Rw
1390-1

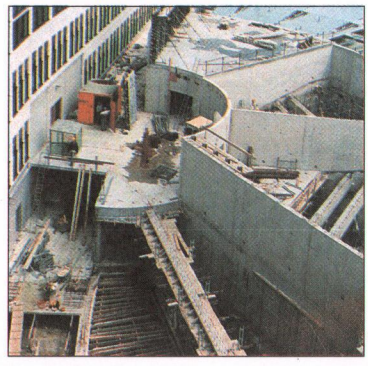
Witteveen + Bos

water
infrastructuur
milieu
bouw

RIZA

Quick scan slibproblematiek Markermeer en Eem- en Gooimeer

Deel 1: Samenvattende rapportage



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

KLIM

Witteveen + Bos

water
infrastructuur
milieu
bouw

RIZA

Quick scan slibproblematiek Markermeer en Eem- en Gooimeer

Deel 1: Samenvattende rapportage

referentie	projectcode	status
RW1390-1/beem5/001	RW1390-1	definitief 3
projectleider	**projectdirecteur**	**datum**
ir. B. van Leeuwen	ir. Th.G.J. Witjes	12 januari 2005

autorisatie	naam	paraaf
goedgekeurd	ir. B. van Leeuwen	

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

Het kwaliteitsmanagementsysteem van Witteveen+Bos is gecertificeerd volgens ISO 9001 : 2000

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

1947573

INHOUDSOPGAVE **blz.**

1. INLEIDING **1**

2. ONDERZOEKSVRAGEN **2**

3. BESCHIKBARE EN BENODIGDE INFORMATIE **3**
3.1. Benodigde informatie 3
3.2. Belangrijkste beschikbare informatie 3

4. SAMENHANG SLIBHUISHOUDING MARKERMEER EN EEM- EN GOOIMEER **5**
4.1. Herkomst anorganisch slib 5
4.2. Waterbeweging 5
4.3. Sedimenttransport 6

5. EVALUATIE ONDERZOEKSVRAGEN MARKERMEER **7**

6. EVALUATIE ONDERZOEKSVRAGEN EEM- EN GOOIMEER **11**

7. OPLOSSINGSRICHTINGEN EN AANBEVELINGEN **14**
7.1. Oplossingsrichtingen 14
7.2. Aanbevelingen 14

laatste bladzijde **16**

SAMENVATTING

In opdracht van RIZA afdeling WST heeft Witteveen+Bos een onderzoek uitgevoerd naar de slibproblematiek in het Markermeer en Eem- en Gooimeer. Hierbij is gebruik gemaakt van de beschikbare gegevens en bestaande kennis, aangevuld met 2D WAQUA-berekeningen.

Markermeer
Gebleken is dat in het westelijk deel mogelijk erosie plaatsvindt en in het oostelijk deel sedimentatie. De rol van interne erosie wordt zeer aannemelijk geacht. De kleibanken aan de westzijde van het meer lijken te eroderen, terwijl de oostzijde verondiept met slib.

Over een tijdsperiode van 10 jaar lijkt sprake van een toename van de slibvoorraad in de orde van 11 miljoen m^3. Uitgedrukt in tonnen vaste stof laat echter meer erosie dan sedimentatie zien. Een combinatie van windgolven en stroming en foerageergedrag van benthivore vis wordt aannemelijk geacht als belangrijkste oorzaak van de erosie. Voor het maken van een nauwkeurige slibbalans bestaat onvoldoende duidelijkheid over de hoeveelheid, samenstelling en herkomst van het aanwezige sediment. Door middel van monstername in combinatie met dieptemetingen zou deze informatie kunnen worden verzameld. Bemonstering van het Markermeer met een in span geviste stortkuil wordt aanbevolen om goede kwantitatieve informatie over de visstand te verkrijgen. Om meer inzicht te krijgen in de interne slibproductie, zou meer informatie moeten worden verkregen over de verwekingseigenschappen van de kleibodem. Gerichte bemonstering en beproeving van de kleibodem in een proefvak kan hierover informatie verschaffen.

Niet zozeer de Houtribdijk heeft de slibdynamiek beïnvloed, als wel het ontstaan van de polders. De Houtribdijk heeft waarschijnlijk alleen een nuancering van de slibdynamiek bewerkstelligd en is zeker niet verantwoordelijk voor de aanwezigheid van het slib, het slib is een erfenis van de Zuiderzee. Om de natuurlijkheid van het huidige slibprobleem te kunnen bepalen is meer inzicht nodig in de waterbewegingen en daarmee gepaard gaande slibtransporten. 2D en 3D berekeningen zouden dit inzicht kunnen vergroten.

Het aanbrengen van verdiepingen (putten) wordt als meest kansrijke optie gezien voor het oplossen van het slibprobleem. Het aanbrengen van verdiepingen leidt tot het invangen van slib dat als gevolg van de waterbewegingen in de put zal zakken. Berging vindt waarschijnlijk voornamelijk door horizontaal transport van slib over de bodem plaats. Bergingsputten in het Markermeer zouden een belangrijke rol kunnen spelen bij het verminderen van de slibvoorraad. Overwogen kan worden om industriezand te winnen uit de pleistocene zandformaties.

Er bestaat onvoldoende inzicht in de locale processen die bij de sedimentatie in putten een rol spelen. Nader inzicht hierin kan het effect van verdiepen op de slibproblematiek aantonen. Tevens zou de samenstelling van het slib in de putten moeten worden bepaald door monstername.

Eem- en Gooimeer
In het Gooimeer lijkt sprake te zijn van een netto export van slib. Dit slib komt mogelijk voor een belangrijk deel in de putten in het IJmeer terecht. Daarnaast treedt sedimentatie in de putten in het Gooimeer zelf op. In het Eemmeer lijkt vrijwel geen netto toename of afname van de slibvoorraad op te treden. Dit zou kunnen betekenen dat er sprake is van een dynamisch evenwicht tussen enerzijds de aanvoer van slib vanuit de Eem en de interne productie in het meer en anderzijds de export van slib naar het Gooimeer.

Het wordt aannemelijk geacht dat in het Eemmeer veel meer sprake is van een slibprobleem dan in het Gooimeer. Het slib is waarschijnlijk over grote oppervlakken in beweging (getuige de geringe diepteverschillen, de afwezigheid van putten en de geringe toe- en afname van de waterdiepte van de gebieden aan weerszijden van de vaargeul vanuit de Eem). Kennelijk bevindt de bodem van het Eemmeer zich in een "geërodeerde" staat, waarbij relatief veel slib in suspensie kan wor-

den gebracht. Het wordt aannemelijk geacht dat de aanwezige visstand hierbij een belangrijke rol speelt.

Het wordt het meest wenselijk geacht om het slibprobleem via meerdere sporen aan te pakken:

1. Drastische en periodiek herhaalde uitdunning van de benthivore visstand, waarmee de bodem zoveel mogelijk in een "geconsoleerde" staat wordt gebracht. Waterplanten en mosselen kunnen de geconsolideerde staat versterken
2. Realisatie van een combinatie van slibvangen in de Eem (een belangrijke aanvoerbron) en in het Eemmeer zelf (in verband met de interne productie).

Inhoudelijk kan het probleem naar onze inschatting snel worden aangepakt. De snelheid van het oplossen van het slibprobleem zal naar verwachting vooral afhangen van de proceduretijd die gemoeid is met de voorbereiding op de ingrepen. Het uitvoeren van uitdunningsvisserijen zal in dat verband naar verwachting sneller kunnen worden uitgevoerd dan de aanleg van slibvangen. Hoe sneller begonnen wordt, hoe groter de kans dat voor 2015 effect wordt gesorteerd.

In potentie kan gebonden fosfaat een belangrijke bijdrage leveren aan interne eutrofiëring. De route waarlangs gebonden P beschikbaar komt kan zowel chemisch (directe nalevering van labiel gebonden P, bijvoorbeeld bij zuurstofloosheid aan de bodem) als biologisch (bijvoorbeeld via productie van macrofauna en het eten en uitscheiden hiervan door benthivore vissen) van aard zijn. Om de rol van fosfaat te bepalen zou de biobeschikbaarheid van fosfaat in de bodem en in zwevend stof moeten worden bepaald. Dit in combinatie met vrachtberekeningen.

1. INLEIDING

onderzoeksopdracht
In opdracht van RIZA afdeling WST heeft Witteveen+Bos (W+B) een onderzoek uitgevoerd naar de slibproblematiek in het Markermeer en Eem- en Gooimeer.

doel
Voor het Markermeer vormt het slechte doorzicht de aanleiding voor het onderzoek naar de aanwezigheid, het gedrag, de samenstelling en de kwaliteit van het slib. Onduidelijk hierbij is in hoeverre het probleem een natuurlijke oorzaak heeft of dat het veroorzaakt wordt door menselijk ingrijpen. Om grip te krijgen op het probleem is inzicht nodig in de gebiedskarakteristiek, de stroming en slibhuishouding, ecologie en de fysische en chemische kwaliteit van het slib.

Voor het Eem- en Gooimeer speelt vooral de eutrofiëring een belangrijke rol. In het Eem- en Gooimeer daalt het chlorofyl-a gehalte de laatste jaren aanzienlijk. Het doorzicht daarentegen blijft constant. Dit wordt veroorzaakt door het zwevend stof. In de uit te voeren analyse moet inzicht worden gekregen in de rol van het zwevend stof en de interactie met fosfaat. Om grip te krijgen op het slibprobleem is inzicht nodig in de gebiedskarakteristiek en ecologie.

Het uitgevoerde onderzoek had tot doel het uitvoeren van een quick scan van de slibhuishouding en het slibtransport (als gevolg van de stromings- en erosie- en sedimentatieprocessen), in het Markermeer en het Eem- en Gooimeer. Daarnaast is voor het Eem- en Gooimeer gekeken naar de toestand van fosfaat in het slib. De resultaten van dit onderzoek dienen ter ondersteuning bij de vaststelling van het maximale en goede ecologische potentieel (MEP en GEP) voor beide meren.

Een belangrijke vraag bij het onderzoek was of het slibprobleem een natuurlijke of menselijke oorsprong heeft. Wanneer het slibprobleem hoofdzakelijk is ontstaan als gevolg van menselijke ingrepen, heeft dit invloed op de definiëring van de MEP en GEP. Daarnaast is gezocht naar oplossingsrichtingen van het slibprobleem.

projectafbakening
In het onderzoek zijn de slibhuishouding en de stromings- en sedimentatieprocessen in beeld gebracht, waarbij gebruik is gemaakt van reeds beschikbare informatie en bestaande gebiedskennis.

De vraagstelling heeft zich met name gericht op slibhuishouding en de stromings- en sedimentatieprocessen. Zeker voor het Eem- en Gooimeer is het van belang om in het kader van het BEZEM-project inzicht te hebben in de relatie tussen slib en ecologie. Onder 'slib' is in dit onderzoek verstaan: 'het niet-vaste deel van de bodem (uitgedrukt in kg/m^2), dat onder invloed van stroming kan worden opgewoeld en/of verplaatst'.

projectaanpak
In eerste instantie is zo veel mogelijk (gebieds-) kennis met betrekking tot de slibproblematiek verzameld door het afnemen van interviews met diverse personen van RWS IJG en RIZA. Deze informatie is aangevuld met literatuur, meetgegevens, kaartmateriaal en overige relevante informatie. Alle verzamelde informatie is beschreven in verschillende notities (werkdocumenten) die ten grondslag liggen aan deze rapportage.

Na beoordeling van de informatie is een selectie gemaakt van informatie die nader is uitgewerkt. De uitgewerkte gegevens zijn verder geanalyseerd (het leggen van verbanden, het zoeken van verklaringen). Waar onvoldoende betrouwbare of alleen onnauwkeurige gegevens voorhanden waren, of waar de omvang van de gegevens te groot was om binnen het tijdsbestek van het project te kunnen verwerken, is dit aangegeven en is getracht op basis van deskundigheidsoordeel toch uitspraken te doen.

Om op een adequate wijze de onderzoeksvragen te kunnen beantwoorden zijn wekelijks tussentijdse resultaten gerapporteerd en is de voortgang besproken. In een workshop op 19 november 2004 zijn

enkele voorlopige resultaten van de studie besproken. In de periode daarna zijn verdere conclusies getrokken en oplossingsrichtingen zijn aangedragen.

Aanvankelijk was de onderzoeksvraag uitsluitend gericht op de slibproblematiek van het Markermeer. Aangezien ook meer inzicht gewenst is in de fosfaatproblematiek van het Eem- en Gooimeer, is het project hiermee uitgebreid. Dit rapport heeft betrekking op zowel het Markermeer als het Eem- en Gooimeer.

opbouw rapport
Deze rapportage bevat een samenvatting van de uitgevoerde studie. Na de formulering van de onderzoeksvragen (hoofdstuk 2) wordt de benodigde en meest relevante beschikbare informatie beschreven (hoofdstuk 3). De samenhang tussen het Markermeer en het Eem- en Gooimeer wordt beschreven in hoofdstuk 4, waarna in hoofdstuk 5 en 6 middels een evaluatie antwoord wordt gegeven op de gestelde onderzoeksvragen voor respectievelijk het Markermeer en het Eem- en Gooimeer. Tot slot wordt in hoofdstuk 7 de meest kansrijke oplossingsrichting aangedragen en worden de leemten in kennis opgesomd, voorzien van aanbevelingen om de benodigde informatie voor het wegnemen van de leemten te verzamelen.

Een meer uitgebreide beschrijving van de projectaanpak, de beschikbare gegevens, uitgevoerde analyse en oplossingsrichtingen is opgenomen in deel 2 van deze rapportage.

2. ONDERZOEKSVRAGEN

Onderzoeksvragen Markermeer
Voor het Markermeer heeft de analyse zich op de volgende onderzoeksvragen gericht:
- Is er sprake van netto aangroei van slib of niet? Is het slib organisch of anorganisch van oorsprong?
- Waar komt het slib vandaan en waar gaat het heen? Daarbij wordt ook gekeken naar de bijdrage van de interne slibproductie, de interne erosie en de rol van de bestaande putten;
- Welke rol heeft de aanleg van de Afsluitdijk, de Houtribdijk en de Flevopolder gehad op de stromingspatronen en de sedimentatieprocessen (trendbreuk)?

Onderzoeksvragen Eem- en Gooimeer
Het onderzoek naar het Gooi-Eemmeer heeft bestaan uit twee delen. Het eerste doel van de analyse betrof het in beeld brengen van de aanwezigheid en transport van zwevend stof in de Zuidelijke Randmeren. Middels een quick scan is onderzocht:
- Is er sprake van netto transport van zwevend stof (lost het probleem zichzelf op)?;
- Is het mogelijk het probleem op te lossen met reductie van aanvoer (slibvang, baggeren) of ecologische processen in de meren (waterplanten, vis en/of driehoeksmosselen)?;
- Kan het probleem voor 2015 opgelost zijn (hoe lang zijn de kritische tijdselementen)?

Het tweede doel van de analyse van het Gooi en Eemmeer betrof het in beeld brengen van de toestand van fosfaat: welk deel van het fosfaat is in de waterfase en waterbodem aanwezig, het zwevend stof of op een andere wijze particulair gebonden (bijvoorbeeld aan ijzercomplexen). Middels een gegevensanalyse is onderzocht:
- In welke vorm komt het fosfaat voor?;
- Hoeveel fosfaat is biologisch beschikbaar en hoeveel niet?;
- Kan het gebonden fosfaat een bijdrage leveren aan de interne eutrofiering?;
- Is het mogelijk het probleem op te lossen met reductie van aanvoer (slibvang, baggeren) of ecologische processen in de meren (waterplanten, vis en/of driehoeksmosselen)?

3. BESCHIKBARE EN BENODIGDE INFORMATIE

In deze studie is uitsluitend gebruik gemaakt van reeds bestaande en beschikbare gegevens. Daarnaast is het model WAQUA ingezet, waarmee nieuwe kennis is ontwikkeld.

3.1. Benodigde informatie

Om te kunnen vaststellen in hoeverre sprake is van aanvoer van slib, interne productie, afvoer, sedimentatie, etc., is informatie benodigd over de bodemligging (nu en in het verleden), de waterbewegingen en daarmee gepaard gaande slibtransporten. De samenstelling (fracties, organisch/anorganisch) van het aanwezig slib kan informatie verschaffen over de herkomst van het materiaal.

Specifiek voor het Eem- en Gooimeer is verder informatie benodigd over de biologische beschikbaarheid van fosfaat in het sediment.

3.2. Belangrijkste beschikbare informatie

bodemligging

Eens per 10 jaar wordt een dieptemeting uitgevoerd over het gehele gebied. Deze basisloding wordt in raaien om de 200 m uitgevoerd (van oost naar west). Op basis hiervan wordt het hele gebied geïnterpoleerd. Echter, kleine putten worden hierdoor niet goed in beeld gebracht. De meetnauwkeurigheid bij de taluds van de diepe putten hangt af van de gridrichting en -afstand. Een aantal putten (IJmeerput en twee proefputten in het Markermeer en de diepe zandwinputten in de randmeren) is nauwkeuriger ingemeten.

Voor (de omgeving van) het Markermeer is door RWS een hoogtemodel (grid: 5 m) en een dieptemodel (grid: 10 m) beschikbaar. De hoogte en dieptegegevens zijn geïntegreerd in een kaart, waarin de meest recente dieptegegevens zijn verwerkt. Verder is er een geologische en bodemkundige atlas beschikbaar.

stroming en slibtransport

Om meer grip te krijgen op de herverdeling van slib is inzicht nodig in het algemene beeld van het stromingspatroon in het Markermeer. Hiertoe heeft RIZA ten behoeve van deze studie een 12-tal 2D WAQUA berekeningen uitgevoerd (alle windrichtingen met 30 graden als stapgrootte [5]), met 2-D grafische uitvoer van het stromingspatroon. Elke berekening is uitgevoerd voor een periode van 9 uur als aanloopperiode, waarbij de windsnelheid toeneemt tot een topsnelheid van 25 m/s. Vervolgens blijft de wind nog 6 uur constant. Het meerpeil was NAP-0.40m.

Naar aanslibbing en de invloed van stromingen op het slibtransport in het Markermeer zijn beperkte studies gedaan door de afdeling WST van RIZA [2]. Het meest van belang zijn de resultaten van vergelijking van oude en nieuwe peilgegevens over het Markermeer en het Gooi- en Eemmeer en de meting van de sedimentatiesnelheid in de vaargeul en twee proefputten [18].

Op basis van een DTM (Digitaal Terrein Model) met gegevens uit '89-'93 en een DTM met meetgegevens uit '98-'99 is door RWS een verschilkaart gemaakt van de bodemdiepte voor het Markermeer [22]. De verschilkaart geeft een indicatie van de verplaatsing van het slib. Eenzelfde verschilkaart is door W+B gemaakt voor het Eem- en Gooimeer (op basis van peilingen rond 1990 en 2001).

ecologie

Er zijn diverse onderzoeken uitgevoerd naar ecologische aspecten die een relatie hebben met slib. In een onderzoek naar de afname van de Driehoeksmossel in het Markermeer [14] is ook de rol van sediment en zwevend stof beschreven. Verder is de invloed van bodemverdiepingen op de bodemfauna onderzocht [37 en 38] en de interactie tussen vegetatie en fysische processen [32 en 33].

fysische en chemische kwaliteit slib
In DONAR zijn gegevens van de waterkwaliteit opgenomen. Hierbij is ook zwevend stof bepaald op een aantal vaste monitoringspunten.

In het onderzoeksgebied zijn van 1912 tot 1990 zowel ondiepe als diepe boringen geplaatst. Deze liggen ten grondslag aan de geologische kaart. Bij de afdeling PAM RDIJ is een onofficiële database met deze boringen aanwezig. Voor deze studie zijn de bovenste twee bodemlagen (evt. aanwezig slib en de onderliggende laag) gebruikt.

4. SAMENHANG SLIBHUISHOUDING MARKERMEER EN EEM- EN GOOIMEER

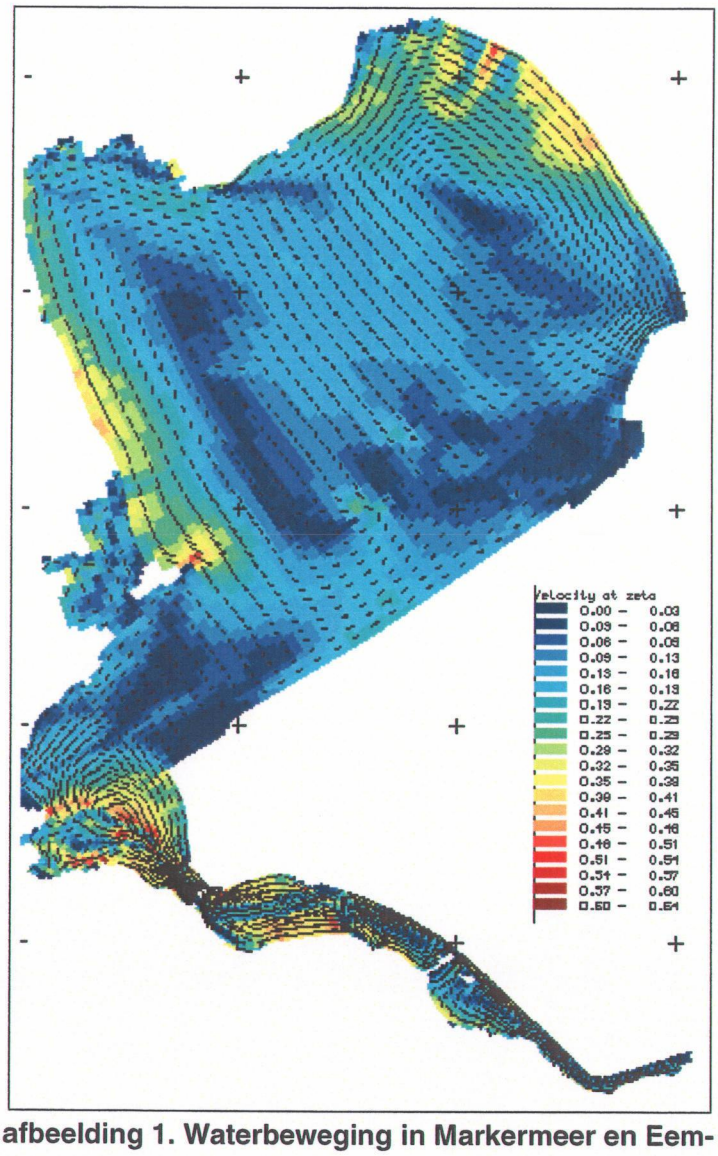
In dit hoofdstuk wordt de samenhang beschreven tussen het Markermeer en het Eem- en Gooimeer.

4.1. Herkomst anorganisch slib

Het anorganisch slib in zowel het Markermeer als het Eem- en Gooimeer is oorspronkelijk afkomstig uit de Noordzee. Er is op dit moment feitelijk geen externe aanvoer van slib naar het gebied.

4.2. Waterbeweging

In afbeelding 1 wordt de circulatiestroomsnelheid en -richting weergegeven als gevolg van een windsnelheid van 25 m/s. Andere windrichtingen laten overeenkomstige patronen zien (bijlage III in deel 2). In het midden van het Markermeer treden stroomsnelheden van 0.1 m/s op. Langs de oever zijn de snelheden in de orde van 0.2 tot 0.3 m/s. Opvallend is dat de stroomsnelheden in het Gooimeer aanzienlijk groter zijn, aangedreven door de waterstandsfluctuaties in het IJmeer ten gevolge van op- en afwaaiing.



afbeelding 1. Waterbeweging in Markermeer en Eem- en Gooimeer

4.3. Sedimenttransport

Geconcludeerd wordt dat slib, in suspensie gebracht tijdens een storm, over grote afstanden verplaatst kan worden zowel in het Markermeer als in het Gooimeer. In navolgende hoofdstukken wordt voor het Markermeer en het Eem- en Gooimeer de netto toe- of afname van de slibvoorraad besproken. Het zal blijken dat de aanwezige putten een belangrijke rol spelen.

5. EVALUATIE ONDERZOEKSVRAGEN MARKERMEER

Op basis van de beschikbare informatie is een, zeer globale, slibbalans opgesteld. Deze indicatieve slibbalans is aangevuld en ondersteund met een algemene beschouwing over de slibhuishouding en slibtransport.

vraag 1. Is er sprake van netto aangroei van slib of niet? Is het slib organisch of anorganisch van oorsprong?

netto aangroei
Om antwoord te kunnen geven op de vraag of netto aangroei van slib plaatsvindt is inzicht nodig in de aan- en afvoerroutes en de processen die in het meer plaatsvinden. Het Markermeer kan als een min of meer gesloten systeem worden beschouwd; de aan- en afvoer van buiten het gebied vormt geen substantieel onderdeel van de slibbalans.

Er kan geen nauwkeurige uitspraak worden gedaan over de toe- of afname van de hoeveelheid slib in het Markermeer, omdat nauwkeurige peilingen van de slibdikte en waterdiepte ontbreken. Voor het Markermeer is door RWS een verschilkaart gemaakt op basis van peilgegevens van 1990 en 2001 (zie afbeelding 1). De verschilkaart suggereert een verplaatsing van het slib van west naar oost.

Op basis van de verschilkaart door W+B is een (zeer grove) oriënterende berekening gemaakt van de toe- of afname van de slibvoorraad in het meer. Het resultaat van de berekening is weergegeven in tabel 1. In deze berekening van de toe- of afname is de hoeveelheid zwevend stof verwaarloosd (deze hoeveelheid is geschat op 30 tot 60 g/m^3 (gemiddeld 45 g/m^3), hetgeen neerkomt op in totaal circa 108.000 ton aan vaste stof).

	totaal	toename		afname		netto	
	oppervlak	gem. slibdikte	volume	gem. slibdikte	volume	totaal	per jaar
Markermeer	600 miljoen m^2	0,14 m	11,2 miljoen m^3	0,20 m	11,1 miljoen m^3	51.000 m^3	5.000 m^3
Totaal	600 miljoen m^2		11,2 miljoen m^3		11,1 miljoen m^3	51.000 m^3	5.000 m^3

Tabel. 1. Toe- of afname van de slibvoorraad

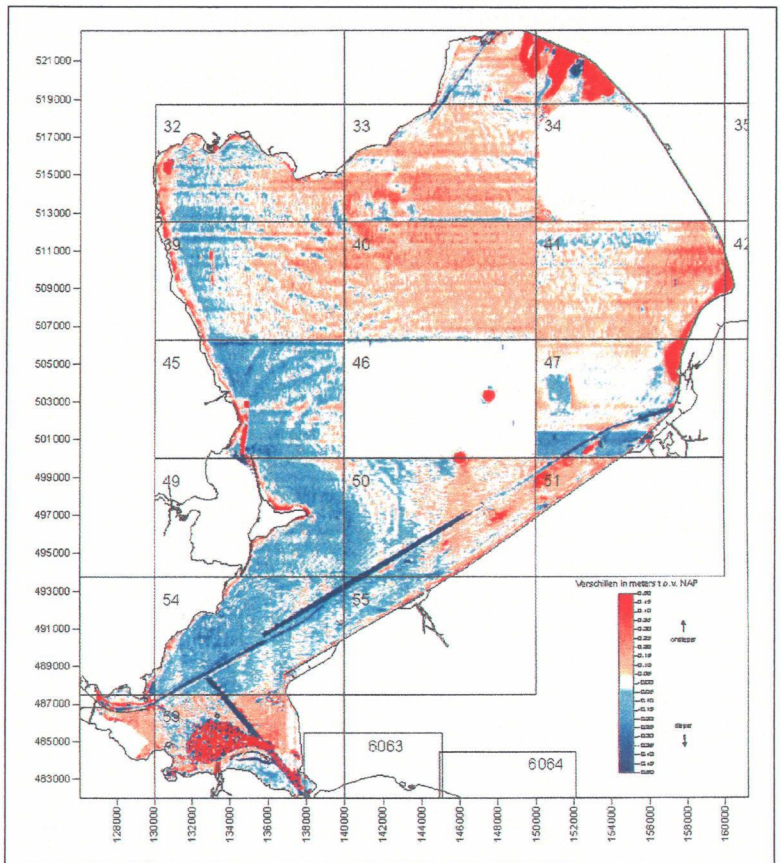
Uit de berekening kan worden opgemaakt dat in het westelijk deel de ligging van de bodem dieper geworden is (circa 0,05 tot 0,35 m), mogelijk als gevolg van erosie. In het oostelijk deel is de ligging van de bodem verondiept (circa 0,1 tot 0,4 m), mogelijk als gevolg van sedimentatie.

De netto hoeveelheid (volume) is nagenoeg gelijk gebleven. Zowel de toe- als afname van de slibhoeveelheid in volume is ruim 11 miljoen m^3. Omrekening naar tonnen vaste stof laat echter een duidelijk verschil zien. De toename (sedimentatie) van de slibhoeveelheid in 10 jaar is circa 2,7 miljoen ton vaste stof, terwijl de afname (erosie) circa 10,9 miljoen ton vaste stof bedraagt (uitgaande van erosie van klei met een dichtheid van 975 kg/m^3 vaste stof). De hoeveelheid vaste stof die lijkt te zijn afgenomen (circa 8 miljoen ton), komt overeen met de hoeveelheid vaste stof die geborgen kan worden in de twee proefputten. De uitgevoerde berekeningen zijn niet nauwkeurig genoeg om de exacte oorzaak van de geconstateerde verschillen te achterhalen. De proefputten zijn niet nauwkeurig ingemeten in het gebruikte bodemhoogte-bestand. Bovendien is de gebruikte verschilkaart niet gebiedsdekkend.
Uit deze oriënterende berekening blijkt wel dat de slibproductie in het Markermeer niet groot is.

De hoeveelheid vaste stof die reeds vóór de eerste peilronde (dus vóór 1990) aanwezig was, wordt geschat op 10 miljoen ton (een laagdikte van 0,10 m over een oppervlak van 60% van het Markermeer, met een dichtheid van 1.150 kg/m^3).

Opgeteld levert dit de volgende hoeveelheid vaste stof (per m²):

- vaste stof in sliblaag vóór 1990	10 miljoen ton
- berekende toename vaste stof in sliblaag tussen 1990 en 2001	2,7 miljoen ton
- zwevende stof	0,1 miljoen ton
	---------- +
totaal	**12,8 miljoen ton (2 kg/m²)**



Figuur 3 Verschilkaart Markermeer geconstrueerd uit DTM 2001 – DTM 1990

Afbeelding 1. Verschilkaart

organisch/anorganisch slib

Ieder meer produceert slib. De productie kan variëren van sterk organisch (bijvoorbeeld in geïsoleerde laagveenwateren) tot sterk anorganisch (bijvoorbeeld in meren die sterk belast worden door sediment uit rivieren). In het Markermeer wordt het slibprobleem vooral gezien als een probleem met anorganisch slib. Productie van organisch slib (door erosie van veenlagen op de bodem en/of door productie van het voedselweb in het meer in de vorm van algen, waterplanten en andere organismen) kan echter ook een rol spelen.

De oorsprong van het slib (organisch of anorganisch) kon niet worden achterhaald, b.v. aan de hand van metingen van de gloeirest van slibmonsters. Dergelijke specifieke gegevens zijn niet beschikbaar, waardoor deze vraag niet beantwoord kan worden. De wel beschikbare metingen van het droge stofgehalte zijn hiervoor onvoldoende.

vraag 2. Waar komt het slib vandaan en waar gaat het heen? (wat is de bijdrage van de interne slibproductie, de interne erosie en de rol van de bestaande putten).

herkomst slib
Het anorganisch slib in het Markermeer is oorspronkelijk afkomstig uit de Noordzee; het Markermeer was een luwe plek in het estuarium, waarin zich de IJsselmeerafzetting heeft gevormd die als een vaste voorraad aanwezig is. Daarnaast vindt interne erosie plaats, waardoor de interne slibvoorraad toeneemt.

De aanwezige sliblaag woelt gemakkelijk op onder invloed van wind en veroorzaakt daarmee vertroebeling van het water. De valsnelheid van de gesuspendeerde deeltjes is laag, waardoor sedimentatie traag verloopt. Deze sedimentatie vindt hoofdzakelijk plaats in de diepere delen van het Markermeer. Sinds de aanleg van de Houtribdijk is de slibhuishouding grotendeels die van een gesloten systeem. Export van slib vindt niet of nauwelijks plaats.

Omtrent de huidige aanvoer van slib zijn geen bruikbare gegevens bekend. Algemeen wordt aangenomen dat het slib reeds aanwezig is en steeds onder invloed van wind wordt opgewoeld. De stroming in het meer is zodanig dat het slib in principe overal kan komen.

bijdrage interne slibproductie
Zoals aangegeven in het antwoord op de vorige vraag zijn we niet in staat om de interne productie van organisch slib te kwantificeren.

bijdrage interne erosie
Op basis van de gegenereerde verschilkaart (Afbeelding 1) en de uitgevoerde berekeningen (Tabel 1) wordt het mogelijk geacht dat de toename van de slibvoorraad wordt veroorzaakt door erosie van de kleibanken. In onderstaande tabellen wordt deze aanname beargumenteerd.

Tabel 2. Stroomsnelheid bij verschillende windsnelheden (CUR194)

Bft	U_w (m/s)	H_s (m)	$U_{bod\ max}$ (m/s)
3-4	5	0,20	0,15
5-6	10	0,43	0,33
7	15	0,63	0,49
8-9	20	0,82	0,63
10	25	0,99	0,77

Tabel 3. Toelaatbare stroomsnelheden voor niet eroderende bodems (CUR194)

grondsoort	$U_{toelaatbaar}$ (m/s)
zandige klei	0,40
slappe klei	0,60
redelijk vaste klei	0,80 (1,0 bij kortdurende belasting)
vaste klei	1,20 (1,5 bij kortdurende belasting)

Uit een berekening blijkt dat erosie echter alleen mogelijk is onder extreme stormomstandigheden, wanneer de door golven veroorzaakte orbitaalsnelheden aan de bodem de erosiesnelheid van klei kunnen overschrijden (Tabel 2 en 3).

De rol van interne erosie is niet keihard aan te tonen, maar wordt wel zeer aannemelijk gemaakt door de geconstateerde verdieping. De kleibanken aan de westzijde van het meer lijken te eroderen (getuige het feit dat de waterdiepte daar toeneemt), terwijl de oostzijde verondiept met slib. Het zou nog kunnen zijn dat het instorten van de mosselpopulatie dit proces versneld heeft.

Het wordt niet waarschijnlijk geacht dat de oorzaak van de erosie geheel is uitsluitend is gelegen in windgolven en stroming. Het foerageergedrag van benthivore vis, met name brasem, kan het erosiemechanisme versterkt hebben. Kleibodems kennen doorgaans een veel hogere productie van macrofauna dan zand-, veen- of slibbodems. Brasem zoekt de meest voedselrijke plekken (de kleibodem) op en wroet bij het zoeken naar muggenlarven en wormen in de bodem, waarbij deze erodeert, waarna windgedreven stromingen het losgewroete materiaal meenemen. Scheffer et al. (2003) laten zien dat brasem in het Wolderwijd-Nuldernauw, vóór de uitdunning van de visstand in 1990, ervoor verantwoordelijk kan worden gesteld dat de bodem zich in een geërodeerde staat bevond. Hierdoor bestond er

een duidelijk positief verband tussen de windsnelheid en de hoeveelheid gesuspendeerd sediment in de waterfase. Na uitdunning van de visstand was dit verband niet meer aanwezig; de bodem was in een geconsolideerde staat gekomen, waarbij resuspensie van sediment door wind- en golfwerking niet langer optrad. Het wordt aannemelijk geacht dat brasem in het Markermeer de kleibodem in een geërodeerde staat heeft gebracht en houdt.

rol van bestaande putten
De rol van putten is redelijk gedetailleerd in beeld gebracht. Slib wordt effectief opgevangen in een slibput, maar de huidige slibvoorraad is groot, aanzienlijk groter dan het volume van de putten. De proefputten midden in het Markermeer blijken relatief snel (0,2 tot 4 m/jaar) op te vullen. Er zijn geen gegevens over de dichtheid van het slib, maar aangenomen mag worden dat de slibdichtheid 1.150 kg/m^3 (240 kg droge stof per m^3) is aan het oppervlak en toeneemt met 25 kg/m^3 (40 kg droge stof per m^3) per 10 m diepte. Dit komt neer op een bergingscapaciteit van 5 ton vaste stof per m^2 putoppervlak voor een 20 m diepe en 13 ton vaste stof/m^2 voor een 40 m diepe put.

Putten op het IJmeer slibben minder snel dicht. Dit wordt echter verklaard door het minder grote slibaanbod. Het IJmeer zal alleen maar slib uit het Gooi- en Eemmeer opnemen, omdat het IJmeer praktisch niet deelneemt aan de water- en slibcirculatie op het Markermeer.

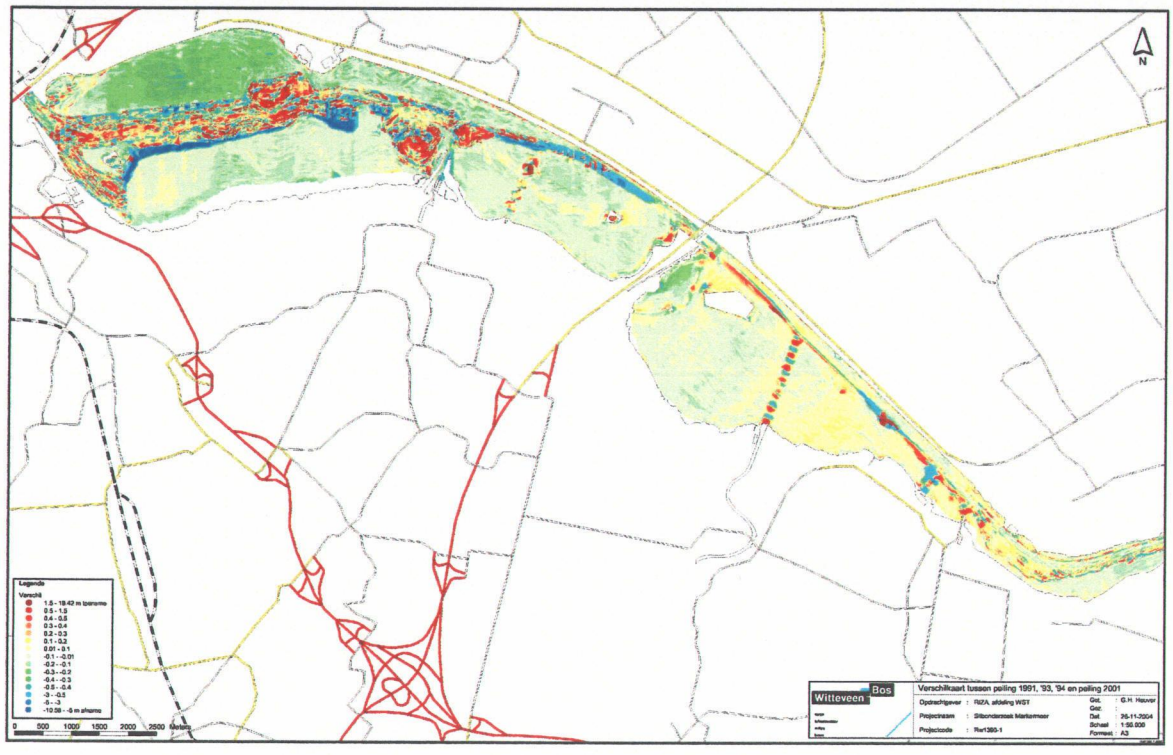
Wanneer op de juiste plekken putten worden aangebracht waarin de totale slibvoorraad geborgen kan worden op een zodanige diepte dat windgolven er niet meer bij kunnen komen, dan mag verwacht worden dat de gehele slibvoorraad geborgen zal kunnen worden.

Aan de hand van de huidige slibvoorraad en de berekende productie (tabel 1) is het benodigde putvolume berekend om de gehele slibvoorraad voor de komende 10 jaar te bergen. Uitgaande van een te bergen hoeveelheid vaste stof van 15 miljoen ton en een gemiddelde dichtheid van het materiaal in de put van 1.250 kg/m^3 (405 kg vaste stof/m^3). Dit komt overeen met 3 miljoen m^2 (1.700 x 1.700 m) voor een 20 m diepe put en 1 miljoen m^2 (1.000 x 1.000 m) voor een 40 m diepe put. In totaal is circa 37 miljoen m^3 aan bergingsvolume benodigd.

vraag 3. Welke rol heeft de aanleg van de Afsluitdijk, de Houtribdijk en de Flevopolder gehad op de stromingspatronen en de sedimentatieprocessen (trendbreuk)?
Ook vóór de afsluiting van de Zuiderzee is het Markermeer een slibrijk gebied geweest. Echter het getij zorgde voor uitwisseling met de rest van het estuarium. Het indijken van de Flevopolders heeft het stromingspatroon verder beïnvloed, waarbij de stroomsnelheid als gevolg van op- en afwaaiing vermoedelijk verder is afgenomen. De Houtribdijk heeft eventuele afvoer van slib naar het IJsselmeer definitief onderbroken. Afbeelding 1 geeft aan dat er een zekere hoeveelheid slib is die de neiging had in noordoostelijke richting te verdwijnen.

6. EVALUATIE ONDERZOEKSVRAGEN EEM- EN GOOIMEER

vraag 1. Is er sprake van netto transport van zwevend stof (lost het probleem zichzelf op)?
In afbeelding 2 wordt een verschilkaart tussen twee dieptekaarten van het Gooi-Eemmeer met een tussenperiode van 10 jaar getoond.



Afbeelding 2. Verschilkaart

Op basis van de verschilkaart is een (zeer grove) schatting gemaakt van de omvang van de toe- of afname van de slibvoorraad in beide meren over de periode 1998/90 tot 2001 (zie tabel 4).

	totaal oppervlak	toename		afname		netto	
		gem. slibdikte	volume	gem. slibdikte	volume	totaal	per jaar
Eemmeer	11 miljoen m²	0,12 m	0,6 miljoen m³	0,13 m	0,7 miljoen m³	-0,1 miljoen m³	-10.000 m³
Gooimeer	23 miljoen m²	0,41 m	1,9 miljoen m³	0,41 m	7,5 miljoen m³	-5,6 miljoen m³	-510.000 m³
Totaal	34 miljoen m²		2,5 miljoen m³		8,3 miljoen m³	-5,7 miljoen m³	-520.000 m³

Tabel 4. Toe- of afname van de slibvoorraad in m³

Omrekening van de gepresenteerde hoeveelheden slib geeft het volgende overzicht:

	totaal oppervlak	toename	afname	netto
Eemmeer	11 miljoen m²	0,15 miljoen ton	0,7 miljoen ton	-0,6 miljoen ton
Gooimeer	23 miljoen m²	0,46 miljoen ton	7,4 miljoen ton	-6,9 miljoen ton
Totaal	34 miljoen m²	0,61 miljoen ton	8 miljoen ton	-7,5 miljoen ton

Tabel 5. Toe- of afname van de slibvoorraad in tonnen vaste stof

Uit de informatie kan het volgende worden afgeleid:
- In het Gooimeer sprake lijkt van een netto export van slib. Dit slib komt mogelijk voor een belangrijk deel in de putten in het IJmeer terecht (capaciteit circa 31 miljoen m^3; 7,5 miljoen ton vaste stof.

- De geconstateerde (beperkte) verondieping van deze putten en het WAQUA stromingspatroon wijzen eveneens in deze richting. Daarnaast treedt sedimentatie in de putten in het Gooimeer zelf op. De capaciteit van de putten is circa 22 miljoen m^3 (5 miljoen ton).
- In het Eemmeer lijkt vrijwel geen netto toename of afname van de slibvoorraad op te treden. Dit zou kunnen betekenen dat er sprake is van een dynamisch evenwicht tussen enerzijds de aanvoer van slib vanuit de Eem en de interne productie in het meer en anderzijds de export van slib naar het Gooimeer.

Het wordt op grond van bovenstaande duidelijke verschillen tussen het Gooimeer en het Eemmeer aannemelijk geacht dat in het Eemmeer veel meer sprake is van een slibprobleem dan in het Gooimeer. De verschilkaart laat zien dat het slib waarschijnlijk over grote oppervlakken in beweging is (getuige de geringe diepteverschillen, de afwezigheid van putten en de geringe toe- en afname van de waterdiepte van de gebieden aan weerszijden van de vaargeul vanuit de Eem). Kennelijk bevindt de bodem van het Eemmeer zich in een "geërodeerde" staat, waarbij relatief veel slib in suspensie kan worden gebracht. Net als in het Wolderwijd-Nuldernauw voor de uitdunning van de visstand in 1990 (Scheffer et al., 2003) wordt het aannemelijk geacht dat de aanwezige visstand hierbij een belangrijke rol speelt.

vraag 2. Is het mogelijk het probleem op te lossen met reductie van aanvoer (slibvang, baggeren) of ecologische processen in de meren (waterplanten, vis en/of driehoeksmosselen)?;
Het wordt het meest wenselijk geacht om het slibprobleem via meerdere sporen aan te pakken:
1. Drastische en periodiek herhaalde uitdunning van de benthivore visstand. Hiermee moet de bodem, in termen van het onderzoek van Scheffer et al. (2003), zoveel mogelijk in een "geconsolideerde" in plaats van "geërodeerde" staat worden gebracht. De ontwikkeling van waterplanten en/of driehoeksmosselen wordt in de aanpak eerder gezien als een volgend dan een sturend proces (waarop actief beheerd wordt); waterplanten en mosselen kunnen de geconsolideerde staat overigens wel versterken (maar naar ons idee niet beheersmatig realiseren)
2. Realisatie van slibvangen. Een combinatie van slibvangen in de Eem (een belangrijke aanvoerbron) en in het Eemmeer zelf (in verband met de interne productie) wordt optimaal geacht.

vraag 3. Kan het probleem voor 2015 opgelost zijn (hoe lang zijn de kritische tijdselementen)?
Inhoudelijk kan het probleem naar onze inschatting snel worden aangepakt. Het halen van 2015 zal naar verwachting vooral afhangen van de proceduretijd die gemoeid is met de voorbereiding op de ingrepen. Het uitvoeren van uitdunningsvisserij zal in dat verband naar verwachting sneller kunnen worden uitgevoerd dan de aanleg van slibvangen. Hoe sneller begonnen wordt, hoe groter de kans dat voor 2015 effect wordt gesorteerd.

vraag 4. Welk deel van het fosfaat is in de waterfase en waterbodem aanwezig, het zwevend stof of op een andere wijze particulair gebonden (bijvoorbeeld aan ijzercomplexen)?

vraag 5. In welke vorm komt het fosfaat voor?;

vraag 6. Hoeveel fosfaat is biologisch beschikbaar en hoeveel niet?;

Voor het beantwoorden van de vragen 4, 5 en 6 zijn thans onvoldoende gegevens bekend. Voor het Eem- en Gooimeer geldt dat de biobeschikbaarheid van fosfaat in de bodem en in zwevend stof zou moeten worden bepaald, in combinatie met vrachtberekeningen.

Informatie over de biobeschikbaarheid kan worden verkregen door het slib in het Eemmeer te bemonsteren. Naast algemene parameters zouden totaal-P, Fe en S, de biologische en chemische beschikbaarheid van P en eventueel de fractionering van P bepaald moeten worden (zie aanbevelingen).

vraag 7. Kan het gebonden fosfaat een bijdrage leveren aan de interne eutrofiering?;
In potentie kan gebonden fosfaat een belangrijke bijdrage leveren aan interne eutrofiëring. De route waarlangs gebonden P beschikbaar komt kan zowel chemisch (directe nalevering van labiel gebonden P, bijvoorbeeld bij zuurstofloosheid aan de bodem) als biologisch (bijvoorbeeld via productie van macrofauna en het eten en uitscheiden hiervan door benthivore vissen) van aard zijn.

7. OPLOSSINGSRICHTINGEN EN AANBEVELINGEN

7.1. Oplossingsrichtingen

Markermeer
Het aanbrengen van verdiepingen (putten) wordt als meest kansrijke optie gezien voor het oplossen van het slibprobleem. Het aanbrengen van verdiepingen leidt tot het invangen van slib dat als gevolg van de waterbewegingen in de put zal zakken. Dit proces zal in het hele Markermeer plaatsvinden, maar verloopt in de luwte uiteraard langzamer.

Bergingsputten in het Markermeer zouden een belangrijke rol kunnen spelen bij het verminderen van de slibvoorraad. Uitgaande van een totale voorraad van 15 miljoen ton zou ca 100 ha aan 40-m diepe putten voldoende zijn om alle slib te bergen. Schatten we de toekomstige voorraad over 20 jaar in op 95 miljoen ton (overeenkomend met 0,3 m extra erosie in het westelijk deel), dan zou een extra oppervlak van 630 ha nodig zijn. In totaal is dat slechts 1% van het oppervlak van het Markermeer.

De economische haalbaarheid van dergelijke putten is buiten het kader van deze studie. Overwogen kan worden om industriezand te winnen uit de pleistocene zandformaties.

Uitgevoerde berekeningen laten zien dat voor het bergen van de slibvoorraad een putvolume benodigd is van circa 6 miljoen m^3. Om ook de reeds vóór 1990 bestaande slibvoorraad en de toekomstige slibproductie (als gevolg van erosie van kleibanken) voor de komende 10 jaar te kunnen opvangen, zou een totaal volume van 37 miljoen m^3 moeten worden gereserveerd. Dit komt overeen met de berekende hoeveelheid op pagina 9.

Eem- en Gooimeer
Het wordt het meest wenselijk geacht om het slibprobleem via meerdere sporen aan te pakken:
1. Drastische en periodiek herhaalde uitdunning van de benthivore visstand. Hiermee moet de bodem, in termen van het onderzoek van Scheffer et al. (2003), zoveel mogelijk in een "geconsoleerde" in plaats van "geërodeerde" staat worden gebracht. De ontwikkeling van waterplanten en/of driehoeksmosselen wordt in de aanpak eerder als een volgend dan een sturend proces (waarop actief beheerd wordt) gezien; waterplanten en mosselen kunnen de geconsolideerde staat overigens wel versterken (maar naar ons idee niet beheersmatig realiseren)
2. Realisatie van slibvangen. Een combinatie van slibvangen in de Eem (een belangrijke aanvoerbron) en in het Eemmeer zelf (in verband met de interne productie) wordt optimaal geacht.

Inhoudelijk kan het probleem naar onze inschatting snel worden aangepakt. De snelheid van het oplossen van het slibprobleem zal naar verwachting vooral afhangen van de proceduretijd die gemoeid is met de voorbereiding op de ingrepen. Het uitvoeren van uitdunningsvisserijen zal in dat verband naar verwachting sneller kunnen worden uitgevoerd dan de aanleg van slibvangen. Hoe sneller begonnen wordt, hoe groter de kans dat voor 2015 effect wordt gesorteerd.

7.2. Aanbevelingen

waterbewegingen
Om de natuurlijkheid van het huidige slibprobleem te kunnen bepalen is inzicht nodig in de waterbewegingen en daarmee gepaard gaande slibtransporten voor de situatie waarbij de menselijke ingrepen (aanleg van de Houtribdijk en de Flevopolder) buiten beschouwing worden gelaten. Een 2 dimensionale WAQUA berekening zoals nu uitgevoerd voor de huidige situatie zou inzicht kunnen geven in de aan- en afvoerroutes van het slib onder historische omstandigheden. Een 3D berekening wordt echter aanbevolen, omdat een 2D berekening een vereenvoudiging van de werkelijkheid blijft.

Leemten in kennis Markermeer

samenstelling en hoeveelheid sediment
Voor het Markermeer bestaat onvoldoende duidelijkheid over de hoeveelheid aanwezig sediment, de exacte samenstelling en daarmee de herkomst ervan (IJsselmeerafzetting en interne productie). In grote lijnen is de ligging en dikte van de sliblaag bekend (hieruit is in deze studie een indicatieve slibbalans opgesteld), maar nauwkeurige hoeveelheidsberekeningen zijn op basis van de huidige gegevens niet mogelijk. Om de te nemen maatregelen te kunnen concretiseren is een beter beeld nodig van de huidige voorraad en de exacte samenstelling van dit materiaal (dichtheid, valsnelheid, organische stof, droge stof).

Door middel van monstername en dieptemetingen met verschillende meetfrequenties (gebruikmakend van de relatie tussen frequentie en penetratiediepte in het slib) zou dikte en samenstelling geijkt kunnen worden. Op basis hiervan kan een specifieke peiling (loding) worden uitgevoerd, waarmee de contouren en dikte ruimtelijk worden vastgelegd.

verweking kleibodem
Om meer inzicht te krijgen in de interne slibproductie, zou meer informatie moeten worden verkregen over de verwekingseigenschappen van de kleibodem. Gerichte bemonstering en beproeving van de kleibodem in een proefvak kan hierover informatie verschaffen. Hierbij zou tevens periodiek de bodemligging met meerdere frequenties gemeten moeten worden. Aan de hand van deze gegevens kan meer worden gezegd over het erosiemechanisme onder invloed van de golven, de erosiesnelheid van de kleibodem en daarmee van de te verwachten interne slibproductie.

visstand
Goede kwantitatieve informatie over de visstand in het Markermeer is nauwelijks beschikbaar. Grote brasem en blankvoorn worden mogelijk niet goed gevangen met de boomkuil die het RIVO in het Markermeer gebruikt. Bemonstering van het Markermeer met een in span geviste stortkuil (conform het STOWA Handboek Visstandbemonstering) wordt in dat licht aanbevolen. Volgens IJsselmeervisser Gerard Manshanden kan het verdwijnen van de driehoeksmosselen in het Markermeer in verband gebracht worden met een sterke toename van blankvoorn in die tijd (getuige zijn vangsten en waarnemingen). In de bemonsteringsgegevens van het RIVO is deze door hem gesignaleerde trend echter geheel niet zichtbaar.

dichtslibben van putten
Er bestaat onvoldoende inzicht in de locale processen die een rol spelen. De gemeten aanslibsnelheden kunnen niet volledig verklaard worden uit het aanbod van zwevend stof uit de waterkolom. Verondersteld wordt dat de putten in de eerste periode na zandwinning mede dichtslibben als gevolg van met name dichtheidstroming van slib over de bodem (mud-flow) uit de omgeving van de put. In hoeverre de slibvoorraad (belangrijkste bron voor het ontstaan van zwevend stof) wordt afgevangen is onduidelijk, maar wordt wel aannemelijk geacht. Nader inzicht hierin is gewenst om het effect van verdiepen op de slibproblematiek te kunnen bepalen. Daarnaast moet de samenstelling van het slib in de putten (dichtheid-diepte relatie) worden bepaald door monstername. Op deze manier zouden de gebruikte getallen bij de uitgevoerde berekeningen beter onderbouwd kunnen worden.

Leemten in kennis Eem- en Gooimeer
Voor het Eem- en Gooimeer geldt dat de biobeschikbaarheid van fosfaat in de bodem en in zwevend stof zou moeten worden bepaald. Dit in combinatie met vrachtberekeningen.

Informatie over de biobeschikbaarheid kan worden verkregen door het slib in het Eemmeer te bemonsteren. Gedacht wordt aan de bemonstering op twee locaties (in de monding van de Eem en in het westelijk Eemmeer), waarbij per locatie een mengmonster wordt gemaakt van circa 10 bodemhappen ter plaatse. Bemonstering dient plaats te vinden van zowel het bovenste, als het meest waterige deel van het slib. Van de verzamelde monsters zouden ten minste de volgende parameters moeten worden bepaald: algemene parameters (monsterbeschrijving, droge stofgehalte, gloeirest), totaal-P, totaal-Fe,

totaal-S, waterextractie van P, lactaat-acetaat extractie van P. Eventueel zou ook de fractionering van P plaats moeten vinden (welk deel P zit gebonden aan Fe, Ca, organische stof).

Witteveen + Bos

water
infrastructuur
milieu
bouw

RIZA

Quick scan slibproblematiek Markermeer en Eem- en Gooimeer

Deel 2: Achtergronddocument

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

Witteveen + Bos

water
infrastructuur
milieu
bouw

RIZA

Quick scan slibproblematiek Markermeer en Eem- en Gooimeer

Deel 2: Achtergronddocument

referentie	projectcode	status
RW1390-1/beem5/002	RW1390-1	definitief
projectleider	**projectdirecteur**	**datum**
ir. B. van Leeuwen	ir. Th.G.J. Witjes	12 januari 2004

autorisatie	naam	paraaf
goedgekeurd	ir. B. van Leeuwen	

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

Het kwaliteitsmanagementsysteem van Witteveen+Bos is gecertificeerd volgens ISO 9001 : 2000

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

INHOUDSOPGAVE **blz.**

1. INLEIDING **1**

2. PROBLEEMBESCHRIJVING MARKERMEER **3**
2.1. Algemeen 3
2.2. Gebiedskarakteristiek 3
2.3. Stroming en slibhuishouding 4
2.4. Ecologie 5
2.5. Fysische en chemische kwaliteit slib 5
2.6. Onderzoeksvragen Markermeer 5

3. PROBLEEMBESCHRIJVING EEM- EN GOOIMEER **6**
3.1. Algemeen 6
3.2. Ecologie 6
3.3. Onderzoeksvragen Eem- en Gooimeer 7

4. BESCHIKBARE INFORMATIE **8**
4.1. Inleiding 8
4.2. Bodemligging 8
4.3. Slibproductie 8
4.4. Waterbeweging en slibtransport 8
4.5. Ecologie 9
4.6. Fysische en chemische kwaliteit slib 9
4.7. Selectie 10

5. ANALYSE MARKERMEER **11**
5.1. Inleiding 11
5.2. Analyse 11
5.2.1. Waterbewegingen 11
5.2.2. Toe- en afname slibvoorraad 12
5.2.3. Opwoeling en interne erosie 14
5.2.4. Sedimentatie 15
5.2.5. Effecten van verdiepingen 18
5.2.6. Ecologie en biologie 18
5.2.7. Korrelverdeling 20
5.3. Overall beschouwing slibbalans 21
5.4. Overall beschouwing relatie slibbalans en ecologie 22
5.5. Antwoord op onderzoeksvragen Markermeer 23

6. ANALYSE EEM- EN GOOIMEER **24**
6.1. Inleiding 24
6.2. Analyse 24
6.2.1. Morfologie 24
6.2.2. Waterbewegingen 24
6.2.3. Slibhoeveelheden 25
6.2.4. Fosfaat 26
6.3. Overall beschouwing slibbalans 26
6.4. Overall beschouwing relatie slibbalans en ecologie 26
6.5. Antwoord op onderzoeksvragen Eem- en Gooimeer 26

7. CONCLUSIES **27**

8. OPLOSSINGSRICHTINGEN EN AANBEVELINGEN **29**
8.1. Eerder aangedragen oplossingsrichtingen Markermeer 29

8.2. Nieuwe oplossingsrichtingen Markermeer 29
8.2.1. Schaalverkleining 29
8.2.2. Actief biologisch beheer 30
8.2.3. Afdekken met zand 30
8.2.4. Aanbrengen verdiepingen (nader bekeken) 30
8.3. Nieuwe oplossing Eem- en Gooimeer 31
8.4. Aanbevelingen 31
8.4.1. Leemten in kennis 31

laatste bladzijde **32**

bijlagen aantal bladzijden
I Beschikbare informatie 17
II Dieptekaart 1
III Stromingskaarten op basis van 2-D WAQUA berekeningen 12

1. INLEIDING

In opdracht van RIZA afdeling WST heeft Witteveen+Bos een onderzoek uitgevoerd naar de slibproblematiek in het Markermeer en Eem- en Gooimeer.

doel
Het uitgevoerde onderzoek had tot doel het uitvoeren van een quick scan van de slibhuishouding en het slibtransport (als gevolg van de stromings- en sedimentatieprocessen), in het Markermeer en het Eem- en Gooimeer. Daarnaast is voor het Eem- en Gooimeer gekeken naar de toestand van fosfaat in het slib. De resultaten van dit onderzoek dienen ter ondersteuning bij de vaststelling van het maximale en goede ecologische potentieel (MEP en GEP) voor beide meren.

Een belangrijke vraag bij het onderzoek was of het slibprobleem een natuurlijke of menselijke oorsprong heeft. Wanneer het slibprobleem hoofdzakelijk is ontstaan als gevolg van menselijke ingrepen, heeft dit invloed op de definiëring van de MEP en GEP (zie kader). Daarnaast is gezocht naar oplossingsrichtingen van het slibprobleem.

achtergrond MEP en GEP
Voor het vaststellen van MEP´s en GEP´s voor het Markermeer is het van belang de rol van slib in het ecologisch functioneren te begrijpen. Relevante processen hierbij zijn onder andere:
- De invloed van gesuspendeerd slib op het doorzicht.
- Verslibbing van de bodem.

Een tweede belangrijk punt voor het vaststellen van MEP´s en GEP´s is de vraag in hoeverre de invloed van slib op het ecologisch functioneren beïnvloed c.q. verminderd kan worden. Mogelijke beheersmaatregelen kunnen bijvoorbeeld zijn:
- Visstandbeheer;
- Het aanbrengen van verdiepingen als slibvang;
- Afdekken van slib met zand.

Zeker voor het Eem- en Gooimeer is het van belang om in het kader van het BEZEM-project (zie kader) inzicht te hebben in de relatie tussen slib en ecologie. Onder 'slib' wordt in dit onderzoek verstaan 'het niet-vaste deel van de bodem (uitgedrukt in kg/m²), dat onder invloed van stroming kan worden opgewoeld en/of verplaatst'.

BEZEM
Het project BEZEM staat voor Bestrijding Eutrofiëring ZuidelijkE randMeren. In het kader hiervan zijn verschillende projecten uitgevoerd met als doel een goede chemische en ecologische toestand te bereiken in de Zuidelijke Randmeren (Gooimeer, Eemmeer en Nijkerkernauw). Deze meren hebben te maken met zeer ernstige eutrofiëring. In de BEZEM projecten is met name onderzoek verricht naar de waterkwaliteit.

opbouw rapport
Deze rapportage betreft een achtergronddocument bij het uitgevoerde onderzoek. Dit achtergronddocument behoort bij een samenvattende rapportage (Rw1390-1 deel 1: Quick scan slibproblematiek Markermeer en Eem- en Gooimeer), waarin de antwoorden op de onderzoeksvragen middels een evaluatie zijn verwoord. Voor een beschrijving van de projectafbakening en de projectaanpak wordt verwezen naar deel 1.

Deze rapportage (deel 2) is als volgt opgebouwd:
- In hoofdstuk 2 is de probleemanalyse voor het Markermeer opgenomen. Naast een gebiedsbeschrijving en de invloed van weer, wind en ecologische processen zijn de onderzoeksvragen geformuleerd;
- Hoofdstuk 3 beschrijft het Eem- en Gooimeer;

- Hoofdstuk 4 geeft een overzicht van de beschikbare informatie, waarbij een selectie is gemaakt van informatie die nader is uitgewerkt;
- Hoofdstuk 5 gaat in op de analyse van het Markermeer, inclusief de beschouwing van de slibbalans en de ecologie;
- In hoofdstuk 6 wordt de analyse van het Eem- en Gooimeer beschreven, waarbij eenzelfde indeling is aangehouden als voor voorgaand hoofdstuk;
- Hoofdstuk 7 geeft de conclusies van de uitgevoerde studie;
- In hoofdstuk 8 zijn oplossingsrichtingen aangegeven en worden aanbevelingen gedaan.

2. PROBLEEMBESCHRIJVING MARKERMEER

2.1. Algemeen

Het slechte doorzicht van het Markermeer vormt de aanleiding voor het onderzoek naar de aanwezigheid, het gedrag, de samenstelling en de kwaliteit van het slib. Onduidelijk is in hoeverre het probleem een natuurlijke oorzaak heeft of dat het veroorzaakt wordt door menselijk ingrijpen. Wanneer hier meer duidelijkheid over bestaat kan een inschatting worden gemaakt in hoeverre het probleem kan worden opgelost. Deze inschatting dient ter ondersteuning bij de vaststelling van het maximale en goede ecologisch potentieel (MEP en GEP).

Om grip te krijgen op het probleem is inzicht nodig in de volgende elementen:

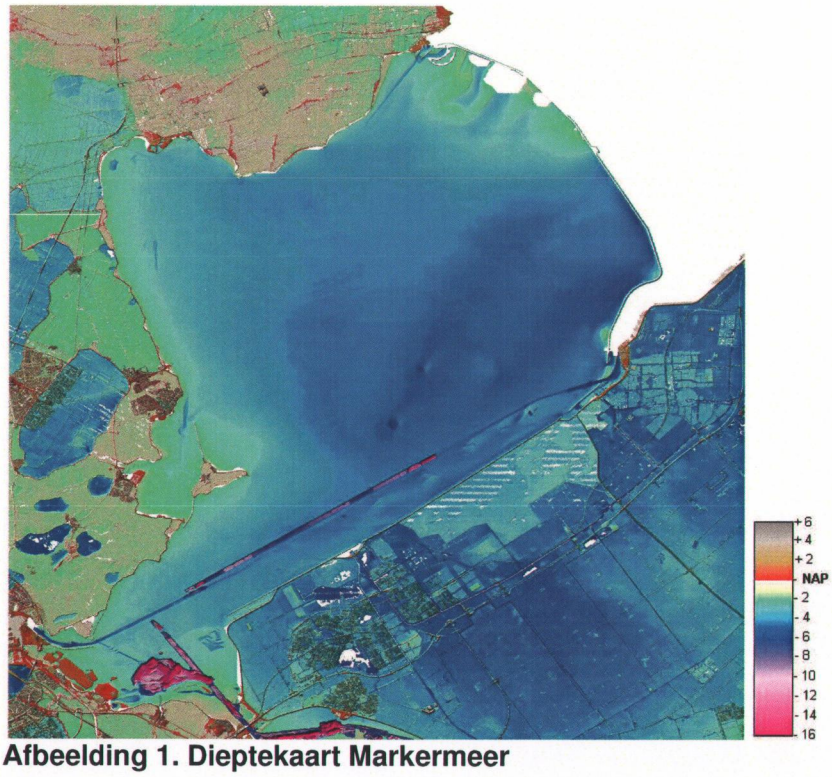
- gebiedskarakteristiek relevant voor slibhuishouding;
- stroming en slibhuishouding;
- ecologie;
- fysische en chemische kwaliteit slib.

In navolgende paragrafen wordt, op kwantitatieve wijze, kort ingegaan op deze aspecten. Het hoofdstuk wordt afgesloten met de onderzoeksvragen voor het Markermeer.

2.2. Gebiedskarakteristiek

algemeen Markermeer

Het Markermeer (690 km^2) is ontstaan door compartimentering van het IJsselmeer in het kader van het Zuiderzeeproject. Als gevolg van de aanleg van de Houtribdijk tussen Enkhuizen en Lelystad is het Markermeer in 1976 van het IJsselmeer gescheiden. De Gouwzee en het IJmeer worden bij het Markermeer gerekend.



Afbeelding 1. Dieptekaart Markermeer

Het Markermeer vormt samen met het IJsselmeer het Natte Hart van Nederland (de grootste ondiepe meren). Het Markermeer is vrij vlak en ondiep. In 1990 zijn activiteiten voor inpoldering van het Markermeer gestaakt, mede erkenning van natuurwaarden (bepaald door het grootschalige open water)

van de bestaande situatie. Deze natuurwaarden worden versterkt door de (geplande) uitvoering van natuurontwikkelingsprojecten. Naast de natuurwaarden heeft het Markermeer een belangrijke recreatieve en economische functie. Het voorziet met name in de zomer in de waterbehoefte van omliggende landbouwgebieden en doorspoeling van binnenwateren. In de winter fungeert het meer als opvang van overtollig regenwater. Verder vinden scheepvaart, visserij en zandwinning plaats.

Het Markermeer is een eutroof, stagnant meer dat in open verbinding staat met de zuidelijke randmeren (het Eem- en Gooimeer en het Nijkerkernauw). In de zomer wordt een streefpeil gehanteerd van 0,2 m-NAP, in de winter 0,4 m-NAP. Vanuit het IJsselmeer wordt via de Houtribsluizen water ingelaten, met name om het Noordzeekanaal te doorspoelen (beheersing van het zoutgehalte).

Waterbewegingen in het Markermeer worden geïnitieerd door de wind, waarbij golven van meer dan twee meter en circulatiestroming kunnen ontstaan. Als gevolg van resuspensie van het aanwezige slib wordt het meer vrij snel troebel.

ligging objecten
In het Markermeer zijn meerder eilanden aanwezig, waaronder Marken en Pampus. Langs de Noord-Hollandse kust liggen verschillende graslandpolders. Het overgrote deel van de kust bestaat uit steile dijken zonder vooroevers.

topografie bodemlaag
Een groot deel van de bodem van het Markermeer is relatief vlak en ligt tussen de 3 en 5 m onder NAP (gemiddelde diepte circa 4 m-NAP). Langs de Oostvaardersdijk en ten zuidoosten van de Houtribdijk liggen de diepere delen. Naar het zuidwesten en noorden toe loopt de bodem geleidelijk op tot ongeveer 2 m-NAP.

Uit geologische kaarten van het Markermeer [1] blijkt dat de Holocene deklaag overal aanwezig is. De dikte van deze laag varieert van 1 tot 15 m en bestaat in de toplaag grofweg uit klei (zuidwestelijk deel), zavel (midden en oostelijk deel) en zand (noordelijk deel). In het onderliggende Pleistoceen is een onderdruk aanwezig door de nabijgelegen Flevopolders. In het middendeel en het oostelijk deel van het meer zijn een IJsselmeerafzettingen aanwezig. Circa 60% van de waterbodem in het Markermeer is met dit sediment bedekt [2]. De waterbodem wordt gekarakteriseerd als lichte tot zware zavel. In het overige deel bestaat de toplaag van de waterbodem uit Zuiderzeeafzettingen. Het grootste deel van de waterbodem wordt hier als klei gekarakteriseerd. In het noordelijk deel van het meer is het Enkhuizerzand aanwezig. Ook is het uiterst zuidelijk deel van het meer bestaat de waterbodem deels uit zand.

Relatief steile taluds van matig fijn zand in de diepe putten (zoals de IJmeerputten) blijven als gevolg van de onderdruk (inzijging) staan. In het noordelijk deel van het Markermeer, ter plaatse van de Houtribdijk treedt op een aantal plaatsen verlanding op. Dit is mede een gevolg van de hier aanwezig streken paralleldammen langs de dijk.

Enkele jaren geleden is begonnen met het verdiepen van een vaargeultracé Amsterdam-Lelystad. De vaargeul wordt feitelijk aangelegd door zandwinning op een aantal locaties, waarbij iedere zandwinlocatie op een maximale diepte van 8 m-NAP wordt opgeleverd (bij een talud van 1:3). Officieel ligt de vaargeul er nog niet en wordt ook niet beheerd (met uitzondering van de locatie ter plaatse van de Houtribsluis). Binnen de vaargeul vindt verplaatsing van slib plaats (als gevolg van scheepvaart en stroming).

putten
In zowel het Markermeer als het Eem- en Gooimeer zijn putten aanwezig. De grote en diepte van de putten is verschillend.

2.3. Stroming en slibhuishouding
De stroming in het Markermeer kent weinig variatie als gevolg van een redelijk egale bodem. De wind is de grootste bepalende factor op de stroming en daarmee op het sedimenttransport in het Markermeer.

Als vuistregel wordt binnen RIZA aangehouden dat de gemiddelde stromingssnelheid 1-2% van de windsnelheid bedraagt. De dominante windrichting is zuidwest. Retourstroming vindt deels plaats via de bodem en deels via grootschalige circulaties. De locatie van deze circulaties wordt bepaald door de windrichting. Doordat de windrichting een sterke variatie kent, wordt verondersteld dat gesuspendeerd slib, op alle plaatsen binnen het meer terecht kan komen. Qua slibhuishouding kan het Markermeer als een 'geroerde bak' worden beschouwd. De circulatie zorgt waarschijnlijk voor een herverdeling van het slib (het slib woelt op in de ondiepe delen en sedimenteert voornamelijk in de diepere delen). Daarnaast speelt bij de herverdeling ook verplaatsing van slib als gevolg van dichtheidstroming langs de bodem (mud flow) een rol. Als voorbeeld wordt aangegeven dat de IJmeerput is aangelegd op een diepte van 40 m en inmiddels een diepte kent van 16 m. Deze slibt dus dicht. Ook twee proefputten midden in het Markermeer, diepte 17 en 20 m, zijn in een periode ca. tien jaar dichtgeslibd [18]. In de analyse van het Markermeer (hoofdstuk 5) wordt nader ingegaan op de snelheid waarmee sedimentatie in putten plaatsvindt.

Over de exacte herverdeling en verplaatsing van slib bestaat onvoldoende duidelijkheid. Globaal wordt verondersteld dat slib zich vanuit het westelijk deel van het Markermeer richting het oostelijk deel verplaatst en ter hoogte van de Flevopolder sedimenteert. [Ruurd Noordhuis (RDIJ)].

2.4. Ecologie

Het voedselweb in het Markermeer herbergt componenten die van invloed zijn op de slibhuishouding. Mosselen, zoöplankton en benthivore vissen spelen een belangrijke rol in de slibhuishouding. Mosselen filteren aanzienlijke hoeveelheden water en verwijderen daarmee ook gesuspendeerd slib. Vissen spelen een rol in bij de erosie van kleibodems.

2.5. Fysische en chemische kwaliteit slib

Om grip te krijgen op de slibproblematiek is inzicht nodig in de samenstelling van het slib. Grofweg kan gesteld worden dat organisch slib in het Markermeer door interne biologische productie wordt gevormd. Anorganisch slib ontstaat grofweg als gevolg van erosie. Inzicht in de verdeling tussen organisch en anorganisch slib kan dus informatie geven over het ontstaan en de herkomst van het slib.

2.6. Onderzoeksvragen Markermeer

Ieder meer produceert slib. Deze interne (organische) productie kan afhankelijk van de productiviteit en de afbraaksnelheid oplopen tot maximaal enkele centimeters per jaar. Of dit in het Markermeer belangrijk is, is bij aanvang van het onderzoek nog onbekend. Het slibprobleem wordt vooral als een probleem met anorganisch (klei)slib gezien. De interne slibproductie is wel een belangrijk aandachtspunt bij de interpretatie van peilgegevens. Informatie over de organische/anorganische fractie van het slib is wenselijk om de eventuele invloed van interne productie mee te kunnen beschouwen.

Voor het Markermeer heeft de analyse zich op de volgende onderzoeksvragen gericht:
- Is er sprake van netto aangroei van slib of niet? Is het slib organisch of anorganisch van oorsprong?
- Waar komt het slib vandaan en waar gaat het heen? Daarbij wordt ook gekeken naar de bijdrage van de interne slibproductie, de interne erosie en de rol van de bestaande putten;
- Welke rol heeft de aanleg van de Afsluitdijk, de Houtribdijk en de Flevopolder gehad op de stromingspatronen en de sedimentatieprocessen (trendbreuk)?

3. PROBLEEMBESCHRIJVING EEM- EN GOOIMEER

3.1. Algemeen

De randmeren hebben sinds hun ontstaan door de aanleg van de Flevopolders te maken (gehad) met zeer ernstige eutrofiëring. De oorzaak hiervan ligt met name bij de aanvoer van fosfaat vanuit de Eem, hetgeen leidde tot hoge nutriëntconcentraties. Als gevolg hiervan traden hoge chlorofyl-a gehalten op (een maat voor de aanwezigheid van algen), een vrijwel permanente bloei van blauwalgen en een zeer laag doorzicht.

In het Eem- en Gooimeer daalt het chlorofyl-a gehalte de laatste jaren aanzienlijk. Het doorzicht daarentegen blijft constant. Dit wordt veroorzaakt door het zwevend stof. In de uit te voeren analyse moet inzicht worden gekregen in de rol van het zwevend stof en de interactie met fosfaat.

Voor het vaststellen van MEP´s en GEP´s voor het Eem- en Gooimeer is het van belang de rol van slib in het ecologisch functioneren te begrijpen. Relevante processen hierbij zijn onder andere:
- De invloed van gesuspendeerd slib op het doorzicht.
- Nalevering van fosfaat uit het slib.
- Verslibbing van de bodem.

Om grip te krijgen op het probleem is inzicht nodig in de volgende elementen:
- gebiedskarakteristiek
- ecologie

Voor een beschrijving van de gebiedskarakteristieken wordt verwezen naar de verschillende BEZEM-rapportages. In navolgende paragrafen wordt kort ingegaan op de ecologie, waarna wordt afgesloten met een paragraaf waarin specifiek op de onderzoeksvragen wordt ingegaan.

Afbeelding 2. Ligging Eem- en Gooimeer

3.2. Ecologie

Uit eerder uitgevoerde analyses is gebleken dat er twee factoren zijn die de ecologische kwaliteit van het Eem- en Gooimeer beperken: fosfaat en zwevend stof. Het fosfaat is bepalend voor de groei van organismen (algen, waterplanten), terwijl het zwevend stof de mate van helderheid in de meren bepaald. De helderheid heeft een grote, directe invloed op de hoeveelheid waterplanten en daarmee op de kwaliteit van het ecosysteem.

3.3. Onderzoeksvragen Eem- en Gooimeer

Het onderzoek naar het Eem- en Gooimeer heeft bestaan uit twee delen. Het eerste doel van de analyse betrof het in beeld brengen van de aanwezigheid en transport van zwevend stof in de Zuidelijke Randmeren. Middels een quick scan is onderzocht:

- Is er sprake van netto transport van zwevend stof (lost het probleem zichzelf op)?;
- Is het mogelijk het probleem op te lossen met reductie van aanvoer (slibvang, baggeren) of ecologische processen in de meren (waterplanten, vis en/of driehoeksmosselen)?;
- Kan het probleem voor 2015 opgelost zijn (hoe lang zijn de kritische tijdselementen)?

Het tweede doel van de analyse van het Gooi en Eemmeer betrof het in beeld brengen van de toestand van fosfaat: welk deel van het fosfaat is in de waterfase en waterbodem aanwezig, het zwevend stof of op een andere wijze particulair gebonden (bijvoorbeeld aan ijzercomplexen). Middels een gegevensanalyse is onderzocht:

- In welke vorm komt het fosfaat voor?;
- Hoeveel fosfaat is biologisch beschikbaar en hoeveel niet?;
- Kan het gebonden fosfaat een bijdrage leveren aan de interne eutrofiering?;
- Is het mogelijk het probleem op te lossen met reductie van aanvoer (slibvang, baggeren) of ecologische processen in de meren (waterplanten, vis en/of driehoeksmosselen)?

4. BESCHIKBARE INFORMATIE

4.1. Inleiding

Voor het kunnen beantwoorden van de onderzoeksvragen zijn gegevens nodig. In deze studie is uitsluitend gebruik gemaakt van reeds bestaande en beschikbare gegevens. In dit hoofdstuk is per thema aangegeven welke informatie beschikbaar is en welke informatie voor deze studie is gebruikt. De gegevens zijn gerubriceerd naar de volgende thema's:

- bodemligging
- slibproductie
- waterbeweging en slibtransport
- ecologie
- fysische en chemische kwaliteit

Per thema is in navolgende paragrafen aangegeven welke gegevens beschikbaar zijn gesteld. De gegevens betreffen onderzoeksrapporten, verschillende databases met meetgegevens en kaartmateriaal. In bijlage I is de lijst opgenomen met alle beschikbare gegevens. Verder is door middel van interviews met diverse betrokkenen (nu en in het verleden betrokken) gebiedskennis verzameld die is gebruikt bij de analyse.

4.2. Bodemligging

Eens per 10 jaar wordt een dieptemeting uitgevoerd voor het gehele gebied. De uitgevoerde metingen zijn onderling slecht vergelijkbaar door verschillen in meetmethode en verwerking. De meetnauwkeurigheid bij de taluds van de diepe putten hangt af van gridrichting en afstand. De basisloding wordt in raaien om de 200 m uitgevoerd (van oost naar west). Op basis hiervan wordt het hele gebied geïnterpoleerd. Kleine putten worden hierdoor niet (goed) in beeld gebracht.

Zandwinputten worden buiten de 10-jaarlijkse meetronde niet periodiek ingemeten. De ontwikkeling van het bodemprofiel tijdens zandwinning wordt alleen door de aannemer gevolgd. In de tienjaarlijkse meetronde wordt het nieuwe profiel in kaart gebracht. Incidenteel wordt na afloop van de zandwinning een meting uitgevoerd. Een aantal putten (IJmeerput en twee proefputten in het Markermeer en de diepe zandwinputten in de randmeren) is nauwkeurig ingemeten met multibeam, waarbij onderzoek is verricht naar de sedimentatie van slib [18 en 19].

Voor (de omgeving van) het Markermeer is door RWS een hoogtemodel (grid: 5 m) en een dieptemodel (grid: 10 m) beschikbaar. De hoogte en dieptegegevens zijn geïntegreerd in een kaart, waarin de meest recente dieptegegevens zijn verwerkt (zie bijlage II). Er is een Geologische bodemkundige atlas van het Markermeer beschikbaar. De ligging van de Pleistocene laag is gedigitaliseerd. Aan de hand van deze kaart en de laatste dieptekaart is een nieuwe kaart met de ligging van het Holoceen gegenereerd.

Er is een groot aantal oude dieptekaarten aanwezig (tot 1909), waarbij wordt opgemerkt dat de bruikbaarheid voor vergelijking als gevolg van onnauwkeurigheden (kalibratie, meetmethode en meetdichtheid) niet groot is.

4.3. Slibproductie

Voor de slibproductie wordt onderscheid gemaakt in organische productie en anorganische productie. De organische productie betreft resten van algen, planten en organismen. De anorganische productie betreft hoofdzakelijk de erosie van de (klei)bodem. Er zijn geen concrete bestaande gegevens beschikbaar over de slibproductie. Wel kan de productie mogelijk indirect worden afgeleid van verschilkaarten en gemeten organische stofgehalten en andere parameters (zie de analyse).

4.4. Waterbeweging en slibtransport

waterbeweging

Bij RIZA zijn verschillende modellen aanwezig met betrekking tot de stroming, namelijk een model waarmee de waterbeweging wordt berekend (WAQUA) en een golfmodel. Beide modellen zijn opge-

steld vanuit het aandachtsgebied 'veiligheid', waarbij gefocust wordt op extreme opwaaiing door stormen ter plaatse van de dijken. De stroming (dieptegemiddelde stroomsnelheidsverdeling) is een bijproduct van deze berekening; normaal worden alleen waterstandberekeningen uitgevoerd.

Ook is een 3-dimensionaal model aanwezig, waarbij de stroomsnelheidverdeling door wind kan worden meegenomen. Hierdoor kan inzicht worden gegeven in het optreden van retourstroming, die optreedt bij extreme weersomstandigheden. In het algemeen wordt een evenwichtssituatie door opwaaiing in enkele uren bereikt. Op basis van ervaring is in de analyse een uitspraak gedaan over retourstroming (zonder onderbouwing door middel van een berekening).

Om meer grip te krijgen op de herverdeling van slib is inzicht nodig in het algemene beeld van het stromingspatroon in het Markermeer. Hiertoe is om te beginnen inzicht nodig in de stroming en circulatie zijn bij normale omstandigheden. In het kader van deze studie heeft RIZA voor de analyse een 2D WAQUA berekening uitgevoerd met uitvoer (2-dimensionaal) van het berekende stromingspatroon onder normale omstandigheden, voor alle windrichtingen met 30 graden als stapgrootte [5]. De resultaten zijn opgenomen in bijlage III.

slibtransport
Naar (de invloed van stromingen op) slibtransport in het Markermeer zijn beperkte studies gedaan door de afdeling WST van RIZA [2]. Twee jaar geleden is het model STRESS 2D bestudeerd, waarna besloten is om het model niet te continueren. De aannamen die in dit model zijn gedaan is het beste dat beschikbaar is.

Door RWS is een spreadsheet gemaakt waarin aan de hand van de strijklengte een nuance wordt aangebracht van de relatie tussen de stroomsnelheid en de windsnelheid (aanname is dat de stroomsnelheid circa 1 á 2 % van de windsnelheid is).

In de studies naar onder meer de snelheid waarmee dichtslibbing plaatsvindt is, aan de hand van het vergelijking tussen oude en nieuwe peilgegevens, een sedimentatiesnelheid bepaald voor zowel vaargeul als twee proefputten [18].

Op basis van een DTM met gegevens uit '89-'93 en een DTM met meetgegevens uit '98-'99 is een verschilkaart gemaakt van de bodemdiepte [22]. Alle metingen zijn hierbij uitgevoerd met singlebeam met een meetfrequentie van 210 Kc. De verschilkaart geeft een indicatie van de verplaatsing van het slib. De gegevens die ten grondslag liggen aan de verschilkaart zijn te grof om nauwkeurige hoeveelheidsberekeningen uit te kunnen voeren.

In het document Contaminant variability in a sedimentation area of the river Rhine [40] is de accumulatie van slib in de periode 1957 – 1968 in het Markermeer aangegeven (afbeelding 7).

Er zijn onvoldoende (betrouwbare) gegevens beschikbaar om het slibtransport nauwkeurig te kunnen kwantificeren.

4.5. Ecologie
Er zijn diverse onderzoeken uitgevoerd naar ecologische aspecten die een relatie hebben met slib. De afname van de Driehoeksmossel in het Markermeer is onderzocht [14]. De rol van sediment en zwevend stof is hierin ook beschreven. Verder is de invloed van bodemverdiepingen op de bodemfauna onderzocht [37 en 38] en de interactie tussen vegetatie en fysische processen [32 en 33].

4.6. Fysische en chemische kwaliteit slib
Er zijn meerdere systemen aanwezig met gegevens over de kwaliteit en samenstelling van de waterbodem. In LAWAMAP zijn (ondiepe) boringen opgenomen, waarvan de chemische kwaliteit (waaronder in een aantal gevallen ook fosfaat) en het gehate aan lutum en organische stof van de waterbodem is bepaald. Deze metingen zijn met name aan de randen en in putten van de meren uitgevoerd en ter plaatse van een aantal vaste monitoringspunten. Buiten de monitoringspunten betreft het in alle gevallen in-

cidentele metingen (dus geen structureel meetprogramma). De resultaten van de bodemopbouw zijn veelal niet gekoppeld aan de chemische kwaliteit, waardoor in veel gevallen onbekend is van welke bodemsoort de kwaliteit is bepaald.

In een ander systeem (DONAR) zijn gegevens van de waterkwaliteit opgenomen. Hierbij is ook zwevend stof bepaald op een aantal vaste monitoringspunten (met een spreiding van 70 m).

In het onderzoeksgebied zijn van 1912 tot 1990 zowel ondiepe als diepe boringen geplaatst. Deze liggen ten grondslag aan de geologische kaart. Bij de afdeling PAM RDIJ is een onofficiële database met deze boringen aanwezig. Voor deze studie worden de bovenste twee bodemlagen (evt. aanwezig slib en de onderliggende laag) gebruikt.

4.7. Selectie

Selectie van de beschikbare informatie heeft plaatsgevonden aan de hand van de volgende criteria:

- kwaliteit
  De kwaliteit wordt met name bepaald door de onderbouwing van de conclusies uit rapportages en door de gebruikte meetmethoden (betrouwbaar, experimenteel). Ook updates van rapportages en modellen bepalen de kwaliteit.
- bruikbaarheid
  Onder bruikbaarheid wordt met name verstaan of de informatie voldoende ontsloten is om te gebruiken. Tevens is nagegaan in hoeverre het materiaal iets toevoegt aan overige beschikbare informatie.
- relevantie
  De aangeleverde informatie is beoordeeld op de relatie met de vraagstellingen binnen dit onderzoek.
- beschikbare tijd
  Vanwege de relatief korte doorlooptijd is nagegaan in hoeverre de beschikbare informatie binnen de gestelde tijd nader kan worden uitgewerkt met de gereserveerde inspanning. Op basis hiervan is besloten bepaalde onderdelen niet mee te nemen (bijvoorbeeld modelstudies).

In bijlage I is de lijst opgenomen met beschikbare informatie waarop de beoordeling door middel van plussen en minnen is aangegeven.

5. ANALYSE MARKERMEER

5.1. Inleiding

Teneinde een antwoord te kunnen gegeven op de in paragraaf 2.6 geformuleerde onderzoeksvragen, en ten behoeve van het aandragen van oplossingsrichtingen zijn de beschikbare gegevens bestudeerd en zijn verschillende aspecten nader uitgewerkt en/of doorgerekend.

5.2. Analyse

5.2.1. Waterbewegingen

Als gevolg van de stroming in het Markermeer vindt verplaatsing van gesuspendeerd materiaal plaats. De berekening van de stroming [5] voor een windsnelheid van 25 m/s laat zien dat de stroomsnelheid door wind niet zo groot is (tot maximaal 0,65 m/s) is. Ook de variatie in stroming is niet groot (circa 0,4 m/s). Afhankelijk van de windrichting is de stromingscirculatie links of rechtsom. De stroming vindt met name langs de randen plaats (tot maximaal circa 0,5 m/s). In het midden is de stroming relatief gering (0,1 tot 0,2 m/s).

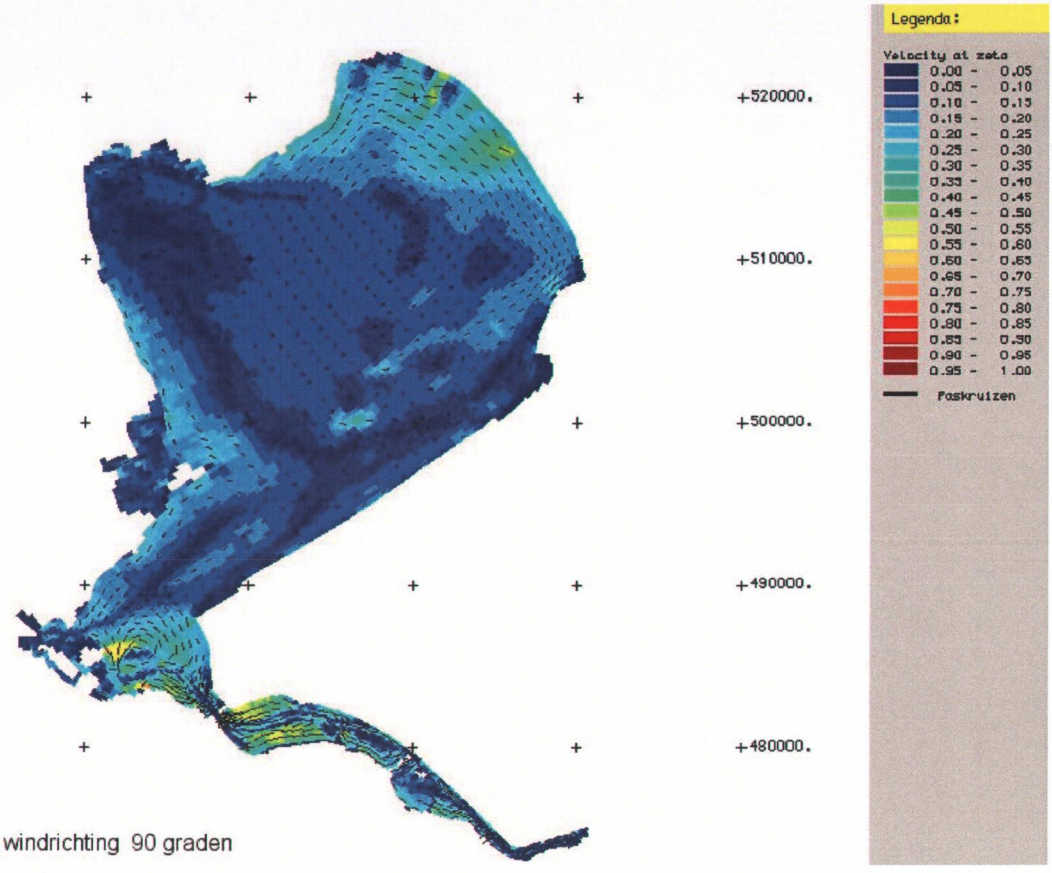
Uitgangspunten berekening waterbewegingen

In totaal zijn 12 afzonderlijke berekeningen uitgevoerd, waarbij een tijdsperiode van 9 uur voorflank is aangehouden (hierbij klimt de storm langzaam naar topsnelheid). Vervolgens blijft de situatie nog 6 uur constant. Tijdens de afzonderlijke berekeningen is de windrichting constant. Voor de topsnelheid is 25 m/s gekozen, het meerpeil was NAP-0.40m.

De gebruikte windrichting staat op de verschillende stromingsplaatjes vermeld (zie bijlage III). De gegenereerde stromingsplaatjes stellen het eind van de berekening voor, dus na 15 uren. Hierbij wordt opgemerkt dat het er aan het einde van de voorflank anders uit kan zien.

Het Markermeer is in de berekening als gesloten systeem beschouwd, waarin met IJburg rekening is gehouden. Het windveld was uniform boven het gebied, gebruikelijke stress factoren.

In afbeelding 3 is de stroming in het Markermeer als gevolg van windwerking weergegeven. In bijlage III zijn de gegenereerde stromingskaarten opgenomen.



stromingspatroon voor windrichting 90 graden

Afbeelding 3. Stroming Markermeer als gevolg van windwerking (windrichting 90 graden)

Verder wordt duidelijk dat de invloed van de wind om de waterbewegingen in het Eem- en Gooimeer aanzienlijk groter is. Deze constatering wordt in de analyse van het Eem- en Gooimeer (hoofdstuk 6) besproken.

Retourstroming vindt deels plaats via de bodem en deels via de grootschalige circulatie. De retourstroming zal ordegrootte naar verwachting gelijk zijn aan de berekende stroomsnelheden. Een nadere berekening zou dit moeten uitwijzen.

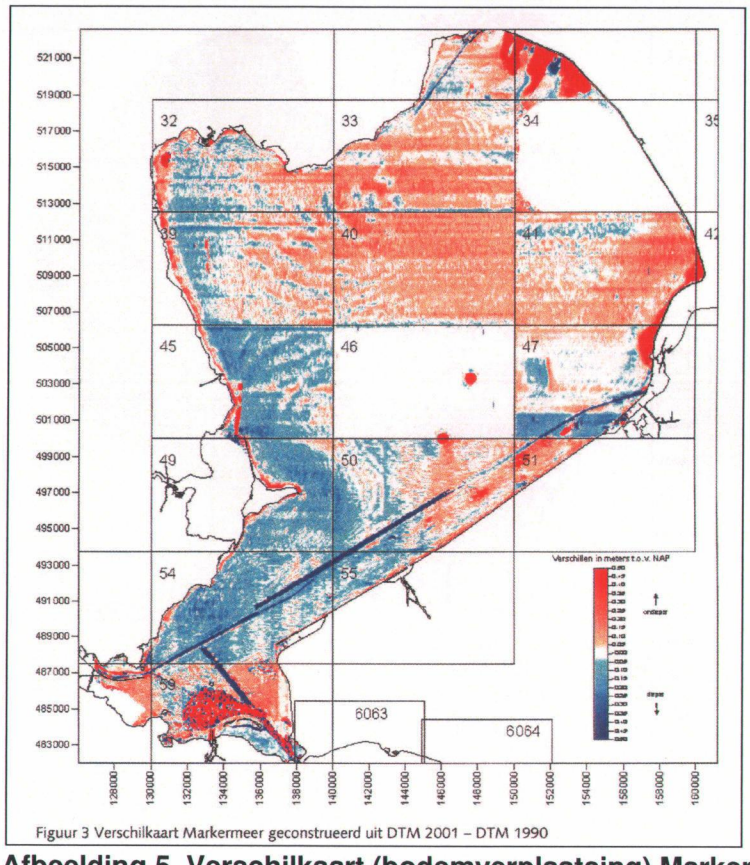
Uit een door RIZA gemaakte spreadsheet [Edwin Snippen] blijkt dat de wind na circa 3 km invloed begint uit te oefenen op de stroomsnelheid. De stroomsnelheid in het Markermeer wordt niet meer dan 0,5 m/s (aanname hierbij is dat de stroomsnelheid circa 1 á 2 % van de windsnelheid is).

Indien de Houtribdijk afwezig zou zijn, zou export van sediment naar het IJsselmeer plaatsvinden (dit is waarschijnlijk niet terug te vinden omdat in het IJsselmeer meer diepe putten en geulen aanwezig zijn en een deel zal mogelijk verder worden afgevoerd naar zee). Vanuit het IJsselmeer zal slib worden aangevoerd. De netto import of export is op basis van de beschikbare gegevens niet in te schatten. In de huidige situatie is er praktisch geen netto export. Indien de Flevoput niet zou zijn aangelegd, zou het slib zich over een groter gebied kunnen verspreiden. Een nader berekening zou dit moeten uitwijzen.

5.2.2. Toe- en afname slibvoorraad

Op basis van een DTM met meetgegevens uit '89-'93 en een DTM met meetgegevens uit '98-'99 is door RIZA een verschilkaart gemaakt van de bodemdiepte. De peilingen zijn uitgevoerd in raaien met een onderlinge afstand van 200 m. Aan de hand van deze peilingen is een interpolatie uitgevoerd, waardoor een gebiedsdekkende dieptekaart kon worden gegenereerd (met een grid van 10 bij 10 m). De verschilkaart geeft een indicatie van de toe- of afname van de bodemdiepte. In het westelijk deel is

de ligging van de bodem dieper geworden (circa 0,05 tot 0,35 m) (mogelijk als gevolg van erosie) en in het oostelijk deel is de ligging van de bodem verondiept (circa 0,1 tot 0,4 m) (mogelijk als gevolg van sedimentatie). Dit patroon komt overeen met de windrichting die het grootste deel van het jaar aanwezig is (vanuit het zuidwesten). In afbeelding 5 is de verschilkaart weergegeven.



Afbeelding 5. Verschilkaart (bodemverplaatsing) Markermeer aan de hand van lodingsgegevens

De gegevens die ten grondslag liggen aan de verschilkaart zijn te grof om nauwkeurige hoeveelheidsberekeningen uit te kunnen voeren. Wel is door W+B een oriënterende verschilberekening uitgevoerd, waarmee een indicatie is verkregen van de toe- of afname van de slibvoorraad. De resultaten zijn weergegeven in tabel 5.1. In deze berekening van de toe- of afname is de hoeveelheid zwevend stof verwaarloosd (deze hoeveelheid is geschat op 30 tot 60 g/m³ (gemiddeld 45 g/m^3), hetgeen neerkomt op in totaal circa 108.000 ton aan vaste stof).

	totaal	toename		afname		netto	
	oppervlak	gem. slibdikte	volume	gem. slibdikte	volume	totaal	per jaar
Markermeer	600 miljoen m²	0,14 m	11,2 miljoen m³	0,20 m	11,1 miljoen m³	51.000 m³	5.000 m³
Totaal	600 miljoen m²		11,2 miljoen m³		11,1 miljoen m³	51.000 m³	5.000 m³

Tabel 5.1. Oriënterende berekening toe- of afname slibvoorraad Markermeer

Uit de berekening kan worden opgemaakt dat in het westelijk deel de ligging van de bodem dieper geworden is (circa 0,05 tot 0,35 m), mogelijk als gevolg van erosie. In het oostelijk deel is de ligging van de bodem verondiept (circa 0,1 tot 0,4 m), mogelijk als gevolg van sedimentatie.

De netto hoeveelheid (volume) is nagenoeg gelijk gebleven. Zowel de toe- als afname van de slibhoeveelheid in volume is ruim 11 miljoen m³. Omrekening naar tonnen vaste stof laat echter een duidelijk verschil zien. De toename (sedimentatie) van de slibhoeveelheid in 10 jaar is circa 2,7 miljoen ton vaste

stof, terwijl de afname (erosie) circa 10,9 miljoen ton vaste stof bedraagt (uitgaande van erosie van klei met een dichtheid van 975 kg/m³ vaste stof). De hoeveelheid vaste stof die lijkt te zijn afgenomen (circa 8 miljoen ton), komt overeen met de hoeveelheid vaste stof die geborgen kan worden in de twee proefputten. De uitgevoerde berekeningen zijn niet nauwkeurig genoeg om de exacte oorzaak van de geconstateerde verschillen te achterhalen. De proefputten zijn niet nauwkeurig ingemeten in het gebruikte bodemhoogte-bestand. Bovendien is de gebruikte verschilkaart niet gebiedsdekkend.
Uit de oriënterende berekening blijkt wel dat de slibproductie in het Markermeer niet groot is.

De hoeveelheid vaste stof die reeds vóór de eerste peilronde (dus vóór 1990) aanwezig was, wordt geschat op 10 miljoen ton (een laagdikte van 0,10 m over een oppervlak van 60% van het Markermeer, met een dichtheid van 1.150 kg/m³).

Opgeteld levert dit de volgende hoeveelheid vaste stof (per m²):

- vaste stof in sliblaag vóór 1990	10 miljoen ton
- berekende toename vaste stof in sliblaag tussen 1990 en 2001	2,7 miljoen ton
- zwevende stof	0,1 miljoen ton
	--- +
totaal	**12,8 miljoen ton (2 kg/m²)**

slibproductie (organisch en/of anorganisch)
Ieder meer produceert slib. De productie kan variëren van sterk organisch (bijvoorbeeld in geïsoleerde laagveenwateren) tot sterk anorganisch (bijvoorbeeld in meren die sterk belast worden door sediment uit rivieren). In het Markermeer wordt het slibprobleem vooral gezien als een probleem met anorganisch slib. Productie van organisch slib (door erosie van veenlagen op de bodem en/of door productie van het voedselweb in het meer in de vorm van algen, waterplanten en andere organismen) kan echter ook een rol spelen.

Aan de hand van specifieke eigenschappen van het slib (organisch of anorganisch) kan de oorsprong van het materiaal worden achterhaald. Dergelijke specifieke gegevens zijn echter niet beschikbaar, waardoor deze vraag niet beantwoord kan worden. In navolgende paragraaf is wel gerekend aan de mogelijke invloed van erosie van de kleilaag (anorganisch slib) op de toename van de slibvoorraad. Metingen van de gloeirest van slibmonsters zouden de verhouding tussen organisch en anorganisch slib nader in beeld kunnen brengen.

5.2.3. Opwoeling en interne erosie
Opwoeling vindt plaats als gevolg van de windwerking en de daaruit voortvloeiende waterstroming. Onderscheid wordt gemaakt in opwoeling van de IJsselmeerafzetting en overige slibdeeltjes en erosie van de kleibodem. Als gevolg van de fysische samenstelling van het slib, wordt dit materiaal reeds bij relatief geringe stroming opgewoeld.

erosie van kleibodems
Bij de erosie van de kleibodem is een belangrijk gegeven dat deze vanwege zijn fysische eigenschappen in principe alleen zal eroderen als gevolg van ecologische processen (het loswoelen van de bodem door vissen) of bij extreme weersomstandigheden (stroomsnelheden > 0,5 m/s). In tabel 5.2 is bij een gemiddelde waterdiepte van 4 m de stroomsnelheid berekend bij verschillende windsnelheden.

Tabel 5.2. Stroomsnelheid bij verschillende windsnelheden (CUR194)

Bft	U_w (m/s)	H_s (m)	$U_{bod\ max}$ (m/s)
3-4	5	0,20	0,15
5-6	10	0,43	0,33
7	15	0,63	0,49
8-9	20	0,82	0,63
10	25	0,99	0,77

De gepresenteerde snelheden worden vergeleken met de stroomsnelheden waarbij erosie verwacht mag worden (CUR 194) (tabel 5.3). Het blijkt erosie voor redelijk vaste klei mogelijk is bij windkracht 8-10 Bft. Onder extreme stormomstandigheden is derhalve (enige) erosie mogelijk.

Tabel 5.3. Toelaatbare stroomsnelheden voor niet eroderende bodems (CUR194)

grondsoort	$U_{toelaatbaar}$ (m/s)
zandige klei	0,40
slappe klei	0,60
redelijk vaste klei	0,80 (1,0 bij kortdurende belasting)
vaste klei	1,20 (1,5 bij kortdurende belasting)

Om de mogelijke invloed van de erosie van de kleilaag op de slibvoorraad na te gaan, is in voorgaande paragraaf een globale berekening uitgevoerd van de toe- en afname van de hoeveelheid vaste stof aan de hand van de dichtheden van klei en slib (respectievelijk 975 en 240 kg/m^3 vaste stof). Hieruit blijkt dat op basis van de beschikbare gegevens in 10 jaar tijd circa 8 miljoen ton vaste stof meer geërodeerd dan gesedimenteerd te zijn. Zoals eerder aangegeven is de oorzaak van dit verschil niet duidelijk in beeld te brengen, gezien het oriënterende karakter van de berekeningen. De berekening maakt het wel aannemelijk dat erosie van klei heeft plaatsgevonden. Waar het geërodeerde materiaal zich naar toe heeft verplaatst is onvoldoende duidelijk.

verweking

Over verweking van de bodem in het Markermeer is onvoldoende informatie beschikbaar. Er zijn enkele proeven uitgevoerd, maar die tonen onvoldoende aan in hoeverre verweking optreedt [28 en 29]. Daarom is op basis van expert judgement de rol van verweking aangegeven.

De oorzaak van de erosie is waarschijnlijk gelegen in een combinatie van windgolven, stroming en foerageergedrag van benthivore vis, met name brasem. Kleibodems kennen doorgaans een veel hogere productie van macrofauna dan zand-, veen- of slibbodems. Brasem zoekt de meest voedselrijke plekken (de kleibodem) op en wroet bij het zoeken naar muggenlarven en wormen in de bodem, waarbij deze erodeert, waarna windgedreven stromingen het losgewroete materiaal meenemen. Scheffer et al. (2003) laten zien dat brasem in het Wolderwijd-Nuldernauw, vóór de uitdunning van de visstand in 1990, ervoor verantwoordelijk kan worden gesteld dat de bodem zich in een geërodeerde staat bevond. Hierdoor bestond er een duidelijk positief verband tussen de windsnelheid en de hoeveelheid gesuspendeerd sediment in de waterfase. Na uitdunning van de visstand was dit verband niet meer aanwezig; de bodem was in een geconsolideerde staat gekomen, waarbij resuspensie van sediment door wind- en golfwerking niet langer optrad. Het wordt aannemelijk geacht dat brasem in het Markermeer de kleibodem in een geërodeerde staat heeft gebracht en houdt.

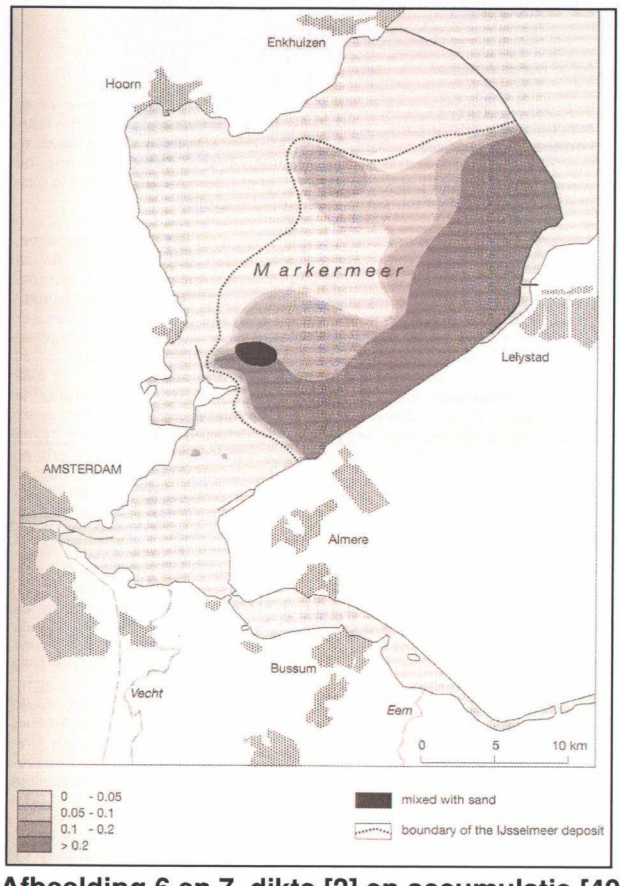
5.2.4. Sedimentatie

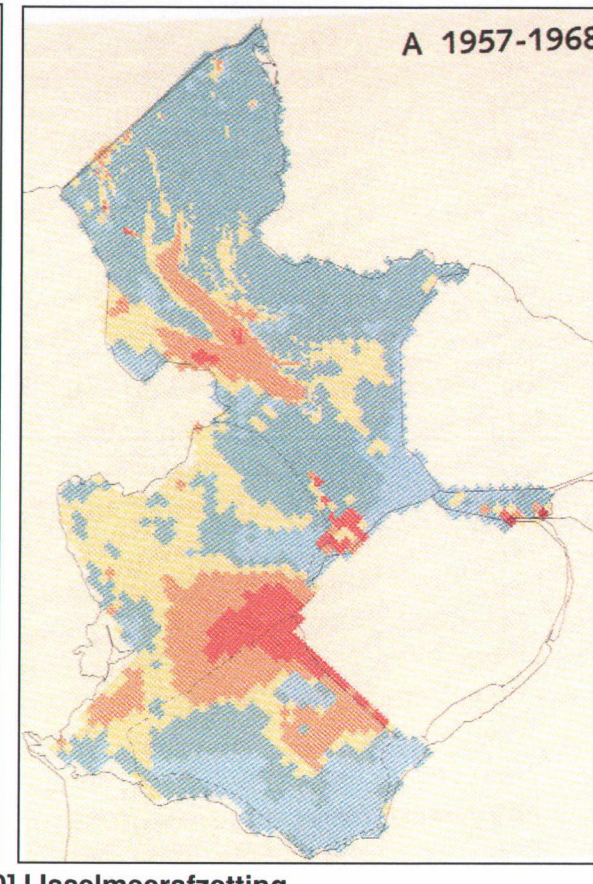
IJsselmeerafzetting

Voor de aanleg van de Houtribdijk vormde het IJsselmeer een belangrijke aanvoerroute van water en sediment. In de periode 1957 – 1968 (dit is tijdens de aanleg van Zuidelijk Flevoland) heeft veel accumulatie van IJsselmeerslib in het Markermeer plaatsgevonden [40]. Dit betreft waarschijnlijk met name organisch slib (in het IJsselmeer is weinig klei aanwezig en daarmee wordt weinig anorganisch slib geproduceerd). In het Markermeer wordt naast organisch slib ook anorganisch slib geproduceerd (erosie van de bodem). Dit slib werd voor de aanleg van de Houtribdijk waarschijnlijk afgevoerd naar het IJsselmeer. De onderlinge uitwisseling is echter onvoldoende duidelijk om een goede kwantificering te maken.

Over circa 60% van het oppervlak van het Markermeer heeft zich een (zee)klei- en slibpakket afgezet (het verschil tussen de aan- en afvoer van slib van en naar het IJsselmeer). Eventueel aanwezig veen is waarschijnlijk grotendeels weggeslagen bij hevige stormen (dit is overigens ook een mogelijke bron van organische slibproductie). Dit beeld komt in grote lijnen redelijk overeen met de gegenereerde verschilkaart van de bodemligging [11]. In het oostelijk deel vindt met name accumulatie plaats (0,04 tot

0,10 m per jaar). In het westelijk en middendeel accumuleert jaarlijks een sliblaag van enkele cm. In het zuidelijk deel is de accumulatie < 0,01 m per jaar.





Afbeelding 6 en 7. dikte [2] en accumulatie [40] IJsselmeerafzetting

De IJsselmeerafzetting betreft niet-cohesief, maar fijn materiaal (niet met een steekbus te bemonsteren). Dit materiaal krijgt vanwege zijn samenstelling geen kans om te consolideren. De afzetting is als een vaste voorraad aanwezig (slibdikte circa 0,05 tot 0,25 m). De slibconcentratie is circa 50-100 mg/l slib in water (zwevend stof) en het materiaal heeft een maximale valsnelheid van circa 10 m/d [Blom]. Bij een geringe stroming wordt dit materiaal al opgewerveld. Als gevolg van het afsluiten van het Markermeer door de Houtribdijk blijft het slib in het systeem aanwezig. De voorraad is naar verwachting groot (een laagdikte van gemiddeld 0,10 m). Het materiaal ligt hoofdzakelijk in het oostelijk deel van het meer.

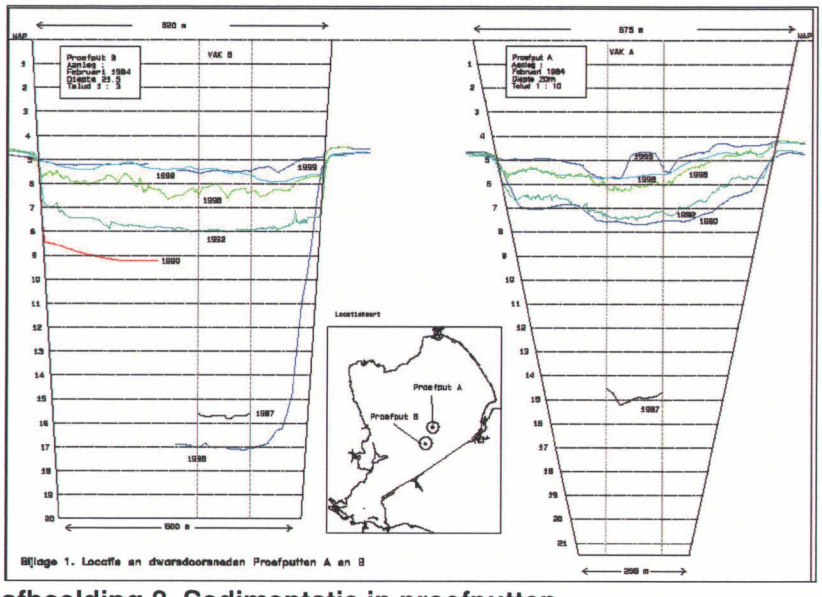
Het organische stofgehalte in het Markermeer is circa 30%. Dit mede als gevolg van een lage algenconcentratie. Dit materiaal heeft een lage valsnelheid (soms slechts 0,3 m/d), waardoor het nauwelijks bezinkt en heel makkelijk weer opwervelt.

sedimentatie in putten

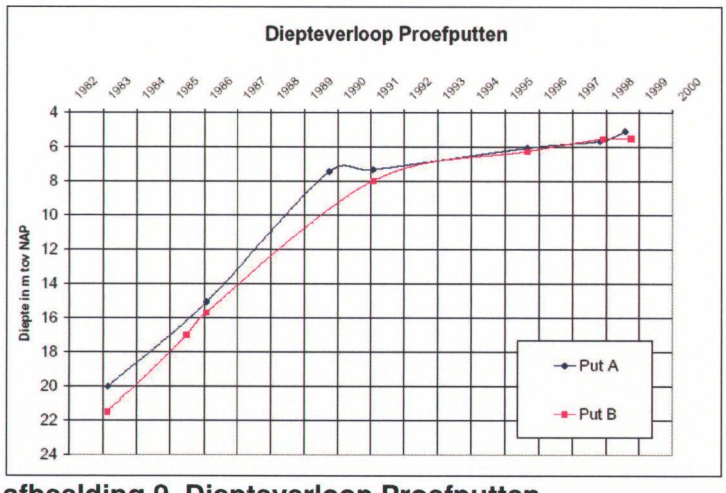
In uitgevoerde studies [18] naar onder meer de snelheid waarmee dichtslibbing plaatsvindt is, aan de hand van het vergelijking tussen oude en nieuwe peilgegevens, een sedimentatiesnelheid bepaald voor zowel vaargeul als twee proefputten. De proefputten hebben een gelijke doorsnede (600 m) en diepte (20 m), maar een verschillend talud (1:3 en 1:10). In 1980 waren beide putten 20 m diep. De laatste peilingen geven een diepte aan van circa 4,5 m. De laatste dieptemeting is uitgevoerd met singlebeam 210 Kc; bij deze frequentie wordt de bovenkant van het slib (met een dichtheid in de toplaag van circa 1.150 kg/m^3) gemeten, waarbij wordt opgemerkt dat dit mogelijk zeer waterig slib betreft (dik water). Wanneer met een lagere frequentie of een handpeiling een meting wordt uitgevoerd, wordt mogelijk

geen of minder slib in de putten aangetroffen. De verschilmetingen laten zien dat de putten binnen een tijdsbestek van circa 10 jaar zijn dichtgeslibd.

In de studie naar de sedimentatiesnelheid in de proefputten [18] wordt de sedimentatiesnelheid afhankelijk van de diepte van de put ten opzichte van de omgeving gesteld. De snelheid neemt af naarmate de diepte van de put ten opzichte van de omgeving afneemt (van 4,5 m per jaar bij een verschildiepte van 10 m naar 0,2 m per jaar bij een verschildiepte van <3 m).



afbeelding 8. Sedimentatie in proefputten



afbeelding 9. Diepteverloop Proefputten

Bij sedimentatie spelen valsnelheid en de maximale concentratie zwevend stof een belangrijke rol. Op basis hiervan is de maximale sedimentatie per jaar te berekenen. Gekozen is echter een berekening aan de hand van praktijkervaringen in het Markermeer. Hierbij is een opvulsnelheid van putten geconstateerd van 0,2 tot 4 m per jaar. Deze snelheid ligt aanmerkelijk hoger dan de theoretische berekening van sedimentatie van alleen zwevend stof. De dichtslibbing van de putten wordt dan ook slechts voor een zeer beperkt deel verklaard door de sedimentatie van gesuspendeerd materiaal. Wanneer in de bodem van het Markermeer reliëf wordt gemaakt, zullen de diepere delen gaan fungeren als slibvang. In hoeverre dit voldoende effect oplevert is de vraag, gezien het (veronderstelde) grote aanbod aan slib. Op basis van de uitgevoerde lodingen wordt voor de dichtheid van gesedimenteerd materiaal in de toplaag 1.150 kg/m³ aangehouden. Onderin de put is de dichtheid naar verwachting circa 1.250 kg/m³.

inhoud en oppervlak putten gemeten in 1998 en 1999 [19]

nr	locatie	x	y	max diepte (m)	inhoud tov referentievlak	opp. tov referentievlak
13	Markermeer	147500	503250	5,9	147.400 m³	388.100 m²
14	Markermeer	146000	500000	6,5	228.400 m³	358.800 m²
15a	IJmeer	134000	485000	33,3	28.073.300 m³	4.765.200 m²
15b	IJmeer	136800	483500	24,8	3.070.800 m³	681.600 m²
15c	IJmeer	137500	484250	8,9	185.400 m³	593.000 m²
19a	Gooimeer	138700	481300	30,2	22.993.000 m³	3.349.300 m²
19b	Gooimeer	139300	480000			
20a	Gooimeer			21,8	2.257.200 m³	427.400 m²
20b	Gooimeer			7,7	42.600 m³	19.500 m²
20c	Gooimeer			15,2	812.900 m³	204.900 m²
20d	Gooimeer			14,9	117.700 m³	37.000 m²

mud-flow

Dichtheidstroming over de bodem (ook wel 'mud-flow' genoemd) speelt waarschijnlijk de belangrijkste rol bij de opvulsnelheid van putten. Dit proces houdt in dat de aanwezige sliblaag vanuit de omgeving naar de put stroomt en naar het diepste deel zakt. In een niet nader gedefinieerde zuigerput in het Markermeer is de opvulsnelheid in de eerste drie jaren 2,1 m/jaar en neemt in de daar op volgende drie jaar af naar gemiddeld 0,7 m/jaar.

De opvulsnelheid in putten als gevolg van sedimentatie van gesuspendeerd materiaal in het Markermeer wordt ingeschat op 0,10 tot 0,20 m/jaar (oostelijk deel) en 0,05-0,10 m/jaar (westelijk deel) [expert judgement Peeters] en is berekend [39] op 10-60 kg/m²/jaar (dit komt neer op enkele cm tot enkele dm per jaar). Hieruit kan worden geconcludeerd dat de sedimentatie van gesuspendeerd materiaal een geringe rol speelt in de opvulling van putten.

Na de aanleg van putten zal de bodem zich ter plaatse gaan zetten, waarbij ook sediment vanaf de wanden naar de diepere delen in de put zakt [39]. Deze hoeveelheid is echter zeer gering, aangezien de hellingen door onderdruk blijven staan.

5.2.5. Effecten van verdiepingen

Verdieping leidt tot twee, mogelijk drie effecten:

- in het verdiepte gedeelte neemt de stroomsnelheid af, als gevolg waarvan meer gesuspendeerd materiaal bezinkt;
- in het verdiepte deel neemt de golfwerking af, waardoor de resuspensie van materiaal afneemt;
- mogelijk is over de bodem dichtheidstroming (mud flow) aanwezig, waardoor het diepere deel relatief snel wordt opgevuld.

De eerste twee effecten leiden tot een toename van het doorzicht. Het derde effect leidt tot een snelle vulling van de verdieping, en dus tot een snelle afname van de effectiviteit van de verdieping (voor het verbeteren van doorzicht).

5.2.6. Ecologie en biologie

Mogelijk spelen de biologische veranderingen een belangrijkere rol dan fysische processen in het Markermeer. Hierbij wordt verondersteld dat de bodem als gevolg van biologische processen (bijvoorbeeld door de brasem) wordt losgewoeld, waardoor sediment in oplossing kan komen. Om dit na te gaan zou specifiek op (verandering in) biologische processen moeten worden gemonitord.

relatie slib en driehoeksmosselen

Door de afsluiting van het Markermeer zijn er geen relevante externe sedimentatiebronnen meer. In ondiepe delen van het meer komt frequent erosie voor, met name in diepere delen vindt sedimentatie plaats. Onder extreme omstandigheden vindt wel erosie van slap slib vanuit diepere delen plaats.

Met name in het westelijk deel van het Markermeer komen zuiderzeeschelpen voor [14]. De aanwezigheid van deze schelpen is sterk positief gecorreleerd aan het voorkomen van driehoeksmosselen (deze gebruiken de schelpen als substraat). Driehoeksmosselen zijn nagenoeg afwezig bij aanwezigheid van slib en afwezigheid van schelpen. De afname van driehoeksmosselen is groter op zand en slib en neemt toe bij grotere percentages zand en slib. Op diepere locaties is de afname eveneens groter, maar niet significant.

afbeelding 10. Kaarten met sedimenteigenschappen in het Markermeer in 2000 [14]

Globale metingen laten nog voor de aanleg van de Houtribdijk een herverdeling van slib zien naar diepere delen. De sliblaag in de diepere delen wordt hierbij steeds dikker. Ter plaatse van deze slibophoping is de afname van de driehoeksmosselen zichtbaar.

Omdat nauwelijks slib naar het Markermeer kan worden aangevoerd, kan een voor de mosselen relevante verandering van de sliblaag alleen worden veroorzaakt door aangroei door erosie en door verplaatsingen van materiaal binnen het meer, of door wijzigingen in de opbouw van de toplaag (organische component, weerstand/slapheid van de toplaag).

Een belangrijke oorzaak van verminderde vastlegging van sediment en versterkte windinvloed zou verminderde bodemafdekking en filtratie door Driehoeksmosselen kunnen zijn [14].

crash populatie Driehoeksmosselen
Veranderingen in de samenstelling van de toplaag van het sediment zijn waarschijnlijk niet de rechtstreekse oorzaak van de mosselcrash geweest, maar hebben mogelijk de leefomstandigheden voor de mosselen verslechterd, waardoor de weerstand tegen calamiteiten verminderde. Aan de andere kant heeft de aanwezigheid van de mosselpopulatie de laterale (oostwaartse) verplaatsing van sediment waarschijnlijk vertraagd, en is deze verplaatsing na de crash versneld [14].

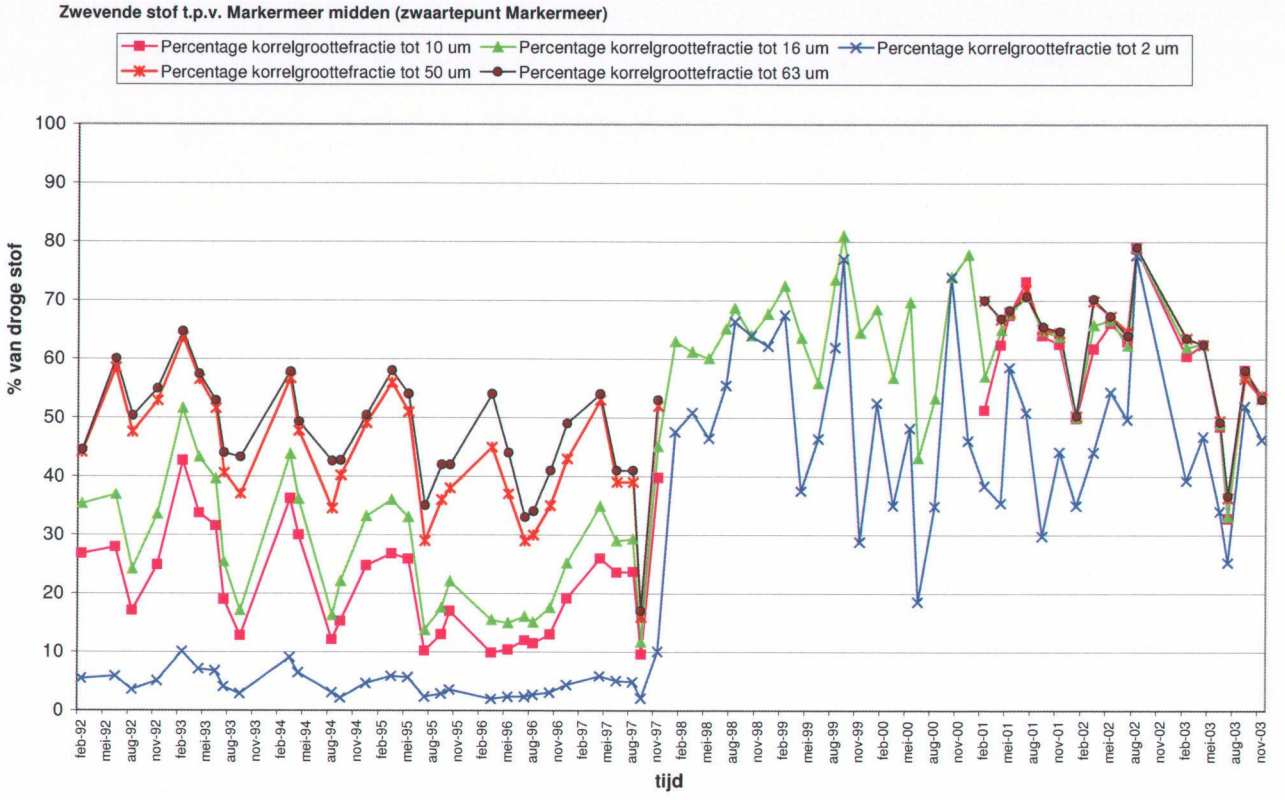
Het lijkt erop dat door een korte periode van ongunstige omstandigheden een min of meer permanente verlaging van de mosseldichtheid is opgetreden en daarmee ook van de filtratiecapaciteit. Deze ongunstige omstandigheden kunnen hebben bestaan uit:
- relatief warm water, waardoor de mosselen niet in winterrust konden gaan;
- sterke vraat van vogels;
- erosie;
- verslibbing of erosie overschrijdt een kritische grens; het is echter niet bekend of er in de periode van sterke afname sprake was van extreem veel stormen;
- sterke vraat door blankvoorn; op basis van beroepsvisser G. Manshanden (zijn schip werd snel kaalgegeten toen hij van het IJsselmeer naar het Markermeer ging). Deze conclusie komt niet uit de bemonsteringsdata (RIVO). Blankvoorn wordt mogelijk ook niet goed gevangen.

Als gevolg van de sterk verminderde afdekking van het sediment en de ruwheid van de bodem door de mosselcrash wervelt tegenwoordig meer slib op bij dezelfde windsnelheid. Naast een toename van resuspensie vind hierdoor ook meer slibtransport plaats. Met name de winteroverleving lijkt sterk te zijn verlaagd door de hersedimentatie van slib, waardoor de mosselen worden bedolven [14].

overige ecologische en biologische aspecten
Het aanbrengen van verdiepingen leidt tot een afname van fosforconcentraties omdat de sedimentatie groter is dan de nalevering vanuit de put. Dit is in de huidige studie niet te kwantificeren.

In een uitgevoerd onderzoek naar de bodemfauna en visstand [38] zijn de effecten op bodemfauna en vis beschreven als gevolg van de aanleg van de twee (proef) zandwinputten in het Markermeer. De putten zijn aangelegd onder een verschillend talud, waardoor ook het effect van de hellingshoek is onderzocht. Ook is het verschil tussen aan- en afwezigheid van een periode van stratificatie onderzocht. Bij het optreden van stratificatie blijkt het bodemvoedselaanbod slechter te zijn; de verschillen zijn echter niet substantieel. De hellingshoek van het talud speelde geen rol in de verspreiding van bodemvoedsel.

5.2.7. Korrelverdeling
De aangeleverde dataset met gegevens van water, zwevend stof en bodem/sediment is geanalyseerd op trends en veranderingen in de tijd. Hierbij is naar voren gekomen dat de korrelfractieverdeling in de winterperiode van 1997/1998 plotseling sterk blijvend is veranderd. Na oktober 1997 nemen de fracties <2, <10, <16, <50 en <63 toe. De oorzaak voor deze verandering ligt in een verandering in analysemethode.



afbeelding 13. Grafiek met combinatie van de verschillende korrelverdelingen.

Tot eind 1997 is de korrelgrootteverdeling in zwevend stof gemeten met laserdiffractie. Sinds 1 januari 1998 wordt deze parameter bij RIZA in zwevend stof gemeten met een sedimentatiemethode (sedigraphmethode; deze maakt gebruik van laag energetische röntgenstralen).

De referentiemethode voor de korrelgrootteverdeling (en met name de <2um fractie) is de pipetmethode (NEN5753). De pipetmethode is een zeer arbeidsintensieve methode. In de praktijk wordt veelal gebruik gemaakt van instrumentele methoden zoals laserdiffractie en sedigraph.

Met laserdiffractie worden veel lagere percentages voor de <2 en < 16 µm gevonden dan met de pipetmethode. De sedigraphmethode levert min of meer dezelfde resultaten als de pipetmethode. Daarom is in 1997 besloten over te stappen op de sedigraphmethode.

Verder is een belangrijk gegeven dat de gepresenteerde percentages t.o.v. droge stof zijn en niet t.o.v. minerale delen.

De meetgegevens van de Gouwzee zijn, gezien de geïsoleerde ligging t.o.v. het Markermeer moeilijk vergelijkbaar.

5.3. Overall beschouwing slibbalans

De slibhuishouding is grotendeels een gesloten systeem. Intern is er ruim voldoende slib aanwezig (IJsselmeerafzetting) dat makkelijk opwoelt. Export van slib vindt naar verwachting niet plaats. In de bestaande literatuur [2] wordt een interne sediment vracht van 1 miljard ton per jaar aangegeven. Dit past echter niet binnen een oppervlak van 68.000 ha en een gemiddelde waterdiepte van 3,6 m. Op basis van deze gegevens is geen kwantificering van het aanwezige slib te maken.

berekening op basis van literatuur

slib in de waterfase
In het water van het Markermeer is een zwevende stofconcentratie aanwezig van 50-100 mg/l [Blom]. Bij een watervolume van 2448 miljoen m^3 betekent dit dat er een hoeveelheid van 184.000 ton zwevend stof in de waterfase aanwezig is.

slib op de bodem
Wanneer ervan uitgegaan wordt dat 60% van het Markermeer is bedekt met een sliblaag van gemiddeld circa 0,10 m, betekent dit een volume van circa 41 miljoen m^3 slib. De dichtheid van dit materiaal (inclusief water) is naar schatting 1.150 kg/m^3, hetgeen 240 kg/m^3 aan vast slib betekent. In totaal is daarmee circa 10 miljoen ton slib (vast materiaal) op de bodem aanwezig.

Bij deze berekeningen wordt opgemerkt dat uitgegaan is van zeer grove aannamen.

berekening op basis van verschilkaart

slib op de bodem
Uit de verschilkaart valt op te maken dat de hoeveelheid toegenomen sediment in de periode 1990-2001 circa 11 miljoen m^3 bedraagt. De dichtheid van dit sediment is 1.150 kg/m^3 (water en slib) en dus 240 kg/m^3 slib. Dit betekent dat in een tijdsbestek van 10 jaar de hoeveelheid slib is toegenomen met 2,7 miljoen ton. De afname (erosie) bedraagt eveneens ruim 11 miljoen m^3. De dichtheid van dit materiaal (vaste stof) is echter naar verwachting circa 975 kg/m^3, waardoor de berekening netto meer tonnen afname dan toename laat zien. Een duidelijk verklaring hiervoor valt, gezien het oriënterende karakter van de berekening, niet te geven.

De uitgevoerde berekening moet als globaal worden beschouwd. Niet alle gebieden zijn meegenomen in de berekening, aangezien niet overal peilingen hebben plaatsgevonden. Het zijn daarentegen wel berekeningen op basis van gemeten waarden (peilingen), waardoor het in grote lijnen de slibproductie en het slibtransport weergeeft. In de verdere berekeningen is de hoeveelheidsberekening op basis van de verschilkaart als uitgangspunt aangehouden.

samenstelling slib
Puur organisch sediment heeft een droge stofgehalte variërend van 100 – 400 kg/m^3 [31]. Vergelijk van deze waarden met de droge stofgehalten die gemeten zijn in het Markermeer levert echter geen informatie op, omdat dit materiaal zeer waterig is, hetgeen echter niet wil zeggen dat het niet organisch is.
Over de samenstelling, de mate van consolidatie en de droge stofgehalten van het sediment in de putten zijn geen gegevens voorhanden.

5.4. Overall beschouwing relatie slibbalans en ecologie

De rol van interne erosie is niet keihard aan te tonen, maar wordt wel zeer aannemelijk geacht. De kleibanken aan de westzijde van het meer lijken te eroderen (getuige het feit dat de waterdiepte daar toeneemt), terwijl de oostzijde verondiept met slib. Het is de vraag of het instorten van de mosselpopulatie dit proces versneld heeft, mogelijk wel.

Het wordt niet waarschijnlijk geacht dat de oorzaak van de erosie geheel is gelegen in windgolven en stroming. Een combinatie van windgolven en stroming en foerageergedrag van benthivore vis, met name brasem, wordt wel aannemelijk geacht. Kleibodems kennen doorgaans een veel hogere productie van macrofauna dan zand-, veen- of slibbodems. Brasem zoekt de meest voedselrijke plekken (de kleibodem) op en wroet bij het zoeken naar muggenlarven en wormen in de bodem, waarbij deze erodeert, waarna windgedreven stromingen het losgewroete materiaal meenemen. Scheffer et al. (2003) laten zien dat brasem in het Wolderwijd-Nuldernauw, vóór de uitdunning van de visstand in 1990, ervoor verantwoordelijk kan worden gesteld dat de bodem zich in een geërodeerde staat bevond. Hierdoor bestond er een duidelijk positief verband tussen de windsnelheid en de hoeveelheid gesuspendeerd sediment in de waterfase. Na uitdunning van de visstand was dit verband niet meer aanwezig; de bodem

was in een geconsolideerde staat gekomen, waarbij resuspensie van sediment door wind- en golfwerking niet langer optrad. Het wordt aannemelijk geacht dat brasem in het Markermeer de kleibodem in een geërodeerde staat heeft gebracht en houdt.

5.5. Antwoord op onderzoeksvragen Markermeer

Voor de beantwoording van de onderzoeksvragen wordt verwezen naar deel 1 van de rapportage.

6. ANALYSE EEM- EN GOOIMEER

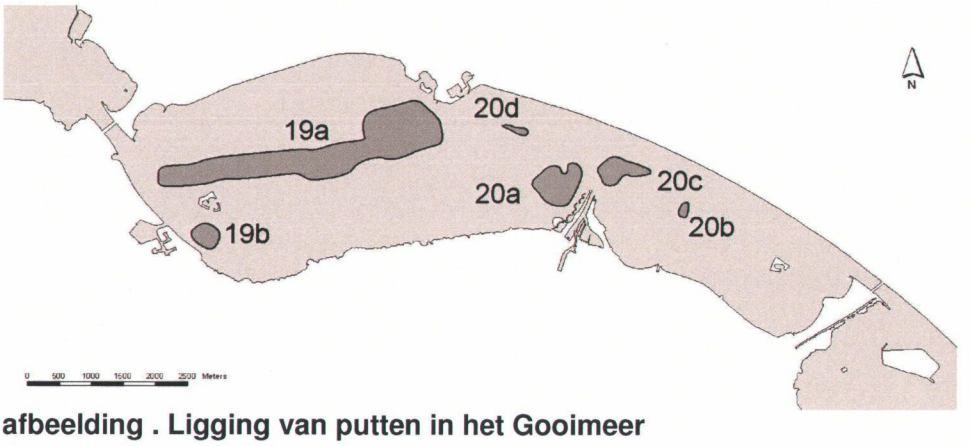
6.1. Inleiding

Teneinde een antwoord te kunnen gegeven op de geformuleerde onderzoeksvragen, en ten behoeve van het aandragen van oplossingsrichtingen zijn de beschikbare gegevens bestudeerd en is een aantal aspecten nader uitgewerkt en/of doorgerekend.

6.2. Analyse

6.2.1. Morfologie

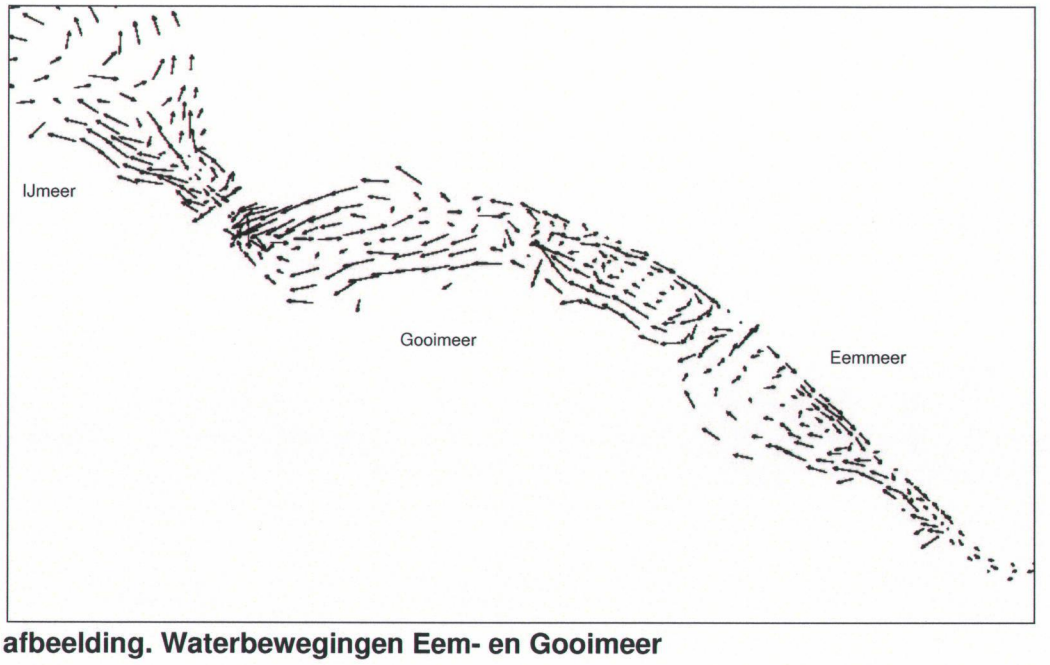
In het Eemmeer zijn geen diepe putten aanwezig. In het Gooimeer zijn wel putten aanwezig. Op onderstaande kaart is de ligging van de verschillende putten aangegeven



afbeelding . Ligging van putten in het Gooimeer

6.2.2. Waterbewegingen

De waterbewegingen als gevolg van de windwerking zijn in het Eem- en Gooimeer aanzienlijk sterker dan in het Markermeer. Dit is waarschijnlijk het gevolg van de waterbewegingen in het Markermeer, waardoor de fluctuatie in het waterpeil in het Eem- en Gooimeer toeneemt.

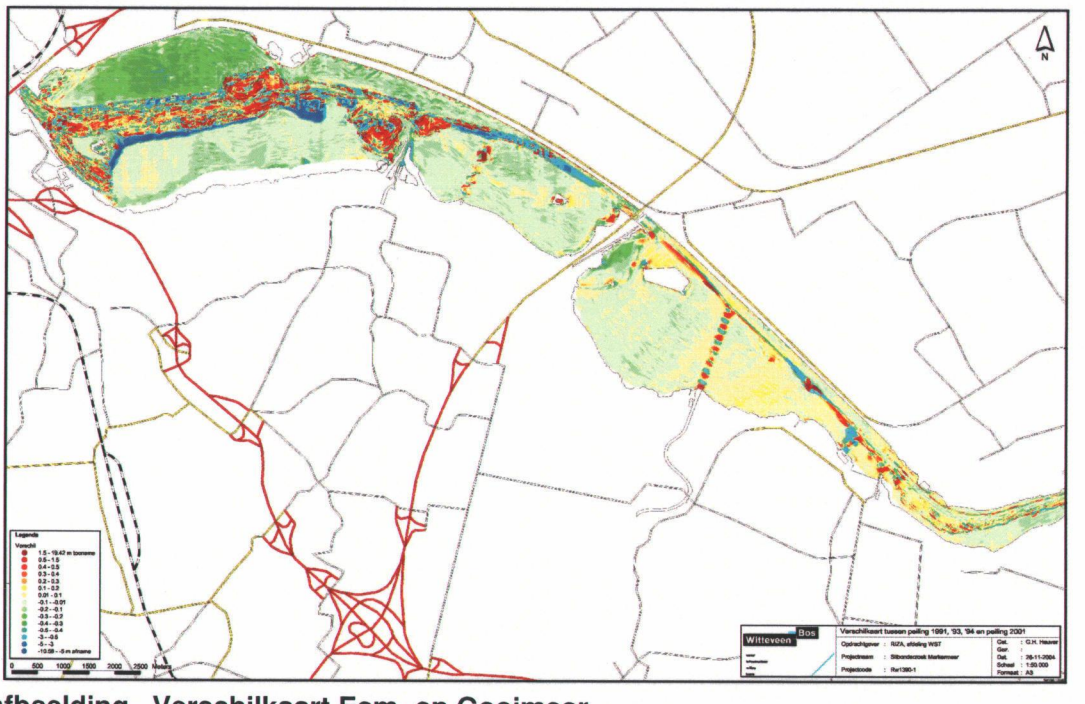


afbeelding. Waterbewegingen Eem- en Gooimeer

De berekende waterbewegingen sluiten aan bij de veronderstelling dat de IJmeerputten (buiten het Eem- en Gooimeer) mogelijk als slibvang fungeren van het Gooimeer.

6.2.3. Slibhoeveelheden

Op basis van de uitgevoerde peilingen in het Eem- en Gooimeer zijn dieptekaarten gegenereerd. De peilingen zijn uitgevoerd in raaien met een onderlinge afstand van 200 m. Aan de hand van deze peilingen is een interpolatie uitgevoerd, waardoor een gebiedsdekkende dieptekaart kon worden gegenereerd (met een grid van 10 bij 10 m). Dit is uitgevoerd met peilgegevens uit 1998-1990 en peilgegevens uit 2001. Aan de hand van deze dieptekaarten is een verschilkaart gegenereerd van de bodemdiepte. Hierdoor wordt een indicatie verkregen van de toe- of afname van de bodemdiepte. Opgemerkt wordt dat het een grove benadering betreft; nauwkeurige hoeveelheidsberekeningen zijn op basis hiervan niet uit te voeren. Als gevolg van de interpolatie bij een raaiafstand van 200 m worden locale diepteverschillen (bijvoorbeeld putten) niet duidelijk zichtbaar en kan een vertekend beeld ontstaan.



afbeelding . Verschilkaart Eem- en Gooimeer

De door Witteveen+Bos gegenereerde verschilkaart van de bodemdiepte in zowel het Eemmeer als het Gooimeer in een tijdsbestek van circa 11 jaar is veranderd. In het Eemmeer zijn de verschillen gering (overwegend maximaal 0,2 m toe- of afname van de diepte). Dit met uitzondering van de vaargeul, het verlengde van de Eem en het uiterst westelijk deel van het meer. Hier komen grotere diepteverschillen voor (tot meer dan 0,5 m). In het Eemmeer zou sprake kunnen zijn van een dynamisch evenwicht tussen enerzijds de aanvoer van slib vanuit de Eem en de interne productie in het meer en anderzijds de export van slib naar het Gooimeer.

In het Gooimeer vindt meer verplaatsing van sediment plaats dan in het Eemmeer. Naast de grote diepteverschillen in de vaargeul (zowel erosie als sedimentatie) en ter plaatse van putten (sedimentatie), is met name de erosie in het noordwestelijk deel van het meer erosie opvallend (gemiddeld circa 0,4 m). Vrijwel nergens in het Gooimeer vindt (netto) sedimentatie plaats.

globale berekening toe- of afname slibvoorraad

Aan de hand van de verschilkaart is een (zeer grove) schatting gemaakt van de omvang van de toe- of afname van de slibvoorraad in beide meren over de periode 1998/90 tot 2001. In onderstaande tabel zijn de berekende hoeveelheden gepresenteerd.

Tabel 6.1 Toe- of afname van de slibvoorraad voor het Eem- en Gooimeer

	totaal	toename		afname		netto	
	oppervlak	gem. slibdikte	volume	gem. slibdikte	volume	totaal	per jaar
Eemmeer	11.050.000 m²	0,12 m	612.108 m³	0,13 m	740.438 m³	-128.330 m³	-11.666 m³
Gooimeer	23.077.600 m²	0,41 m	1.922.851 m³	0,41 m	7.555.331 m³	-5.632.480 m³	-512.044 m³
Totaal	34.127.600 m²		2.534.959 m³		8.295.769 m³	-5.760.810 m³	-523.710 m³

De berekening laat zien dat voor het Gooimeer netto export van sediment plaatsvindt. In het Eemmeer vindt grofweg evenveel toe- als afname plaats. Terugrekening van de gepresenteerde gegevens naar toe- en afname per jaar laat zien dat in het Eemmeer per jaar circa 0,01 m wordt aangevoerd en/of geproduceerd en ook circa 0,01 m wordt afgevoerd. In het Gooimeer wordt per jaar circa 0,01 m aangevoerd en/of geproduceerd en 0,03 m afgevoerd. De uitkomsten sluiten aan bij de veronderstelling dat de IJmeerput mogelijk als slibvang voor het Eem- en Gooimeer fungeert.

Omrekening van de gepresenteerde hoeveelheden slib geeft het volgende overzicht:

Tabel 6.2. Toe- of afname van de slibvoorraad in tonnen vaste stof

	totaal oppervlak	toename	afname	netto
Eemmeer	11 miljoen m²	0,15 miljoen ton	0,7 miljoen ton	-0,6 miljoen ton
Gooimeer	23 miljoen m²	0,46 miljoen ton	7,4 miljoen ton	-6,9 miljoen ton
Totaal	34 miljoen m²	0,61 miljoen ton	8 miljoen ton	-7,5 miljoen ton

6.2.4. Fosfaat

in potentie kan gebonden fosfaat een belangrijke bijdrage leveren aan interne eutrofiëring. De route waarlangs gebonden P beschikbaar komt kan zowel chemisch (directe nalevering van labiel gebonden P, bijvoorbeeld bij zuurstofloosheid aan de bodem) als biologisch (bijvoorbeeld via productie van macrofauna en het eten en uitscheiden hiervan door benthivore vissen) van aard zijn.

Voor het Eem- en Gooimeer zijn meetgegevens bekend van het fosfaatgehalte in water en zwevend stof. Om het gedrag en de beschikbaarheid van fosfaat te kunnen bepalen zijn echter specifieke gegevens benodigd. Deze gegevens zijn nog niet voor handen. Op basis van de nu beschikbare gegevens kan daardoor geen berekening van beschikbare fosfaatvrachten worden uitgevoerd.

6.3. Overall beschouwing slibbalans

Voor wat betreft de toe- en afname van slibhoeveelheden verschilt het Eemmeer sterk met het Gooimeer. Het wordt op basis van de grover berekeningen aannemelijk geacht dat in het Eemmeer veel meer sprake is van een slibprobleem dan in het Gooimeer. De verschilkaart laat zien dat het slib waarschijnlijk over grote oppervlakken in beweging is (getuige de geringe diepteverschillen, de afwezigheid van putten en de geringe toe- en afname van de waterdiepte van de gebieden aan weerszijden van de vaargeul vanuit de Eem). Kennelijk bevindt de bodem van het Eemmeer zich in een "geërodeerde" staat, waarbij relatief veel slib in suspensie kan worden gebracht.

6.4. Overall beschouwing relatie slibbalans en ecologie

Zoals in bovenstaande paragraaf wordt gesteld, bevindt de bodem van het Eemmeer zich in een "geërodeerde" staat, waarbij relatief veel slib in suspensie kan worden gebracht. Net als in het Wolderwijd-Nuldernauw voor de uitdunning van de visstand in 1990 (Scheffer et al., 2003) wordt het aannemelijk geacht dat de aanwezige visstand hierbij een belangrijke rol speelt.

6.5. Antwoord op onderzoeksvragen Eem- en Gooimeer

Voor de beantwoording van de onderzoeksvragen wordt verwezen naar deel 1 van de rapportage.

7. CONCLUSIES

Conclusies Markermeer
Het Markermeer kan min of meer als een gesloten systeem worden beschouwd; de aan- en afvoer vormt geen substantieel onderdeel van de slibbalans.

Uit de gegenereerde verschilkaart blijkt dat in het westelijk deel de ligging van de bodem dieper is geworden (circa 0,05 tot 0,35 m), mogelijk als gevolg van erosie. In het oostelijk deel is de ligging van de bodem verondiept (circa 0,1 tot 0,4 m), mogelijk als gevolg van sedimentatie. Op basis van de uitgevoerde globale berekeningen lijkt sprake van een toename van de slibvoorraad in de orde van 11 miljoen m^3 over een periode van circa 10 jaar. Op basis van de omrekening naar tonnen vaste stof lijkt echter sprake te zijn van meer erosie dan sedimentatie. Een verklaring voor dit verschil is op voorhand niet te geven, maar aannemelijk is dat de onnauwkeurigheid van de hoeveelheidsbepaling een mogelijke belangrijke oorzaak is.

In het Markermeer wordt het slibprobleem vooral gezien als een probleem met anorganisch slib. Productie van organisch slib (door erosie van veenlagen op de bodem en/of door productie van het voedselweb in het meer in de vorm van algen, waterplanten en andere organismen) kan echter ook een rol spelen.

De aanwezige vaste slibvoorraad woelt gemakkelijk op onder invloed van wind en veroorzaakt daarmee vertroebeling van het water. Door een lage valsnelheid van de gesuspendeerde deeltjes verloopt de sedimentatie traag. Deze sedimentatie vindt hoofdzakelijk plaats in de diepere delen van het Markermeer.

De rol van interne erosie is niet keihard aan te tonen, maar wordt wel zeer aannemelijk geacht. De kleibanken aan de westzijde van het meer lijken te eroderen (getuige het feit dat de waterdiepte daar toeneemt), terwijl de oostzijde verondiept met slib. Het is de vraag of het instorten van de mosselpopulatie dit proces versneld heeft, mogelijk wel.

Het wordt niet waarschijnlijk geacht dat de oorzaak van de erosie geheel is gelegen in windgolven en stroming. Een combinatie van windgolven en stroming en foerageergedrag van benthivore vis, met name brasem, wordt wel aannemelijk geacht. Het wordt aannemelijk geacht dat brasem in het Markermeer de kleibodem in een geërodeerde staat heeft gebracht en houdt.

Het aanwezige slib wordt opgevangen in putten, maar de huidige slibvoorraad is groot (aanzienlijk groter dan het volume van de putten). In hoeverre de IJsselmeerafzetting daadwerkelijk wordt geborgen in de putten staat niet onomstotelijk vast. Berging wordt echter wel heel aannemelijk geacht, niet zozeer via sedimentatie van gesuspendeerd materiaal in de waterkolom (die bijdrage aan de opvulling van putten is gering), maar vooral door horizontaal transport over de bodem.
Putten aan de oostzijde blijken snel dicht te slibben, terwijl de meer beschut gelegen putten in het IJmeer veel minder slib vangen. Wanneer op de juiste plekken putten worden aangebracht waarin de totale slibvoorraad geborgen kan worden op een zodanige diepte dat windgolven er niet meer bij kunnen komen, dan mag verwacht worden dat de gehele IJsselmeerafzetting geborgen zal kunnen worden.

Niet zozeer de Houtribdijk heeft de slibdynamiek beïnvloed, als wel het ontstaan van de polders, waarbij vooral de Flevopolder het stromingspatroon van het water (onder invloed van wind) heeft veranderd. Waarschijnlijk is dit effect groter geweest dan de Houtribdijk, die alleen een nuancering van de slibdynamiek heeft bewerkstelligd. De Houtribdijk is zeker niet verantwoordelijk voor de aanwezigheid van het slib, het slib is een erfenis van de Zuiderzee.

Van verschillende aspecten is onvoldoende nauwkeurige en/of betrouwbare informatie beschikbaar om antwoord te kunnen geven op de gestelde onderzoeksvragen voor deze studie. In paragraaf 8.4.1 wordt ingegaan op de leemten in kennis en worden aanbevelingen gedaan over de manier waarom deze informatie kan worden verkregen.

Conclusies Eem- en Gooimeer
Uit de beschikbare informatie en uitgevoerde berekeningen kan worden afgeleid dat er in het Gooimeer sprake lijkt van een netto export van slib. Dit slib komt mogelijk voor een belangrijk deel in de putten in het IJmeer terecht. De geconstateerde (beperkte) verondieping van deze putten en het WAQUA stromingspatroon wijzen eveneens in deze richting. Daarnaast treedt sedimentatie in de putten in het Gooimeer zelf op. In het Eemmeer lijkt vrijwel geen netto toename of afname van de slibvoorraad op te treden. Dit zou kunnen betekenen dat er sprake is van een dynamisch evenwicht tussen enerzijds de aanvoer van slib vanuit de Eem en de interne productie in het meer en anderzijds de export van slib naar het Gooimeer.

Het wordt op grond van bovenstaande duidelijke verschillen tussen het Gooimeer en het Eemmeer aannemelijk geacht dat in het Eemmeer veel meer sprake is van een slibprobleem dan in het Gooimeer. De verschilkaart laat zien dat het slib waarschijnlijk over grote oppervlakken in beweging is (getuige de geringe diepteverschillen, de afwezigheid van putten en de geringe toe- en afname van de waterdiepte van de gebieden aan weerszijden van de vaargeul vanuit de Eem). Kennelijk bevindt de bodem van het Eemmeer zich in een "geërodeerde" staat, waarbij relatief veel slib in suspensie kan worden gebracht. Net als in het Wolderwijd-Nuldernauw voor de uitdunning van de visstand in 1990 (Scheffer et al., 2003) wordt het aannemelijk geacht dat de aanwezige visstand hierbij een belangrijke rol speelt.

Voor het kunnen beantwoorden van de onderzoeksvragen met betrekking tot de rol van fosfaat zijn thans onvoldoende gegevens bekend. Hierdoor kunnen geen berekeningen worden uitgevoerd en/of uitspraken worden gedaan.

in potentie kan gebonden fosfaat een belangrijke bijdrage leveren aan interne eutrofiëring. De route waarlangs gebonden P beschikbaar komt kan zowel chemisch (directe nalevering van labiel gebonden P, bijvoorbeeld bij zuurstofloosheid aan de bodem) als biologisch (bijvoorbeeld via productie van macrofauna en het eten en uitscheiden hiervan door benthivore vissen) van aard zijn.

8. OPLOSSINGSRICHTINGEN EN AANBEVELINGEN

Dit hoofdstuk beschrijft oplossingsrichtingen voor de slibproblematiek in het Markermeer en Eem- en Gooimeer. De beschrijving is opgedeeld in eerder aangedragen oplossingen en nieuwe (uitwerkingen van) oplossingsrichtingen. Het hoofdstuk wordt afgesloten met aanbevelingen op basis van de leemten in kennis.

8.1. Eerder aangedragen oplossingsrichtingen Markermeer

vermindering hoeveelheid gesuspendeerd materiaal
Tegengaan van opwoeling van slib kan door het verdiepen van (delen) van het Markermeer. De IJsselmeerafzetting geldt als belangrijkste bron voor opwoeling en deze afzetting zal dus in diepere delen (buiten de invloed van wind) terecht moeten komen.

Om een substantiële vermindering van opgewerveld slib in de waterkolom te realiseren zullen grote delen van het Markermeer verdiept moeten worden. Voor het realiseren van een afname met 90% zal in totaal $1{,}4*10^8$-$1{,}5*10^9$ m^3 moeten worden gebaggerd [37]. Een alternatief is uitgewerkt voor het realiseren van een afname met 10, 25 en 50% ten opzichte van het huidige niveau. Hierbij zal naar schatting $5{,}7*10^7$ tot $7{,}2*10^8$ m^3 moeten worden gebaggerd. Beide berekeningen tonen aan dat onevenredig grote hoeveelheden moeten worden gebaggerd. De beschouwingen zijn gebaseerd op een relatief geringe verdieping over een groot oppervlak.

effect van verdiepingen op zoöplanktonproductie
In een onderzoek naar de invloed van het slibgehalte en waterbodemverdiepingen op zoöplanktonproductie [37], wordt duidelijk dat het aanbrengen van verdiepingen een positief effect heeft op de graasefficiëntie van zoöplankton. Deze positieve invloed werkt in de gehele voedselketen. De verhoogde graasefficiëntie leidt echter tot een afname van de zoöplanktonproductie omdat de hoeveelheid algen (voedsel) sterk afneemt. Belangrijk is een voldoende aanvoer van algen (vanuit omliggend water) te realiseren.

Wanneer locale verdiepingen worden aangelegd wordt een situatie gecreëerd waarin voldoende aanvoer van algen naar de verdiepingen plaatsvindt. Hierdoor zal de zoöplanktonproductie wel groter worden (zowel per m^2 als per m^3).

In een berekening van het optimale effect van verdieping op de zoöplanktonproductie (grootste effect per m^3 gewonnen zand) is een simulatie gemaakt van verschillende putten op verschillende locaties. Op plaatsen waar een sterke variatie optreedt in slibconcentraties is de productie het hoogst (ook zonder verdiepingen). Ondiepe (4 m beneden huidige waterbodem) grote putten hebben het meeste effect omdat hierbij de mengsnelheid ten opzichte van het volume van de verdieping optimaal is. Door het aanleggen van verdiepingen kan lokaal een reductie van 40-50% van gesuspendeerd materiaal worden gerealiseerd. Bij diepere putten is het extra effect gering (3 keer zoveel baggeren, 1,5 keer zoveel effect). Het positieve effect bij toename van de grootte van de locatie verhoudt zich als volgt: 5 keer zo veel baggeren levert 3 tot 6 keer zo veel effect op. Vergroting van het oppervlak is dus zinvol.
Een slibvang in de luwte levert lokaal het meeste effect op omdat relatief weinig uitwisseling met water in de omgeving plaatsvindt.

8.2. Nieuwe oplossingsrichtingen Markermeer

8.2.1. Schaalverkleining
Door middel van schaalverkleining zou de strijklengte kunnen worden verkleind en daarmee de invloed van de wind kunnen worden beperkt. Ingeschat wordt echte dat dit praktisch gezien geen oplossing is, omdat een groot deel van het Markermeer zou moeten worden gecompartimenteerd, waardoor een compleet nieuwe inrichting zou ontstaan.

8.2.2. Actief biologisch beheer

Een oplossingsrichting is de beïnvloeding van biologische processen in relatie tot slibtransport. De biologische processen lijken (grote) invloed te hebben op de opwoeling van de bodem en de sedimentatie van gesuspendeerd materiaal. Om de opwoeling van de kleibodem tegen te gaan zou de (benthivore) visstand kunnen worden beheerd. Gezien de grote schaal waarop dit zou moeten plaatsvinden, wordt deze oplossing als niet-realistisch beschouwd, mede gezien het feit dat een toename van brasem verwacht mag worden als slibvangen grootschalig worden aangelegd.

8.2.3. Afdekken met zand

Als oplossingsrichting kan gedacht worden aan het afdekken van de aanwezige sliblaag. Op deze manier wordt slib ingevangen en wordt opwoeling tegengegaan. De uitvoering zou moeten geschieden door het geleidelijk aanbrengen van een zandlaag (bijvoorbeeld door sproeien). Voor het Markermeer geldt echter dat als gevolg van een te grote diepte en de grote strijklengte de waterbewegingen te groot zijn om het aangebrachte zand op zijn plaats te houden. Afdekken met zand lijkt daarom geen reële optie. Daarnaast is nog weinig ervaring opgedaan met deze techniek.

8.2.4. Aanbrengen verdiepingen (nader bekeken)

Door het aanbrengen van verdiepingen kan slib worden opgevangen in putten en daarmee buiten de invloed van wind worden gebracht. Eenmaal gesedimenteerd zal het slib in de verdiepingen niet (snel) meer opwoelen. Het uiteindelijke effect is echter ook afhankelijk van de totale slibvoorraad die in het Markermeer aanwezig is.

bergen IJsselmeerafzetting in putten

In paragraaf 5.3 is de hoeveelheid berekend van de aanwezige slibvoorraad (circa 12,7 miljoen ton vaste stof). Er zijn geen gegevens over de dichtheid van het slib, maar aangenomen mag worden dat de slibdichtheid 1.150 kg/m^3 (240 kg droge stof per m^3) is aan het oppervlak en toeneemt met 25 kg/m^3 (40 kg droge stof per m^3) per 10 m diepte. Dit komt neer op een bergingscapaciteit van 5 ton vaste stof per m^2 putoppervlak voor een 20 m diepe en 13 ton vaste stof/m^2 voor een 40 m diepe put.

Aan de hand van de huidige slibvoorraad en de berekende productie is het benodigde putvolume berekend om de gehele slibvoorraad voor de komende 10 jaar te bergen. Uitgaande van een te bergen hoeveelheid vaste stof van 15 miljoen ton en een gemiddelde dichtheid van het materiaal in de put van 1.250 kg/m^3 (405 kg vaste stof/m^3), is circa 37 miljoen m^3 aan bergingsvolume benodigd.

Voor het kunnen bergen van alleen de bestaande voorraad van vóór 1990 is een putvolume benodigd van circa 24 miljoen m^3. In onderstaande tabel zijn deze getallen weergegeven.

Tabel 5. Grove berekening slibhoeveelheid (vaste voorraad)

grove berekening huidige slibvoorraad		
oppervlak IJsselmeerafzetting (60%)	408 miljoen	m^2
slibdikte (aanname)	0,10	m
volume slib IJsselmeerafzetting	41 miljoen	m^3
dichtheid sediment (incl. water)	1.150	kg/m^3
dichtheid vaste stof	240	kg/m^3
kg vaste stof	10 miljoen	ton
dichtheid in put (enigszins geconsolideerd)	1.250	kg/m^3
dichtheid vaste stof in put	405	kg/m^3
benodigd putvolume	24 miljoen	m^3

Bij extreme weersomstandigheden woelt materiaal op dat vanwege zijn fysische eigenschappen ook weer relatief snel zal bezinken (sneller dan het al eerder gesuspendeerde lichte zwevende stof). Bij de aanleg van putten zou een zekere overcapaciteit moeten worden ingecalculeerd om dit materiaal te kunnen bergen.

te kiezen putlocaties
Bij het aanwijzen van putlocaties is een belangrijk gegeven dat het aanwezige slib een lange afstand af kan leggen en als gevolg van de stroming overal kan komen. Aanbevolen wordt om locaties te kiezen die niet in de luwte liggen, aangezien het op deze locaties het langst zal duren voordat het slib er terechtkomt. Verder kan de winning van bruikbaar zand leidend zijn in het aanwijzen van locaties. Hierbij kan enerzijds rekening worden gehouden met de locaties waar bruikbaar zand aanwezig is en anderzijds rekening worden gehouden met de locatie waar het materiaal kan worden toegepast. Het overige materiaal zou kunnen worden gebruikt bij de aanleg van oevers in het kader van natuurontwikkeling en de realisatie van locale effecten.

8.3. Nieuwe oplossing Eem- en Gooimeer

Het wordt het meest wenselijk geacht om het slibprobleem via meerdere sporen aan te pakken:

1. Drastische en periodiek herhaalde uitdunning van de benthivore visstand. Hiermee moet de bodem, in termen van het onderzoek van Scheffer et al. (2003), zoveel mogelijk in een "geconsoleerde" in plaats van "geërodeerde" staat worden gebracht. De ontwikkeling van waterplanten en/of driehoeksmosselen wordt in de aanpak eerder als een volgend dan een sturend proces (waarop actief beheerd wordt) gezien; waterplanten en mosselen kunnen de geconsolideerde staat overigens wel versterken (maar naar ons idee niet beheersmatig realiseren)
2. Realisatie van slibvangen. Een combinatie van slibvangen in de Eem (een belangrijke aanvoerbron) en in het Eemmeer zelf (in verband met de interne productie) wordt optimaal geacht.

Inhoudelijk kan het probleem naar onze inschatting snel worden aangepakt. De snelheid van het oplossen van het slibprobleem zal naar verwachting vooral afhangen van de proceduretijd die gemoeid is met de voorbereiding op de ingrepen. Het uitvoeren van uitdunningsvisserijen zal in dat verband naar verwachting sneller kunnen worden uitgevoerd dan de aanleg van slibvangen. Hoe sneller begonnen wordt, hoe groter de kans dat voor 2015 effect wordt gesorteerd.

8.4. Aanbevelingen

8.4.1. Leemten in kennis

waterbewegingen
Om de natuurlijkheid van het huidige slibprobleem te kunnen bepalen is inzicht nodig in de waterbewegingen en daarmee gepaard gaande slibtransporten voor de situatie waarbij de menselijke ingrepen (aanleg van de Houtribdijk en de Flevopolder) buiten beschouwing worden gelaten. Een 2 dimensionale WAQUA berekening zoals nu uitgevoerd voor de huidige situatie zou inzicht kunnen geven in de aan- en afvoerroutes van het slib onder natuurlijke omstandigheden.

Markermeer

samenstelling en hoeveelheid sediment
Voor het Markermeer bestaat onvoldoende duidelijkheid over de hoeveelheid aanwezig sediment, de exacte samenstelling en daarmee de herkomst ervan (IJsselmeerafzetting en interne productie). In grote lijnen is de ligging en dikte van de sliblaag bekend (op basis hiervan is een indicatieve slibbalans opgesteld), maar hoeveelheidsberekeningen zijn op basis van de huidige gegevens niet mogelijk. Om de te nemen maatregelen te kunnen concretiseren is een beter beeld nodig van de huidige voorraad en de exacte samenstelling van dit materiaal (dichtheid, valsnelheid, organische stof, droge stof).

Door middel van monstername zou de samenstelling in beeld kunnen worden gebracht. Op basis van deze informatie (de dichtheid van het materiaal bepaald de frequentie (Kc) waarmee gemeten wordt) kan een specifieke peiling (loding) worden uitgevoerd, waarmee de contouren en dikte nauwkeurig worden vastgelegd.

verweking kleibodem
Om meer inzicht te krijgen in de interne slibproductie, zou meer informatie moeten worden verkregen over verweking van de kleibodem. Gerichte bemonstering van de kleibodem kan hier informatie over verschaffen. Aan de hand van deze gegevens kan meer worden gezegd over de erosiegevoeligheid van dek kleibodem en daarmee van de te verwachten interne slibproductie.

visstand
Goede kwantitatieve informatie over de visstand in het Markermeer is nauwelijks beschikbaar. Grote brasem en blankvoorn worden mogelijk niet goed gevangen met de boomkuil die het RIVO in het Markermeer gebruikt. Bemonstering van het Markermeer met een in span geviste stortkuil (conform het STOWA Handboek Visstandbemonstering) wordt in dat licht aanbevolen. Volgens IJsselmeervisser Gerard Manshanden kan het verdwijnen van de driehoeksmosselen in het Markermeer in verband gebracht worden met een sterke toename van blankvoorn in die tijd (getuige zijn vangsten en waarnemingen). In de bemonsteringsgegevens van het RIVO is deze door hem gesignaleerde trend echter geheel niet zichtbaar.

dichtslibben van putten
Voor het dichtslibben bestaat onvoldoende inzicht in de locale processen die spelen. Verondersteld wordt dat de putten in de eerste periode na zandwinning dichtslibben als gevolg van met name dichtheidstroming van slib over de bodem (mud-flow). Slechts een klein deel van het sediment bestaat uit gesedimenteerd zwevend stof. In hoeverre de IJsselmeerafzetting (belangrijkste bron voor het ontstaan van zwevend stof) wordt afgevangen is onduidelijk, maar wordt wel aannemelijk geacht. Nader inzicht hierin is gewenst om het effect van verdiepen op de slibproblematiek te kunnen bepalen. Om dit inzicht te verkrijgen zou naast de samenstelling van de IJsselmeerafzetting ook de samenstelling van het materiaal in de putten moeten worden bepaald. Dit kan door het nemen van bodemmonsters.

Eem- en Gooimeer
Voor het Eem- en Gooimeer geldt dat de biobeschikbaarheid van fosfaat in de bodem en in zwevend stof zou moeten worden bepaald. Dit in combinatie met vrachtberekeningen.

Informatie over de biobeschikbaarheid kan worden verkregen door het slib in het Eemmeer te bemonsteren. Gedacht wordt aan de bemonstering op twee locaties (in de monding van de Eem en in het westelijk Eemmeer), waarbij per locatie een mengmonster wordt gemaakt van circa 10 bodemhappen ter plaatse. Bemonstering dient plaats te vinden van zowel het bovenste, als het , meest waterige deel van het slib. Van de verzamelde monsters zouden ten minste de volgende parameters moeten worden bepaald:
algemene parameters (monsterbeschrijving, droge stofgehalte, gloeirest), totaal-P, totaal-Fe, totaal-S, waterextractie van P, lactaat-acetaat extractie van P. Eventueel zou ook de fractionering van P plaats moeten vinden (welk deel P zit gebonden aan Fe, Ca, organische stof).

aanbevelingen
Aanbevolen wordt de benodigde gegevens (zoals hierboven beschreven) te verzamelen en met behulp van deze gegevens een gedetailleerde uitspraak te doen over de slibbalans.

BIJLAGE I Beschikbare informatie

nr	titel	kwaliteit	relevantie	bruikbaarheid	opmerkingen
1	Geologische en bodemkundige atlas van het Markermeer	+	+	+	nieuwe kaart beschikbaar met dikte holoceen
2	Sediment transport, light and algal growth in the Markermeer	+	++	+	uitgangspunten bruikbaar
3	BEZEM deelrapport 10 Jaarrapportage Zuidelijke randmeren 2000-2003	+	+	+	beschrijving Eem- en Gooimeer
4	Onderzoek Zandwin/stortlocaties 'Rapportage lodingen diepe putten, Programma 1998'	+	-	-	
5	Kaart met stromingssnelheid en -richting onder normale omstandig-heden	+	++		
6	Het voedselweb van IJsselmeer en Markermeer (veldgegevens, hypo-theses, modellen en scenario's)	+	+	+	beschrijving systeem en processen voedselweb
7	Varianten voor natuur, verkenning IJmeer	-	-	-/+	ideën over oplossingsrichtingen
8	Verkenning mogelijke oplossingen slibproblematiek Markermeer	-/+	-/+	-	denkproces bij oplossingsrichtingen
9	BEZEM deelrapport 6 Monitoringsplan Zuidelijke Randmeren	+	-/+	-	
10	Kaart monsterpunten driehoeksmosselen 2002 Gooimeer - Wolderwijd	+			
11	Verandering in bodemligging Markermeer, vergelijking historische en recente overzichtslodingen (voorlopig document)	+	++	++	uitgangspunten en onnauwkeurigheden moeten wel duidelijk in beeld worden gebracht
12	Slibtransport Ijsselmeergebied, calibratie STRESS-2d v.2.0	+	-/+	-	
13	Slibtransport IJsselmeergebied, Meetcampagne 1991-1992	-/+	-/+	-	
14	Afname van de driehoeksmossel in het Markermeer	+	++	+	beschrijving relatie slib en driehoeksmosselen
15	The development of an operational two-dimensional water quality model for lake Marken, the Netherlands	-/+	++	-/+	
16	Driehoeksmosselen (Dreissena polymorpha) in de randmeren in 2002, monitoring 2002	+	+	-	
17	Database met analyseresultaten diverse parameters	+	++	++	grafieken maken om trends te ondekken
18	Sedimentatie-onderzoek vaargeulen (op basis van lodingsgegevens)	+	++	+	sedimentatiegedrag slib
19	Onderzoek Zandwin/stortlocaties 'Rapportage lodingen diepe putten, Programma 1999'	+	+	+	berekening hoeveelheden opgevangen slib uitvoeren
20	Water- en chloridebalans van het Markermeer (periode 1990-1996)	+	-	-	
21	BEZEM deelrapport 1 Waterkwaliteit van de zuidelijke randmeren (Eem- en Gooimeer) 1990-1999	+	+	+	systeembeschrijving en achtergrondvertroebeling
22	BEZEM deelrapport 2 Balansen Zuidelijke Randmeren 1990-1999	+	+	-/+	detailniveau is beperkt (alleen totaalconcentraties)
23	BEZEM deelrapport 4 Effecten van maatregelen op de waterkwaliteit van de Zuidelijke Randmeren	+	+	-/+	erg algemene informatie
24	23. Karakterisering van slib in verband met erosie en sedimentatie (Bureaustudie)	+	+	+	input voor berekening erosie en sedimentatie
25	26, 27, 28, 30, 32. Erosion and deposition characteristics of natural muds Sediments from the Eems-Dollard (Eems Harbour), the Hol-landsch Diep (Sassenplaat and Moerdijkbrug), Ketelmeer and the river Maas (Belfeld)	+	+	+	sedimenttransport in andere wateren
26	31. Flocculation characteristics of natural muds Sediments from Ketelmeer	+	-/+	-	
27	51. Basic theory for predicting bed composition	-/+	-	-	
28	De gevoeligheid voor verwerking van twee bodemslibmonsters uit het Markermeer	-/+	-/+	-/+	beschrijving monstername en visuele samenstelling slib geeft nuttige informatie.
29	Schudproeven Markermeerslib bij verschillend luchtgehalte	-/+	-/+	-/+	
30	Notitie sedimenthuishouding Simon Stevinput (WWKZ-85G.243)	+	+	+	grafiek schuifspanning is bruikbaar
31	Morfologisch onderzoek Noordelijk Deltabekken, morfologische mo-dellering deel IV: samenstelling en dichtheid van sedimenten	+	+	+	alg. relaties fysische componenten
32	Interactie van submersie vegetatie en fysische processen (literatuur-studie)	+	+	+	conclusies bruikbaar, beschrijving algemeen
33	Interactie van submersie vegetatie en fysische processen, 1998 (expe-rimenten)	-/+	+	+	experimenten op labschaal, oplossingsrichtingen
34	Quantification of wind induces resuspension in a shallow lake	?	+	+?	erg technisch verhaal
35	Een vergelijking van een ZWENDL-DELWAQ en een WAQUA-DELWAQ model met 3-slib fracties voor de zuidrand van het Noordelijk Delta-bekken	+	-/+	-	
36	Peilkaarten Eem- en Gooimeer	+	+	+?	meer info nodig over uitgangspunten
37	Werkdocument De invloed van slibgehalte en waterbodemverdiepin-gen op de zoöplanktonproductie in het Markermeer.	+	++	+	oplossingensfeer
38	Bodemfauna en visstand in twee speciale zandwinputten in het Mar-kermeer (BV 86-01)	+	+	+	beschrijving mogelijke maatregelen
39	Zand boven water 2 (literatuurstudie)	+	+	+	kaartmateriaal e.d. handig
40	Contaminant variability in a sedimentation area of the river Rhine	+	+	+	accumulatie slib -> kaart

	Kennis van genomen
	Input gebruik tin de rapportage
	Geen significante informatie binnen het kader van de studie

Witteveen+Bos

water
infrastructuur
milieu
bouw

notitie

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

onderwerp	Literatuurlijst
project	Slibproblematiek Markermeer en Gooi- en Eemmeer
opdrachtgever	Rijkswaterstaat RIZA
projectcode	RW1390-1
referentie	Bijgewerkt: 12 Nov 04
opgemaakt door	Matthijs Timmer
datum opmaak	1 november 2004

nr	**1**
titel	**Geologische en bodemkundige atlas van het Markermeer**
Auteur(s)	
datum	
inhoud	Kaarten: 1. Toelichting 2. diepteligging meerbodem 3. geologische kaart 4. waterbodemkaart 5. toplaag waterbodem 6. dikte Holocene zettingen 7. diepteligging Pleistoceen 8. zandwinkaart
kwaliteit	Goed, van de dikte van het Holoceen is inmiddels een nieuwe digitale kaart aanwezig op basis van de laatste dieptepeilingen
relevantie	Relevant
bruikbaarheid	Goed.
Ontvangen van	Seger van den Brenk

nr	**2**
titel	**Sediment transport, light and algal growth in the Markermeer**
Auteur(s)	Elisabeth H.S. van Duin
datum	jun-92
inhoud	Proefschrift van de studie specifiek naar de relatie tussen het sedimenttransport en lichtklimaat aan de ene kant en de groei van de blauwalg aan de andere kant. De studie betreft een meetprogramma (incl. analyse) en de ontwikkeling van een set dynamische modellen. Er is een dynamisch simulatiemodel ontwikkeld, waarin een sedimenttransportmodel (STRESS-2D) en een lichtuitdovingsroutine (CLEAR) zijn samengevoegd. Vervolgens zijn deze modellen gecombineerd met een algengroei model (ALGRA). Met deze modellen zijn beheersmaatregelen op de groei van blauwalg doorgerekend.

nr	**2**
kwaliteit	Er schijnen vraagtekens bij deze studie te bestaan.
relevantie	Zeer relevant voor de bepaling van het gedrag van sediment in het Markermeer.
bruikbaarheid	Wellicht bruikbaar in combinatie met kennis van de gebruikte modellen.
Ontvangen van	Jasper Hugtenburg

nr	**3**
titel	**BEZEM deelrapport 10 Jaarrapportage Zuidelijke randmeren 2000-2003**
Auteur(s)	RDIJ-rapport 2004-1 W.H. Hulsegge en K. Vendrig (red.)
datum	jan-04
inhoud	De resultaten van de biotische en abiotische meetprogramma's worden in dit rapport besproken. Laatstgenoemde betreft onder meer de aard en ligging van de waterbodem, de peildynamiek en de waterkwaliteit. Voor het Eem- en Gooimeer zijn dieptevergelijkingen gemaakt op basis van peilingen. De peilgegevens van 2001 zijn hierbij vergeleken met oudere meetgegevens. Voor wat betreft de waterkwaliteit zijn eutrofiëringsparameters, doorzicht etc gemeten. Verder zijn debietmetingen bij de Eem gepresenteerd, aan de hand waarvan vrachtberekeningen kunnen worden uitgevoerd.
kwaliteit	Goed
relevantie	Alleen voor Eem- en Gooimeer
bruikbaarheid	Het rapport geeft een goede beschrijving van de ontwikkeling van het Eem- en Gooimeer voor wat betreft de onderzochte parameters. Ook is de dataset is bruikbaar (relevante deel is reeds in bezit). Hierbij concentreren wij ons op de gegevens die inzicht geven in de slibaangroei door transport uit het Markermeer.
Ontvangen van	Karen Oostinga

nr	**4**
titel	**Onderzoek Zandwin/stortlocaties 'Rapportage lodingen diepe putten, Programma 1998'**
Auteur(s)	RDIJ-rapport 99-10 ing. Y.M. Hout
datum	1998
inhoud	De inhoud is vergelijkbaar met de rapportage van 1999, alleen dan minder recent. Zie verder de rapportage van 1999
kwaliteit	
relevantie	Rapportage van 1999 beschikbaar en daarmee is deze rapportage niet relevant
bruikbaarheid	Recentere versie beschikbaar
Ontvangen van	Jasper Hugtenburg

nr	**5**
titel	**Kaart met stromingssnelheid en -richting onder normale omstandigheden**
Auteur(s)	RIZA-WSH.
datum	nov-04
inhoud	
kwaliteit	

nr	**5**
relevantie	
bruikbaarheid	
Ontvangen van	Hans de Waal

nr	**6**
titel	**Het voedselweb van IJsselmeer en Markermeer (veldgegevens, hypotheses, modellen en scenario's)**
Auteur(s)	Eddy Lammens (RIZA rapport 99.008)
datum	mrt-99
inhoud	Het rapport geeft een overzicht van het voedselweb in het Markermeer en IJsselmeer. Hierbij zijn ook gegevens opgenomen van fysisch en chemische parameters.
kwaliteit	Goed
relevantie	Deels, systeembeschrijving is alleen relevant voor de relatie met sediment en zwevend stof.
bruikbaarheid	De gegevens omtrent fysisch en chemische parameters zijn bruikbaar. Ook de beschrijving van het systeem is bruikbaar. De beschrijving van de processen rondom de driehoeksmosselen komt in een andere rapportage uitgebreid aan bod.
Ontvangen van	Jasper Hugtenburg

nr	**7**
titel	**Varianten voor natuur, verkenning IJmeer**
Auteur(s)	Werkteam natuur
datum	mei-04
inhoud	Dit betreft een document waarin een aantal varianten is beschreven voor de versterking van de natuurkwaliteit in het IJmeer. Doordat de huidige natuurkwaliteit aan het verslechteren is, leveren alle drie de aangedragen varianten een versterking van de natuurkwaliteit op. Het inzetten op een robuste en grootschalige manier levert de meeste winst op. Slib speelt in alle drie de varianten een rol. In variant 1 worden veel maatregelen voorgesteld om slib niet in de waterkolom te laten (terechtkomen), maar de varianten 2 en 3 hebben ook invloed op het gedrag van slib.
kwaliteit	Verkenning ideeën, workshop, geen (uitgebreid) onderzoek ter onderbouwing van de uitkomsten bij de afwegingen van varianten
relevantie	Niet relevant, in dit document worden oplossingsrichtingen aangedragen en wordt slechts een globale probleembeschrijving gegeven.
bruikbaarheid	Als achtergrondinformatie
Ontvangen van	Jasper Hugtenburg

nr	**8**
titel	**Verkenning mogelijke oplossingen slibproblematiek Markermeer**
Auteur(s)	RDIJ werkdocument 2004-3 R.W. Doef
datum	jul-04

nr	**8**
inhoud	In het document worden mogelijke oplossingen aangedragen voor het slibprobleem in het Markermeer. Oplossingen worden noodzakelijk geacht om onder meer de doelen vanuit de KRW en VHR (Vogel en Habitat Richtlijn) te kunnen halen. Als probleemschets m.b.t. het slib in het Markermeer wordt verwezen naar het rapport omtrent de afname van de driehoeksmossel in het Markermeer (Noordhuis & Houwing, 2003). Middels een aantal vraagstukken (vergelijkbaar met het huidige onderzoek dat momenteel door W+B wordt uitgevoerd) zijn oplossingen aangedragen. Uitkomst is dat een combinatie van oplossingen moet worden gezocht Voor een nauwkeuriger beeld is aanvullend onderzoek nodig.
kwaliteit	Het betreft een verslag van een aantal workshops.
relevantie	Het onderwerp is relevant, maar het betreft slechts een constatering van het probleem.
bruikbaarheid	Het betreft een korte weergave van een soort denkproces. Deze informatie is nuttig om in gedachten te houden bij het aandragen van oplossingen. Concreet is de informatie echter niet buikbaar.
Ontvangen van	Jasper Hugtenburg

nr	**9**
titel	**BEZEM deelrapport 6 Monitoringsplan Zuidelijke Randmeren**
Auteur(s)	K.D. Oostinga, S.G. Lauwaars, N.H.J. Wijnstok, R.E. Rijsdijk
datum	okt-02
inhoud	Het rapport geeft een overzicht van monitoringsactiviteiten en geeft een kapstok voor het beschrijven van de ecologie, waterkwaliteit en –kwantitieit. De ligging van de waterbodem wordt eens per 10 jaar gepeild. De waterkwaliteit wordt maandelijks bepaald. De Driehoeksmosselen worden eens per twee jaar gemonitord. De samenstelling van de waterbodem wordt niet structureel gemeten; Van zwevend stof worden wel structureel gegevens verzameld. In het monitoringsplan wordt aangegeven dat een intensivering van de monitoring van de ligging van de waterbodem niet hoeft plaats te vinden.
kwaliteit	goede kwaliteit
relevantie	Alleen Eem- en Gooimeer
bruikbaarheid	Het monitoringsplan zelf is eigenlijk niet bruikbaar. Alleen de gebruikte locaties kunnen worden meegenomen bij de afweging van de selecteren locaties voor het verzamelen van detailgegevens. De reeds verzamelde meetgegevens kunnen wel worden gebruikt om de concentraties en het verloop van de gehaltes te kunnen zien. Deze gegevens zijn in een database aangeleverd (separate verwijzing).
Ontvangen van	Rob Portielje

nr	**10**
titel	**Kaart monsterpunten driehoeksmosselen 2002 Gooimeer - Wolderwijd**
Auteur(s)	RDIJ
datum	2002
inhoud	Deze kaart behoort bij de monitoring van 2002 en is dus al opgenomen
kwaliteit	
relevantie	
bruikbaarheid	

nr	**10**
Ontvangen van	Karen Oostinga

nr	**11**
titel	**Verandering in bodemligging Markermeer, vergelijking historische en recente overzichtslodingen (voorlopig document)**
Auteur(s)	RDIJ afdeling meet- en informatiedienst
datum	aug-03
inhoud	Getracht is de bodemverandering in beeld te brengen aan de hand van historische en recente peilingen. Hiervoor is een DTM gegenereerd uit data rond 1990 en het actuele dieptebestand (bijgewerkt t/m december 2001). De nauwkeurigheid van de gebruikte data varieert. De overzichtslodingen hebben een onderlinge raaiafstand van 200 m, waardoor een deel van de variatie in het bodemprofiel niet wordt meegenomen. Verder heeft interpolatie plaatsgevonden. In de DTM van 2001 zijn ook zeer nauwkeurige metingen (met multibeam) meegenomen. Dit vergroot de nauwkeurigheid, maar maakt het vergelijk met oude data niet per definitie betrouwbaarder. Door de DTM 's van elkaar af te trekken is een verschilkaart gegenereerd waarin met kleuren een toename (rood) of afname (blauw) van de bodem is aangegeven.
kwaliteit	De beschikbare gegevens zijn zo goed mogelijk gebruikt. Het lijkt erop dat hiermee de hoogst mogelijke kwaliteit wordt gerealiseerd. Het gebruik van oude peilingen blijft echter lastig vergelijkbaar. Daarnaast is de onderlinge raaiafstand van 200 m bij de overzichtslodingen onnauwkeurig ter plaatse van putten.
relevantie	Zeer relevant. Middels deze exercitie is de verplaatsing van de bodem (erosie en sedimentatie) in beeld gebracht.
bruikbaarheid	Waarschijnlijk bruikbaar. De gebruikte uitgangspunten en onnauwkeurigheden moeten hierbij wel duidelijk in beeld worden gebracht.
Ontvangen van	Seger van den Brenk

nr	**12**
titel	**Slibtransport Ijsselmeergebied, calibratie STRESS-2d v.2.0**
Auteur(s)	RDIJ rapport 1996-2LI C.L.M. van de Ven en N.J. Klaver
datum	1996
inhoud	Het rapport beschrijft de calibratie en validatie van het model STRESS 2-D voor 4 parameters voor vijf verschillende slibfracties. Dit wordt uitgevoerd op de zwevend stof-concentratie en de sedimentatieflux. In 1992 zijn sedimentatiefluxen en series zwevende stof concentraties bepaald. Het model bestaat deels uit Waqua (slibtransport in de waterfase) en uit een bodemmodel waarbij de uitwisseling van slib in de waterfase en de bodem en de menging in de bodem wordt gemodelleerd. Waterbodemkwantiteitsontwikkelingen worden berekend met het model DIASPORA. De gegevens uit STRESS 2-D kunnen als input dienen.
kwaliteit	Het betreft een calibratie, dus de kwaliteit is toegenomen t.o.v. het model van voor 1996.
relevantie	In de rapportage wordt het IJsselmeer als onderzoeksgebied gebruikt. Een vertaalslag naar het Markermeer is lastig doordat de invloeden en bodemligging anders zijn.
bruikbaarheid	Binnen de gestelde tijd is het niet mogelijk berekeningen met dit model uit te voeren. Hooguit geeft de beschrijving van het bodemmodel informatie over de processen die zich afspelen qua erosie, resuspensie en sedimentatie.

nr	**12**
Ontvangen van	Jasper Hugtenburg

nr	**13**
titel	**Slibtransport IJsselmeergebied, Meetcampagne 1991-1992**
Auteur(s)	RDIJ rapport 1995-29 LIO C.L.M. van de Ven, T. Vendrig en H.J. Winkels
datum	1995
inhoud	Het rapport beschrijft de methode voor het meten van een aantal variabelen die zijn gebruikt voor het model STRESS 2-D. De manier van meten, de verwerking en de resultaten worden besproken. De gegevens zijn verzameld voor het IJsselmeer.
kwaliteit	Het systeem is in 1996 verbeterd.
relevantie	Het onderwerp is zeer relevant, de gegevens hebben echter betrekking op het IJsselmeer.
bruikbaarheid	De verzamelde gegevens zijn afkomstig uit het IJsselmeer. Hooguit is dit te gebruiken om een uitspraak te doen van de situatie voor de aanleg van de Houtribdijk.
Ontvangen van	Jasper Hugtenburg

nr	**14**
titel	**Afname van de driehoeksmossel in het Markermeer**
Auteur(s)	RIZA rapport 2003.016 Ruurd Noordhuis en Erik-Jan Houwing
datum	aug-03
inhoud	De oorzaken voor de afname van de driehoeksmosselen wordt onderzocht, waarbij ook de relatie tussen deze mosselen en sediment naar voren komt. Bij vermindering van de structurele hoeveelheid zwevend stof zou de populatie moeten kunnen herstellen. In de rapportage worden ook aanbevelingen gedaan voor aanvullend onderzoek naar de hardheid van de bodem.
kwaliteit	Goed
relevantie	Met name de relatie tussen driehoeksmosselen en sediment is zeer relevant
bruikbaarheid	Het rapport geeft een heldere beschrijving van de relatie tussen slib en de driehoeksmosselen. Deze relatie is echter al bekend. Daarnaast worden meetpunten (boorlocaties) genoemd.
Ontvangen van	Jasper Hugtenburg

nr	**15**
titel	**The development of an operational two-dimensional water quality model for lake Marken, the Netherlands**
Auteur(s)	E.H.S. van Duin en L.Lijklema
datum	1989
inhoud	Om de invloed van de ingrepen (aanleg dijk) op de algengroei te voorspellen is een 2-Dimensionaal model ontwikkeld. Het document beschrijft een aantal verschillende applicaties. De basis is Waqua, de belangrijkste toevoeging is STRESS 2-D (Sediment Transport, Resuspension and Sedimentation in Shallow lakes). Binnen dit model kan gesuspendeerd materiaal worden onderverdeeld in fracties en valsnelheid. De notitie beschrijft welke data als input is verzameld
kwaliteit	Onduidelijk
relevantie	Zeker relevant, met het model wordt getracht grip te krijgen op het transport van sediment in het Markermeer.

nr	**15**
bruikbaarheid	Model is verouderd en wordt niet meer gebruikt. Wellicht is er wel op voortgeborduurd
Ontvangen van	Jasper Hugtenburg

nr	**16**
titel	**Driehoeksmosselen (Dreissena polymorpha) in de randmeren in 2002, monitoring 2002**
Auteur(s)	J. Smits, N. Kuyembeh (RDIJ) en A. Bak, S. Bouma, P. Schouten (Bureau Waardenburg)
datum	jan-03
inhoud	Het rapport beschrijft de monitoring van de driehoeksmosselen. Ook worden oorzaken aangegeven van de geconstateerde afname. De beschrijving van het systeem waarin de mossel zich goed staande kan houden is ook terug te vinden in de rapportage 'afname van de Driehoeksmossel in het Markermeer'. De cijfers specifiek voor Eem- en Gooimeer staan in onderhavig document.
kwaliteit	Tabellen en aantal figuren ontbreken, verder goed
relevantie	Voor Eem- en Gooimeer: cijfers, de algemene beschrijving rondom driehoeksmosselen: zie rapportage 'afname van de Driehoeksmossel in het Markermeer'
bruikbaarheid	Zie kwaliteit, voorlopig geen actie
Ontvangen van	Jasper Hugtenburg

nr	**17**
titel	**Database met analyseresultaten diverse parameters**
Auteur(s)	n.v.t.
datum	
inhoud	Dataset afkomstig uit onder meer DONAR, TOWABO met de gemeten parameters in zowel het Markermeer als het Eem- en Gooimeer. Het betreft uiteenlopende data van zowel fysische als chemische parameters.
kwaliteit	goed
relevantie	zeer relevant. Met deze dataset kunnen trends in de tijd worden gelokaliseerd en vervolgens geanalyseerd. In het onderzoek worden uitsluitend fysische parameters en parameters in relatie tot eutrofiëring geanalyseerd.
bruikbaarheid	Bruikbaar. De nauwkeurigheid en volledigheid van de analyse is met name afhankelijk van de volledigheid van de dataset.
Ontvangen van	Seger van den Brenk

nr	**18**
titel	**Sedimentatie-onderzoek vaargeulen (op basis van lodingsgegevens)**
Auteur(s)	RDIJ S. van den Brenk
datum	dec-02
inhoud	Voor het ontwikkelen van een baggerstrategie is nagegaan in hoeverre op basis van bestaande lodingen kunnen worden gebruikt om de dichtslibbing van de vaargeul en 2 proefputten kan worden aangegeven. Binnen de putten is een vak gedefinieerd waarbinnen de uitgevoerde metingen op dezelfde manier geïnterpoleerd en gekubeerd konden worden. De resultaten laten zien dat de putten vrijwel geheel zijn dichtgeslibd. De taluds zijn van invloed op het sedimentatiegedrag.

nr	**18**
	Voor de vargeul zijn nog onvoldoende gegevens voor handen om uitspraken te kunnen doen.
kwaliteit	Goed. Er is nauwkeurig gekeken naar de methode van vergelijking van lodingsgegevens.
relevantie	Zeer relevant
bruikbaarheid	De informatie is bruikbaar. Het schets een beeld over het sedimentatiegedrag van het slib en er worden uitspraken gedaan over de invloed van taluds. Dichtheidsmetingen zouden de bruikbaarheid van de informatie nog vergroten. Een optie zou zijn de snelheid waarmee slib in putten verdwijnt te ramen.
Ontvangen van	Seger van den Brenk

nr	**19**
titel	**Onderzoek Zandwin/stortlocaties 'Rapportage lodingen diepe putten, Programma 1999'**
Auteur(s)	RDIJ rapport 99-11 ing. Y.M. van Hout en ing. A. Vrolijk
datum	1999
inhoud	Van de putten die in het IJsselmeergebied aanwezig zijn, is een schatting van de inhoud gemaakt dmv nauwkeurige lodingen (1998). Door een monitoring wordt de aanslibbing in de putten gevolgd. Hierbij worden de nauwkeurige lodingen vergeleken met de lodingen in de 10 jaarlijkse meetronde. De onderlinge raaiafstand is hierbij echter 200 m, waardoor relatief kleine putten onnauwkeurig in beeld zijn gebracht.
kwaliteit	De kwaliteit van de nieuwe lodingen is goed.
relevantie	De locaties van aanwezige putten is relevant. Ook de afmetingen en dieptes zijn bruikbaar. De berekening van hoeveelheden opgevangen slib is nog niet opgenomen.
bruikbaarheid	Informatie per put
Ontvangen van	Karen Oostinga

nr	**20**
titel	**Water- en chloridebalans van het Markermeer (periode 1990-1996)**
Auteur(s)	S. Koeselman
datum	apr-98
inhoud	Het rapport beschrijft de balans van water en chloride in het Markermeer. De belangrijkste aanvoerposten van water en chloride zijn de Houtribsluis en de Krabbersgatsluizen die in de zomerperiode het streefpeil in stand houden door water in te laten.
kwaliteit	Goed
relevantie	Het aspect van de waterbodem, sediment, zwevend stof komt niet aan bod .
bruikbaarheid	Hooguit de aan- en afvoerroutes voor het water zijn te gebruiken, maar voorlopig lijkt dit niet bruikbaar.
Ontvangen van	Karen Oostinga

nr	**21**
titel	**BEZEM deelrapport 1 Waterkwaliteit van de zuidelijke randmeren (Eem- en Gooimeer) 1990-1999**
Auteur(s)	RIZA rapport 2001.018 R. Portielje, R. Noordhuis en M-L. Meijer

nr	**21**
datum	feb-01
inhoud	De uitgangssituatie voor verder herstel van de waterkwaliteit is in beeld gebracht. Ook de ontwikkelingen tussen 1990 en 1999 zijn beschreven. Het zomergemiddelde totaal P is na 1990 fors afgenomen. Doorzicht en chlorofyl-a voldoen in het Gooimeer in 1999 aan de MTW waarden. Als mogelijke oorzaak voor de verbetering van het doorzicht worden de driehoeksmosselen en de uitputting van de pool aan gemakkelijk opwervelbaar sediment door doorspoeling of sedimentatie in diepere delen.
kwaliteit	
relevantie	Alleen Eem- en Gooimeer, wel relevant (pagina 17 beschrijft de achtergrondvertroebeling; pagina 22 beschrijft de waterbodemkwaliteit (éénmalig gemeten in 1990 (alleen totaal-concentraties))
bruikbaarheid	Systeembeschrijving is helder
Ontvangen van	Karen Oostinga

nr	**22**
titel	**BEZEM deelrapport 2 Balansen Zuidelijke Randmeren 1990-1999**
Auteur(s)	RDIJ rapport 2001-3 K.D. Oostinga
datum	apr-01
inhoud	Het rapport beschrijft de balansen (met aan- en afvoerposten) van verschillende stoffen in de zuidelijke randmeren. De concentratie totaal-fosfaat is inde '90 er jaren afgenomen, ook de totaal-fosfaat belasting is afgenomen In het rapport worden wegzijging en berging van stoffen genoemd. De berging wordt <1% van de totale vracht verondersteld. De omvang van de retentie (omzetting van stoffen) of nalevering is niet aangegeven. Voor fosfaat wordt aangegeven dat retentie de overhand heeft boven nalevering. Er gaat meet totaal fosfaat en stikstof het gebied in, dan dat er uit komt.
kwaliteit	Goed
relevantie	Locaties meetpunten kunnen mogelijk worden gebruikt
bruikbaarheid	Het rapport geeft inzicht in de aanvoer van stoffen in en via het water. In hoeverre de aangevoerde stoffen zich binden aan het slib is niet aangegeven
Ontvangen van	Karen Oostinga

nr	**23**
titel	**BEZEM deelrapport 4 Effecten van maatregelen op de waterkwaliteit van de Zuidelijke Randmeren**
Auteur(s)	RIZA rapport 2001.056 R. Portielje, K.D. Oostinga, C.W.M. Boender-Daane
datum	2001
inhoud	Het betreft een analyse om de effecten te kunnen inschatten van diverse maatregelen om de waterkwaliteit te verbeteren. De maatregelen zijn met name gericht op het terugdringen van externe fosfaatbelasting en het stimuleren van waterplanten en driekhoeksmosselen. In het rapport wordt het verlagen van resuspensie genoemd, maar niet uitgewerkt door het ontbreken van betrouwbare kwantitatieve gegevens. Als ecologische maatregelen worden onder meer ver(on)diepen en natuurontwikkeling genoemd. Een afname van achtergrondtroebeling (p.22) wordt met name voor het Eemmeer mogelijk geacht. Voor het Gooimeer wordt aangegeven dat de achtergrond vertroebeling al laag is.
kwaliteit	
relevantie	Alleen voor Eem- en Gooimeer van toepassing

nr	**23**
bruikbaarheid	De informatie is erg algemeen, geen gedetailleerde informatie beschikbaar
Ontvangen van	Karen Oostinga

nr	**24**
titel	**23. Karakterisering van slib in verband met erosie en sedimentatie (Bureaustudie)**
Auteur(s)	E. Allersma Rijkswaterstaat Waterloopkundig laboratorium
datum	april 1998
inhoud	In deze notitie wordt aangegeven welke eigenschappen van het slib moeten worden bepaald om het materiaal voldoende te kunnen karakteriseren. Deze eigenschappen dienen als basis voor de berekening van erosie- en sedimentatie processen . In het rapport worden basis formules genoemd voor onder meer erosie, sedimentatie, transportsnelheid, valsnelheid.
kwaliteit	Het betreft een zeer algemene beschrijving
relevantie	Het geeft een overzicht van benodigde input voor berekenen erosie en sedimentatie.
bruikbaarheid	De informatie kan als achtergrondinformatie dienen. Veel van de benodigde gegevens zijn voor het Markermeer en Eem- en Gooimeer niet beschikbaar.
Ontvangen van	Jasper Hugtenburg

nr	**25**
titel	**26, 27, 28, 30, 32. Erosion and deposition characteristics of natural muds Sediments from the Eems-Dollard (Eems Harbour), the Hollandsch Diep (Sassenplaat and Moerdijkbrug), Ketelmeer and the river Maas (Belfeld)**
Auteur(s)	J.M. Cornelisse, C. Kuijper, J.C. Winterwerp Rijkswaterstaat Delft Hydraulics
datum	november 1990
inhoud	Middels een serie rapporten is een inventarisatie uitgevoerd naar de eigenschappen van slib op meerdere locaties in Nederland. Doel hiervan was meer inzicht te krijgen in het erosie- en sedimentatiegedrag van natuurlijk slib en aan de hand daarvan in het sedimenttransport. Per rapport zijn eigenschappen van het sediment verzameld en geanalyseerd. De fysische en mathematische beschrijving van het transportproces zou als input kunnen worden gebruikt in modellen om het transport te modelleren.
kwaliteit	Goed
relevantie	De rapportages geven inzicht in het sedimenttransport van andere wateren.
bruikbaarheid	De verzamelde gegevens zijn mogelijk te vergelijken met de eigenschapen van het sediment in het Markermeer, Eem- en Gooimeer. Indien dit mogelijk blijkt (m.n. afhankelijk van de beschikbare informatie van het Markermeer, Eem- en Gooimeer), kan een vergelijk worden gemaakt over het te verwachten sedimenttransport.
Ontvangen van	Jasper Hugtenburg

nr	**26**
titel	**31. Flocculation characteristics of natural muds Sediments from Ketelmeer**
Auteur(s)	J.M. Cornelisse, C. Kuijper, J.C. Winterwerp Rijkswaterstaat Delft Hydraulics
datum	November 1990

nr	26
inhoud	In het rapport wordt een beschrijving gegeven van de test die is uitgevoerd ter bepaling van het flocculatiegedrag van een sedimentmonster uit het Ketelmeer. Verder zijn van het sediment de fysische eigenschappen bepaald die gebruikt worden voor het vullen van een database waarmee verdere studie naar het transportgedrag kan worden uitgevoerd.
kwaliteit	Goed
relevantie	De gegevens hebben betrekking op sediment in het Ketelmeer. De eigenschappen van dit sediment zouden moeten worden vergeleken met die van het Markermeer en Gooi- en Eemmeer. Gegevens over de minerale samenstelling zijn waarschijnlijk echter onvoldoende voor handen.
bruikbaarheid	Afhankelijk van de beschikbare informatie, maar waarschijnlijk beperkt.
Ontvangen van	Jasper Hugtenburg

nr	27
titel	**51. Basic theory for predicting bed composition**
Auteur(s)	Z.B. Wang Rijkswaterstaat Delft Hydraulics
datum	Oktober 1996
inhoud	In het rapport wordt gezocht naar een methode om de samenstelling van de waterbodem te modelleren. Evenals in andere rapporten worden de volgende parameters genoemd die het erosie en sedimentatiegedrag bepalen: waterdiepte, slibconcentratie, tijd, schuifspanning (zowel voor erosie als sedimentatie). De bodemschuifspanning is nauw gerelateerd aan de ruwheid van de bodem. In het rapport wordt aangegeven dat de samenstelling van de bodem erg afhangt van de plaats en tijd van opname.
kwaliteit	Het betreft een theoretische beschouwing, testen op velddata heeft nog niet plaatsgevonden.
relevantie	Minder relevant
bruikbaarheid	Niet echt bruikbaar
Ontvangen van	Jasper Hugtenburg

nr	28
titel	**De gevoeligheid voor verwerking van twee bodemslibmonsters uit het Markermeer**
Auteur(s)	ir. J. Lindenberg, Grondmechanica Delft
datum	juni 1988
inhoud	Een ongeroerd slibmonster uit het markermeer is gebruikt voor het bepalen van de verweking van de slibbodem onder invloed van golfbelasting. Onder en ten zuidoosten van het eiland Marken werd geen slib aangetroffen (onder het eiland werden zand en oesterschelpen aangetroffen). In een hoek van het Oostvaarderdiep werd op 7 m een dikke zwarte sliblaag aangetroffen en bemonsterd (waarschijnlijk niet-natuurlijk slib) en ten westen van de Oostvaardersdijk (nabij Lelystad) is een natuurlijke sliblaag aangetroffen van meer dan 50 cm diep. Hier is ook een monster van genomen. In de bodem zijn aanwijzingen gevonden van rottingsprocessen (gasvorming). Het eerste monster was niet representatief voor het Markermeer. Resultaten: volumegewicht natuurlijk monster: 1210 kg/m^3, organische stof 5,1%, lutum: 12% (d50: 13µm, d10: 2µm, d90: 32µm). Het slib bestaat overwegend uit silt. De schudproef laat zien dat verweking mogelijk in de bovenlaag van natuurslib zou kunnen optreden. De dichtheid van het slib is aan het oppervlak (bovenste 35 mm) aanzienlijk lager. Enkele globale berekeningen laten zien dat het slib als gevolg van aangenomen golfcondities tot

nr	28
	een diepte van 5,5 mm zou kunnen verweken.
kwaliteit	Een experimentele onderzoeksmethode, waarbij geen rekening is gehouden met gasvorming
relevantie	Er wordt een globaal beeld gegeven over de destijds aangetroffen bodemopbouw tpv de monsternamelokaties.
bruikbaarheid	Er kunnen geen betrouwbare uitspraken worden gedaan als gevolg van het experimentele karakter van de onderzoeksmethode. De beschrijving van de monstername en de visuele samenstelling van het slib geeft wel nuttige informatie.
Ontvangen van	Jasper Hugtenburg

nr	29
titel	**Schudproeven Markermeerslib bij verschillend luchtgehalte**
Auteur(s)	ir. J. Lindenberg, Grondmechanica Delft
datum	februari 1989
inhoud	In dit onderzoek is wederom een schudproef utgevoerd. Het volumegewicht was bij dit monster 1430 kg/m³ ipv 1210 kg/m³. Dit verklaart mogelijk dat in dit monster geen verweking optrad. Verder blijkt uit dit onderzoek dat de gevoeligheid van generatie van waterspanning toeneemt naar mate het lucht- of gasgehalte lager is.
kwaliteit	Evenals in het voorgaande onderzoek betreft het een experimentele onderzoeksmethode
relevantie	De relevantie is onduidelijk
bruikbaarheid	De bruikbaarheid is afhankelijk van de beschikbare gegevens van eigenschappen van het sediment in het Markermeer en Eem- en Gooimeer.
Ontvangen van	Jasper Hugtenburg

nr	30
titel	**Notitie sedimenthuishouding Simon Stevinput (WWKZ-85G.243)**
Auteur(s)	ir. M. Pluim (KZC) en J. Bossinade (KZS)
datum	14 mei 1985
inhoud	Om de mogelijkheden voor het realiseren van een baggerspeciestort in zee (onder water) na te gaan, is onderzoek verricht naar het gedrag van sediment (erosie en sedimentatie) ter plaatste van een gebaggerde put. Er worden fysische grondslagen en sedimenttransportcapaciteiten berekend, waarbij onderscheid wordt gemaakt tussen aanslibbing en aanzanding. Ook is de sedimenthuishouding gekwantificeerd.
kwaliteit	In het onderzoek zijn onder meer de invloed van gasgehalte, slibconsolidatie, invloed van golven en stroming en in situ valsnelheden onvoldoende uitgediept
relevantie	Met name de grafiek van kritische schuifspanning als functie van de natte dichtheid en het slibgehalte is relevant.
bruikbaarheid	Zie relevantie
Ontvangen van	Jasper Hugtenburg

nr	31
titel	**Morfologisch onderzoek Noordelijk Deltabekken, morfologische modellering deel IV: samenstelling en dichtheid van sedimenten**
Auteur(s)	E. Allersma, Waterloopkundig Laboratorium

nr	31
datum	september 1988
inhoud	Het rapport beschrijft de berekening van volumes in droge stof, specifiek voor de verschillende sedimenten (verse, geconsolideerde en oudere afzettingen). Het gehalte aan droge stof wordt in relatie gebracht met de verdeling zand en slib in sediment.
kwaliteit	Goed
relevantie	De beschrijving van algemene relaties van verschillende fysische componenten is bruikbaar. Mogelijk kunnen de gepresenteerde meetgegevens en relaties als vergelijk dienen met het Markermeer.
bruikbaarheid	Mogelijk
Ontvangen van	Jasper Hugtenburg

nr	32
titel	**Interactie van submersie vegetatie en fysische processen (literatuurstudie)**
Auteur(s)	ir. G. Boot, Delft Hydraulics
datum	februari 1998
inhoud	Dit rapport beschrijft de processen die een rol spelen bij de interactie tussen submerse (=ondergedoken) vegetatie en biota.. Dit naar aanleiding van de sterke gradiënt in doorzicht tussen waterplantvelden en omringend troebel water. Het rapport geeft een theoretische beschrijving, waarbij met name de randmeren worden beschreven. De belangrijkste conclusies: - een ondergedoken vegetatieveld heeft invloed op de waterbeweging - waterplanten kunnen de waterstromen sturen - de stroomsnelheid neemt af in een waterplantenveld en dit resulteert in meer (netto) sedimentatie - de ruwheid van de vegetatie is een belangrijke factor
kwaliteit	Het betreft een goede algemene beschrijving, maar het detailniveau is beperkt.
relevantie	ja
bruikbaarheid	De conclusies zijn bruikbaar in de analyse. De sturing die aan de processen kan worden gegeven is echter niet uitgewerkt.
Ontvangen van	Jasper Hugtenburg

nr	33
titel	**Interactie van submersie vegetatie en fysische processen, 1998 (experimenten)**
Auteur(s)	I. Tánczos, M. de Vries, Delft Hydraulics
datum	maart 1999
inhoud	In dit rapport wordt beschreven op welke wijze getracht is middels experimenten een beter beeld te krijgen op de invloed van de submerse vegetatie op het slibtransport. De resultaten van de experimenten laten zien dat de concentratie zwevend slib boven een plantenveld steeds verder afneemt. Er is een verband gevonden tussen de turbulentie en de verandering in slibconcentraties. Vervolgens is het proces gesimuleerd in een model. Aanstroomsnelheid, bodemruwheid en ruwheid van het plantenbed bepalen de hydraulische meetresultaten. De valsnelheid en kritieke schuifspanning zijn verder belangrijke parameters die het sedimentatiegedrag bepalen. De afname van sedimentatiesnelheid enkel door de aanwezigheid van

nr	33
	submerse vegetatie is echter onvoldoende om de helderheid van het water te veranderen. Het in het veld aangetroffen verschil in helderheid van het water wordt mogelijk verklaard als gevolg van golfwerking (wind). Middels nader onderzoek zou hier meer informatie over moeten worden verkregen.
kwaliteit	Het betreft een analyse aan de hand van experimenten op labschaal. De vertaalslag naar het veld is lastig (golfbewegingen spelen waarschijnlijk een essentiële rol).
relevantie	ja
bruikbaarheid	Het rapport kan sturend zijn voor de richting waarin oplossingen moeten worden gezocht.
Ontvangen van	Jasper Hugtenburg

nr	34
titel	**Quantification of wind induces resuspension in a shallow lake**
Auteur(s)	R.H. Aalderink, L. Lijklema, J. Breukelman, W. van Raaphorst, A.G. Brinkman
datum	1984
inhoud	Op basis van fysische relaties die bekend zijn vanuit de theorie of uitgevoerde experimenten, statistische relaties gebaseerd op veldwaarnemingen en analyses van veranderingen in de tijd, is een studie uitgevoerd met als doel de door wind veroorzaakte resuspensie te kwantificeren. Twee mechanismen worden in ogenschouw genomen: - de door wind veroorzaakte circulatie, wat een dusdanige schuifspanning op de bodem veroorzaakt dat sedimentdeeltjes worden opgewoeld. - golven door de wind gevormd die waterbewegingen veroorzaken die zijn 'attentuated' bij toename in de diepte Ook dit kan een kritieke schuifspanning veroorzaken waarbij sediment wordt opgewoeld. De invloed van wind verschilt per plaats. Het Somlyódy's model wordt aanbevolen om de invloed van wind te simuleren.
kwaliteit	moeilijk in te schatten, erg technisch verhaal.
relevantie	ja
bruikbaarheid	Mogelijk de uitgangspunten en formules
Ontvangen van	Jasper Hugtenburg

nr	35
titel	**Een vergelijking van een ZWENDL-DELWAQ en een WAQUA-DELWAQ model met 3-slib fracties voor de zuidrand van het Noordelijk Deltabekken**
Auteur(s)	J. van Zetten
datum	januari 1994
inhoud	Vanaf hoofdstuk 4 wordt een beschrijving gegeven van de fysische en chemische processen in slib. Hierbij wordt het Noordelijk Deltabekken als uitgangspunt aangehouden, maar veel processen m.b.t. erosie, sedimentatie, transport zullen vergelijkbaar zijn met het onderzoeksgebied.
kwaliteit	Een algemene beschrijving van de processen die plaats vinden. De formule voor sedimentatie (Krone) wordt grof genoemd.
relevantie	ja, maar de details zijn uitgewerkt voor een andere onderzoeksgebied
bruikbaarheid	Op basis van deze beschrijving kan mogelijk een vertaalslag worden gemaakt naar het Markermeer en Gooi- en Eemmeer. In hoeverre een kwantificering van processen zoals erosie en sedimentatie kan worden gemaakt, hangt met name af van de beschikbare gegevens en de tijd die nodig is om

nr	35
	een betrouwbare doorrekening te maken. Naar verwachting zijn beide voorwaarden onvoldoende voor handen.
Ontvangen van	Jasper Hugtenburg

nr	36
titel	**Peilkaarten Eem- en Gooimeer**
Auteur(s)	
datum	1991/93 en 2001
inhoud	Peilkaarten van dieptemetingen in het Eem- en Gooimeer. Op de kaarten is de gemeten diepte ingetekend en zijn enkele contouren (op basis van deze metingen) ingetekend. Er is gemeten in raaien met een onderlinge afstand van 100 of 200 m.
kwaliteit	goed, alleen de gebruikte frequentie is niet overal aangegeven. Dit is waarschijnlijk wel te achterhalen.
relevantie	ja
bruikbaarheid	Onderling vergelijk is lastig. Een digitale versie zou dit kunnen vergemakkelijken. In hoeverre onderling vergelijk mogelijk is hangt verder af van de overeenkomsten cq. verschillen in meetmethode.
Ontvangen van	Karen Oostinga

nr	37
titel	**Werkdocument De invloed van slibgehalte en waterbodemverdiepingen op de zoöplanktonproductie in het Markermeer.**
Auteur(s)	S.G. Vermij, G. Blom, E. van Donk en E.H.S. van Duin
datum	1992
inhoud	Dit document bevat een bundeling van onderzoeken die zijn uitgevoerd naar de invloed van aan te brengen verdiepingen in het Markermeer op de slibgehalten in relatie tot algengroei. Middels ALGRA en STRESS 2-D zijn simulaties gemaakt van ingrepen die zouden moeten leiden tot een verbetering van de waterkwaliteit. De resultaten van de promotie van mw Van Duin wordt deels verder uitgewerkt en dienen als basis voor de uitgevoerde onderzoeken. appendix A: Interacties tussen zwevende vaste deeltjes en zoöplankton appendix B: Minder slib in het Markermeer appendix C: het effect van slibvangen op het slibgehalte in het Markermeer
kwaliteit	goed
relevantie	zeer relevant, de effecten van ingrepen zijn voorspeld (onder meer de afmetingen van verdiepingen)
bruikbaarheid	In de oplossingensfeer bruikbaar
Ontvangen van	Informatie en Documentatie W+B

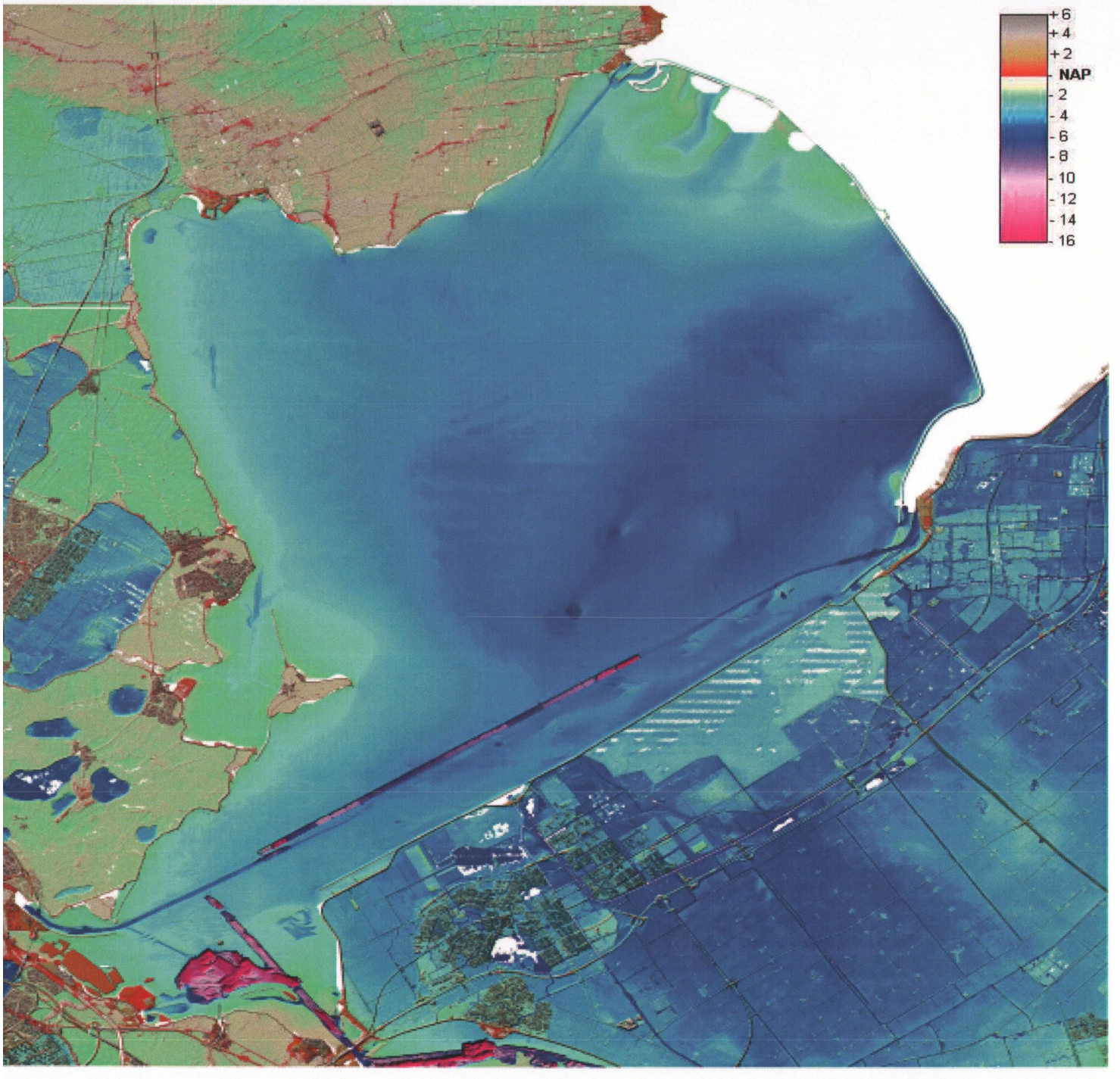
nr	38
titel	**Bodemfauna en visstand in twee speciale zandwinputten in het Markermeer (BV 86-01)**
Auteur(s)	J.W. v/d Heul en W.G. Cazemier (RIVO)
datum	1986
inhoud	Het rapport beschrijft de effecten op bodemfauna en vis als gevolg van de aanleg van de twee (proef) zandwinputten in het Markermeer. De putten zijn aangelegd onder een verschillend talud, teneinde het effect van de hellingshoek te onderzoeken. Ook is het verschil tussen aan- en afwezigheid van een periode van stratificatie onderzocht (met stratificatie bleek het bodem-

nr	38
	voedselaanbod duidelijk slechter). De hellingshoek van het talud speelde geen rol in de verspreiding van bodemvoedsel.
kwaliteit	goed, een duidelijke effectbeschrijving
relevantie	In de relatie met ecologie is het rapport relevant.
bruikbaarheid	Het rapport is bruikbaar bij de beschrijving van mogelijke maatregelen
Ontvangen van	Informatie en Documentatie W+B

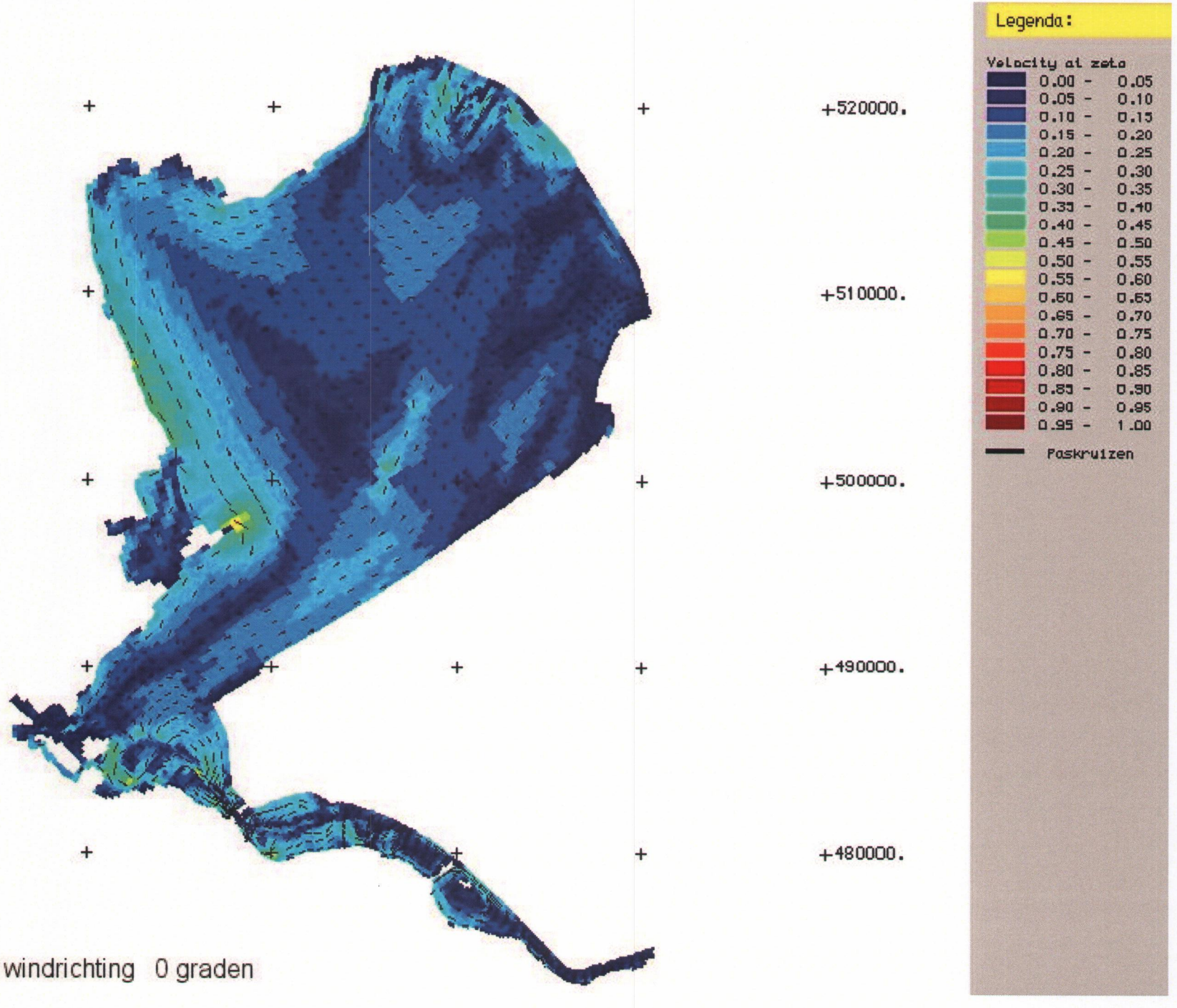
nr	39
titel	**Zand boven water 2 (literatuurstudie)**
Auteur(s)	W. Nagel. A. Hebbink, S.G. Lauwaars
datum	januari 2000
inhoud	Het rapport geeft een uitgebreide gebiedsbeschrijving waarbij zowel veel abiotische als biotische aspecten worden beschreven. Vervolgens worden de effecten van ontgrondingen op deze aspecten beschreven. De binnen dit kader uitgevoerde onderzoeken worden opgesomd en samengevat.
kwaliteit	goed
relevantie	Gebiedsbeschrijving is relevant
bruikbaarheid	In de analyse zijn het kaartmateriaal e.d. handig.
Ontvangen van	Informatie en Documentatie W+B

nr	40
titel	**Contaminant variability in a sedimentation area of the river Rhine**
Auteur(s)	H.J. Winkels
datum	1997
inhoud	In het document wordt aangegeven dat in de periode 1957 – 1968 veel accumulatie van slib in het Markermeer heeft plaatsgevonden. Er heeft zich een (zee)klei- en slibpakket afgezet. Eventueel aanwezig veen is waarschijnlijk grotendeels weggeslagen bij hevige stormen. Een opgenomen kaart met sedimentatie van slib komt in grote lijnen redelijk overeen met de gegenereerde verschilkaart van de bodemligging.
kwaliteit	goed, alleen geen recente meetgegevens van Markermeer aanwezig
relevantie	het onderwerp accumulatie van slib is relevant
bruikbaarheid	algemene uitgangspunten kunnen worden overgenomen
Ontvangen van	Gerard Blom

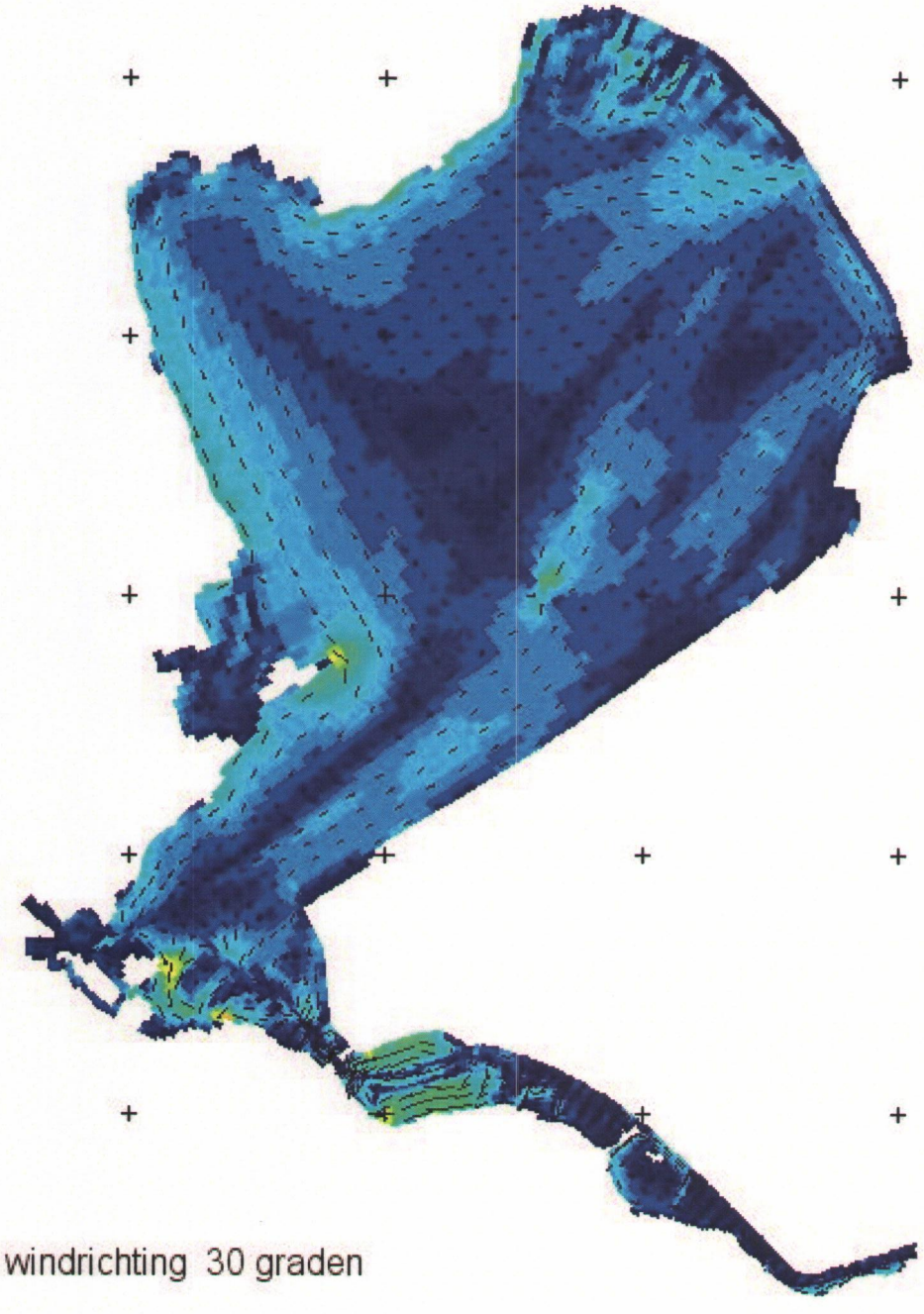
Dieptekaart Markermeer



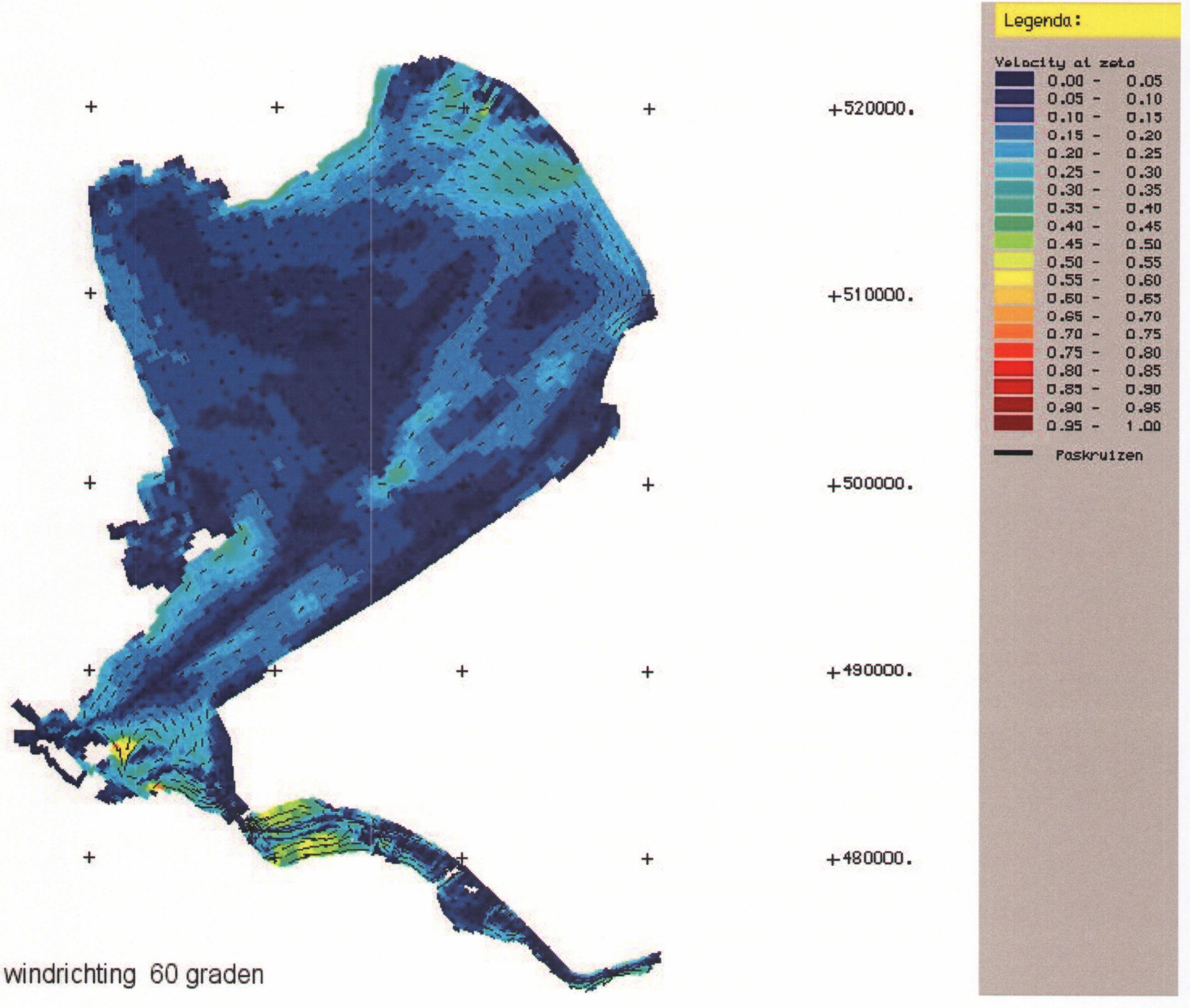
BIJLAGE III Stromingskaarten op basis van 2-D WAQUA berekeningen



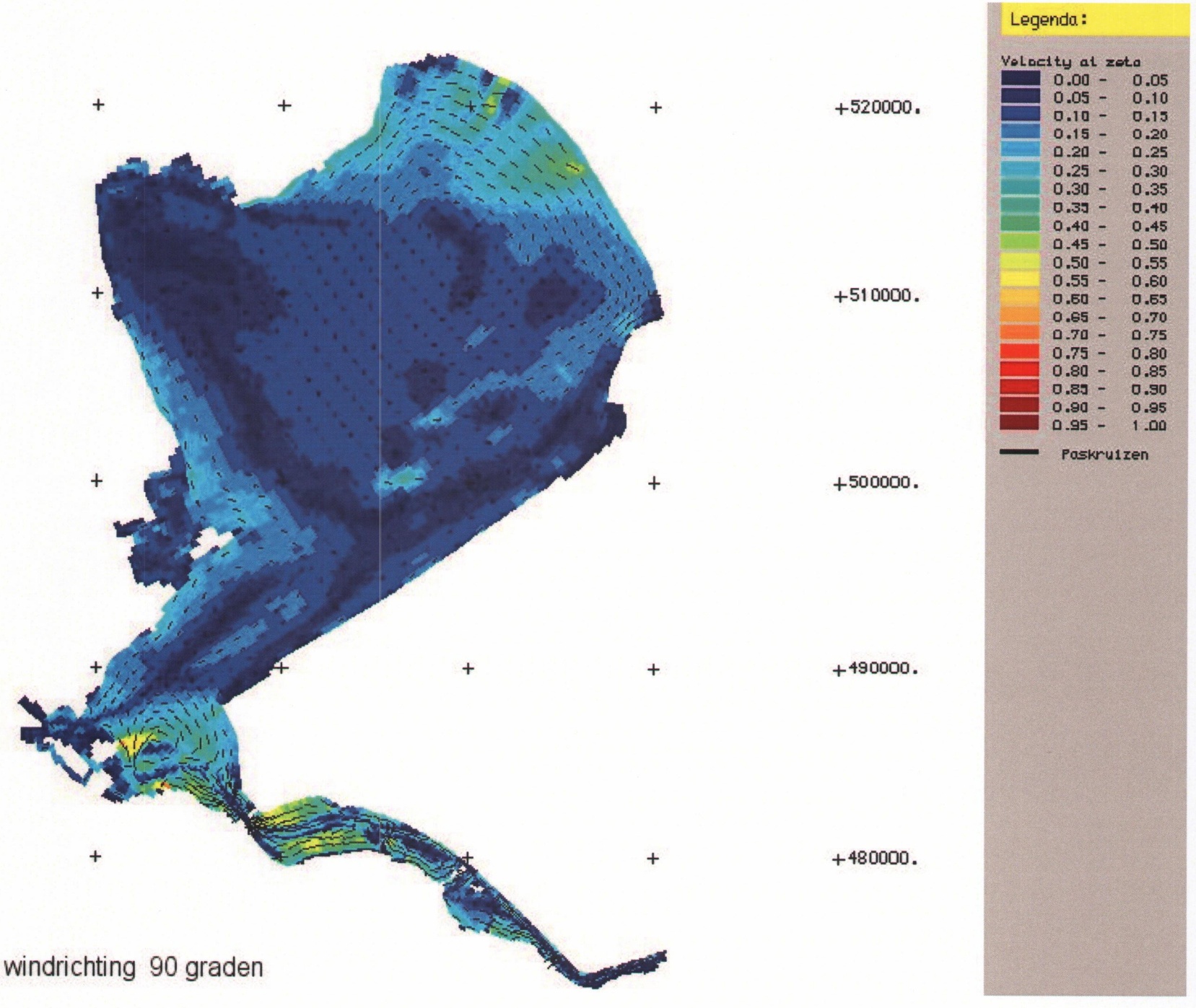
stromingspatroon voor windrichting 0 graden



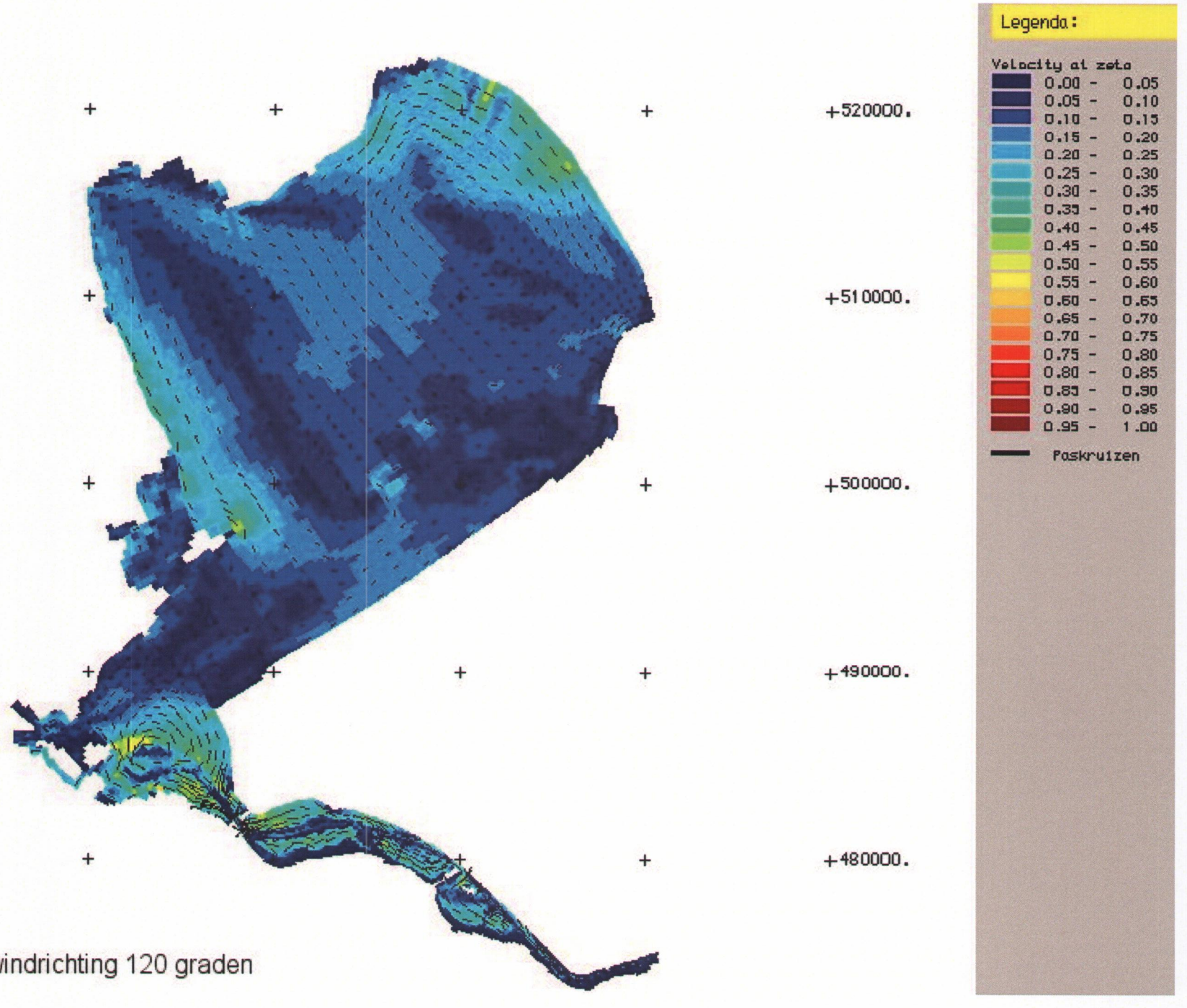
stromingspatroon voor windrichting 30 graden



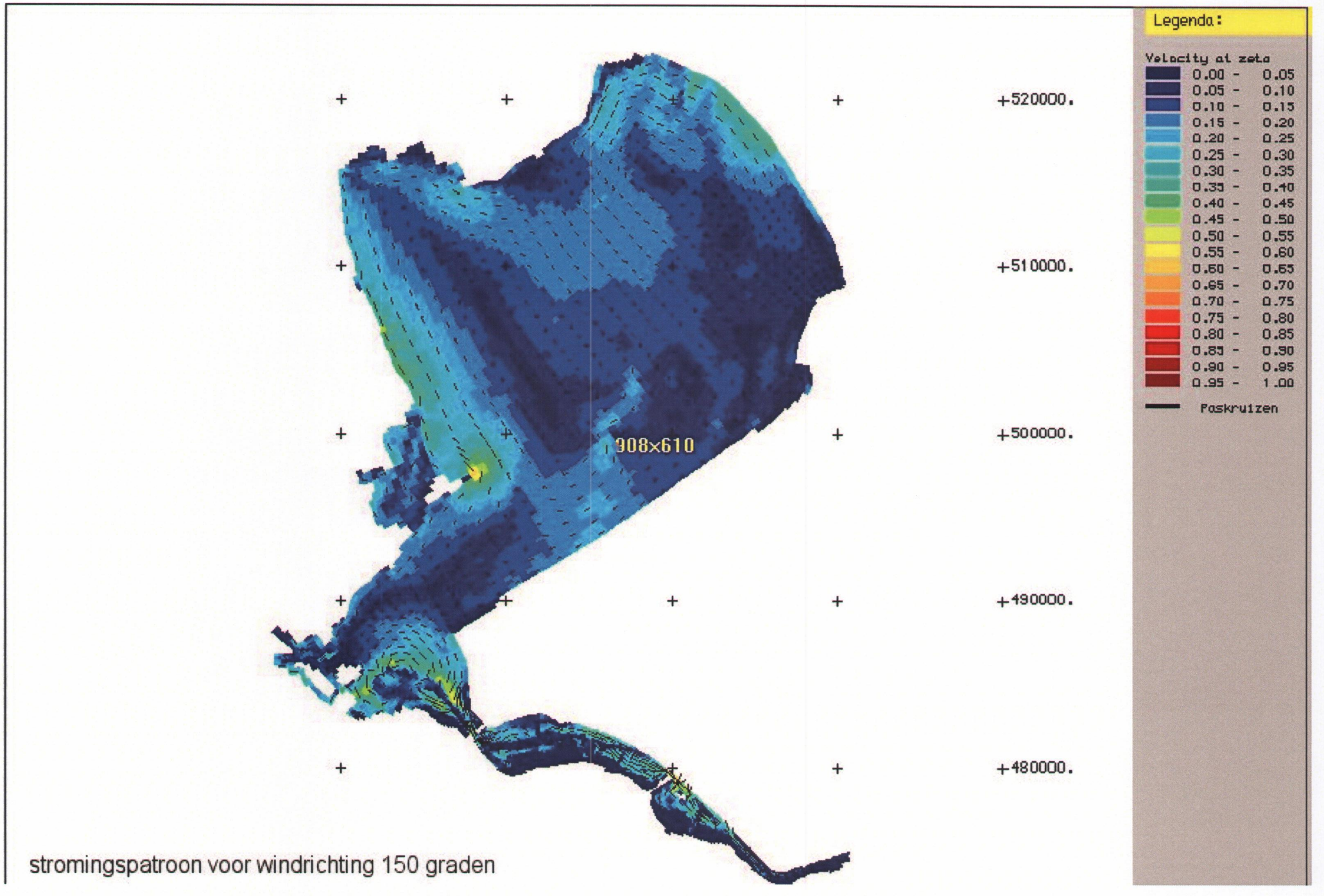
stromingspatroon voor windrichting 60 graden



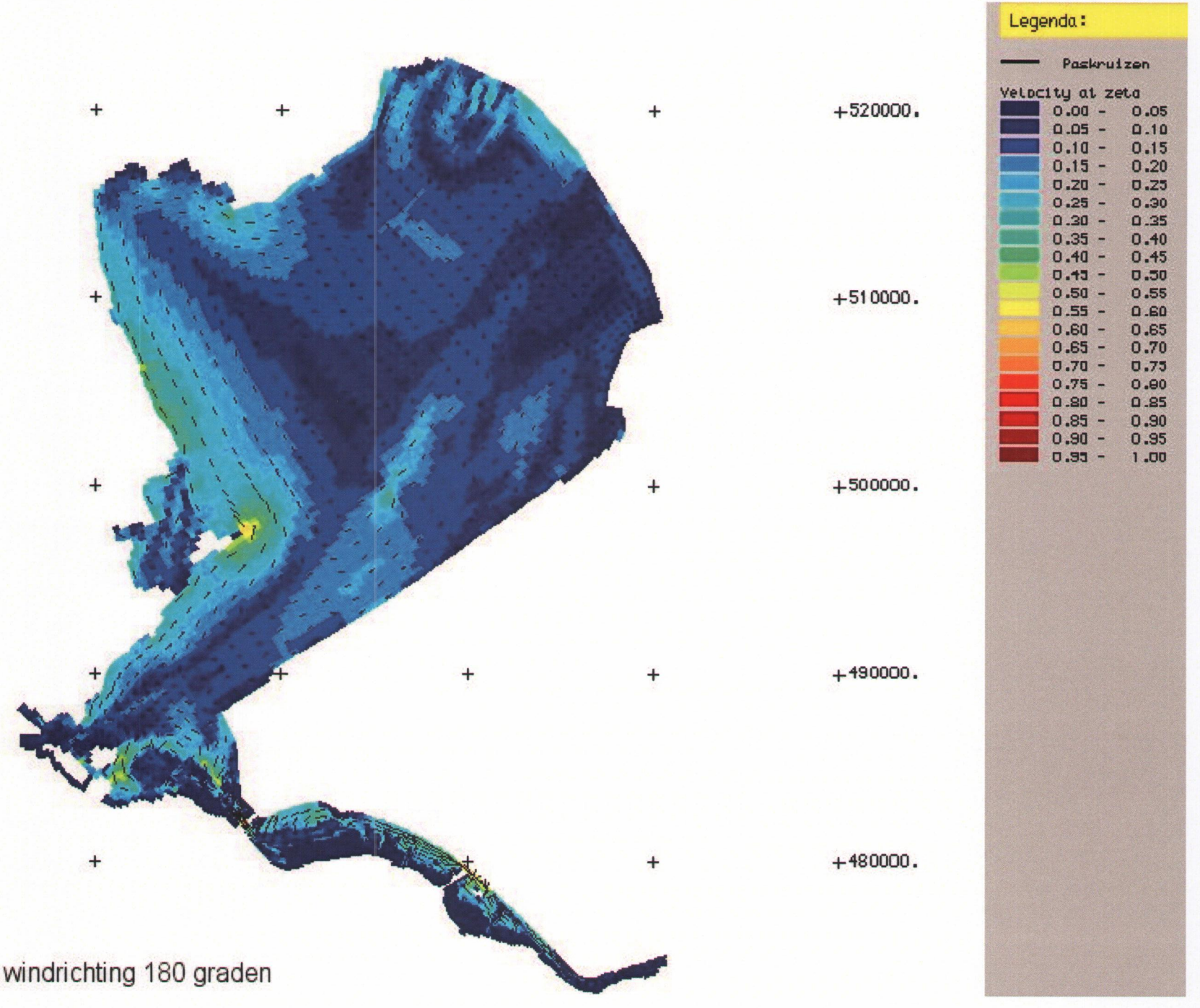
stromingspatroon voor windrichting 90 graden



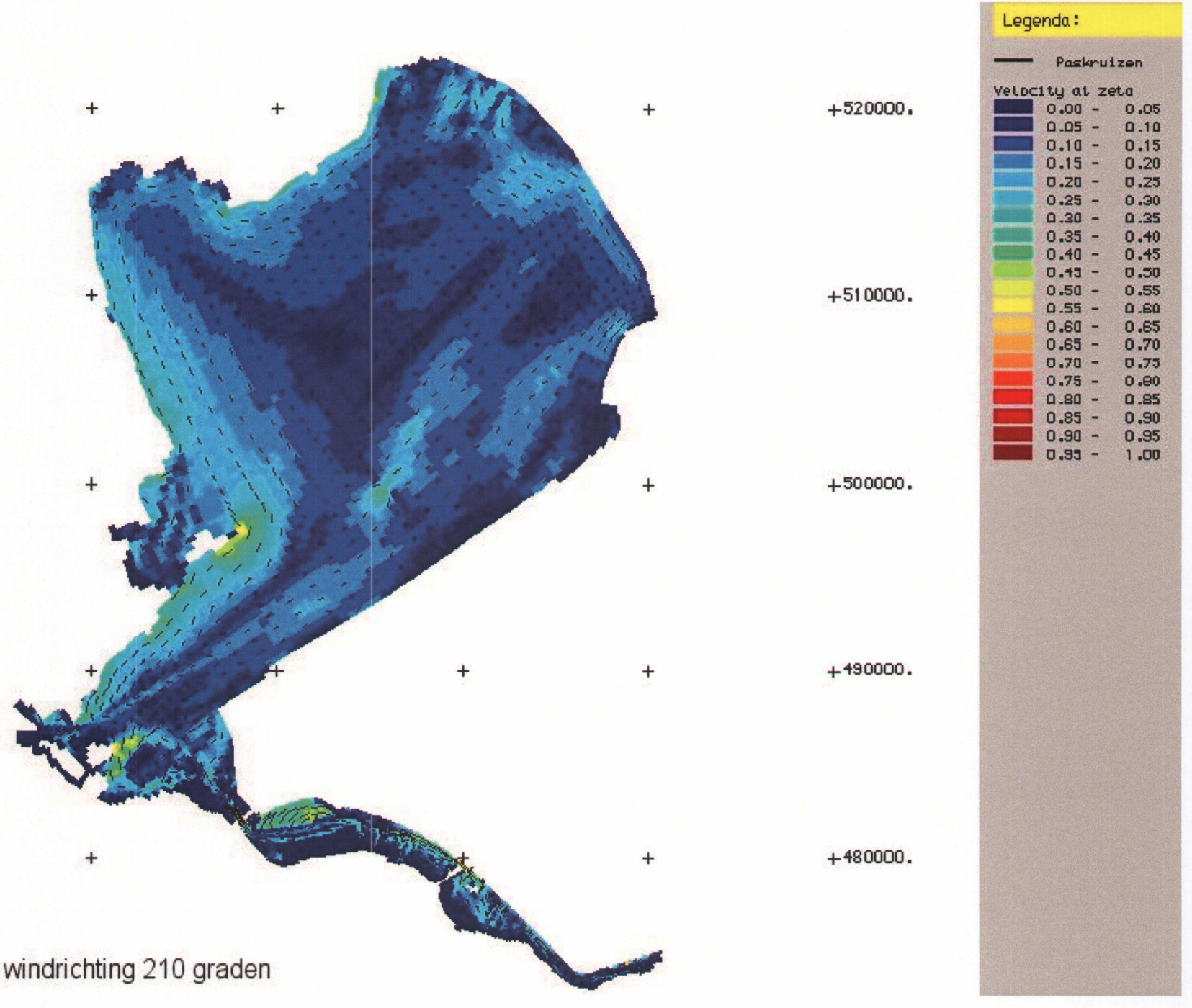
stromingspatroon voor windrichting 120 graden



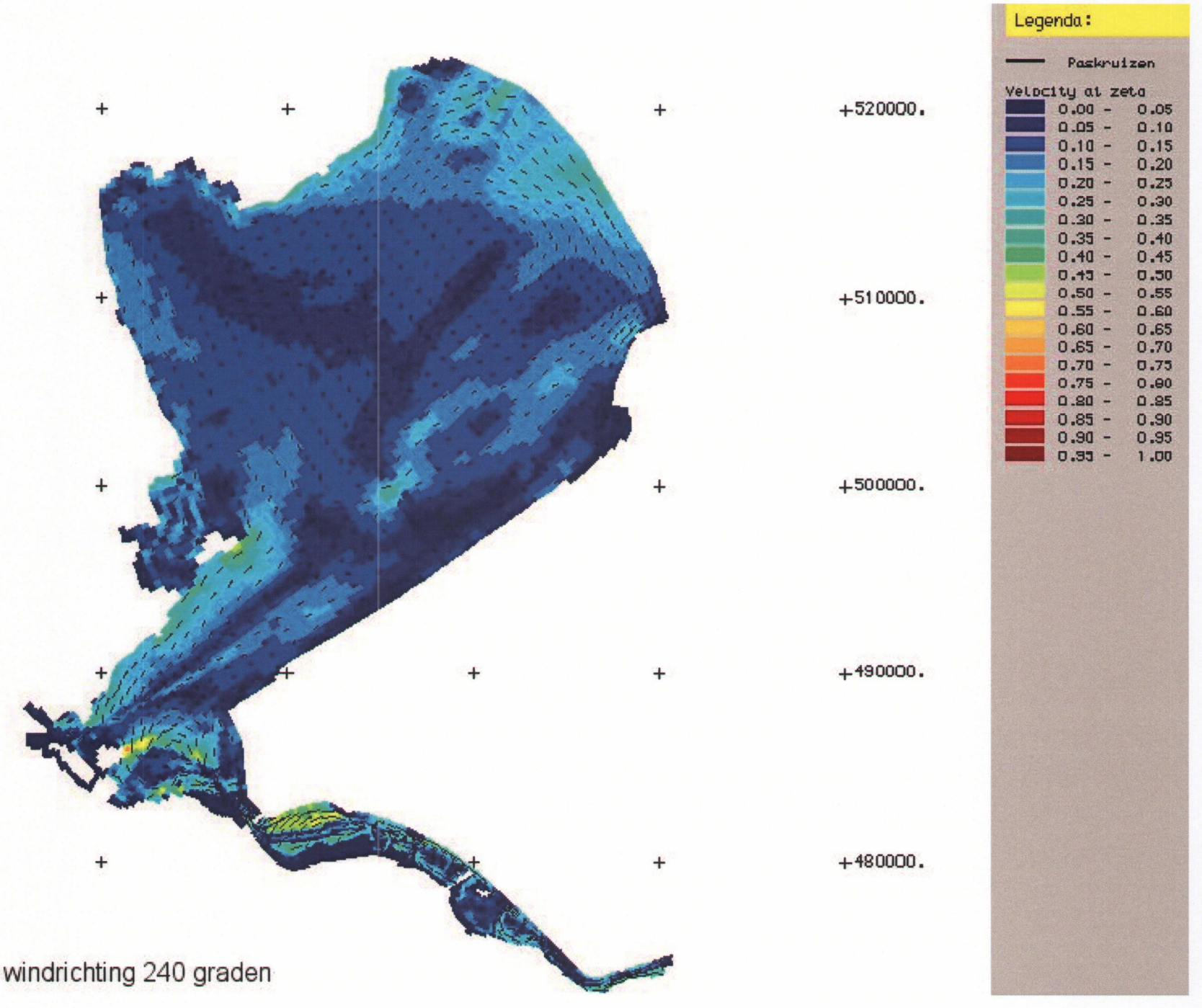
stromingspatroon voor windrichting 150 graden



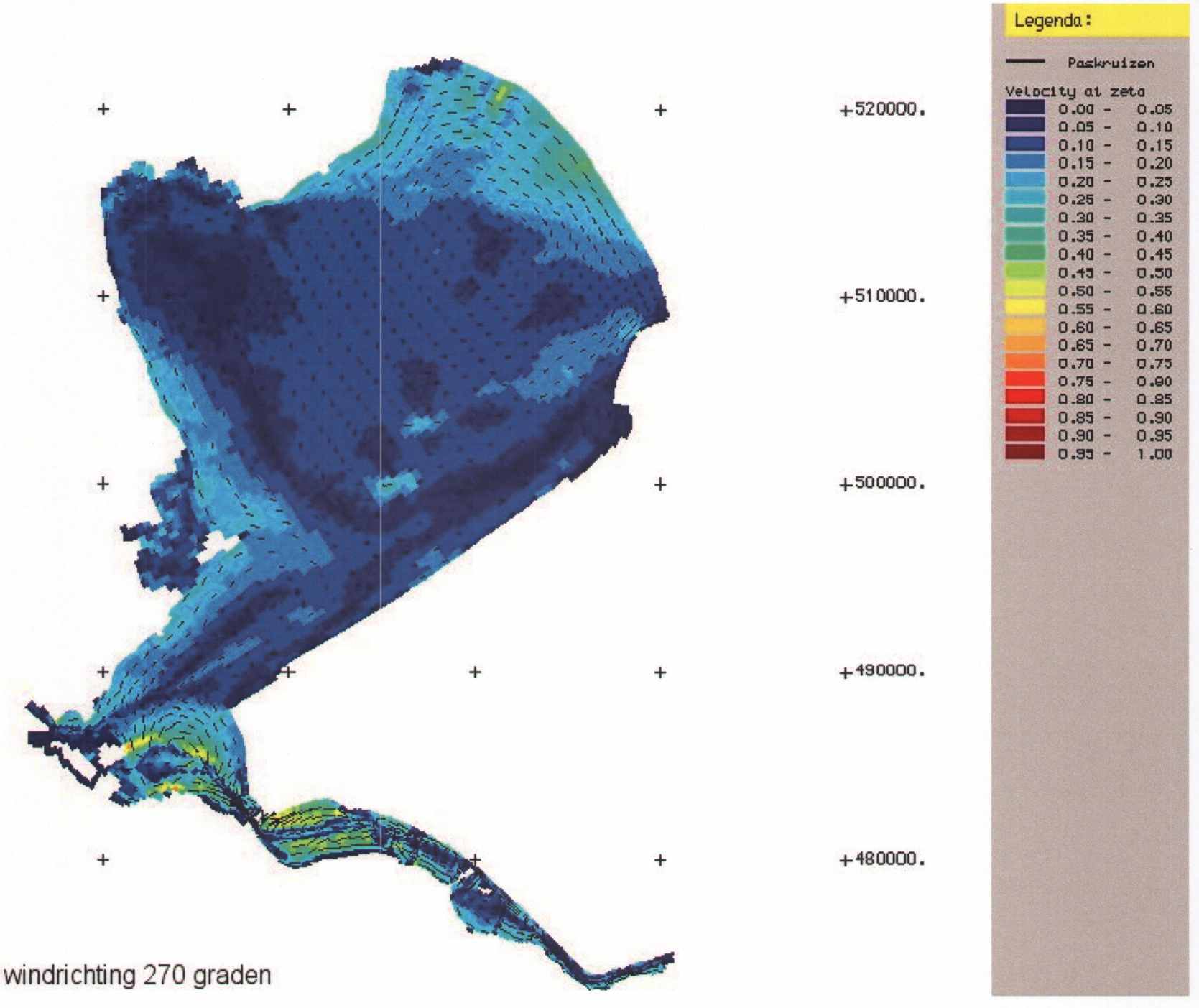
stromingspatroon voor windrichting 180 graden



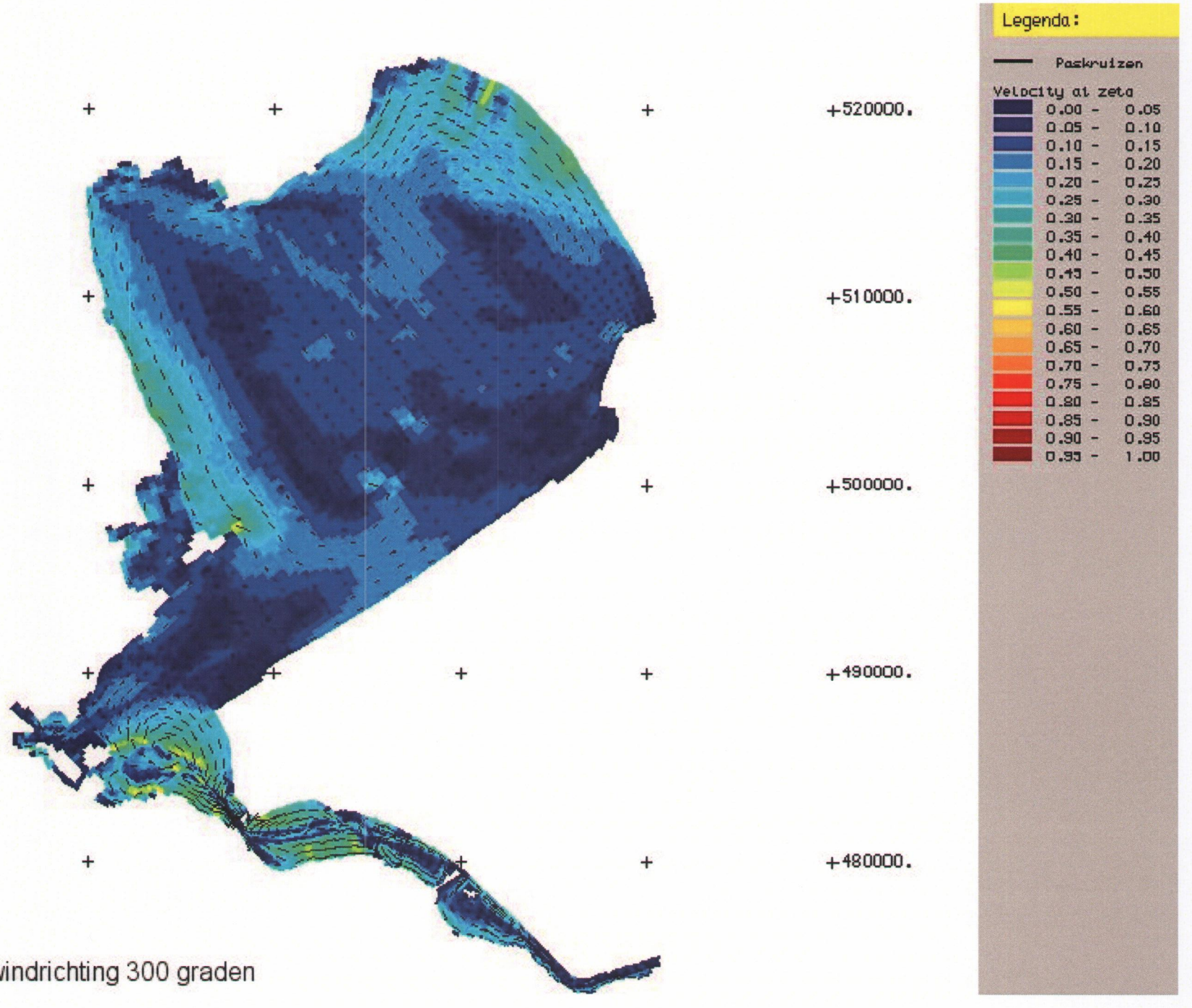
stromingspatroon voor windrichting 210 graden



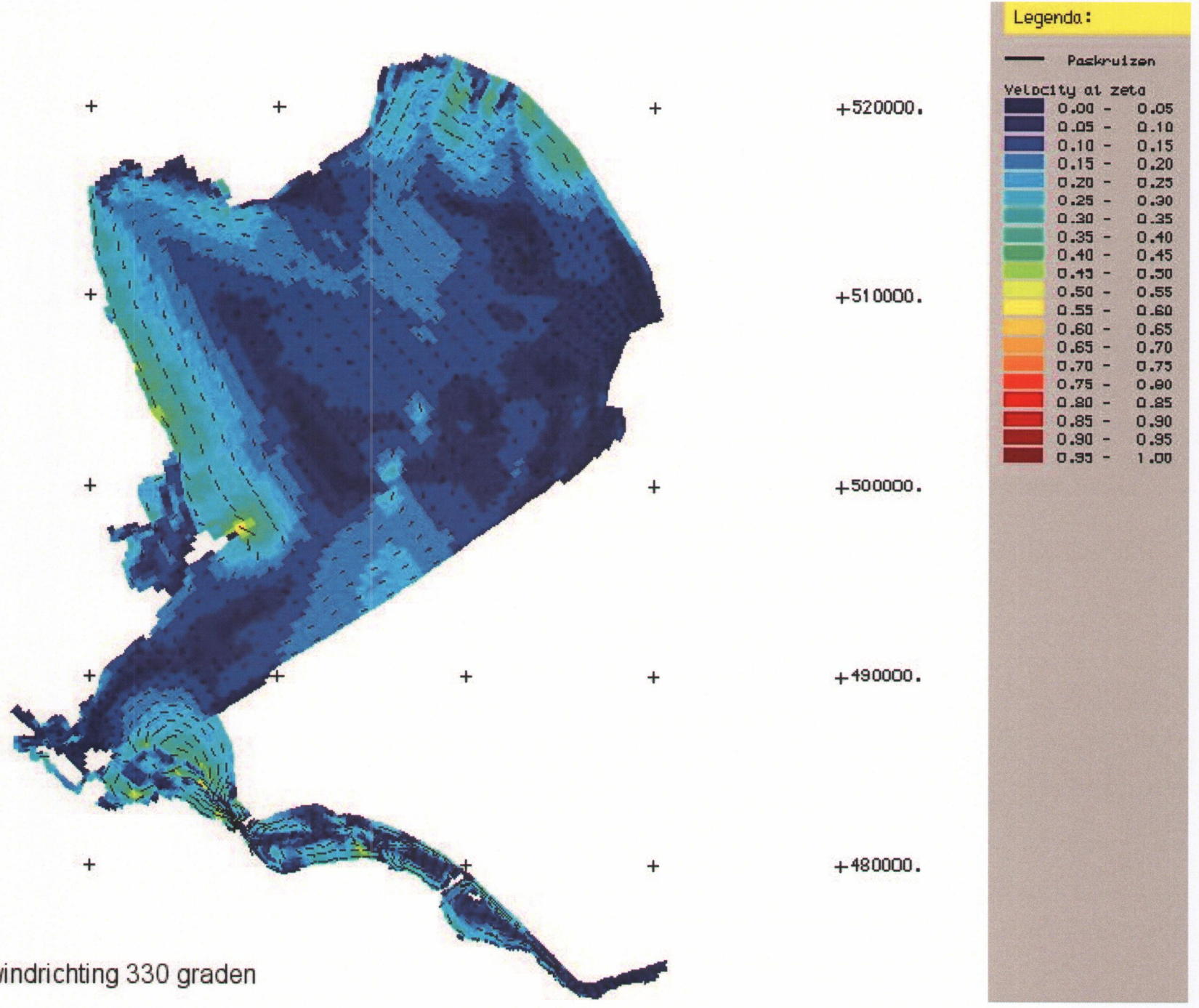
stromingspatroon voor windrichting 240 graden



stromingspatroon voor windrichting 270 graden



stromingspatroon voor windrichting 300 graden



stromingspatroon voor windrichting 330 graden