streefbelasting dan waarden van andere ondiepe meren.

De streefbelasting is door Bijkerk (2002) geschat op $0,69-0,74 \text{ gP/m}^2\text{*j}$ op basis van het seizoensmaximum Aphanizomenon via interpolatie van de gegevens van Pechar & Fott (1991). De streefbelasting kan ook worden geschat op basis van de huidige afvoer van de Hunze en de streefconcentratie van $0,09 \text{ mgP/l}$ totaal P in het Zuidlaardermeer. Hierbij wordt aangenomen dat er geen interne belasting vanuit de bodem op het meer plaatsvindt en dat de huidige afvoer van de Hunze vergelijkbaar is met de afvoer in 1916-1917. Het is onbekend hoe hoog de interne belasting van het Zuidlaardermeer is, maar uit bodemonderzoek in 1999 in het Zuidlaardermeer bleek dat het slib relatief veel ijzer bevatte en weinig fosfaat. Hieruit kan geconcludeerd worden dat de interne belasting niet erg hoog zal zijn. Er zijn geen gegevens over de Hunze afvoer in die periode. Wel kan het neerslagpatroon van toen en nu vergeleken worden (zie afbeelding 6.1.). Hieruit blijkt dat de neerslagpatronen van vroeger en nu vergelijkbaar zijn met uitzondering van twee neerslagpieken in augustus en oktober 1917 aan het einde van het groeiseizoen. De streefbelasting op basis van de huidige afvoer en streefconcentratie is gemiddeld over de jaren 1996-2000 $0,89 \text{ gP/m}^2\text{*j}$ en voor een droog jaar $0,53 \text{ gP/m}^2\text{*j}$ en nat jaar $1,12 \text{ gP/m}^2\text{*j}$. Deze brede bandbreedte aan belasting wordt veroorzaakt door het verschil in de hoeveelheid neerslag die in een jaar kan vallen. De gemiddelde waarde van $0,89 \text{ gP/m}^2\text{*j}$ ligt iets hoger dan de belasting van Bijkerk (2002) van $0,69-0,74 \text{ gP/m}^2\text{*j}$, maar is vergelijkbaar wat betreft ordegrrootte.

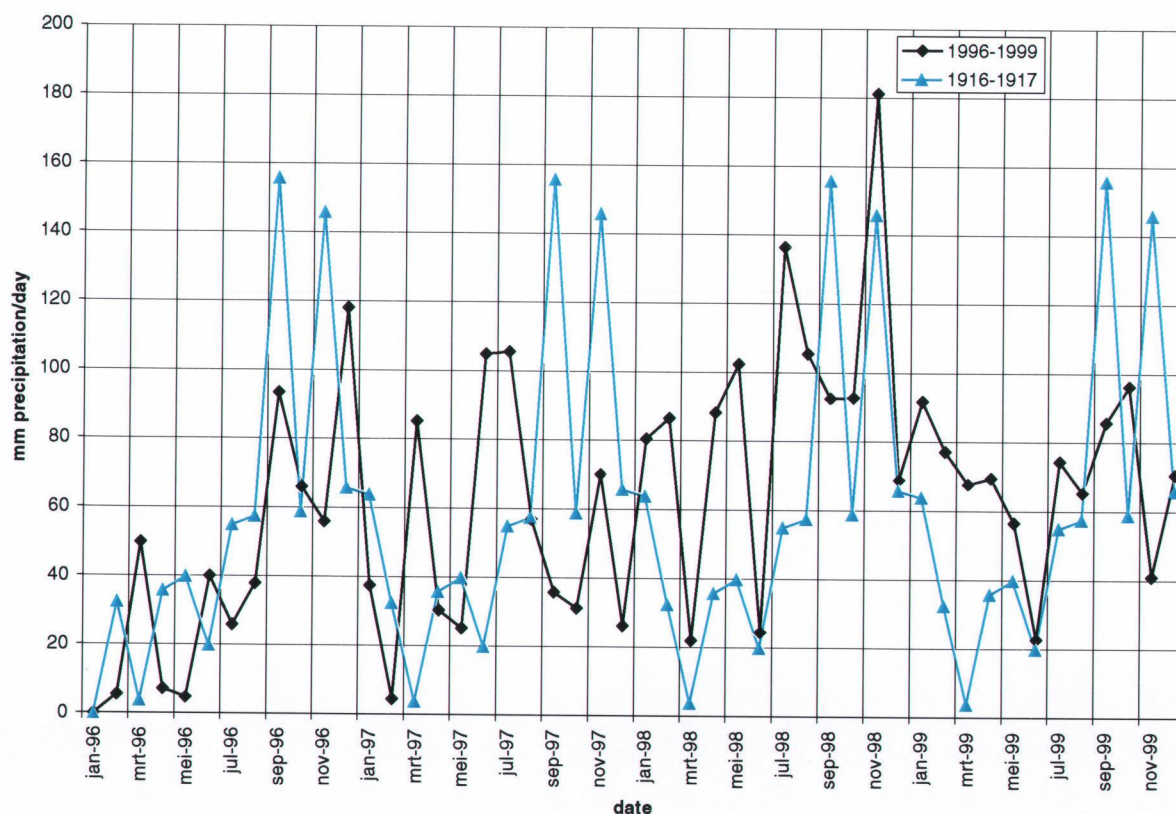
De vraag blijft bestaan of het fosfaatgehalte in het Zuidlaardermeer in 1916-1917 overeenkomt met de kritische belasting van het meer. De kritische belasting zou hoger kunnen liggen, omdat het meer helder was in die periode. Maar er waren ook al de eerste tekenen van eutrofiëring, omdat er regelmatig korte algenbloeien voorkwamen in het meer. Daaruit zou weer afgeleid kunnen worden, dat de fosfaatbelasting in die tijd al boven de kritische belasting lag.

Op basis van de uitvoerde studie raden wij aan om als streefconcentratie voor het Zuidlaardermeer $0,09 \text{ mgP/l}$ aan te houden met een range van $0,05-0,011$. De kans op helder water neemt uiteraard toeneemt, naarmate de concentratie lager is. Bij de streefbelasting zou moeten worden uitgegaan van de waarden $0,69-0,89 \text{ gP/m}^2\text{*j}$. De belasting is echter sterk afhankelijk van het neerslagpatroon in een jaar. Daarom is het makkelijker om maatregelen te baseren op een te realiseren streefconcentratie in het Zuidlaardermeer. *het Hunze water!*

Tabel 6.1. Overzicht van de fosfaat belasting en fosfaat concentraties, die uit de literatuur review komen en uit de analyse van de algenwaarnemingen van Havinga (1919)

bron	P belasting (gP/m ² *j)	P concentratie (mgP/l)
literatuur review	0,3-2 (1-2 bij korte verblijftijden)	0,064-0,150
analyse algenwaarden 1916-1917	0,69-0,74 uit Bijkerk (2002) op basis van Pechar&Fott (1991)	0,09 (range 0,09-0,17)
Belasting bepaald op basis van huidige afvoer Hunze en 0,09 mgP/l als streefconcentratie: - 0,89 als gemiddelde 1996-1999 - 0,53 voor droog jaar 1997 - 1,12 voor nat jaar 1998		
advies voor streefwaarde	0,69-0,89	0,09 met als range 0,05-0,011

Afbeelding 6.1. Neerslag in mm per dag voor de periode 1996-1999 en voor de periode november 1916-oktober 1917. De neerslaggegevens van 1916-1917 zijn in de afbeelding 4x herhaald om vergelijking met de periode 1996-1999 mogelijk te maken



REFERENTIES

- Clason, E.W., 1928. Over de plantengroei van het Zuidlaardermeer en omgeving. De levende natuur, aflevering 1.
- Bijkerk, R., 2002. Schatting van eutrofiëringsparameters voor het Zuidlaardermeer anno 1916/1917 uit de soortensamenstelling van fytoplankton bepaald door Havinga (1919). Koeman en Bijkerk bv ecologisch onderzoek en advies.
- Havinga, B., 1919. Studiën over flora en fauna van het Zuidlaardermeer. Bijdrage tot de kennis van de biologie der Nederlandsche meren, proefschrift Rijksuniversiteit Groningen.
- Jeppersen, E., J.P. Jensen, P. Kristensen, M. Sondergaard, E. Mortensen, O. Sortkjaer, K. Olrik, 1990. Fish manipulation as a lake restoration tool in shallow eutrophic, temperate lakes 2: treshold levels, long-term stability and conclusions. *Hydrobiologia* 200/2001: 219-227.
- Meijer, M-L., R. Portielje, R. Noordhuis, W. Joosse, M. van den Berg, B. Ibelings, E. Lammens, H. Coops, D. van der Molen, 1999. Stabiliteit van de Veluwerandmeren. RIZA report 99.054. RIZA, Lelystad december 1999.
- Ouboter, M., 1997. Dynamiek eutrofiering Botshol. WL rapport T 1541, juni 1997.
- Pechar L. & Fott J., 1991. On the occurrence of *Aphanizomenon flos-aquae* var. *flos-aquae* in fish ponds. *Int Revue ges Hydrobiol* 76 : 57-66.
- Portielje R & van der Molen DT (1998) Relaties tussen eutrofiëringsvariabelen en systeemkenmerken van de Nederlandse meren en plassen. Deelrapport II voor de Vierde Eutrofiëringsenquête. RIZA rapport 98.007, Rijksinstituut voor Integraal Zoetwaterbeheer en Afvalwaterbehandeling, Lelystad : 1-98.
- Richardson, C. J., Qian, S., Craft, C. B. and Qualls, R. G. 1997. Predictive models for phosphorus retention in wetlands. - *Wetlands Ecology and Management* 4: 159-175.
- STOWA (1993) Ecologische beoordeling en beheer van oppervlaktewater. Beoordelingssysteem voor meren en plassen op basis van vegetatie en fytoplankton. Rapport 93-16, Stichting Toegepast Onderzoek Waterbeheer, Utrecht : 1-36.

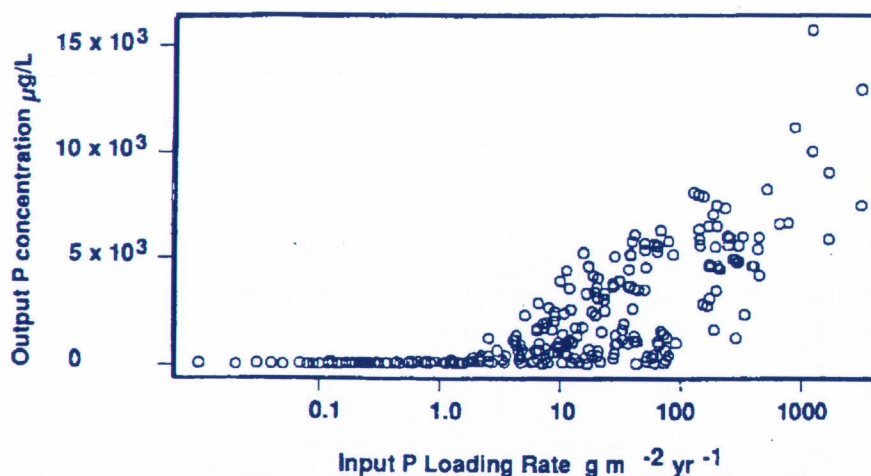
BIJLAGE I Samenvatting van de literatuur over nutriëntenbelasting op ondiepe meren

Richardson, C. J., Qian, S., Craft, C. B. and Qualls, R. G. 1997.
Predictive models for phosphorus retention in wetlands. - Wetlands Ecology and Management 4: 159-175.

Richardson et al., (1997) have analysed the input P loading and the output P concentration of 317 wetlands in North America. They propose the "one gram rule", meaning that the threshold P assimilative capacity is approximately $1 \text{ gP/m}^2/\text{yr}$. It is hypothesized that once loadings exceed $1 \text{ gP/m}^2/\text{yr}$ and short term mechanisms are saturated, that the mechanisms controlling the uptake and storage of P in wetlands are exceeded and effluent concentrations of total P rise exponentially. At loadings lower than $1 \text{ gP/m}^2/\text{yr}$ the output P concentration will remain nearly constant ($\pm 40 \mu\text{g/l}$ Total P). This does not suggest that more P is not stored in the wetlands with increased loadings, but it indicates that increased loadings above some assimilative P capacity for the wetlands results in significant increases in the output concentrations.

The longterm storage rate (defined here as wetland assimilative capacity) is apparently indicative of a threshold loading rate that maintains a stable outflow of low phosphorus concentrations. When the phosphorus loading rate of a wetland is below the assimilation capacity, most of the added phosphorus will be stored in the peat or sediment, therefore no significant increase in the water column concentration will occur. When the loading rate is above the P assimilative capacity, only part of the added P can be stored via soil accretion, and the remaining P will remain in the water column, hence the P concentration will increase downstream. The high variation in concentrations in wetland effluent for the North American Data Base is largely due to the differences in wetland systems (e.g. age of a constructed wetland, soil type, climate, and type of waste water), but collectively they show a uniform P assimilation capacity that does not exceed $1 \text{ g/m}^2/\text{yr}$.

Figure 1. Relation between the output P concentration and the input P loading based on 317 wetlands (x-axis is logarithmic)



Jeppersen, E., J.P. Jensen, P. Kristensen, M. Sondergaard, E. Mortensen, O. Sortkjaer, K. Olrik, 1990. *Fish manipulation as a lake restoration tool in shallow eutrophic, temperate lakes 2: treshold levels, long-term stability and conclusions. Hydrobiologia 200/2001: 219-227.*

The short-term and long-term effects of fish manipulation in shallow, eutrophic lakes are evaluated on the basis of a combination of:

- empirical studies on relationships between lake water concentration of total P and the occurence of phytoplankton, submerged macrophytes and fish in 300 shallow Danish lakes (depth < 5m);
- three whole-lake fish manipulation experiments.

Table 1. Values of some relevant variables of the 300 lakes with a depth < 5m

variables	minimum value	median value	maximum value
surface area (ha)	0,1	22	4100
retention time (days)	1	38	7500
totP in surface water (µgP/l)	10	316	5900
secchi depth (m)	0,15	0,55	5,0

The following relationships have been found:

- Phytoplankton:
 - strong dominance of large cyanobacteria with Total P concentrations between 500 and 750 µg/l, which becomes weaker at P concentrations above or below this range;
 - most of Dutch shallow, hypertrophic lakes (>1000 µg/l Total P) of sizes and depth similar to Danish lakes tend to be blue-green Oscillatoria lakes, while green algae often dominate in Danish lakes.
- Macrophytes:
 - lakes > 10 ha, < 5m depth and summer mean N/P ratio >6: maximum depth at which submerged macrophytes occurred decreased exponentially with increasing nutrient levels. At 50 µgP/l totP the maximum depth is ±2,4m, at > 150 µgP/l totP the maximum depth was <1 m, macrophytes were absent above 250 µgP/l totP;
 - lakes > 3ha: stable clear water phase at values of <50 µgP/l totP, alternative stable state phase between 50 and 125 µgP/l totP and stable turbid phase at > 125 µgP/l totP;
 - lakes < 3ha: alternative stable state around 650 µgP/l totP;
 - lakes with a high cover of macrophytes showed higher transparencies than lakes with low cover above 50 µgP/l totP;
 - small lakes can sustain a higher macrophyte cover and transparency at higher phosphorus concentrations than large lakes.
- Fishes:
 - in lakes > 10 ha the ratio of planktivorous fish to plantivorous and piscivorous fish increased with increasing P concentration up to a treshold level of ±100 µgP/l totP. At higher levels the ratio was relatively constant and the fish stock was exclusively dominated by planktivorous fish;
 - treshold of 100 µgP/l totP is supported by a number of whole lake biomanipulation experiments.

conclusions

Threshold level for long term effects of fish manipulation in shallow temperate lakes > 10 ha (not severely limited by nitrogen) is ± 100 µgP/l totP (80-150 µgP/l totP). Concentrations of 80-150 µgP/l totP relate to a P loading of 0,5-2,0 gP/m²*y, depending on lake morphometry and flushing rate. Loading rates between 1 and 2 gP/m²*y are only within the treshold regime at high flushing rates. In small lakes (< 3ha) the treshold level may be higher, because of more favourable conditions for submerged macrophytes and piscivorous fishes (more shallow areas, higher shoreline to surface area, less wind induced turbidity, more fish kill in winter).

Meijer, M-L., R. Portielje, R. Noordhuis, W. Joosse, M. van den Berg, B. Ibelings, E. Lammens, H. Coops, D. van der Molen, 1999. *Stabiliteit van de Veluwerandmeren*. RIZA report 99.054. RIZA, Lelystad december 1999.

This study investigates the stability of a number of Dutch lakes, the Veluwerandmeren (see table 2 for overview of hydromorphological characteristics). These lakes were after their creation clear waters. In the 1970's they turned into turbid lakes due to eutrophication. The implementation of a number of restoration measures have in the beginning of the nineties led to a clear state with macrophytes. The report studies the following subjects:

1. The causes of the switch to a clear situation.
2. The stability of the present ecosystem and the prediction of the threshold for a return to the turbid situation.

Ad 1. The causes of the switch to a clear situation were the decrease of the nutrient loading and the occurrence of shallow areas suitable for growth of the macrophyte *Chara*. At a P concentration of 0,10 mgP/l and a transparency of > 0,4m the macrophytes started to grow at the shallow parts of the lake (in 1987 at Veluwemeer and in 1991 at Wolderwijd). From 1995 the transparency is above 1m, also at locations without macrophytes.

Ad 2. Stability can be distinguished into resistance and resilience. An ecosystem has resistance in case it does not change at an increase of external pressure on the system. Resilience means that an ecosystem changes due to external pressure, but recovers quickly to its former state. The stability of the present system has been determined on the basis of a stochastic model of data on phosphate loading, phosphate concentrations, chlorophyll a concentrations, transparency and the coverage with macrophytes and an analysis of historical data.

The clear situation is resistant in case the macrophyte coverage is 30% of the lake area with a 100% dense coverage of macrophytes. The corresponding maximum phosphate concentration of a resistant lake depends on the macrophyte coverage, but the maximum value is 0,15 mgP/l. At 0,15 mgP/l the macrophytes coverage decreased drastically in the 1960's.

The values which lead to a resilient system are bordered by a phosphate value of 0,10 mgP/l, because the restoration of the Veluwerandmeren in the beginning of the nineties started at concentrations lower than 0,10 mgP/l. At concentrations lower than 0,10 mgP/l it is expected that the system is capable to restore to a clear state. At values higher than 0,10 mgP/l the system will switch to a turbid state. A reversion to the turbid state is, next to a exceedance of the 0,10 mgP/l threshold also possible in case the macrophyte coverage decreases drastically or a reduction of the transparency lower than 0,5m. At this transparency the cyanobacteria *Planktothrix* can become dominant. On the basis of historical data it is concluded that restoration to a clear state takes less than 3 years if the transparency is higher than 0,5m. At lower transparency the return to a clear state can last between 3-10 years.

Table 2. Hydromorphological characteristics of the Veluwerandmeren (Meijer et al., 1999)

	surface	average depth	volume	retention time	summer water level	winter water level
	ha	m	*10 ⁶ m ³	year	m NAP	m NAP
Nuldernauw	664	2,06	13,7	0,12	-0,10	-0,30
Wolderwijd	1825	1,94	35,3	0,32	-0,10	-0,30
Veluwemeer	3022	1,56	47,3	0,16	-0,05	-0,30
Drontermeer	476	1,26	6,0	0,05	-0,05	-0,30

Ouboter, M., 1997. *Dynamiek eutrofiering Botshol. WL rapport T 1541, juni 1997.*

Ouboter has determined on the basis of the external P loading data in this report a threshold level of 0,8 mgP/m²/day (=0,3gP/m²/year) for the Botshol, one of the Vechtplassen. Characteristics of Botshol are described in table 3. In the area Botshol two lakes are located; the Grote Wije en the Kleine Wijhe.

Table 3. Characteristics of Botshol

characteristic	lake Grote Wije	lake Kleine Wije	fort	dwarse	Zwanegat
retention time (year)	0,43	0,43			
total area (ha)	73,6	49,6	23,7	21,7	41,4
area of water (ha)	53,4	20,8	3,4	1,3	3,3
depth (m)	2,03	1,66	1,28	1,31	0,90
area of total land (ha)	20,2	28,2	20,3	20,4	38,0
area of reed (ha)	3,2	16,0	16,2	8,3	23,9
area of forest (ha)	13,8	10,8	3,2	7,9	5,7
area of grass (ha)	3,2	2,0	0,9	4,2	8,5