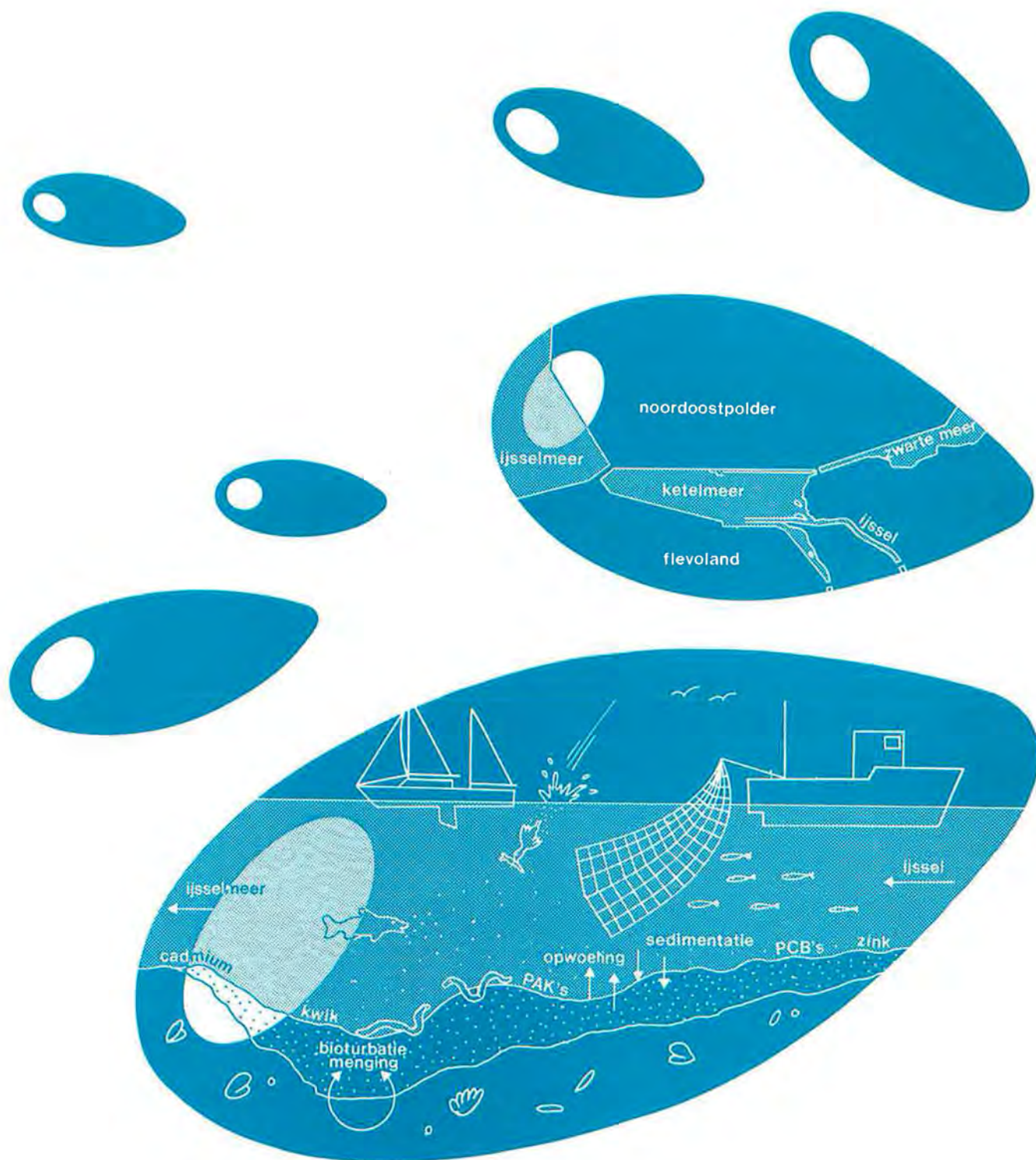




Integraal waterbeheer Ketelmeer nader onderzoek waterbodembodem Ketelmeer





Ministerie van Verkeer en Waterstaat

Directoraat-Generaal Rijkswaterstaat

Directie Flevoland



Commissie voor de
milieu effectrapportage

BIBLIOTHEEK

Postbus 2345, 3500 GH UTRECHT

Integraal waterbeheer Ketelmeer nader onderzoek waterbodem Ketelmeer

Lelystad, januari 1992
ISBN 90-369-1092-7
Flevobericht 335

Postbus 600
8200 AP Lelystad

Smedinghuis
Zuiderwagenplein 2
Tel. (03200) 99111
Telex 40115
Telefax (03200) 34300

Verantwoording

Dit rapport wordt uitgebracht door Rijkswaterstaat, directie Flevoland. Het hierin gerapporteerde onderzoek is begeleid door de Projectgroep Integraal Waterbeheer Ketelmeer. Deze projectgroep is door de Hoofdingenieur-directeur van Rijkswaterstaat directie Flevoland ingesteld om:

- door onderzoek meer kennis en inzicht te verkrijgen van de verschillende aspecten van het watersysteem Ketelmeer;
- met behulp van verkregen inzichten het integraal waterbeheer van het Ketelmeer beter gestalte te geven.

In de projectgroep zijn vertegenwoordigers opgenomen van een aantal betrokken Rijkswaterstaatsdiensten en andere overheidsinstanties (zie bijlage 1).

Omdat in de huidige situatie de verontreiniging van de waterbodem een cruciale factor is voor het functioneren van het Ketelmeer, is het onderzoek in eerste instantie vooral daarop gericht. Dit heeft geresulteerd in het voorliggende nader onderzoeksrapport (conform de Leidraad Bodembescherming), waarin alle relevante aspecten zijn meegenomen. De onderzoeken met betrekking tot veel van deze aspecten zijn in aparte deelrapporten van de projectgroep gerapporteerd.

Het voorliggende rapport geeft van dit alles een samenvattend overzicht. Op grond van de conclusies in dit rapport heeft de Hoofdingenieur-directeur van Rijkswaterstaat directie Flevoland besloten een saneringsonderzoek uit te voeren.

INHOUD

blz.

SAMENVATTING	7
1 INLEIDING	9
1.1 Aanleiding en kader	9
1.2 Doel van dit rapport	9
1.3 Status van dit rapport	9
2 GEHANTEERDE AANPAK	11
2.1 Derde Nota Waterhuishouding en Saneringsprogramma Waterbodern Rijkswateren	11
2.2 Leidraad Bodembescherming	11
3 NOODZAAK VAN SANERING	13
3.1 Aard en omvang van de verontreiniging	13
3.1.1 De bodemkundige situatie	13
3.1.2 Ruimtelijke verspreiding van de verontreiniging	14
3.1.3 Variatie in de verontreiniging	15
3.1.4 Hoeveelheden verontreinigd slib	17
3.2 Risico's van verspreiding	18
3.2.1 Verspreiding via het slib	18
3.2.2 Verspreiding via het grondwater	22
3.3 Risico's voor volksgezondheid en milieu	24
3.3.1 Contact- en opnamerisico's voor de mens	24
3.3.2 Contact- en opnamerisico's voor organismen	26
4 URGENTIE VAN SANERING	29
4.1 Aantasting van de gebruiksfuncties	29
4.2 Ontwikkeling van de bronnen	30
4.3 Bijdrage verspreiding t.o.v. andere bronnen	31
4.4 Prognoses toekomstige ontwikkelingen	32
4.4.1 Ontwikkeling van de toplaag in het Ketelmeer	33
4.4.2 Ontwikkelingen toplaag en vrachten IJsselmeer	34
4.4.3 Ontwikkeling van de verspreiding naar het grondwater	35
5 CONCLUSIES T.A.V. NOODZAAK EN URGENTIE VAN SANERING	37
5.1 Noodzaak van sanering	37
5.2 Urgentie van sanering	37
5.3 Saneringsonderzoek	38
LITERATUURLIJST	39
LIJST VAN FIGUREN EN TABELLEN	43
VERKLARENDE WOORDENLIJST	45
BIJLAGE	49

Samenvatting

Dit rapport vormt de samenvatting van de resultaten van het nader onderzoek naar de waterbodem van het Ketelmeer. Dit nader onderzoek was nodig omdat eerder uit oriënterend onderzoek gebleken is, dat de Ketelmeerbodem ernstig verontreinigd is.

In een nader onderzoek dient bepaald te worden of er sprake is van ernstig gevaar voor de volksgezondheid of het milieu. Dit onderzoek vormt de basis voor een beslissing met betrekking tot de noodzaak en urgentie van sanering van de Ketelmeerbodem.

Eerst wordt in het rapport ingegaan op de aspecten, die de **noodzaak** van sanering bepalen (hoofdstuk 3):

1) Omvang en ernst van de verontreiniging (hoofdstuk 3.1)

De verontreinigingen in het bodemsediment zijn voornamelijk zware metalen, polychloorbifenylen (PCB's) en polycyclische aromatische koolwaterstoffen (PAK's).

De verontreiniging komt uitsluitend voor in de jongste afzetting, de zogenaamde IJsselmeer-laag. Deze laag beslaat ongeveer 70% van het oppervlak van het meer (totale oppervlakte: 3800 hectare). De laagdikte varieert van enkele decimeters (midden in het Ketelmeer) tot vier à vijf meter (in voormalige zandwinputten). De totale hoeveelheid IJsselmeerslib bedraagt ongeveer 15 miljoen m³. Hiervan behoort 75 % tot verontreinigingsklasse 4 (boven de signaleringswaarde uit de Derde Nota Waterhuishouding, dat wil zeggen ernstig verontreinigd) en 20 % tot klasse 3 (tussen de toetsingswaarde en de signaleringswaarde, d.w.z. verontreinigd).

2) Verspreiding van de verontreiniging via het slib (hoofdstuk 3.2.1)

Het vervuilde slib is afkomstig uit het achterland van IJssel en Rijn. Uit slibprofiel analyses blijkt dat de verontreinigingsgraad het hoogst is geweest in de 60-er en 70-er jaren. De jongste afzettingen zijn minder vuil.

Uit slibbalansen blijkt, dat **netto** ongeveer de helft van het door de IJssel aangevoerde slib in het Ketelmeer achter blijft, de andere helft stroomt door naar het IJsselmeer.

In het Ketelmeer vindt door wind, stroming en scheepvaart heropwoeling van bezonken slib plaats, waardoor vermenging optreedt tussen vuile oudere en schonere jongere lagen. Enerzijds wordt hierdoor afdekking met schoner slib vertraagd - er zijn zelfs gebieden waar het oude sterk verontreinigde slib nog steeds aan de oppervlakte ligt. Anderzijds wordt hierdoor het IJsselmeer momenteel belast met slib, dat sterker verontreinigd is dan het door de IJssel aangevoerde slib.

3) Verspreiding van de verontreiniging via het grondwater (hoofdstuk 3.2.2)

Verspreiding van de verontreiniging is mogelijk omdat het Ketelmeer een inziingsgebied is. Verontreinigingen in de bodemlaag direct onder de IJsselmeerlaag, ten gevolge van transport met het grondwater, zijn aangetoond. In verband met de lage grondwatersnelheden en adsorptie-evenwichten in de bodem is doorslag van de verontreinigingen naar het kwelwater in de polder niet op korte termijn te verwachten.

4) Biologische beschikbaarheid van de verontreinigende stoffen (hoofdstuk 3.3)

De mogelijkheid tot biologische beschikbaarheid is aanwezig, zowel voor dieren en planten, die in het water en in de bodem leven, als ook - indirect, via consumptie van vis - voor de mens. In vis (paling) zijn hoge gehalten van verontreinigingen aangetoond, zij het dat ze voor de mens momenteel weer voldoen aan de consumptienormen.

Voor de recreatie en het drink- en landbouwwater zijn de risico's verwaarloosbaar.

Verder zijn door middel van laboratoriumproeven met Ketelmeer-sediment en bij veldonderzoek in het meer zelf groei-, voortplantingsstoornissen en/of sterfte bij verschillende soorten organismen waargenomen.

Vervolgens wordt ingegaan op de factoren, die van belang zijn voor de **urgentie** van sanering (hoofdstuk 4):

1) Aantasting van de gebruiksfuncties (hoofdstuk 4.1)

Het meest pregnant is de aantasting van de natuurfunctie, waarvoor het Ketelmeer bovendien een belangrijke rol speelt. Voor de menselijke gebruiksfuncties (visserij, recreatie, landbouw) zijn geen directe risico's aantoonbaar.

Verder is van groot belang, dat de vervuilde waterbodem een rem zet op elke ontwikkeling van het gebied. Natuurontwikkeling, recreatieve ontwikkeling, verbetering van de scheepvaartroute e.d., die in het regionale en nationale beleid worden voorgestaan, zijn onmogelijk of kunnen slechts tegen hoge kosten en met milieuhygiënische risico's worden gerealiseerd.

2) Ontwikkeling van de aanvoer van verontreinigingen (hoofdstuk 4.2)

Verwacht wordt dat de verontreinigingsvracht vanaf de IJssel na 1995 tot op een zodanig niveau zal zijn teruggebracht, dat het ontstaan van nieuwe verontreiniging na sanering onwaarschijnlijk is.

3) Belasting van de omgeving (hoofdstuk 4.3)

De verspreiding van de verontreiniging vanuit het Ketelmeer naar het aangrenzende IJsselmeer blijkt een belangrijk aandeel te leveren in de totale belasting van dat meer. Voor de belasting van het grondwater is het Ketelmeer vrijwel de enige bron.

4) Toekomstige ontwikkelingen (hoofdstuk 4.4.)

De toekomstige ontwikkeling, zoals voorspeld met modellen, is zodanig dat de risico's voor het ecologisch functioneren in het grootste deel van het Ketelmeer langzamerhand zullen verminderen. Er zijn echter gebieden, met name rond de vaargeul en langs de randen, waar hoge concentraties verontreinigingen aan de oppervlakte blijven liggen. Wat betreft de vrachten naar het IJsselmeer blijft de nalevering van vooral zware metalen een belangrijke rol spelen.

De verspreiding via het grondwater zal pas op de lange termijn (300 jaar) overschrijding van de referentiewaarde en plaatselijk ook van de toetsingswaarde in het kwelwater van de polders tot gevolg hebben voor in elk geval dichloorbenzeen. Wanneer deze verontreiniging echter eenmaal in het grondwater zit, is die nauwelijks meer te verwijderen. Bovendien zal op de lange duur de verontreinigde sliblaag moeilijker te verwijderen zijn, omdat dan afdekking plaats gevonden heeft met een laag schoner slib.

Op grond van deze gegevens is geconcludeerd, dat sanering van de Ketelmeerbodem noodzakelijk en urgent is, en is besloten tot het doen van saneringsonderzoek.

In dit saneringsonderzoek worden verschillende mogelijkheden uitgewerkt om het ernstige gevaar terug te brengen tot een aanvaardbaar niveau. Deze mogelijkheden worden op hun milieuhyginische, technische en financiële aspecten bekeken. Over de resultaten van dit saneringsonderzoek wordt afzonderlijk gerapporteerd.

1 Inleiding

1.1 Aanleiding en kader

In de zomer van 1990 is door de Ministers van Verkeer en Waterstaat en van Volkshuisvesting, Ruimtelijke Ordening en Milieubeheer het Saneringsprogramma Waterbodembodem Rijkswateren 1991-2000 [1] aan de Tweede Kamer aangeboden. In dit programma wordt een overzicht gegeven van locaties in de rijkswateren, waarvan de waterbodembodem zo ernstig verontreinigd is, dat nader onderzoek naar de noodzaak van sanering urgent is.

Een van deze locaties is het Ketelmeer. Hier zijn gedurende de afgelopen decennia grote hoeveelheden verontreinigd slib, met name afkomstig uit het stroomgebied van IJssel en Rijn, afgezet. Een eerste oriënterend onderzoek naar de ruimtelijke spreiding, de aard en de mate van de verontreiniging heeft plaats gevonden in 1987 en 1988. De resultaten hiervan zijn door de Rijkswaterstaat (Projectgroep Integraal Waterbeheer Ketelmeer) gepubliceerd in december 1988 [2].

Uit dit oriënterend onderzoek is gebleken, dat grote delen van de Ketelmeerbodem de signaleringswaarden uit de Derde Nota Waterhuishouding overschrijden en dus ernstig verontreinigd zijn (klasse 4). Besloten is het Ketelmeer in het Saneringsprogramma Waterbodembodem Rijkswateren op te nemen en een nader onderzoek te starten.

Dit onderzoek is in 1989 en 1990 uitgevoerd in opdracht van de hoofdingenieur-directeur van Rijkswaterstaat directie Flevoland. Het is begeleid door de reeds genoemde Projectgroep Integraal Waterbeheer Ketelmeer (samenstelling zie bijlage 1).

1.2 Doel van dit rapport

Het nader onderzoek moet antwoord geven op de vraag, of sanering noodzakelijk is. Om daarop antwoord te kunnen geven zijn diverse aspecten onderzocht:

- het beter in kaart brengen van de ruimtelijke spreiding en de omvang van de verontreiniging in het Ketelmeer;
- de interne slibhuishouding van het Ketelmeer;
- de ontwikkeling in de tijd van de aangevoerde hoeveelheden verontreinigd slib vanaf IJssel en Rijn en de invloed daarvan op de bodem van het Ketelmeer;
- de verspreiding van de verontreiniging naar het IJsselmeer en andere aangrenzende wateren;
- de verspreiding van de verontreiniging naar het diepere grondwater en naar het grond- en oppervlaktewater van de aangrenzende polders;
- de effecten van de verontreiniging op de ecologische en menselijke gebruiksfuncties van het Ketelmeer en omgeving.

Dit rapport geeft een samenvatting van de resultaten van dit onderzoek. Deze resultaten worden behandeld tegen de achtergrond van het landelijk beleid, zoals vervat in de Derde Nota Waterhuishouding [3], het Saneringsprogramma Waterbodembodem Rijkswateren 1991-2000 [1] en de Leidraad Bodembescherming [4].

In dit rapport worden de verschillende (deel)onderzoeken niet uitvoerig behandeld. Alleen de belangrijkste gegevens en de conclusies van de diverse onderzoeken worden weergegeven. Steeds zal daarbij worden verwezen naar de achterliggende rapporten, die van de betreffende onderzoeken zijn uitgebracht.

1.3 Status van dit rapport

Dit rapport is te beschouwen als een nader-onderzoeks-rapport, zoals bedoeld in de Leidraad Bodembescherming [4]. Het rapport vormt de basis voor een beslissing met betrekking tot de noodzaak en urgentie van sanering(sonderzoek) m.b.t. de Ketelmeerbodem.

Op grond van de bevindingen in dit rapport heeft de Hoofdingenieur-directeur van de Rijkswaterstaat in de directie Flevoland besloten tot het doen van saneringsonderzoek.

2 Gehanteerde aanpak

2.1 Derde Nota Waterhuishouding en Saneringsprogramma Waterbodem Rijkswateren

De Derde Nota Waterhuishouding [3] geeft aan dat er sprake moet zijn van "ernstig gevaar voor de volksgezondheid of het milieu", wil een locatie in aanmerking komen voor sanering. Een eerste indicatie hiervoor is het overschrijden van de signaleringswaarde. Als dit op een bepaalde locatie het geval is dient vervolgens nader onderzoek antwoord te geven op de vraag, of er potentieel dan wel actueel sprake is van ernstig gevaar voor de volksgezondheid of het milieu.

Voordat tot sanering wordt besloten dient de vervuilingsbron te worden gesaneerd en het aangevoerde slib van voldoende kwaliteit te zijn.

Over de signaleringswaarde zegt de Derde Nota: "Deze waarde is te vergelijken met de rol, die de C-waarde in de bodemsanering vervult." Impliciet wordt daarmee aangegeven, dat voor de waterbodem dezelfde aanpak zal worden gehanteerd als voor de landbodem. Deze aanpak is beschreven in de Leidraad Bodembescherming [4].

Overleg vindt plaats tussen de Ministeries van Verkeer en Waterstaat en Volkshuisvesting, Ruimtelijke Ordening en Milieubeheer om de Leidraad Bodembescherming aan te passen op specifieke waterbodemaspecten, onder andere ook voor het nader onderzoek. Door de Rijkswaterstaat zijn voorlopige richtlijnen voor nader onderzoek opgesteld [5]. Eén en ander is er met name op gericht de toepasbaarheid van de Leidraad op de waterbodemsanering te verbeteren.

In het Saneringsprogramma Waterbodem Rijkswateren 1991-2000 [1] wordt aangegeven, dat als interimbeleid zoveel mogelijk volgens de systematiek van de Leidraad Bodembescherming zal worden gehandeld. In het onderhavige rapport wordt daarom deze systematiek ook voor de waterbodem van het Ketelmeer zoveel mogelijk gehanteerd.

2.2 Leidraad Bodembescherming

Voor de beantwoording van de vraag of sanering noodzakelijk is, dient bepaald te worden of er sprake is van ernstig gevaar voor de volksgezondheid of het milieu. In de Leidraad Bodembescherming [4] wordt hieraan de volgende invulling gegeven: "direct en frequent contact tussen mens, plant en dier enerzijds en de bodemverontreinigende stoffen anderzijds moet aanwezig zijn of op korte termijn aannemelijk zijn en het moet vaststaan dan wel waarschijnlijk zijn dat een zodanig contact schadelijke gevolgen zal kunnen hebben voor de volksgezondheid of het milieu".

In het complex van factoren dat een rol speelt bij de beoordeling van het ernstig gevaar onderscheidt de Leidraad een drietal aspecten:

- de aard en de concentraties van de verontreinigende stoffen, die een indruk geven van de mate van verontreiniging en de mogelijke effecten ervan;
- de lokale verontreinigingssituatie, die van belang is voor de mate en de mogelijkheid tot verspreiding of contact;
- het gebruik van de bodem, dat bepalend is voor de huidige mate van blootstelling en de daaraan verbonden huidige risico's.

In alle gevallen dient een integrale beoordeling van al deze aspecten plaats te vinden. De eerste twee aspecten bepalen of er sprake is van een ernstig gevaar voor de volksgezondheid of het milieu. Het derde aspect is in samenhang met de eerste twee bepalend voor de mate van blootstelling en daarmee voor de urgentie van de aanpak van een voorkomend bodemverontreinigingsgeval.

Ter uitwerking van het eerste aspect geeft de Leidraad een toetsingstabel met drie verschillende concentratieniveaus A, B en C (A/B/C-waarden):

- niveau A geldt als referentiewaarde;
- niveau B is te bezien als de waarde, waarboven in ieder geval en waaronder afhankelijk van bepaalde factoren, zoals bodemtype, op korte termijn een (nader) onderzoek gewenst is;
- niveau C is te beschouwen als de waarde, waaronder een sanering(sonderzoek) gewoonlijk niet op korte termijn noodzakelijk is, maar waarboven een saneringsonderzoek, c.q. sanering bij voorkeur wel op korte termijn wordt uitgevoerd, nadat het nader onderzoek is afgerond; zoals hierboven is aangegeven wordt voor waterbodems de signaleringswaarde als C-waarde beschouwd.

Bij de uitwerking van het tweede aspect noemt de Leidraad de volgende factoren:

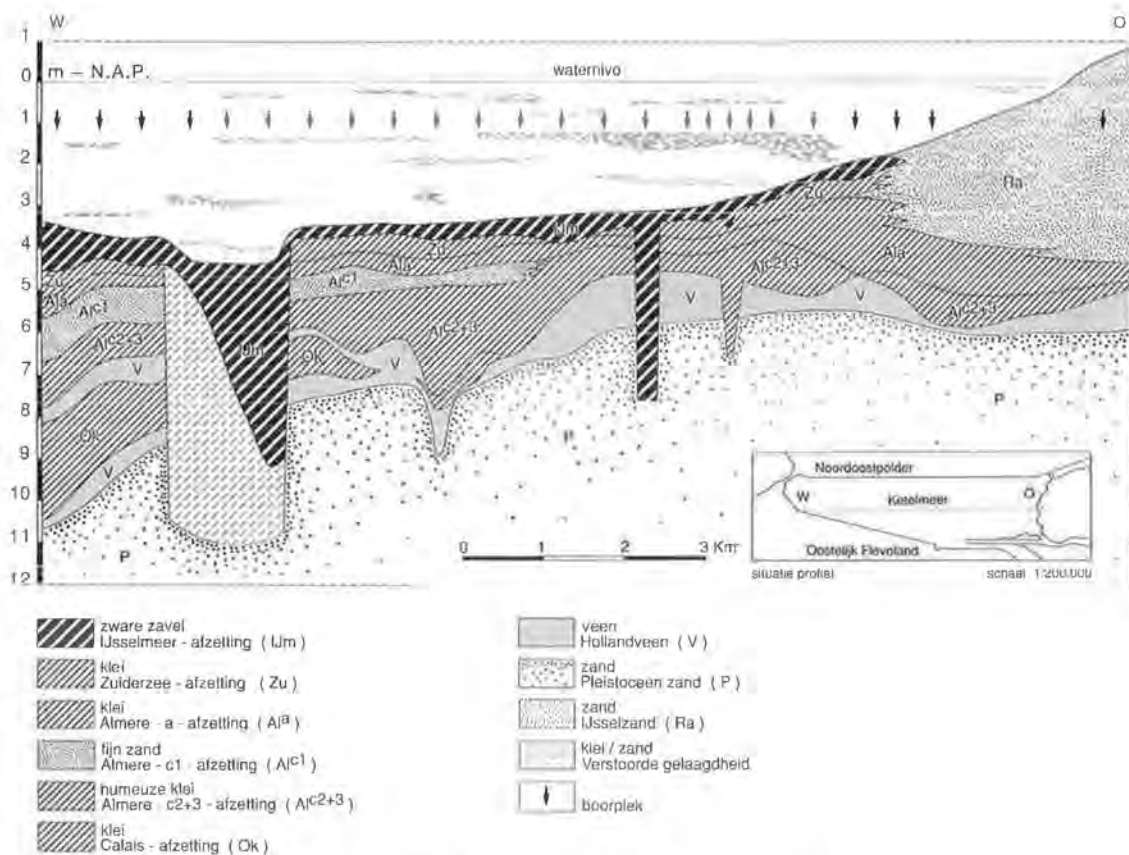
- enerzijds betreft het factoren die van belang zijn voor de mate van en de mogelijkheid tot verspreiding van de verontreinigende stoffen naar de omgeving;
- anderzijds gaat het om factoren die van belang zijn voor de mate van en de mogelijkheid tot biologische beschikbaarheid van de verontreinigende stoffen voor mens, plant en dier.

Bij de uitwerking van het derde aspect worden in de Leidraad als de meest kwetsbare gebieden aangemerkt:

- woon-, werk en andere verblijfsgebieden, bijvoorbeeld recreatiegebieden, landbouwgebieden;
- grondwaterbeschermingsgebieden;
- natuurgebieden (voor waterbodems kan ook gedacht worden aan gebieden met een ecologische doelstelling, wetlands, etc.).

Daarbij moet ook rekening worden gehouden met verplaatsing van verontreinigingen van niet-kwetsbare naar kwetsbare gebieden.

In dit rapport worden in hoofdstuk 3 de eerste twee aspecten (aard en omvang; mogelijkheden tot verspreiding en contact) uitgewerkt, die tezamen de noodzaak tot sanering bepalen. Vervolgens wordt in hoofdstuk 4 ingegaan op de factoren, die van belang zijn voor de urgentie van sanering, nl. de aantasting van de huidige gebruiksfuncties van het gebied, de ontwikkeling van de vervuilingbronnen, het belang van het Ketelmeer als zelfstandige vervuilingbron en de ontwikkelingen in de toekomst.



Figuur 2. Oost-west doorsnede van het Ketelmeer met de opbouw van de bodem.

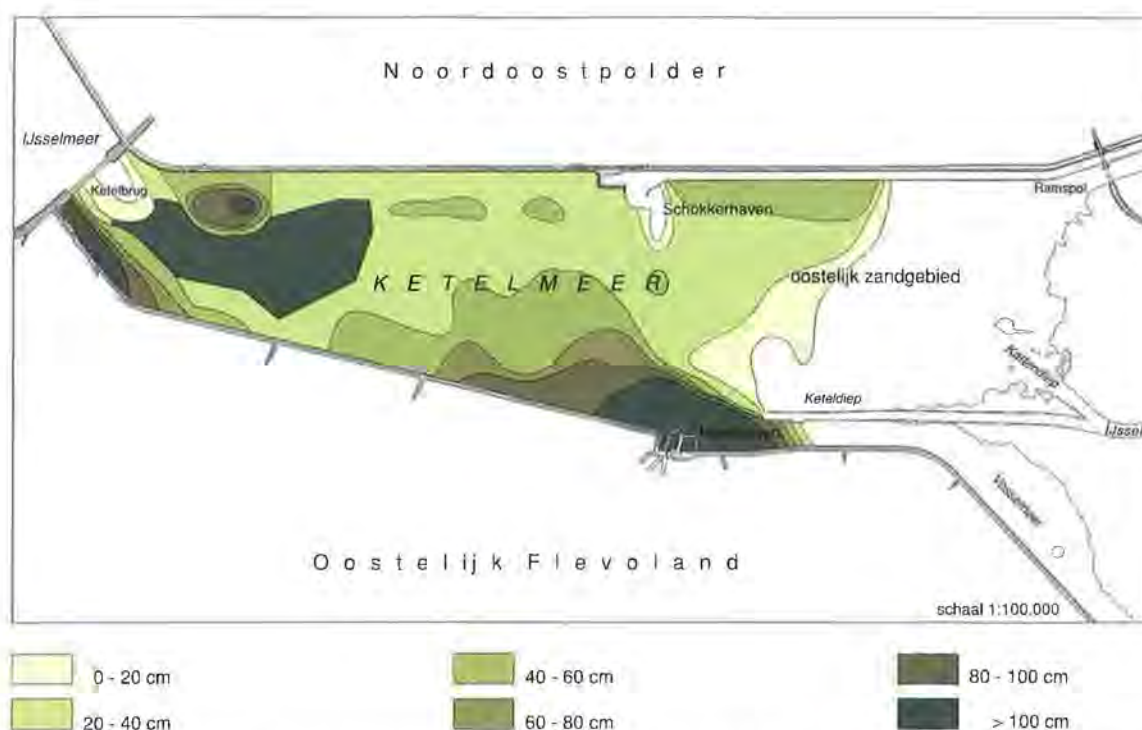
3.1.2 Ruimtelijke verspreiding van de verontreiniging

In de afgelopen jaren is voor diverse projecten onderzoek gedaan naar de kwaliteit van de waterbodem van het Ketelmeer. Daarvoor zijn op veel plekken in het meer bodemonsters genomen en geanalyseerd op de aanwezigheid van een groot aantal microverontreinigingen. De resultaten van deze bemonsteringen en analyses zijn opgenomen in het verslag van het oriënterend onderzoek [2]. Het bemonsteringsnetwerk is in 1988 en 1989 gecompleteerd. Daarnaast is specifiek gekeken naar het kwaliteitsverloop in drie voormalige zandwinputten. Uiteindelijk zijn gedurende de afgelopen vijf jaar op 124 plekken monsters genomen. De resultaten van al deze bemonsteringen zijn opgenomen en uitvoerig geanalyseerd in een deelrapport van de Projectgroep Integraal Waterbeheer Ketelmeer [6].

Uit analyse van de gegevens blijkt, dat de verontreiniging van de bodem beperkt is tot de bovengenoemde IJsselmeerafzetting, dus tot de afzettingen van na 1932. Deze IJm-afzetting valt in klasse 3 en 4 van het normeringssysteem volgens de Derde Nota Waterhuishouding (verontreinigd c.q. ernstig verontreinigd). De direct daaronder liggende Zuiderzee-afzetting valt in klasse 1 (niet verontreinigd). Het diktepatroon van de IJm-laag geeft daarom een goed beeld van de ruimtelijke verspreiding van de verontreinigde bodem over het meer.

De gemiddelde dikte van deze laag (inclusief de zuigputten) bedraagt circa 0,55 m. Relatief dunne lagen, tot enkele decimeters, zijn aanwezig in het centrale deel. Dikkere pakketten worden gevonden in de gebieden bij de monding van het Keteldiep, de strook langs de zuidelijke dijk en in het puttengebied. Nabij de Ketelbrug en bij Schokkerhaven ontbreekt de IJm-laag; dit zijn erosiegebieden (zie figuur 3).

Ook in het oostelijk deel van het Ketelmeer ontbreekt de IJm-laag; hier wordt de zandige afzetting van de IJsseldelta aangetroffen. Deze afzetting wijkt qua samenstelling nogal af van de IJm-afzetting, doordat veel lagere gehalten aan lutum en organische stof aanwezig zijn. De gehalten geadsorbeerde



Figuur 3. Dikte van de IJsselmeer-afzetting; de witte gebieden zijn erosie-gebieden (de IJm-laag is daar afwezig).

microverontreinigingen zijn daardoor lager dan in de IJm-afzetting. Deze zandige afzetting valt in de klassen 1 tot 3 van het normeringssysteem volgens de Derde Nota.

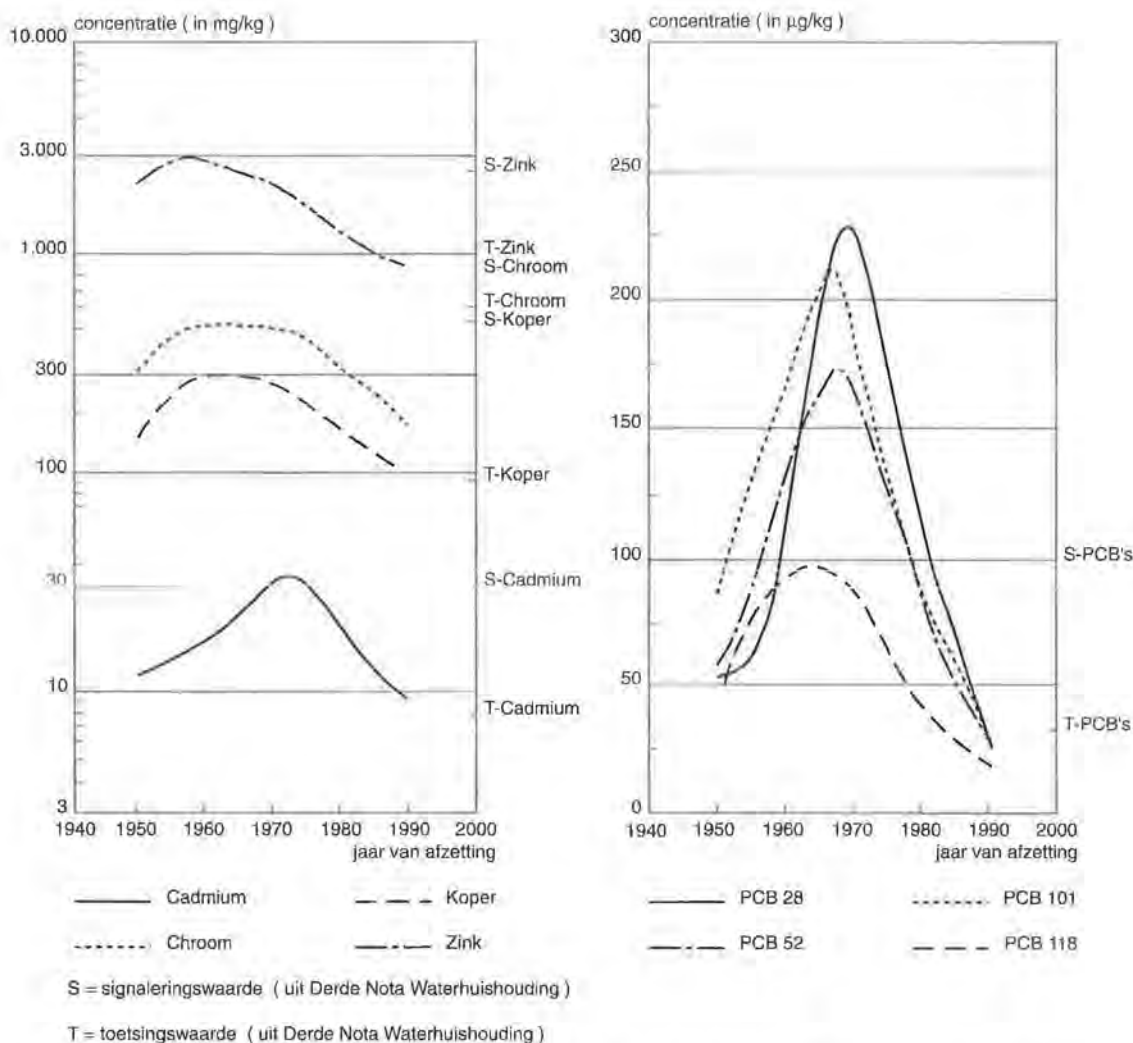
Voor het totale diepere deel (2700 hectare) bedraagt de gemiddelde dikte van het IJm-slib zoals vermeld 0,55 m. Er van uitgaande, dat dit werd afgezet sinds 1932 (sluiting Afsluitdijk), heeft de jaarlijkse netto-sedimentatie in het Ketelmeer over deze periode als geheel circa 0,007 m bedragen. Er zijn aanwijzingen, dat deze netto-sedimentatie na de inpoldering van Oostelijk Flevoland (dijken gesloten in 1957) door de luwere ligging sneller is verlopen dan daarvoor. Op basis van vergelijkingen met de dikte van de IJm-laag in Oostelijk Flevoland wordt de gemiddelde netto-sedimentatie vóór 1957 geschat op 0,005 m per jaar en na 1957 op 0,010 m per jaar.

De voormalige zandwinputten in het westen zijn opgevuld met dikke pakketten IJm-slib (tot 5 m). Deze zandwinputten verschillen in omvang en ouderdom. Op basis van de gemeten slibdikte in drie van deze putten, ontstaan in resp. 1960, 1966 en 1986, blijkt dat de netto-sedimentatie in de putten gemiddeld 0,15 m per jaar heeft bedragen.

3.1.3 Variatie in de verontreiniging

Binnen de verontreinigde IJm-laag is een verticale variatie in de mate van verontreiniging aangetoond, die samenhangt met de ontwikkeling in de verontreiniging van het IJsselwater gedurende de afgelopen decennia. Dit verloop in de tijd is het duidelijkst zichtbaar in de zandwinputten, omdat daar ongestoorde sedimentatie heeft plaatsgevonden. Door laagsgewijs te bemonsteren in putten met een verschillende leeftijd, konden de gehalten aan verontreinigingen in de verschillende lagen gerelateerd worden aan de tijd.

De organische microverontreinigingen vertonen een toename in gehalte tot de tweede helft van de jaren zestig. Dan worden de hoogste gehalten aangetroffen. Daarna neemt de verontreiniging weer af. Dit geldt vooral voor de polychloorbifenylen (PCB's) en de dioxinen en dibenzofuranen; voor de polycyclische aromatische koolwaterstoffen (PAK's) is de daling minder sterk. De gehalten aan zware metalen waren tot circa 1970 het hoogst voor arseen, kwik, lood en zink en tot circa 1980 voor



Figuur 4. Gehalten van enkele metalen en enkele PCB's in de IJsselmeer-afzetting (buiten de putten) uitgezet tegen het jaartal van sedimentatie.

cadmium, nikkel en koper. Na 1980, dus in de hogere lagen in de putten, nemen de gehalten in het sediment relatief snel af.

Ook in de dunnere IJm-lagen in het overige Ketelmeer kon een verbetering van de kwaliteit in de recente, bovenste, delen worden aangetoond (zie figuur 4). Het betreft hier in het algemeen een dunne toplaag van enkele centimeters tot een decimeter. Een significante verbetering treedt op bij de zware metalen en de PCB's. De gehalten van deze stoffen zijn globaal een factor 2 lager dan de gemiddelde gehalten van de gehele IJm-laag (zie tabel 1).

Overigens heeft deze verbetering bij de meeste microverontreinigingen nog geen klasseverschuiving volgens de normering tot gevolg; alleen de lager gechloroerde PCB's komen een klasse lager uit (klasse 3 in de toplaag, tegen klasse 4 in de gehele IJm-laag).

Daarnaast is door vergelijking met oude ingevroren monsters geconstateerd [7], dat bij bepaalde organische microverontreinigingen in de oudere lagen omzettingen hebben plaats gevonden. Het gehalte van hexachloorbenzeen is duidelijk gedaald ten opzichte van de verontreiniging ten tijde van afzetting, terwijl de gehalten van tri- en dichloorbenzenen daarentegen gestegen zijn. Deze veranderingen worden toegeschreven aan omzettingen door bacteriën. In dit geval leidt een dergelijke omzetting tot de vorming van producten, die gemakkelijker met water meegevoerd kunnen worden

dan de uitgangsstof. Hexachloorbenzeen is namelijk in tegenstelling tot dichloorbenzeen een nogal hydrofobe stof (zie ook 3.2.2.3 en 4.4.3).

Tabel 1. De gemiddelde gecorrigeerde gehalten en klasse-indeling volgens de Derde Nota Waterhuishouding per parameter (in mg/kg; voor PCB's in µg/kg) voor de gehele IJsselmeer-afzetting, resp. de toplaag *).

parameter	totale IJsselmeer-laag		toplaag	
	gemiddeld gehalte	klasse 3e Nota	gemiddeld gehalte	klasse 3e Nota
arseen	67	3	24	1
cadmium	17	3	13	3
chrom	394	3	191	3
koper	198	3	124	3
kwik	6,5	3	2	3
lood	270	3	160	2/3
nikkel	71	3	49	3
zink	2093	3	1290	3
olie	1298	2	895	2
som 6 PCB's	584	4	224	3
som 6 PAK's	5,9	3	6,6	3

*) de toplaag is hier gedefinieerd als de laag, die gedurende de laatste 10 jaren is afgezet

Ook in het horizontale vlak is binnen de gebieden, waar de IJm-laag aanwezig is, sprake van variatie. Voor de meeste stoffen nemen de gehalten gaande van de IJsselmonding naar het westen toe af. Deze afname is voor de verschillende stoffen ongelijk. Maximaal gaat het om een afname met een factor 2. Ook hierbij hebben de verschillen in gehalten nauwelijks verschuivingen in de klassificatie volgens de normering tot gevolg.

3.1.4 Hoeveelheden verontreinigd slib

In het voorgaande is aangegeven, dat de verontreiniging wat betreft de bodem beperkt is tot de IJm-laag. Daarbinnen is wel sprake van enige variatie, maar die is niet zodanig, dat gesproken kan worden van duidelijk te onderscheiden lagen.

De totale hoeveelheid IJm-slib kan met behulp van de gemeten dikten en de daarbij behorende oppervlakten worden geschat op circa 15 miljoen m³. Deze hoeveelheid is inclusief de inhoud van de zandwinputten, die circa 5,5 miljoen m³ bedraagt (zie verder tabel 2).

Tabel 2. De dikte en hoeveelheid van de IJsselmeer-afzetting in het Ketelmeer (1988).

dikteklasse (m)	oppervlakte (km ²)	volume IJm-afzetting (*1000 m ³)
0 - 0,2	1,8	180
0,2 - 0,4	11,2	3360
0,4 - 0,6	5,5	2750
0,6 - 0,8	1,3	910
0,8 - 1,0	1,7	1530
> 1,0(*)	5,1	6120

*) inclusief het IJm-slib (5,5 miljoen m³) in de zuigputten

Van deze totale hoeveelheid behoort volgens een schatting op grond van de detailgelaagdheid [7] circa 75 % tot verontreinigingsklasse 4 (ernstig verontreinigd), terwijl circa 20 % in klasse 3 (verontreinigd) valt.

3.2 Risico's van verspreiding

3.2.1 Verspreiding via het slib

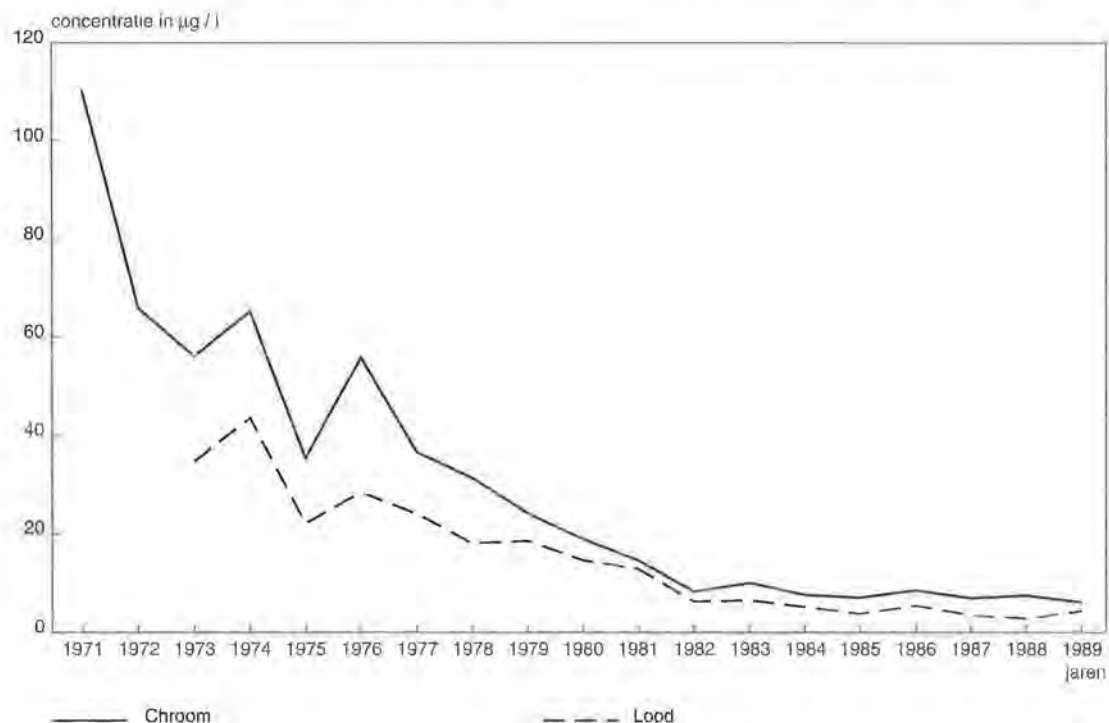
3.2.1.1 Aanvoer van zand, slib en verontreinigingen

In het Ketelmeer monden uit de IJssel en de Overijsselse Vecht, deze laatste indirect via het Zwarte Meer bij Ramspol. De IJssel zorgt voor 88% van de totale wateraanvoer; van deze aanvoer komt ongeveer 60 % binnen via het Kattendiep en ongeveer 40 % via het Keteldiep. De Vecht zorgt voor 10 % van de totale wateraanvoer. De rest is afkomstig van het Vossemeer, van uitslag van gemaal Colijn bij Ketelhaven en van neerslag. Door de IJssel en voor een klein percentage ook door de Vecht via het Zwarte Meer, worden zand en slib aangevoerd.

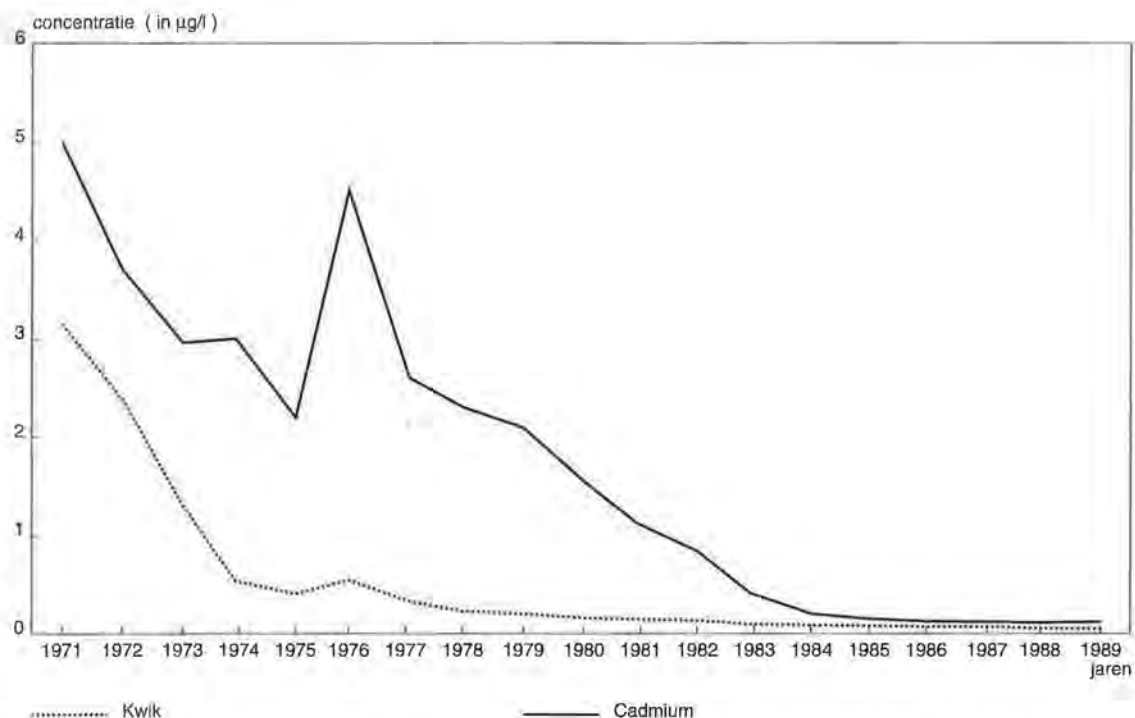
Gegevens over de aanvoer van zand en slib zijn vermeld in een rapport van het Waterloopkundig Laboratorium [12]. Op basis van dit rapport kan de jaarlijkse hoeveelheid door de IJssel aangevoerd zand (bodemdeeltjes $>50\ \mu\text{m}$) worden geschat op circa 0,08 miljoen ton. Dit zand bezinkt, in tegenstelling tot het slib, in een relatief klein gebied direct benedenstrooms van het Kattendiep en het Keteldiep. Aan dit zand zijn nauwelijks micro-verontreinigingen geadsorbeerd.

Het gehalte aan slib (deeltjes $<50\ \mu\text{m}$) in het IJsselwater wordt in genoemd WL-rapport op grond van een aantal metingen en literatuurgegevens gesteld op gemiddeld 40 mg/l. Voor de aanvoer vanaf Zwarte Meer/Zwartewater bij Ramspol wordt het slibgehalte geschat op circa 15 mg/l.

Met name aan de fijne slibdeeltjes zijn de microverontreinigingen (zware metalen, PCB's, PAK's e.d.) geadsorbeerd. Gegevens over de gehalten aan microverontreinigingen in Rijn- en IJsselwater zijn bekend uit metingen in het kader van het Kwaliteitsonderzoek in de Rijkswateren (WAKWAL).



Figuur 5. Jaargemiddelde gehalten lood en chroom in het Rijnwater, gemeten bij Lobith.



Figuur 6. Jaargemiddelde gehalten cadmium en kwik in het Rijnwater, gemeten bij Lobith.

Uit deze gegevens blijkt, dat de hoogste gehalten aan zware metalen optraden in het begin van de jaren zeventig [8]. Daarna is er een flinke daling opgetreden; de meeste gehalten zijn afgenomen met een factor 3 à 6, cadmium en kwik zelfs met factor 20 à 30 (zie figuren 5 en 6).

Van de gehalten aan organische microverontreinigingen zijn minder gegevens beschikbaar. Evenals de zware metalen zijn de PCB-gehalten rond 1970 hoger geweest dan nu, maar er zijn onvoldoende gegevens om hiervan een trend over de laatste 10 à 20 jaren te geven.

3.2.1.2 Globale slibbalans van het Ketelmeer

In diverse deelstudies van de Projectgroep Integraal Waterbeheer Ketelmeer [6,9,10] en in een studie van het Waterloopkundig Laboratorium [12] zijn schattingen gemaakt van de hoeveelheden slib, die het Ketelmeer inkomen, er uit gaan, dan wel er achter blijven. De resultaten daarvan zijn samengevat in tabel 3. Hierin is de aanvoer van slib vanaf Zwarte Meer/Zwartewater niet opgenomen, omdat deze verwaarloosbaar is in vergelijking met de aanvoer door de IJssel.

Tabel 3. Slibbalansen Ketelmeer; gegevens uit diverse studies (massa in miljoenen tonnen droge stof/jaar).

bron	aanvoer IJssel	netto sedimentatie	afvoer IJsselmeer
Winkels [6]	-	0,16*	-
WL [12]	0,43	0,20	0,23
Beurskens [9]	0,46	0,21	0,25
Toet/Blom [10]	0,60	0,34	0,26

* deze schatting is excl. zand

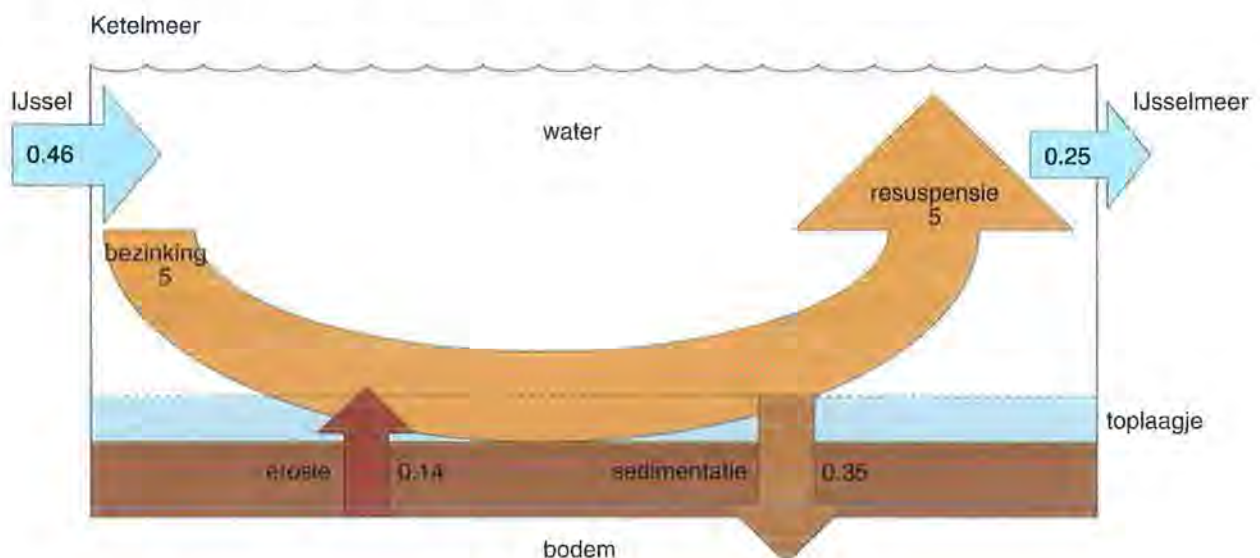
Uit de tabel blijkt dat de schattingen vrij goed met elkaar overeenkomen. De verschillen zullen te maken hebben met de natuurlijke variaties in de IJsselaflow en in de weersomstandigheden. De schattingen zijn gebaseerd op metingen in verschillende jaren: zo werkt het WL [12] met meetgegevens uit 1983 en 1984, terwijl Beurskens [9] metingen hanteert uit 1987. De netto sedimentatie van Winkels [6] is gebaseerd op de sinds 1932 opgebouwde dikte van de IJm-laag, waarbij het nabij de IJsselmonding gesedimenteerde zand niet is meegenomen (de WL-studie [12] schat deze hoeveelheid zand op 0,08 miljoen ton/jaar). De schattingen van Toet/Blom [10] zijn afkomstig van simulaties met behulp van een slibtransportmodel, geijkt met meetgegevens uit 1988/1990. Uit deze gegevens kan worden afgeleid, dat de gemiddelde jaarlijkse netto sedimentatie in het Ketelmeer ongeveer de helft bedraagt van het door de IJssel aangevoerde slib.

3.2.1.3 De verspreiding van verontreinigd slib

De netto sedimentatie in het Ketelmeer en de afvoer van slib naar het IJsselmeer zijn resultanten van de interne slibhuishouding van het Ketelmeer.

Deze slibhuishouding is beschreven met behulp van het slibtransportmodel STRESS. De opzet, uitvoering en resultaten van deze modelstudie zijn opgenomen in een deelrapport van de Projectgroep Integraal Waterbeheer Ketelmeer [10]. Om dit model te calibreren is een uitgebreid meet- en monsterprogramma uitgevoerd [11].

De slibhuishouding wordt schematisch weergegeven in figuur 7.

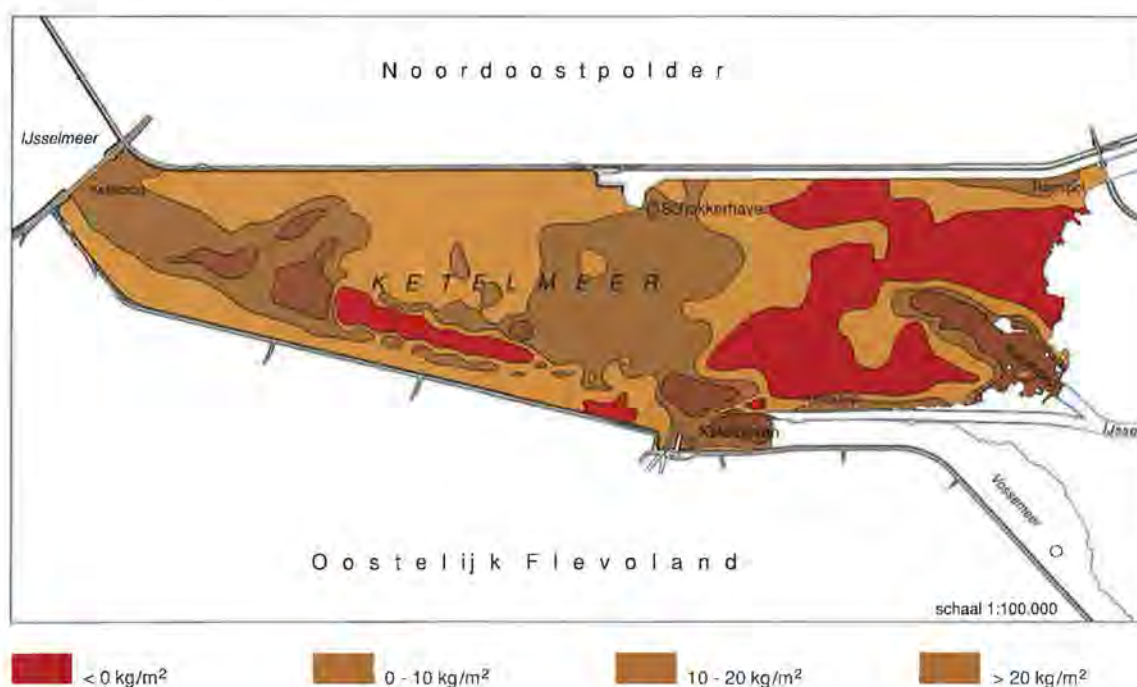


Figuur 7. Slibbalans van het Ketelmeer, hoeveelheden in miljoenen tonnen per jaar.

Uit deze figuur blijkt het grote belang van de interne circulatie, bestaande uit het bezinken en relatief snel weer opwoelen (resuspensie) van slib. Daarbij kan ook erosie van de vastere bovenste bodemlaag optreden. Door deze processen doen zich twee belangrijke verschijnselen voor:

- 1) het in een bepaalde periode in het Ketelmeer sedimenterende slib is een mengsel van recent aangevoerd IJsselslib en ouder, reeds eerder gesedimenteerd maar weer opgewerveld, IJsselslib;
- 2) het slib, dat het Ketelmeer verlaat, bestaat niet alleen uit recent aangevoerd IJsselslib, maar voor een deel ook uit ouder slib, dat weer van de Ketelmeerbodem opgewerveld is.

Het onder 1) genoemde verschijnsel heeft tot gevolg, dat de afdekking van de Ketelmeerbodem met een minder verontreinigde laag niet zo snel verloopt, als op grond van de ontwikkelingen van de gehalten aan verontreinigende stoffen in de IJssel mag worden verwacht. Dit wordt inderdaad bevestigd, als de gegevens m.b.t. de gelaagdheid van de verontreiniging worden vergeleken met de gegevens over de ontwikkeling van de afvoer van verontreinigende stoffen door de IJssel (vergelijk tabel 1 met figuur 5 en 6): de gehalten in de toplaag buiten de putten blijken ten opzichte van de maximale



Figuur 8. Erosie ($<0 \text{ kg/m}^2$) en sedimentatie ($>0 \text{ kg/m}^2$) in de huidige situatie, zoals berekend met het slibmodel STRESS.

waarden in de diepere lagen een factor 2 lager te zijn, terwijl de gehalten aan het zwevend stof in de IJssel momenteel een factor 3 tot 30 lager zijn dan rond 1970.

Daarnaast hebben simulaties met het slibmodel uitgewezen, dat de verschillende processen niet overal in het Ketelmeer in gelijke mate optreden (zie figuur 8). Gebieden met een sterke netto sedimentatie worden gevormd door de monding van het Kattendiep en de zandwinputten. Grote delen van het middengebied worden gekenmerkt door een lichte sedimentatie. Verder geven de simulaties in de huidige situatie lichte erosie aan in het oostelijk deel van het Ketelmeer, in de scheepvaartroute en langs de dijk ten westen van Ketelhaven.

Met name in dit laatste gebied, waar in het verleden dikke lagen slib zijn gesedimenteerd, bestaat het risico dat oud verontreinigd slib aan de oppervlakte is blijven liggen. Dit is blijkens recente analyses van een aantal toplaagmonsters inderdaad op enkele plekken in dit gebied het geval. Dit relatief sterk verontreinigde slib kan eroderen en zich in principe verspreiden naar het overige Ketelmeer. Een dergelijke erosie zal vooral optreden bij harde wind.

Daarnaast is ook de scheepvaart van invloed. Op grond van metingen achter varende schepen wordt het aandeel van de scheepvaart in de totale resuspensie/erosie in het Ketelmeer geschat op 10 à 20 % [13]. Het kwalitatieve belang van deze opwoeling is echter groter dan dit cijfer aangeeft, omdat diepere, meer verontreinigde, bodemlagen worden opgewoeld. Dit geldt vooral voor diepstekende schepen in het relatief ondiepe gedeelte van de hoofdvaartroute direct ten westen van de Ketelmond [14].

Eén en ander betekent dat in de huidige situatie het oppervlaktewater van het Ketelmeer belast wordt met extra verontreiniging ten opzichte van de verontreiniging, die momenteel vanaf de IJssel binnenkomt.

De onder 1) en 2) genoemde verschijnselen samen hebben tot gevolg, dat ook het IJsselmeer momenteel belast wordt met slib, dat sterker verontreinigd is dan het op dit moment door de IJssel aangevoerde slib. Met behulp van het slibtransportmodel is dit aandeel berekend op circa 30 %. Door Beurskens [9] wordt het aandeel van ouder (vuiler) bodemslib uit het Ketelmeer in het naar het IJsselmeer afgevoerde slib geschat op circa 25 %. Voor een aantal zware metalen (met name cadmium en kwik) is inderdaad aangetoond, dat de gehalten bij uitstroming naar het IJsselmeer thans hoger zijn dan bij de huidige instroming in het Ketelmeer (zie tabel 4).

Tabel 4. Gecorrigeerde gehalten aan cadmium en kwik in zwevend stof bij de IJsselmond en de Ketelbrug in 1988 (in mg/kg); gebaseerd op gegevens uit [9].

	gehalte IJsselmond	gehalte Ketelbrug	AMK 2000	toetsings- waarde
cadmium	6,3	7,8	3,0	11,2
kwik	1,2	1,6	0,8	2,4

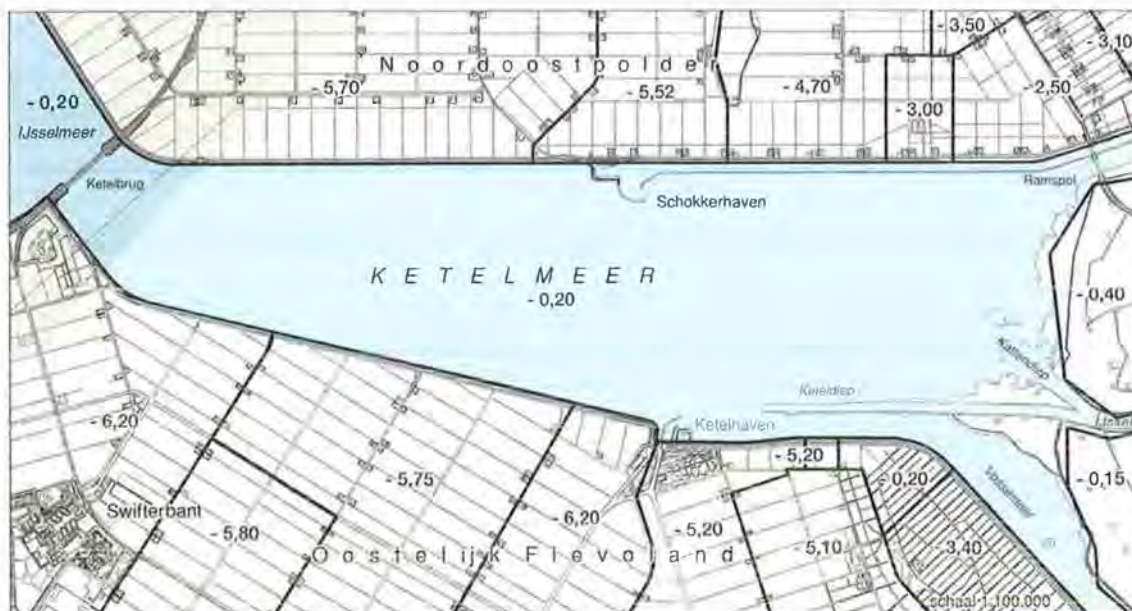
3.2.2 Verspreiding via het grondwater

3.2.2.1 De geohydrologische situatie

Het Ketelmeer is een inzigingsgebied: door de diepere ligging van de aangrenzende polders stroomt een deel van het oppervlaktewater via de ondergrond weg en komt na verloop van tijd in de polders als kwelwater aan het oppervlak. De snelheid, waarmee dit proces plaatsvindt, wordt enerzijds bepaald door peilverschillen van het water in de polders en in het Ketelmeer, die potentiaalverschillen in het onderliggende grondwater veroorzaken, en anderzijds door de doorlatendheid van de verschillende bodemlagen, die het water moet passeren.

Het waterpeil van het Ketelmeer bedraagt in de zomer N.A.P. -0,20 m en in de winter N.A.P. -0,40 m (streefpeilen). De polderpeilen variëren van N.A.P. -2,5 m in het oosten tot N.A.P. -6,0 m in het westen (figuur 9). Deze en onderstaande gegevens zijn ontleend aan [15].

Over het algemeen bestaat de bodem van het Ketelmeer uit een slecht doorlatend holocene klei- en veenpakket met een dikte van 1,5 m in het oosten tot 6 m in het westen. Dit pakket wordt onderbroken ter plaatse van de voormalige zandwinputten en bij de insnijdingen ter plaatse van het Keteldiep en het Kattendiep. Onder het holocene ligt een goed doorlatend pleistoceen zandpakket van 200 tot 350 m dikte (watervoerend pakket). Alleen nabij de Ketelbrug bevindt zich in dit watervoerend pakket op een diepte van circa 20 m een slechtdoorlatende laag (Eemklei) van maximaal enkele meters dikte (figuur 9). Deze laag is in het Ketelmeer op enkele plaatsen verstoord door zandwinactiviteiten.



Figuur 9. Polderpeilen en waterpeilen in het Ketelmeergebied. Het grijze gedeelte is het gebied met de slechtdoorlatende Eemklei-laag op circa 20 m diepte.

3.2.2.2 De stroming van het grondwater

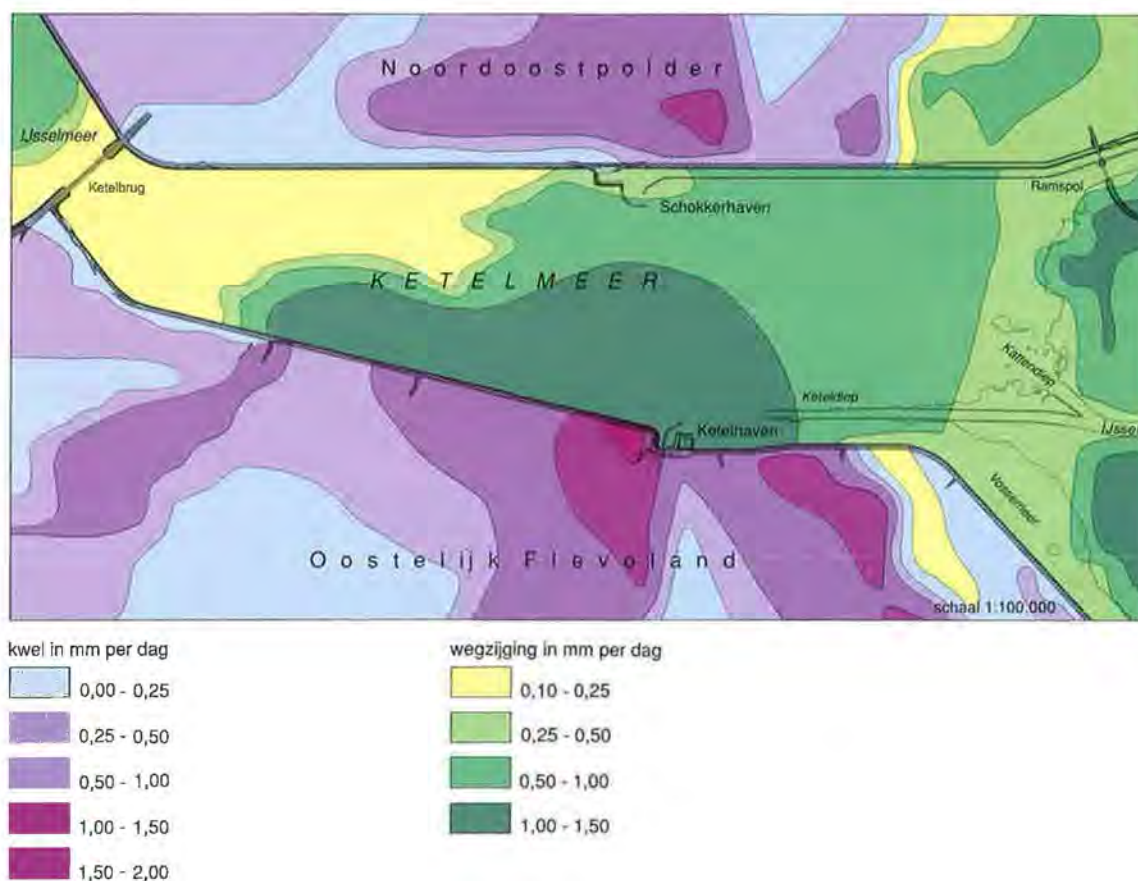
Zoals gemeld treedt er wegzijging van water op uit het Ketelmeer en kwel in de naastgelegen polders. Deze grondwaterstroming vindt plaats via het watervoerende pakket (diepe kwel) en direct via de zandlaag - de grondverbetering - onder de dijken (dijkswkel).

Met behulp van het geohydrologisch model MODFLOW is de diepe grondwaterstroming gemodelleerd [15]. Met dit model is berekend, dat door de bodem van het Ketelmeer een totale hoeveelheid water van circa 35000 m³ per dag infiltreert. Hiervan stroomt per dag circa 35 % in de richting van de Noordoostpolder en circa 65 % in de richting van de polder Oostelijk Flevoland.

De belangrijkste inzijgingsgebieden (inzijging 1 - 1,5 mm/dag) liggen ten noorden van Ketelhaven en langs de dijk ten westen daarvan. De belangrijkste kwelgebieden (kwel 1 - 2 mm/dag) liggen ten zuidwesten en zuidoosten van Ketelhaven en tussen Swifterbant en de Ketelbrug in de polder Oostelijk Flevoland alsmede bij Schokkerhaven in de Noordoostpolder (figuur 10).

De dijkswkel is berekend door het Waterloopkundig Laboratorium [16] op circa 13000 m³ per dag. Hiervan stroomt ruim de helft naar de polder Oostelijk Flevoland en de rest naar de Noordoostpolder. Ongeveer 80 % van deze dijkswkel stroomt naar de drains of de kwel sloten direct achter de dijk, de rest stroomt verder door het watervoerend pakket.

In het algemeen gaat het bij grondwaterstroming om langdurige processen. Door de Dienst Grondwaterverkenning van TNO zijn de reistijden van het grondwater berekend [17]. Hieruit blijkt dat de reistijden variëren van enkele tientallen jaren voor stroomlijnen vlak bij de dijk tot enkele duizenden jaren voor stroomlijnen vanuit het centrale Ketelmeer.



Figuur 10. Kwel en wegzijging in het Ketelmeergebied, berekend met het grondwatermodel MODFLOW.

3.2.2.3 De verspreiding van verontreinigd grondwater

Om inzicht te verkrijgen in de verspreiding van stoffen vanuit de waterbodem naar het grondwater en de chemische eigenschappen van de ondergrond, is in 1989 en 1990 een 16-tal boringen uitgevoerd in en nabij het Ketelmeer. In deze boringen zijn grondwatermonsters genomen direct onder de holocene afdekkende laag van klei en veen en tevens op ongeveer 25 meter diepte in het watervoerende pakket.

De analyseresultaten van deze grondwatermonsters zijn opgenomen en behandeld in een deelstudie van de Projectgroep Ketelmeer [18]. Hieruit blijkt, dat op vele plaatsen direct onder het holoceen zich nog het brakke grondwater uit de Zuiderzeeperiode bevindt. In de omgeving van de voormalige zandwinputten in het westen, waar de holocene deklaag doorbroken is geweest, en ook in een wat groter gebied in het oosten (IJsseldelta) is sprake van verdringing van het oudere grondwater door recent Ketelmeerwater. Dit beeld komt overeen met de hierboven genoemde grondwatermodel-berekeningen.

De gemeten concentraties aan microverontreinigingen in het watervoerende pakket onder de holocene deklaag wijzen niet op vervuiling vanuit de waterbodem in de huidige situatie.

Wel is het mogelijk dat het grondwater in het oostelijk deel en bij de voormalige zandwinputten verontreinigd is door inzijsend oppervlaktewater (chroom). Hier komen soms concentraties voor die qua orde van grootte overeenkomen met gehalten in de Rijn in de jaren '70. Een invloed van de toplaag als extra bron van vervuiling is hier niet aan te tonen, maar ook niet uit te sluiten.

Organische microverontreinigingen zijn in het diepere grondwater niet in verhoogde concentraties aangetroffen.

Wel zijn verhoogde gehalten van enkele organische microverontreinigingen (di- en trichloorbenzenen) gemeten bij analyse van bodemonsters uit de Zuiderzee-afzetting, vlak onder de verontreinigde IJm-laag [7]. Hieruit blijkt dat transport van deze stoffen over korte afstanden reeds heeft plaats gevonden.

3.3 Risico's voor volksgezondheid en milieu

3.3.1 Contact- en opnamerisico's voor de mens

Mogelijkheden voor de mens om in contact te komen met de verontreinigingen in een vervuilde waterbodem zijn:

- contacten met vervuild slib via de huid bij recreanten, vissers, monsternemers, baggeraars;
- opname via de mond bij recreanten (met name kinderen);
- opname via consumptie van vis of landbouwprodukten;
- opname van verontreinigingen via het drinkwater.

Door het RIVM is een studie uitgevoerd naar de potentiële effecten van een aantal in waterbodems voorkomende stoffen op de menselijke huid [19]. De concentraties van stoffen die een direct effect op de huid hebben blijken in de Ketelmeerbodem doorgaans ver beneden de niveau's te liggen, waarbij dergelijke effecten verwacht kunnen worden door blootstelling in de recreatieve situatie. Weliswaar is slechts een beperkt aantal (bekende) stoffen in ogenschouw genomen, maar voor deze zijn ruime marges gevonden tussen de concentraties die mogelijk toxische effecten op de huid veroorzaken en de gehalten die worden aangetroffen in de bodem van het Ketelmeer.

Ook de opname via de huid van PAK's en PCB's wordt voor recreanten in het Ketelmeer uiterst gering geacht.

Voor kinderen is berekend dat opname via de mond bij het spelen slechts een kleine bijdrage (max 5 %) levert aan de totale opname van PAK's. Het extra risico op kanker (sommige PAK's zijn kanker-verwekkend) ten gevolge van deze bijdrage wordt verwaarloosbaar geacht.

Ook voor beroepsgroepen met een beperkt blootstellingspatroon (vissers, monsternemers) zijn de risico's gering tot verwaarloosbaar klein. Omdat de stoffen sterk zijn gebonden aan het slib, zal de feitelijke opname bij de optredende, incidentele en relatief kort durende, contacten met handen en armen gering zijn. De situatie voor baggeraars verschilt hiervan, omdat de contacten met de water-

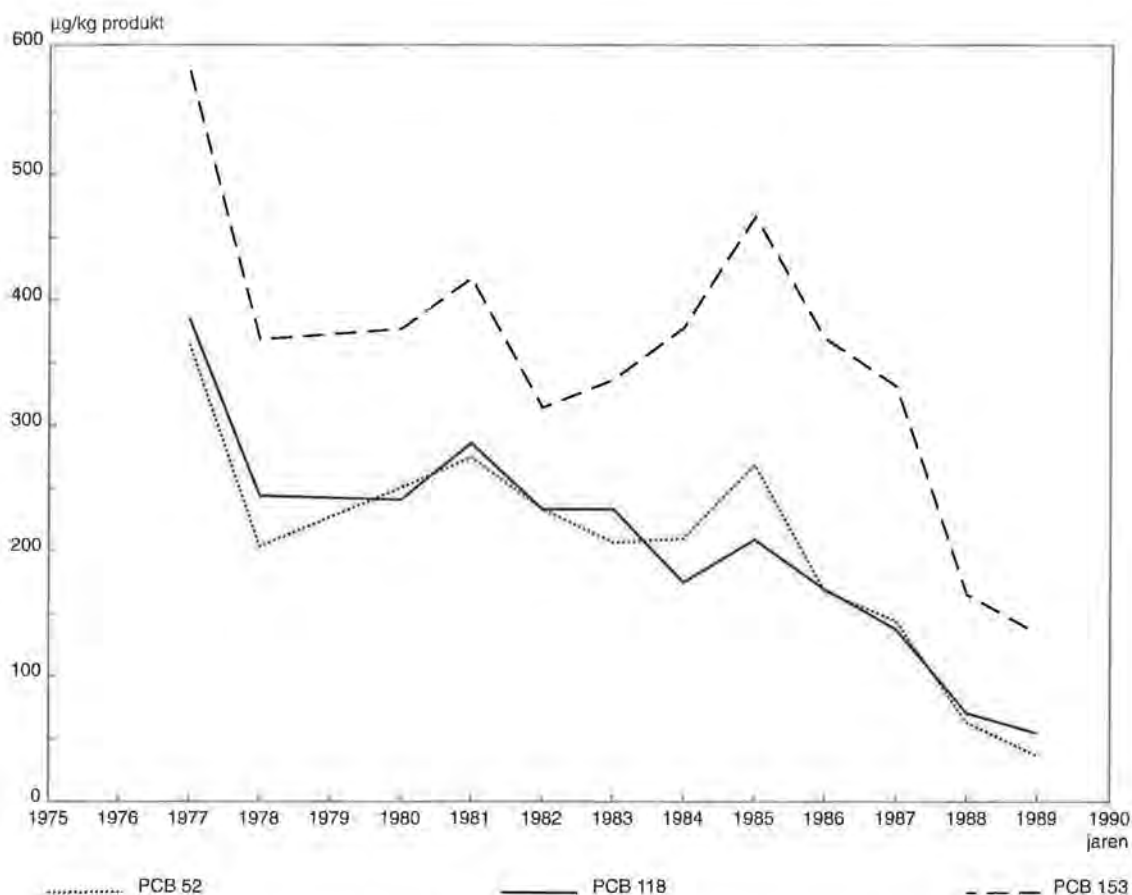
bodem hier veel intensiever en langduriger zijn. Bij een dergelijk intensief contact is het raadzaam om maatregelen te treffen die de blootstelling zo klein mogelijk houden.

Bij het bovenstaande moet men beseffen dat slechts een klein aantal (bekende) stoffen onder de loep is genomen. Voor de onderzochte stoffen zijn echter ruime marges gevonden tussen de concentraties die mogelijk toxische effecten veroorzaken op de huid en de gehalten in de bodem van het Ketelmeer.

Tot de eerste helft van de jaren '80 voldeed het gehalte aan PCB's in aal uit het Ketelmeer niet aan de consumptienormen in de Warenwet. Aal is een representatieve vis, omdat deze zich in de winter weinig verplaatst, en leeft en zich voedt in het sediment. Bovendien is het vetgehalte van aal hoog (opslag van verontreinigingen vindt vooral plaats in vet). In andere vissen met een lager vetgehalte zal de concentratie aan verontreinigingen doorgaans veel lager zijn.

De afgelopen jaren is duidelijk sprake van een dalende trend in de gehalten van verontreinigende stoffen in vis uit het Ketelmeer [20]. Dit wordt goed geïllustreerd door de afnemende concentraties van PCB's in aal (figuur 11). In de afgelopen jaren werden de normen voor stoffen in vis, bestemd voor menselijk consumptie, niet overschreden in aal uit het Ketelmeer (zie tabel 5).

Opname van verontreinigingen via landbouwproducten speelt in de huidige situatie geen rol. Er wordt geen oppervlaktewater uit het Ketelmeer meer in de polders ingelaten, terwijl kwel van verontreinigd grondwater momenteel niet plaats vindt. Dit laatste zal op de langere termijn (zie onder 4.3) wel gebeuren.



Figuur 11. Trend van gehalten aan PCB-52, -118 en -153 in een standaard rode aal met 18 % vet uit het Ketelmeer.

Tabel 5. Concentraties van stoffen in aal in het Ketelmeer in 1988, vergeleken met consumptienormen.

	Ketelmeer (µg/kg aal)	max. toegestaan gehalte	bron
kwik	180-380	1000	Warenwet
pentachloorbenzeen	25	200	FAO
hexachloorbenzeen	120	200	FAO
alfa-HCH	20	200	FAO
gamma-HCH	73	200	FAO
pp-DDE	120	150	EPA
pp-DDD	55	150	EPA
endrin	<2	300	EPA
dieldrin	20	300	EPA
PCB-28	10	500	Warenwet
PCB-52	100	200	Warenwet
PCB-101	120	400	Warenwet
PCB-118	110	400	Warenwet
PCB-138	200	500	Warenwet
PCB-153	260	500	Warenwet
PCB-180	79	600	Warenwet

Drinkwater wordt in het Ketelmeer en nabije omgeving niet gewonnen. Wel vindt drinkwateronttrekking plaats vanuit het IJsselmeer bij Andijk. Het gehalte aan microverontreinigingen in het IJsselmeewater voldeed de afgelopen jaren aan de norm voor de basiskwaliteit en hiermee aan de norm voor bereiding van drinkwater. Als het inlaatwater getoetst wordt aan de kwaliteitsdoelstelling 2000, dan treden wel overschrijdingen op, maar deze betreffen niet de microverontreinigingen.

3.3.2 Contact- en opnamerisico's voor organismen

Door middel van veldonderzoek en laboratoriumonderzoek is een aantal gegevens verzameld over effecten van de verontreinigde Ketelmeerbodem. Daarnaast is gebruik gemaakt van gegevens uit vergelijkbare gebieden.

Bij veldonderzoek in het Ketelmeer naar het voorkomen van bodembewonende organismen zijn plaatselijk lage aantallen muggelarven gevonden. Dichtheden waren plaatselijk lager dan 500 exemplaren per m², hetgeen ernstig afwijkend is van wat in Rijn-sedimenten met vergelijkbare structuur verwacht mag worden. Daar komen aantallen van meer dan 1500 ex/m² voor.

Ook werden hoge percentages muggelarven met kaakafwijkingen (>30 %) gevonden. Een geval van >20 % wordt als ernstig afwijkend gekwalificeerd. In schone sedimenten worden kaakafwijkingen bij minder dan 10 % van de larven aangetroffen. Correlaties zijn aangetoond tussen het misvormingenpercentage bij muggelarven en de dichtheid en ontwikkeling van deze organismen: wanneer het aantal misvormingen hoog is zijn dichtheid en conditie laag [21].

Bioaccumulerende stoffen als PCB's hopen zich op in levend weefsel en kunnen een bedreiging vormen voor organismen hoger in de voedselketen. Verschillende van deze stoffen zijn gevonden in palingen uit het Ketelmeer in concentraties die dicht bij de kritieke grens liggen voor gehalten in voedsel van visetende zoogdieren en vogels: voor een aantal PCB's waren de concentraties in vis in 1988 op eenzelfde niveau als waarbij in laboratoriumexperimenten de vruchtbaarheid van met vis gevoerde nertsen geremd bleek. De nerts is een gespecialiseerde consument, vergelijkbaar met de otter. Het is dan ook niet uitgesloten dat bij andere gespecialiseerde consumenten als aalscholvers, duikeenden of otters remming van de voortplanting optreedt wanneer zij uitsluitend vis of schelpdieren uit het Ketelmeer zouden eten (zie tabel 6).

Tabel 6. Gehalten van PCB's en DDT-derivaten in vis in het Ketelmeer in 1989, vergeleken met ecotoxicologische waarden.

	Ketelmeer vis (5% vet) (µg/kg vis)	ecotoxicologische waarde
PCB-28	2,5	10
PCB-52	25	4
PCB-101	40	8
PCB-118	35	8
PCB-138	50	10
PCB-153	65	10
PCB-180	20	12
pp-DDE	120	150
pp-DDD	55	150

Ook de concentraties van DDT-achtige verbindingen lag dicht bij het kritieke niveau. Voor andere organochloorbestrijdingsmiddelen waren de concentraties (veel) lager dan de aangenomen kritieke niveau's in voedsel van gespecialiseerde consumenten.

Dat de hierboven genoemde effecten op bodembewonende organismen te wijten zijn aan de kwaliteit van de waterbodem blijkt uit laboratoriumonderzoek met bioassays. Hierbij worden toetsorganismen onder gecontroleerde condities blootgesteld aan veldmonsters van de waterbodem. Sediment van verontreinigde lokaties in het Ketelmeer bleek in de bioassays een negatieve uitwerking te hebben op de voortplanting van wormachtigen. Deze werd met 40 % geremd. Ook voor eieren en larven van forellen bleek dit sediment giftig: de sterfte nam met 20 % toe. Het poriewater uit sediment van dezelfde locaties veroorzaakte sterfte bij watervlooien, muggelarven en vissen [22].

De waargenomen effecten kunnen verklaard worden met de in de waterbodem aangetroffen concentraties van verontreinigende stoffen, waaronder verschillende zware metalen.

Ook de accumulatie van PCB's is toe te schrijven aan verhoogde gehalten in de waterbodem.

Of de hierboven genoemde potentiële risico's voor gespecialiseerde consumenten ook daadwerkelijk leiden tot waar te nemen effecten is afhankelijk van de specifieke ecologische functie van het Ketelmeer voor verschillende soorten organismen. Deze zal afhankelijk zijn van de voedingsgewoonten van deze dieren, met name de keuze van het fourageergebied, de duur van het verblijf in het Ketelmeer en de periode, waarin dit verblijf plaatsvindt (overwinteren, broedseizoen).

Het Ketelmeer fungeert als pleisterplaats voor een aantal eendesoorten tijdens de trek. De belasting op jaarbasis door het Ketelmeer zal daarom voor deze soorten beperkt zijn. Voor soorten die overwinteren kan deze opname wel van belang zijn, gezien de grote energiebehoefte in deze periode. Zo dient de driehoeksmossel in de winter voor circa 80 % van alle duikeenden in het IJsselmeergebied als stapelvoedsel. Voor kuifeend, toppereend, tafeleend en brilduiker bestaat het dieet in het winterhalfjaar zelfs voor meer dan 90 % uit driehoeksmosselen. Deze driehoeksmosselen filtreren en absorberen zeer efficiënt metalen en andere microverontreinigingen. Via de driehoeksmossel accumuleren de metaalverontreinigingen, vooral cadmium en koper, in lever en nieren van de duikeenden uit het IJsselmeergebied [23]. De concentratie van vooral cadmium in duikeenden is indicatief voor een verontreinigd milieu [24].

Behalve in de wintertijd is voor vogels het broedseizoen een kritieke periode, wanneer het opgenomen voedsel vrijwel direct wordt gebruikt om eieren te produceren. De ontwikkeling van de eieren is bijzonder gevoelig voor toxische stoffen. Bij aalscholvers in de Biesbosch is waargenomen dat milieuvreemde stoffen volume en schaaldikte van eieren reduceren en de groei van jongen remmen.

Daarnaast moet men ook rekening houden met het feit dat een mengsel van toxische stoffen schadelijk kan zijn door het optreden van een gecombineerd effect, ondanks het feit dat de afzonderlijke concentraties van deze stoffen beneden de niveau's liggen waarbij effecten kunnen optreden [22].

4 Urgentie van sanering

4.1 Aantasting van de gebruiksfuncties

Het Ketelmeergebied heeft een aantal gebruiksfuncties, die zijn geïnventariseerd in een deelrapport van de Projectgroep Ketelmeer [25]. Al deze functies worden in meerdere of mindere mate aangetast door de verontreiniging van de waterbodem.

1) Natuur

Het Ketelmeer is als onderdeel van de IJsseldelta en van de grote wateren van het IJsselmeergebied een belangrijk natuurgebied. Dit geldt vooral voor overwinterende vogels, maar deze kunnen daar alleen in grote aantallen overwinteren, als aan basisvoorwaarden, zoals de aanwezigheid van voedsel, voldaan wordt. Het oostelijk deel heeft de bestemming natuur in bestemmings- en streekplannen en behoort tot de natuurontwikkelingsgebieden uit het Natuurbeleidsplan [26]. In natuurontwikkelingsgebieden wordt de ontwikkeling van ondiepten, moerassen, broekbossen e.d., onder meer door middel van natuurbouw, nagestreefd. De natuurontwikkeling in dit oostelijk deel is één van de zeven strategische projecten van het bestuursakkoord Nadere Uitwerking Rivierengebied [27].

In de Nota Ketelmeer [28] van de provincie Flevoland wordt ook de noordelijke oever van het Ketelmeer als natuurontwikkelingsgebied aangewezen.

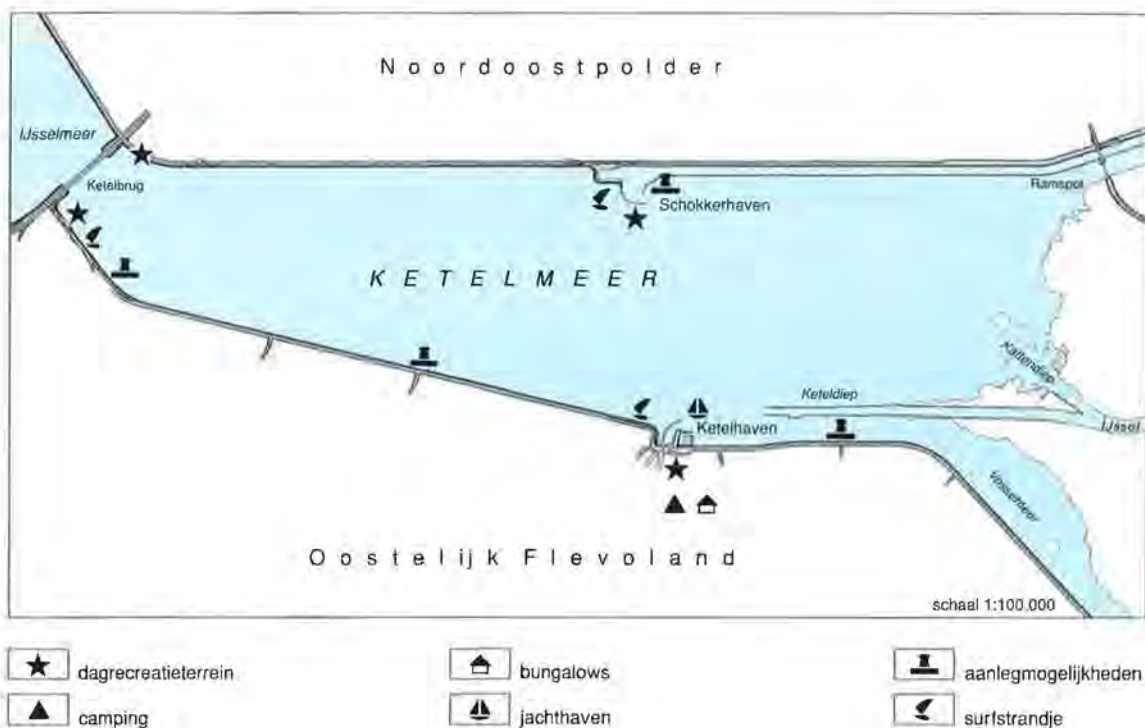
In de Derde Nota Waterhuishouding [3] is aan het water van het Ketelmeer de ecologische doelstelling toegekend (voor de volgende planperiode, d.w.z. na 1995).

Uit 3.3.2 kan worden afgeleid, dat deze functie door de huidige verontreiniging nadelig wordt beïnvloed: zie de daar vermelde verhoogde sterftetekansen, groeiremmingen e.d. bij bodemfauna, vissen en vogels. De mogelijkheden voor natuurontwikkeling worden sterk belemmerd door de aanwezigheid van de verontreinigde waterbodem. Natuurbouw zal een ingrijpen in de bestaande bodem betekenen, hetgeen in de huidige situatie milieuhygiënisch nauwelijks verantwoord is. Iets dergelijks zal alleen mogelijk zijn onder strenge voorwaarden, die hoge kosten tot gevolg hebben.

2) Recreatie

Het Ketelmeer heeft in de huidige situatie een aantal recreatieve voorzieningen (figuur 12).

Op enkele strandjes langs het meer wordt gezwommen. Zoals aangegeven in 3.3.1 zijn de risico's van de verontreinigde waterbodem voor recreanten verwaarloosbaar.



Figuur 12. Huidige recreatieve voorzieningen in het Ketelmeergebied.

Het Ketelmeer heeft als kruispunt van verschillende vaarroutes (Randmeren/Noordwest-Overijssel, IJssel/IJsselmeer) een belangrijke functie voor de recreatievaart en de watersport. Om deze functie verder te ontwikkelen, zijn er plannen voor de aanleg van jachthavens, eilanden en stranden/voorlanden (Commissie Integraal Beleidsplan Randmeren IJsselmeerpolders [29] en Gemeente Dronten/Recreatieschap West-Overijssel [30]). Dergelijke ontwikkelingen zijn in de huidige situatie onmogelijk, omdat elke activiteit kostbare ingrepen in de verontreinigde waterbodem mee brengt. Bovendien is er geen depot beschikbaar, waar de verontreinigde specie op een verantwoorde wijze kan worden geborgen. Daarnaast is ook om psychologische redenen verdere recreatieve ontwikkeling van het Ketelmeer moeilijk van de grond te krijgen.

- 3) Visserij
Daarnaast is in de Derde Nota aan het Ketelmeer de functie viswater voor karperachtigen toegekend. Het meer voldoet niet aan de waterkwaliteitsnorm "water voor karperachtigen", vanwege een te hoog fosfaatgehalte; dit is echter geen typisch Ketelmeer-probleem. Er wordt in het meer vis gevangen voor de menselijke consumptie. Zoals in 3.3.1 vermeld, wordt de laatste jaren voldaan aan de consumptienormen voor microverontreinigingen in vis volgens de Warenwet.
- 4) Scheepvaart
Het Ketelmeer is onderdeel van de hoofdvaarroute tussen de IJssel en de vaarroute Amsterdam-Lemmer. Omdat vanwege de verontreinigde waterbodem de afgelopen jaren geen baggerwerk meer kon worden verricht, stagneert het onderhoud aan de vaargeul in en voor de Ketelmond. Dit veroorzaakt toenemende problemen voor de scheepvaart. Bovendien wordt door dit achterstallig onderhoud de kans op opwerveling van verontreinigd bodemslib vergroot (zie ook 3.2.1.3). Verder kunnen plannen tot verbetering van de vaarroute Kampen-IJsselmeer niet worden uitgevoerd, omdat ook dit een ingreep in de verontreinigde waterbodem betekent.
- 5) Zandwinning
Het Ketelmeer heeft vanaf de jaren '50 een functie vervuld als zandwingebied. De afgelopen jaren wordt dit niet meer toegestaan om opwerveling van vervuild slib en nieuwe doorbrekingen van de afsluitende holocene deklaag te voorkomen (zie ook 3.2.2.3).
- 6) Landbouw
De aan het meer grenzende polders kennen een hoogwaardig landbouwkundig gebruik. Op dit moment is er geen sprake van beïnvloeding van deze functie door de verontreiniging van de Ketelmeerbodem. Wel zullen op de lange termijn (minimaal tientallen tot honderden jaren) in het kwelwater van deze polders concentraties van verontreinigende stoffen optreden, die voor tenminste één, niet afbreekbare, stof de referentiewaarden zullen overschrijden (zie 4.4.3). Voor landbouwwater zelf ontbreken normen voor microverontreinigingen, zodat op dit punt toetsing niet mogelijk is.

4.2 Ontwikkeling van de bronnen

Sanering is alleen zinvol als op het moment van, of in elk geval direct na, daadwerkelijke sanering de aanvoer van verontreinigingen op een zodanig laag peil ligt en blijft, dat geen nieuwe onaanvaardbare verontreiniging op de saneringslocatie ontstaat. Voor het Ketelmeer zijn twee punten van belang:

- allereerst moet bekend zijn, hoe de kwaliteit van het IJsselslib zich in de toekomst ontwikkelt;
- vervolgens is van belang, hoe schoon het aangevoerde zwevende stof moet zijn (welke kwaliteit is aanvaardbaar?).

Voorspellingen voor de verdere ontwikkeling van de gehalten van microverontreinigingen aan zwevend stof in de Rijn zijn gedaan met behulp van het model HORIZON in het project Prognose Waterbodem [31,32]. Daarbij is uitgegaan van een beperking van de lozingen van deze stoffen met 50% in 1995, zoals afgesproken in het Rijn Actie Plan (R.A.P.). Uit de prognoses blijkt, dat voor twee van de acht metalen (kwik en koper) en voor drie van de vijf organische microverontreinigingen het zwevend stof bij Lobith in 1995 nog niet aan de kwaliteitsdoelstelling 2000 voldoet. Overigens wordt voor deze parameters dan wel ruim aan de toetsingswaarden (grens tussen klasse 2 en 3) voldaan.

Uit recente meetgegevens blijkt echter, dat voor de meeste stoffen de ontwikkeling zodanig is, dat de doelstellingen uit het R.A.P. wellicht niet gehaald zullen worden. Dit betekent, dat een voorspelling van de werkelijke ontwikkeling van de gehalten aan zwevend stof moeilijk is. Globale berekeningen wijzen uit, dat als de R.A.P.-doelstellingen slechts voor de helft worden bereikt, drie van de acht metalen en vier van de vijf organische microverontreinigingen in het door de rivieren aangevoerde slib in 1995 niet aan de kwaliteitsdoelstelling 2000 voldoen. Ook in dit geval wordt voor deze stoffen wel aan de toetsingswaarden voldaan.

Op grond van deze gegevens kan worden geconcludeerd, dat zowel bij uitvoering van het R.A.P. als bij het niet halen van de R.A.P.-doelstellingen de kwaliteit van het aangevoerde zwevend stof in 1995 en volgende jaren in klasse 2 zal vallen.

Het uitgangspunt bij bodemsanering is, dat na de sanering een multifunctionele bodem wordt verkregen en wordt behouden [4]. Dit betekent voor de droge bodem, dat voldaan moet worden aan de referentiewaarden voor een goede bodemkwaliteit. Voor de waterbodem wordt momenteel de AMK 2000 gehanteerd op een vergelijkbaar beoordelingsniveau als dat van de referentiewaarde bodem.

Hierboven is geconcludeerd dat de kwaliteit van het aangevoerde zwevend stof rond 1995 in klasse 2 zal vallen. Op de langere termijn zal deze kwaliteit verder verbeteren, maar zelfs met een verdergaande reductie van de lozingen (scenario R.A.P.-plus, zie ook onder 4.4) zal klasse 1 in 2010 nog niet worden gehaald [36]. Dit betekent dat de doelstelling multifunctionaliteit in dit gebied aan het uiteinde van het Rijnstroomgebied niet voor 100 % haalbaar is. Afhankelijk van de uit te voeren saneringsmaatregel zal de waterbodem van het Ketelmeer in klasse 1 of 2 terecht komen. Dit is vergelijkbaar met de waterbodemkwaliteit van de omliggende gebieden (IJsselmeer, Randmeren).

In het Saneringsprogramma Waterbodem Rijkswateren [1] wordt ten aanzien van dit punt het volgende gesteld: "Wanneer daadwerkelijk tot sanering wordt overgegaan, kan de situatie per saneringsgeval zodanig zijn, dat het doel van een multifunctionele bodem niet (volledig) kan worden bereikt. Dit kan bijvoorbeeld het geval zijn in sedimentatiegebieden, indien de lokale achtergrondgehalten de referentiewaarden te boven gaan".

In het geval van het Ketelmeer is inderdaad sprake van een sedimentatiegebied, waar de achtergrondgehalten in de IJssel en in de omliggende regio de AMK 2000 (vergelijkbaar met referentiewaarde) te boven gaan. Deze overschrijding is echter relatief gering en zal na 1995 nog minder worden. Geconcludeerd wordt dan ook, dat de ontwikkeling van de kwaliteit van het aangevoerde zwevend stof zodanig is, dat een sanering van de Ketelmeerbodem daardoor niet in de weg wordt gestaan.

4.3 Bijdrage verspreiding t.o.v. andere bronnen

Zoals in 3.2.1 en 3.2.2 aangegeven vindt verspreiding van de verontreiniging plaats naar het IJsselmeer en naar het grondwater. Voor het IJsselmeer zijn ook vrachten vanuit andere bronnen bekend uit een studie ten behoeve van de beleidsanalyse voor de Derde Nota Waterhuishouding [33]. In tabel 7 zijn enkele van deze gegevens weergegeven.

Water uit het IJsselmeer, en dus indirect Ketelmeerwater, komt via de spuisluizen in de Afsluitdijk in de Waddenzee terecht. Tabel 8 geeft een indruk van de relatieve bijdrage die metalen gebonden aan Ketelmeerslib leveren aan de belasting van de Waddenzee [34].

Tabel 7. Belasting van het IJsselmeer vanuit diverse bronnen, voor enkele representatieve micro-verontreinigingen (kg/jaar in 1985).

stof	IJssel)	Ketelmeer)	atmosfeer	omgeving)	totaal
cadmium	850	820	228	3	1901
kwik	300	148	179	9	636
PCB-153	9	3	5	0	17
b(a)pyreen	205	83	24	1	313

*) dit is de IJsselvracht minus de door sedimentatie in het Ketelmeer achterblijvende vracht (uitgegaan is van 50 % sedimentatie, zie 3.2.1.2)

**) dit is de vracht ten gevolge van nalevering vanuit de Ketelmeerbodem

***) hieronder vallen: uitslagwater uit omringende polders en directe lozingen door industrie en huishoudens, zuiveringsinstallaties en overstorten

Het Ketelmeer blijkt, vooral voor de metalen, een substantieel deel van de totale belasting van het IJsselmeer te leveren.

Tabel 8. Relatieve bijdrage van aan Ketelmeer- dan wel IJsselslib gebonden metalen (ton/jaar) uit IJsselmeer naar Waddenzee (1987/1988).

	cadmium	arseen	chrom	koper	kwik	nikkel	lood	zink
totale vracht	1,9	36	41	72	0,54	64	56	240
vracht IJssel	0,9	7,1	19	17	0,18	11	31	86
vracht K'meer	0,7	3,4	14	10	0,23	5	18	67
% IJssel	46	20	46	24	34	17	56	36
% Ketelmeer	38	10	35	14	42	8	33	28

Voor het grondwater onder het Ketelmeer en aangrenzende gebieden zijn geen cijfers over andere bronnen bekend. Enkele puntbronnen (verband houdend met bestrijdingsmiddelengebruik) zullen in de polders hooguit op enkele begrensde plekken tot verontreiniging van het grondwater leiden, omdat het kwelgebieden zijn. Dit betekent, dat voor microverontreinigingen in het grondwater het Ketelmeer vrijwel de enige bron is.

4.4 Prognoses toekomstige ontwikkelingen

Prognoses voor een aantal belangrijke ontwikkelingen, die de kwaliteit van het Ketelmeer en de directe omgeving beïnvloeden, zijn gemaakt met wiskundige modellen. In deze modellen zijn de belangrijkste chemische en fysische processen, die een rol spelen, beschreven. De voor het Ketelmeer gemaakte modellen zijn zo goed mogelijk geëkt met praktijkgegevens uit allerlei metingen, bemonsteringen en boringen. Desondanks blijven dergelijke modellen vereenvoudigingen van de werkelijkheid en zullen de uitkomsten nooit absoluut geïnterpreteerd mogen worden. Wel kunnen ze de gemiddelde richting van een ontwikkeling redelijk inschatten; maar de variatie, die in de praktijk rond een dergelijk gemiddelde zal bestaan, kan groot zijn.

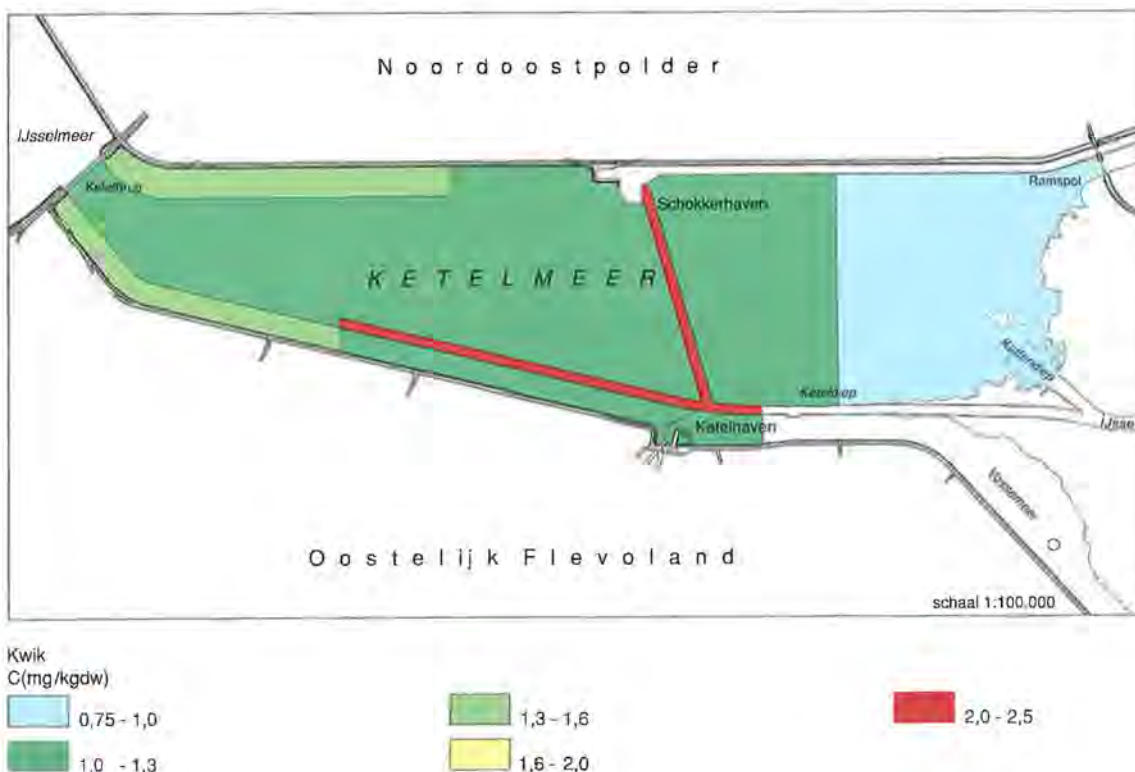
4.4.1 Ontwikkeling van de toplaag in het Ketelmeer

Globale voorspellingen over de ontwikkeling van de bovenste bodemlaag in het Ketelmeer zijn gedaan met het al genoemde model HORIZON [31] en tevens met het model IMPAQT [35]. Hieruit is gebleken, dat de kwaliteit van de toplaag in het Ketelmeer bij uitvoering van het Rijn Actie Plan (50 % reductie van de belasting in 1995) wel verbetert, maar dat hiermee voor een aantal stoffen de kwaliteitsdoelstelling 2000 niet wordt gehaald. Voor een deel komt dit doordat de emissiebeperking in het Rijnstroomgebied nog niet ver genoeg gaat, voor een deel door de vertraagde reactie van de bodem op veranderingen in de aanvoer ten gevolge van resuspensie.

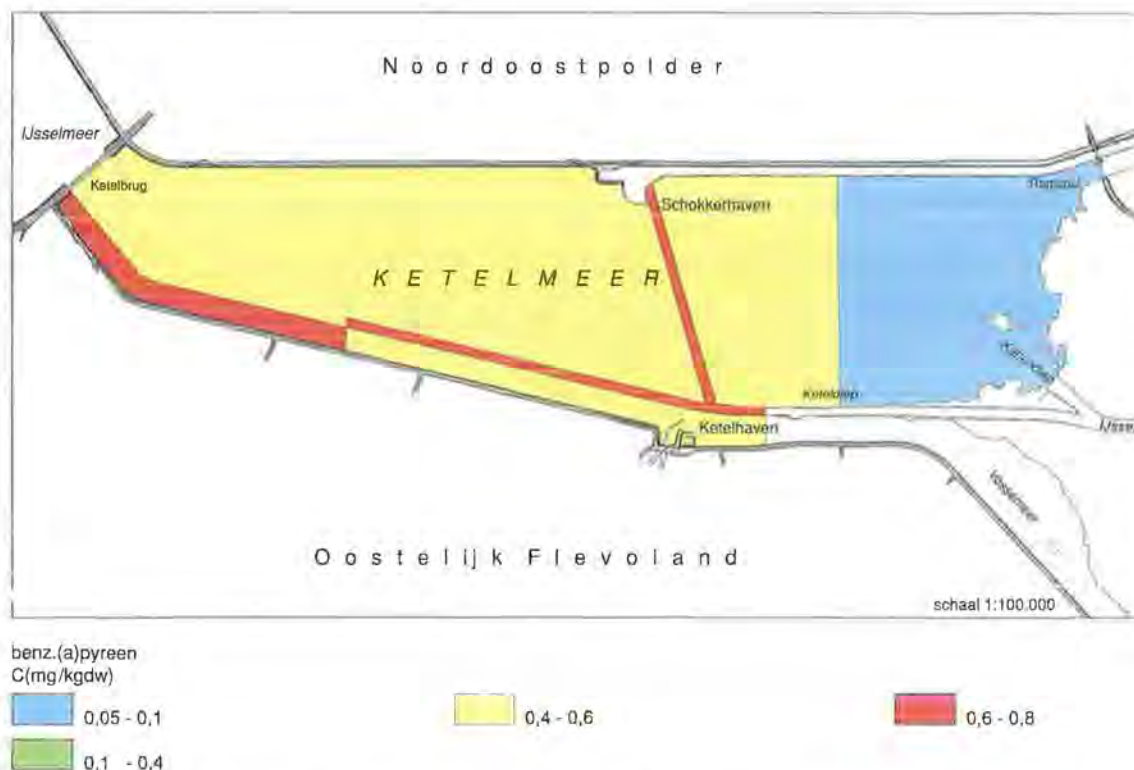
In deze modelleringen was niet of slechts in geringe mate rekening gehouden met verschillen binnen het Ketelmeer in de uitwisseling bodem-water (sedimentatie en erosie). Om dit te verbeteren is op basis van gegevens uit het slibtransportmodel [10] een meer verfijnde indeling van het Ketelmeer gemaakt [36]. Met deze verfijnde indeling zijn door het model IMPAQT prognoses uitgevoerd (figuren 13 en 14) voor de ontwikkeling van de toplaag, voor een aantal representatieve verontreinigingen (cadmium, kwik, benz(a)pyreen en PCB-153). Daarbij is gerekend met verschillende scenario's wat betreft de aanvoer van verontreinigingen door de IJssel: gelijkblijvende belasting, 50 % reductie van lozingen in 1995 (Rijn Actie Plan) en 90 % reductie van lozingen (R.A.P.-plus).

Uit de resultaten blijkt dat de gehalten per stof zich verschillend ontwikkelen:

- het cadmiumgehalte in de toplaag loopt vrijwel overal in het Ketelmeer, zelfs bij gelijkblijvende belasting, van 1985 tot 2005 van tweemaal de toetsingswaarde terug tot in de buurt van de kwaliteitsdoelstelling 2000 (grens klasse 1/klasse 2);
- voor kwik loopt de opschoning trager en komen alleen in het R.A.P.-plus-scenario de gehalten uiteindelijk (circa 2010) rond de kwaliteitsdoelstelling 2000 te liggen;
- voor benz(a)pyreen en PCB-153 geldt dit nog sterker: zelfs in het R.A.P.-plus-scenario vindt uiteindelijk nog een overschrijding van de kwaliteitsdoelstelling 2000 plaats met een factor 2 tot 4 (dit laatste langs de randen in het westen).



Figuur 13. De gehalten van kwik in de toplaag in 1995 bij uitvoering van het Rijn Actie Plan, voorspeld met het model IMPAQT.



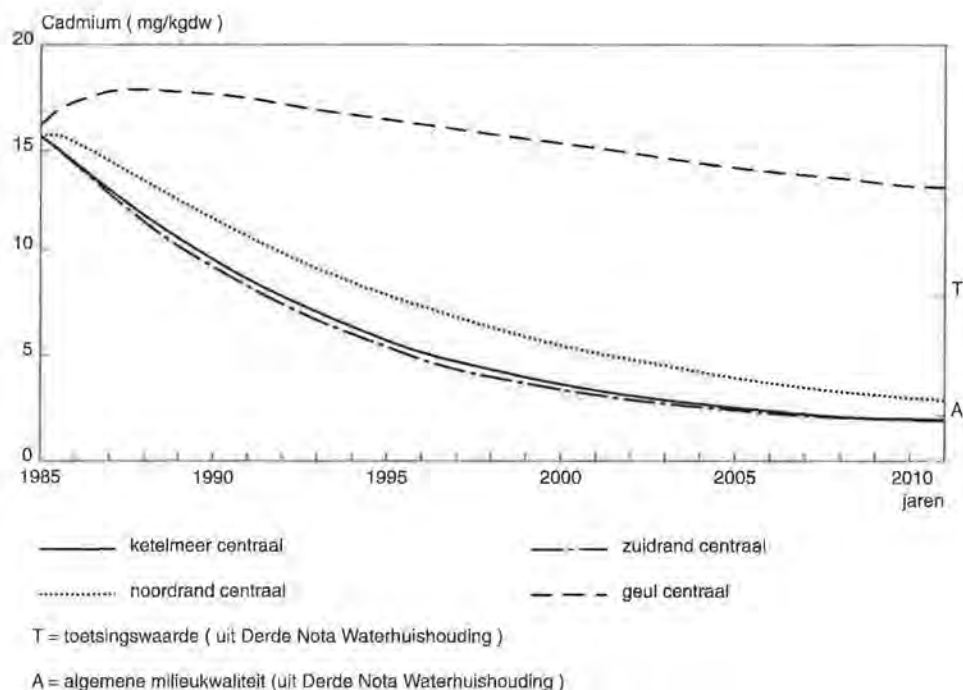
Figuur 14. De gehalten van benz(a)pyreen in de toplaag in 1995 bij uitvoering van het Rijn Actie Plan, voorspeld met het model IMPAQT.

In de vaargeul treedt nauwelijks verlaging van de concentraties op. Hier blijven de concentraties boven de toetsingswaarde (klasse 3) hangen, omdat geen afdekking met schoner slib plaatsvindt als gevolg van opwoeling door de scheepvaart (figuur 15). Ook de noordelijke en zuidelijke randen, met name in het westen van het Ketelmeer, blijven in opschoning achter, omdat de sedimentatie hier relatief gering zal zijn.

4.4.2 Ontwikkelingen toplaag en vrachten IJsselmeer

Voor de ontwikkeling van de waterbodembodem van het IJsselmeer zijn in [31] voorspellingen opgenomen, die gemaakt zijn met de globale benadering van het model HORIZON (gemiddelde Ketelmeer- en IJsselmeerbodem als geheel). Deze voorspellingen duiden voor de IJsselmeerbodem op relatief lange aanpassingstijden: het schoner worden van de IJsselmeerbodem loopt sterk achter bij de kwaliteitsverbetering van het zwevend stof uit de IJssel. In het jaar 2000 voldoen bij uitvoering van het Rijn Actie Plan vier van de acht metalen en drie van de vijf organische micro's niet aan de kwaliteitsdoelstelling 2000. De meer verfijnde modellering van IMPAQT [36] laat een vergelijkbaar beeld zien. Met hetzelfde model IMPAQT [36] zijn voorspellingen gedaan voor de verontreinigingsvrachten, die het Ketelmeer verlaten in de richting van het IJsselmeer. De ontwikkeling van deze vrachten blijkt voor de organische microverontreinigingen in sterke mate gerelateerd aan de ontwikkeling van de belasting van de IJssel. Bij uitvoering van het Rijn Actie Plan (vermindering van de emissie met 50 %) treedt in de vrachten naar het IJsselmeer voor de organische microverontreinigingen eveneens een reductie op met bijna 50 %.

Voor de metalen is dit anders, omdat voor deze stoffen de nalevering vanaf de Ketelmeerbodem een belangrijke rol speelt. Dit blijkt ook als de vrachten naar het IJsselmeer vergeleken worden met de IJsselvracht: voor organische micro's gaat er in de eindsituatie (2010) 70 à 75 % van de IJsselvracht naar het IJsselmeer, voor cadmium resp. kwik is dit 108 resp. 87 %. Dus ondanks het feit, dat ongeveer de helft van het zwevend stof van de IJssel in het Ketelmeer achterblijft (zie 3.2.1.2), is de vracht aan cadmium naar het IJsselmeer groter dan de van de IJssel afkomende vracht.



Figuur 15. De ontwikkeling van het cadmiumgehalte in de toplaag in enkele delen van het Ketelmeer, bij uitvoering van het Rijn Actie Plan, voorspeld met het model IMPAQT.

4.4.3 Ontwikkeling van de verspreiding naar het grondwater

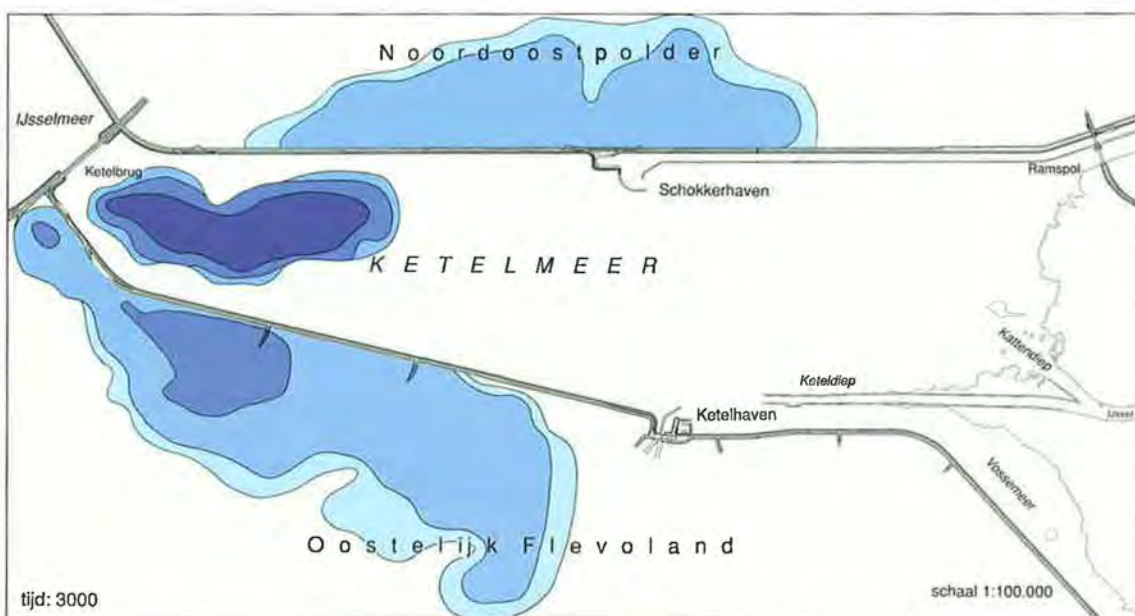
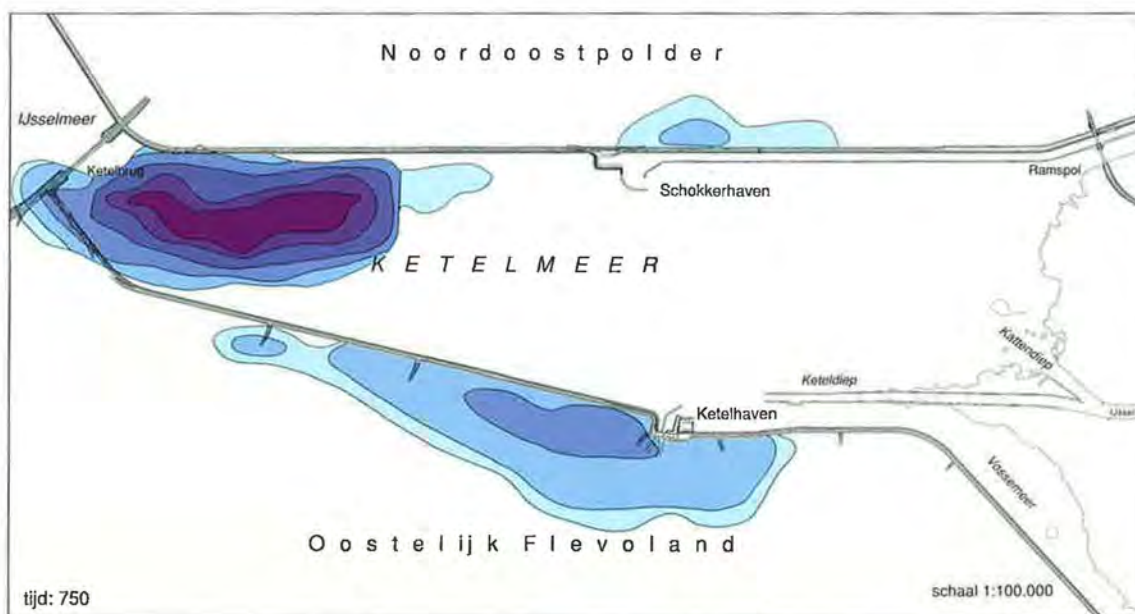
Om prognoses te kunnen maken voor de verspreiding van de verontreinigingen naar het grondwater is door het Waterloopkundig Laboratorium het onder 3.2.2.2 genoemde grondwaterkwantiteitsmodel MODFLOW uitgebreid met een grondwaterkwaliteitsmodel [16]. Doordat het watervoerende pakket zich in een gereduceerde toestand bevindt, zijn de zware metalen vastgelegd als sulfiden. Hierdoor zal er vrijwel geen transport van deze metalen plaatsvinden, zodat het watervoerend pakket en de omgeving geen invloed ondervinden van de verontreiniging van zware metalen in de waterbodem. De organische microverontreinigingen blijken wel mobiel. Deze mobiliteit verschilt echter sterk van stof tot stof. Voor een van de meest mobiele stoffen (dichloorbenzeen) is berekend, dat er over ongeveer 300 jaar voor het eerst sprake zal zijn van een verhoging van de concentratie in het kwelwater. Dit zal vooral het geval zijn in de kwelgebieden rond Ketelhaven, Schokkerhaven, ten noorden van Swifterbant en ten zuiden van de Ketelbrug.

Door verspreiding en verdunning in de ondergrond (dispersie) zullen de concentraties in het kwelwater maximaal enkele procenten bedragen van de oorspronkelijke concentraties in het poriënwater van de waterbodem. Voor dichloorbenzeen betekent dit een overschrijding van de referentiewaarde en plaatselijk ook van de toetsingswaarde voor grondwater. Voor deze stof zijn enkele berekeningsresultaten weergegeven in figuur 16. Voor de overige organische microverontreinigingen is eveneens sprake van verspreiding via het grondwater, maar zullen de concentraties in het kwelwater de referentiewaarde niet overschrijden.

Transport van verontreinigingen via dijkskwel is waarschijnlijk te verwaarlozen, omdat het zand van de grondverbetering nauwelijks is afgedekt door (vervuild) bodemslib.

Uiteindelijk zal op zeer lange termijn de totale aanwezige hoeveelheid aan organische microverontreinigingen uit de waterbodem van het Ketelmeer uitspoelen en in de omgeving opkwellen. Voor een relatief mobiele stof als dichloorbenzeen zal deze termijn in de orde van 30.000 jaar liggen, terwijl voor stoffen als hexachloorbenzeen en PCB's een termijn van 300.000 jaar en langer kan gelden.

Hierbij is aangenomen dat er geen biologische of chemische afbraak van deze stoffen optreedt. Bij lange termijnen is deze aanname mogelijk niet gerechtvaardigd. Over afbraaksnelheden van dergelijke stoffen is nog te weinig bekend om hier uitspraken over te doen. Daarnaast zijn er in zo'n lange periode allerlei ingrijpende geologische veranderingen ten opzichte van de huidige toestand mogelijk, waarvan de invloed evenmin voorspelbaar is.



Figuur 16. De gehalten van dichloorbenzeen in het poriënwater van de bovenste bodemlaag van het Ketelmeer en de polders na resp. 750 en 3000 jaar, voorspeld met het model MODFLOW/STYXZ (huidig gehalte in verontreinigde IJm-laag Ketelmeer is op 1,0 gesteld).

5 Conclusies t.a.v. noodzaak en urgentie van sanering

5.1 Noodzaak van sanering

Bezien tegen de achtergrond van de formuleringen uit de Derde Nota Waterhuishouding, het Saneringsprogramma Waterbodembodem Rijkswateren en de Leidraad Bodembescherming, valt over de noodzaak van sanering van de Ketelmeerbodem het volgende te zeggen:

- 1) Omvang en ernst van de verontreiniging: in het Ketelmeer komen grote gebieden voor waar de signaleringswaarden worden overschreden (zie hfst 3.1). Overschrijding van getalswaarden op dit niveau geeft aan dat er sprake is van ernstig risico voor het milieu.
- 2) Verspreiding van de verontreiniging: de mogelijkheid tot verspreiding naar de omgeving is in ruime mate aanwezig. Via resuspensie en verplaatsing van zwevend stof is verspreiding naar het IJsselmeer mogelijk, via inzijging van het grondwater is verspreiding naar de aanliggende polders mogelijk. Verspreiding naar het IJsselmeer is in de praktijk aangetoond (zie hfst 3.2.1). Een begin van verspreiding via het grondwater is aangetoond; dit zal zich blijkens modelberekeningen op de langere termijn zeker voortzetten (zie hfst 3.2.2).
- 3) Biologische beschikbaarheid van de verontreinigende stoffen: de mogelijkheid tot biologische beschikbaarheid is aanwezig, zowel voor dieren en planten, die in het water en in de bodem leven, als ook - indirect, bijv. via consumptie van vis - voor de mens. In vis (paling) zijn hoge gehalten aangetoond, zij het dat ze voor de mens momenteel weer voldoen aan de consumptienormen. Voor de recreatie en het drink- en landbouwwater zijn de risico's verwaarloosbaar (zie hfst 3.3.1). Voor een aantal in het Ketelmeer voorkomende diersoorten is in de praktijk de biologische beschikbaarheid van de vervuiling aangetoond (zie hfst 3.3.2). Voor de mens is er geen sprake van ernstige risico's. Risico's voor het milieu blijken uit veldgegevens, waarin criteria voor ernstig risico worden overschreden. Bioassays geven aan dat dit een direct gevolg is van de huidige waterbodembodemkwaliteit.

Op grond van de gegevens wordt geconcludeerd, dat er voor de Ketelmeerbodem sprake is van saneringsnoodzaak. In het saneringsonderzoek kan gezien worden of de Ketelmeerbodem in zijn totaliteit of in onderdelen gesaneerd moet worden.

5.2 Urgentie van sanering

Deze urgentie wordt bepaald door de volgende factoren:

- 1) De aantasting van de gebruiksfuncties: het meest pregnant is de aantasting van de natuurfunctie, waarvoor het Ketelmeer bovendien een belangrijke rol speelt. Voor de menselijke gebruiksfuncties (visserij, recreatie, landbouw) is er geen sprake van directe risico's. Van groot belang is ook, dat de vervuilde waterbodembodem een rem zet op elke ontwikkeling van het gebied. Natuurontwikkeling, recreatieve ontwikkeling, verbetering van de scheepvaartroute e.d., die in het regionale en nationale beleid worden voorgestaan, zijn onmogelijk of kunnen slechts tegen hoge kosten en met milieuhygiënische risico's worden gerealiseerd (zie 4.1).
- 2) Uitgangspunt is, dat de aanvoer van verontreinigingen op een zodanig peil is, dat na daadwerkelijke sanering geen nieuwe onaanvaardbare verontreiniging kan ontstaan. Zoals in 4.2 is aangegeven, is dit in 1995 en daarna inderdaad het geval.
- 3) De verspreiding van de verontreiniging vanuit het Ketelmeer naar het aangrenzende IJsselmeer blijkt een belangrijk aandeel te leveren in de totale belasting van dat meer. Voor de verspreiding naar het grondwater is het Ketelmeer vrijwel de enige bron (zie 4.3).
- 4) De toekomstige ontwikkeling, zoals voorspeld met modellen, is zodanig dat de risico's voor het ecologisch functioneren in het grootste deel van het Ketelmeer langzamerhand zullen verminderen. Er zijn echter gebieden, met name rond de vaargeul en langs de randen, waar hoge concentraties verontreinigingen aan de oppervlakte blijven liggen (zie 4.4.1). Wat betreft de vrachten naar het IJsselmeer blijft de nalevering van vooral zware metalen een belangrijke rol

spelen (zie 4.4.2). De verspreiding via het grondwater zal pas op de lange termijn (300 jaar) overschrijding van de referentiewaarde en plaatselijk ook van de toetsingswaarde in het kwelwater van de polders tot gevolg hebben voor in elk geval dichloorbenzeen. Wanneer deze verontreiniging echter eenmaal in het grondwater zit, is die nauwelijks meer te verwijderen.

Op grond van deze gegevens, in combinatie met de onder 5.1 genoemde gegevens, is sanering van de Ketelmeerbodem urgent.

5.3 Saneringsonderzoek

Op basis van de hierboven getrokken conclusies is besloten tot het doen van saneringsonderzoek. In dit saneringsonderzoek zullen meerdere saneringsscenario's bekeken worden (isolatie, immobilisatie, verwijdering, etc.). Ook de mogelijkheden van natuurlijke isolatie (afdekking van de verontreiniging door sedimentierend schoner slib) zullen daarbij aan de orde komen. Verder zullen met het oog op een gefundeerde afweging voor de verschillende scenario's het milieurendement en de kosten bepaald worden.

Over dit saneringsonderzoek zal afzonderlijk worden gerapporteerd.

Literatuurlijst

1. Ministerie van Verkeer en Waterstaat, Ministerie van Volkshuisvesting, Ruimtelijke Ordening en Milieubeheer. Saneringsprogramma Waterbodern Rijkswateren 1991-2000. Aangeboden aan de Tweede Kamer bij brief van 18 juli 1990.
2. J. Dribergen (Projectgroep Integraal Waterbeheer Ketelmeer). Een eerste inventarisatie van de waterbodemkwaliteit van het Ketelmeer. Lelystad, Rijkswaterstaat directie Flevoland, oktober 1988.
3. Ministerie van Verkeer en Waterstaat. Derde Nota Waterhuishouding. Tweede Kamer, vergaderjaar 1988-1989, 21250, nrs. 1-2; idem: Regeringsbeslissing, vergaderjaar 1989-1990, 21250, nr. 3.
4. Ministerie van Volkshuisvesting, Ruimtelijke Ordening en Milieubeheer. Leidraad Bodembescherming. 's Gravenhage, 1990.
5. J.M. van Steenwijk (Dienst Binnenwateren/RIZA). Voorlopige richtlijnen voor nader onderzoek van vervuilde waterbodems van de rijkswateren. Conceptversie 2.2, Lelystad, december 1990.
6. H.J. Winkels en A. van Diem (Projectgroep Integraal Waterbeheer Ketelmeer). Opbouw en kwaliteit van de waterbodem van het Ketelmeer. Lelystad, Rijkswaterstaat directie Flevoland, Flevovericht 325, februari 1991.
7. J.E.M. Beurskens en H.J. Winkels (Projectgroep Integraal Waterbeheer Ketelmeer). Verontreinigingshistorie van het Ketelmeersediment. Lelystad, Rijkswaterstaat Dienst Binnenwateren/RIZA en directie Flevoland, april 1991.
8. R. Heymen. Resultaten van het waterkwaliteitsonderzoek in de Rijn in Nederland 1970-1989. Lelystad, Rijkswaterstaat Dienst Binnenwateren/RIZA, nota nr. 90.048, augustus 1990.
9. J.E.M. Beurskens, T.E.M. ten Hulscher en L.E. van der Velde (Projectgroep Integraal Waterbeheer Ketelmeer). Verspreiding van microverontreinigingen in IJssel, Ketelmeer en IJsselmeer. Lelystad, Rijkswaterstaat Dienst Binnenwateren/RIZA, december 1988.
10. C. Toet en G. Blom (Projectgroep Integraal Waterbeheer Ketelmeer). Slibtransportmodel voor het Ketelmeer. Lelystad, Rijkswaterstaat directie Flevoland, in druk.
11. C. Toet (Projectgroep Integraal Waterbeheer Ketelmeer). Meetopstellingen en bemonsteringen ten behoeve van slibmodellering Ketelmeer 1988 t/m 1990. Lelystad, Rijkswaterstaat directie Flevoland, februari 1991.
12. D.J. de Vries en A.P. Termes (Waterloopkundig Laboratorium), in opdracht van Rijkswaterstaat Dienst Binnenwateren/RIZA. Slibvangfunctie en waterkwaliteitsaspecten bij zandwinning in IJsselmeer en Ketelmeer ten behoeve van het PAC. Delft, april 1988.
13. B. Kappe, P. van Koningsbruggen en L. Voogt (Projectgroep Integraal Waterbeheer Ketelmeer). Erosie van slib ten gevolge van scheepvaart. Lelystad, Rijkswaterstaat directie Flevoland, juni 1989.
14. E. J. van de Kaa, B. Kappe en M. de Rijk (Projectgroep Integraal Waterbeheer Ketelmeer). Erosie van slib ten gevolge van scheepvaart, vervolgonderzoek. Lelystad, Rijkswaterstaat directie Flevoland, maart 1992.
15. Y. Bruinsma (Projectgroep Integraal Waterbeheer Ketelmeer). Geohydrologisch modelonderzoek in het Ketelmeergebied. Lelystad, Rijkswaterstaat directie Flevoland, juni 1989.
16. P.S. Grashoff, R. Kersten, N.M. de Rooij, H.J. Gerrits (Waterloopkundig Laboratorium), in opdracht van Rijkswaterstaat directie Flevoland. Modellering grondwaterkwaliteit Ketelmeer. Delft, oktober 1990.

17. A. Biesheuvel en W. Zijl (Dienst Grondwaterverkenning TNO), in opdracht van Rijkswaterstaat directie Flevoland. Modellerings van het Ketelmeergebied ter bepaling van netto-kwel- en infiltratiegebieden alsmede stroombanen en reistijden. Delft, oktober 1989.
18. F.A.M. Claessen (Projectgroep Integraal Waterbeheer Ketelmeer). Analyse grondwaterkwaliteit in filterputten Ketelmeergebied. Lelystad, Rijkswaterstaat Dienst Binnenwateren/RIZA, februari 1991.
19. J.A. Janus, M.E. van Apeldoorn en A.G.A.C. Knaap. De mogelijke effecten op de huid van in waterbodem aanwezige verontreinigingen bij blootstelling in de recreatieve situatie. RIVM nota 678803 001. Bilthoven, 1988.
20. H. Pieters. Dataset Ketelmeer; gehalten van PCB's, organochloorpesticiden en totaalkwik in snoekbaars, baars, rode aal, spiering en pos over de periode 1977-1989. IJmuiden, Rijksinstituut voor Visserij Onderzoek, MO 90-206, december 1990.
21. F.C.M. Kerkum en G. van Urk. Effecten van verontreinigd Rijnsediment op Chironomus populaties in een verontreinigingsgradiënt nabij de monding van de IJssel in het Ketelmeer/Vossemeer. Lelystad, Rijkswaterstaat Dienst Binnenwateren/RIZA, 1989.
22. P.B.M. Stortelder, M.A. van der Gaag en L.A. van der Kooy. Kansen voor waterorganismen. Lelystad, Rijkswaterstaat Dienst Binnenwateren/RIZA, 1989.
23. L. van der Kamp. Spoormetalen in het IJsselmeergebied. Verspreiding van metalen en effecten op organismen. Vakgroep Aquatische Ecologie, Universiteit van Amsterdam, oktober 1987.
24. W.C. de Cock, J. Joziasse en P. de Jong. Ecotoxicologisch onderzoek aan watervogels. Inventarisatie van contaminantgehalten in het IJsselmeergebied. 1986.
25. Projectgroep Integraal Waterbeheer Ketelmeer. Inventarisatie van functies, beleid en onderzoek. Lelystad, Rijkswaterstaat directie Flevoland, september 1989.
26. Ministerie van Landbouw, Natuurbeheer en Visserij. Natuurbeleidsplan, regeringsbeslissing. Tweede Kamer, vergaderjaar 1989-1990, 21149, nrs. 2-3.
27. Stuurgroep Rivierengebied/Rijksplanologische Dienst. Nadere uitwerking Rivierengebied; eindrapport van de Stuurgroep. Den Haag/Arnhem, september 1991.
28. Provincie Flevoland. Nota Ketelmeer. Lelystad, 1989.
29. Commissie Integraal Beleidsplan Randmeren IJsselmeerpolders. Deelplan Veluwemeer, Drontemeer, Vossemeer en Ketelmeer. Lelystad, 1987.
30. Gemeente Dronten/Recreatieschap West-Overijssel. Recreatiedeelplan Ketelmeer. Heidemij Arnhem, december 1986.
31. DHV Raadgevend Ingenieursbureau BV, in opdracht van Rijkswaterstaat Dienst Binnenwateren/RIZA. Prognose van de waterbodemkwaliteit. Amersfoort/Lelystad, maart 1990.
32. A.W. van der Hoek, P.B.M. Stortelder, T. Bakker, H. Peters, A. Roos (Ministerie van Verkeer en Waterstaat). Waterbodems, van probleemanalyse naar oplossing; Basisrapport bij de Derde Nota Waterhuishouding. Den Haag/Lelystad, april 1990.
33. Waterloopkundig Laboratorium, in opdracht van Rijkswaterstaat, Dienst Binnenwateren/RIZA. Instrumentarium beleidsanalyse waterhuishouding PAWN. Delft, maart 1990.
34. Rijkswaterstaat. De aanvoer van voedingsstoffen en microverontreinigingen naar de Waddenzee en Eems-Dollard. 1988.

35. J.G.C. Smits en M.P.J.M. Kroot (Waterloopkundig Laboratorium), in opdracht van Rijkswaterstaat Dienst Binnenwateren/RIZA. Toepassing van IMPAQT op cadmium in het systeem Ketelmeer-IJsselmeer, simulaties voor een gesegmenteerd Ketelmeer. Delft, november 1989.
36. J.G.C. Smits en H.L.A. Sonneveldt (Waterloopkundig Laboratorium), in opdracht van Rijkswaterstaat directie Flevoland. Modelleren van enkele microverontreinigingen in het Ketelmeerslib. Delft, januari 1991.

Lijst van figuren en tabellen

pag

Figuur 1.	Overzichtskaart Ketelmeer.	13
Figuur 2.	Oost-west doorsnede van het Ketelmeer met de opbouw van de bodem.	14
Figuur 3.	Dikte van de IJsselmeer-afzetting.	15
Figuur 4.	Gehalten van enkele metalen en enkele PCB's in de IJsselmeer-afzetting, uitgezet tegen het jaartal van sedimentatie.	16
Figuur 5.	Jaargemiddelde gehalten lood en chroom in het Rijnwater, gemeten bij Lobith.	18
Figuur 6.	Jaargemiddelde gehalten cadmium en kwik in het Rijnwater, gemeten bij Lobith.	19
Figuur 7.	Slibbalans van het Ketelmeer, hoeveelheden in miljoenen tonnen per jaar.	20
Figuur 8.	Sedimentatie en erosie in de huidige situatie, zoals berekend met het slibmodel STRESS.	21
Figuur 9.	Polderpeilen en waterpeilen in het Ketelmeergebied.	22
Figuur 10.	Kwel en wegzijging in het Ketelmeergebied, berekend met het grondwatermodel MODFLOW.	23
Figuur 11.	Trend van gehalten aan PCB-52, -118 en -153 in een standaard rode aal met 18 % vet uit het Ketelmeer.	25
Figuur 12.	Huidige recreatieve voorzieningen in het Ketelmeergebied.	29
Figuur 13.	De gehalten van kwik in de toplaag in 1995 bij uitvoering van het Rijn Aktie Plan, voorspeld met het model IMPAQT.	33
Figuur 14.	De gehalten van benz(a)pyreen in de toplaag in 1995 bij uitvoering van het Rijn Aktie Plan, voorspeld met het model IMPAQT.	34
Figuur 15.	De ontwikkeling van het cadmiumgehalte in de toplaag in enkele delen van het Ketelmeer, bij uitvoering van het Rijn Aktie Plan, voorspeld met het model IMPAQT.	35
Figuur 16.	De gehalten van dichloorbenzeen in het poriënwater van de bovenste bodemlaag van het Ketelmeer en de polders na resp. 750 en 3000 jaar, voorspeld met het model MODFLOW/STYXZ (huidig gehalte in verontreinigde IJm-laag Ketelmeer is op 1,0 gesteld).	36
Tabel 1.	De gemiddelde gecorrigeerde gehalten en klasse-indeling volgens de Derde Nota Waterhuishouding per parameter voor de gehele IJsselmeer-afzetting, resp. de toplaag.	17
Tabel 2.	De dikte en hoeveelheid van de IJsselmeer-afzetting in het Ketelmeer in 1988.	17
Tabel 3.	Slibbalansen Ketelmeer; gegevens uit diverse studies.	19
Tabel 4.	Gecorrigeerde gehalten aan cadmium en kwik in zwevende stof bij de IJsselmond en de Ketelbrug in 1988 (in mg/kg); gebaseerd op gegevens uit [9].	22
Tabel 5.	Concentraties van stoffen in aal in het Ketelmeer in 1988, vergeleken met consumptienormen.	26
Tabel 6.	Gehalten van PCB's en DDT-derivaten in vis in het Ketelmeer in 1989, vergeleken met ecotoxicologische waarden.	27
Tabel 7.	Belasting van het IJsselmeer vanuit diverse bronnen, voor enkele representatieve microverontreinigingen.	32
Tabel 8.	Relatieve bijdrage van aan Ketelmeer- dan wel IJsselslib gebonden metalen uit IJsselmeer naar Waddenzee.	32

Verklarende woordenlijst

algemene milieukwaliteit (AMK): de AMK kent een minimum beschermingsniveau (kwaliteitsdoelstelling 2000) en een streefwaardeniveau waarop de risico's verwaarloosbaar worden geacht; in de Derde Nota Waterhuishouding is invulling gegeven aan de AMK (kwaliteitsdoelstelling 2000); dit is het niveau waaraan het zoete oppervlaktewater en de waterbodem in het jaar 2000 moeten voldoen

bioaccumulatie: ophoping van een lichaamsvreemde, moeilijk afbreekbare stof (bijvoorbeeld een bestrijdingsmiddel) in een organisme

bio-assays: proefopstelling in een laboratorium, waarbij organismen worden blootgesteld aan monsters bijvoorbeeld uit de waterbodem

biologische beschikbaarheid: aanwezigheid van verontreinigende stoffen in zodanige vorm en hoeveelheid, dat ze door organismen (planten, dieren en de mens) kunnen worden opgenomen

bruto-sedimentatie: de totale hoeveelheid sediment per oppervlakte-eenheid, die de bodem bereikt (zie ook netto-sedimentatie en resuspensie)

calibreren: met behulp van meetgegevens bepalen van de waarde van de parameters van een model

C-waarde (landbodem en grondwater): criterium voor de aanwezigheid van mogelijk ernstig gevaar voor de volksgezondheid of het milieu, vergelijkbaar met de signaleringswaarde voor water en waterbodems

ecotoxicologische waarde: criterium voor de kwaliteit van water en waterbodem, waarbij geen effecten op organismen aantoonbaar zijn

erosie: het afslijten van sediment, waarbij in vroegere stadia afgezet materiaal door stroming of wind wordt meegenomen

holoceen: bodem-afzettingen uit de jongste periode van de geologische tijdschaal (ongeveer de laatste tienduizend jaar)

HORIZON: wiskundig model, waarmee de ontwikkeling van de waterbodemkwaliteit in de belangrijkste Nederlandse oppervlaktewateren wordt nagebootst

hydrofoob: waterafstotend

infiltratie: het binnentreden van oppervlaktewater in de grond

inzigging: het intreden van oppervlaktewater in de grond onder invloed van stijghoogte (potentiaal-) verschillen in het grondwater

IMPAQT: wiskundig model, waarmee het gedrag van microverontreinigingen in oppervlaktewateren, inclusief de waterbodem, wordt nagebootst

klasse 1: specie of waterbodem, die niet of nauwelijks verontreinigd is: gehalten aan verontreinigende stoffen onder de kwaliteitsdoelstelling 2000 uit de Derde Nota Waterhuishouding

klasse 2: specie of waterbodem, die licht verontreinigd is: gehalten aan verontreinigende stoffen tussen de kwaliteitsdoelstelling 2000 en de toetsingswaarde uit de Derde Nota Waterhuishouding

klasse 3: specie of waterbodem, die verontreinigd is: gehalten aan verontreinigende stoffen tussen de toetsingswaarde en de signaleringswaarde uit de Derde Nota Waterhuishouding

klasse 4: specie of waterbodem, die ernstig verontreinigd is: gehalten aan verontreinigende stoffen boven de signaleringswaarde uit de Derde Nota Waterhuishouding

kwaliteitsdoelstelling 2000 (water en waterbodem): criterium waaraan het zoete oppervlaktewater en de waterbodem in het jaar 2000 moeten voldoen; de kwaliteitsdoelstelling 2000 is de grens tussen klasse 1 en 2

klei: sediment met een kleigehalte van meer dan 25%

kleigehalte: het percentage gronddeeltjes met een korrelgrootte van minder dan 2 micrometer (**mm**); een micrometer is éénderuitendste millimeter

kwel: het uittreden van grondwater onder invloed van stijghoogte (potentiaal-) verschillen

microverontreinigingen: verontreinigende stoffen, die in concentraties van een duizendste gram of minder per kilogram (grond) of een miljoenste gram of minder per liter (water) worden uitgedrukt; ze worden onderscheiden in organische microverontreinigingen (koolwaterstoffen) en anorganische microverontreinigingen (zware metalen)

MODFLOW: wiskundig model, waarmee grondwaterstroming in meerdere lagen wordt nagebootst

multifunctionele bodem: bodem met een zodanige kwaliteit, dat ze bruikbaar is voor alle mogelijke functies

nader onderzoek: inventarisatie van de aard, omvang en concentraties van een verontreiniging en van de verspreidings- en blootstellingskansen ervan

netto-sedimentatie: de hoeveelheid afgezet sediment per oppervlakte-eenheid, die ook werkelijk blijft liggen, dus niet opnieuw opwervelt (oftewel: bruto-sedimentatie minus resuspensie, zie aldaar)

organische microverontreinigingen: verontreinigende stoffen met koolwaterstoffen, die in concentraties van een duizendste gram of minder per kilogram (grond) of een miljoenste gram of minder per liter (water) worden uitgedrukt

oriënterend onderzoek: globale inventarisatie van aard, plaats en voorkomen en concentraties van een verontreiniging

pleistoceen: bodem-afzettingen uit de voorlaatste periode van de geologische tijdschaal, circa tienduizend tot 2,3 miljoen jaar geleden (vóór het holoceen)

poriënwater: water, dat zich in de ruimten tussen de gronddeeltjes bevindt

potentiaalverschil: verschil in de stijghoogte van het grondwater; door dergelijke verschillen treedt grondwaterstroming op (zie bij **kwel** en **inziging**)

reductie, emissiereductie: vermindering van lozingen

resuspensie: een proces, waarbij recent afgezet materiaal uit de toplaag van het sediment wordt opgewerveld en daardoor (weer) in de waterkolom terecht komt

Rijn Aktie Plan (R.A.P.): overeengekomen beleid van de gezamenlijke Rijnsoeverstaten om de lozingen van microverontreinigingen tussen 1985 en 1995 met 50 % te verminderen

Rijn Aktie Plan Plus (R.A.P.-plus): ideeën voor verdere vermindering van de lozingen op de Rijn, bijv. een vermindering van de lozingen met 90 % ten opzichte van 1985 (nog geen beleid)

referentiewaarde (landbodem en grondwater): criterium (norm), waaronder sprake is van een goede bodemkwaliteit, zodat de bodem voor alle mogelijke functies bruikbaar is (multifunctionele bodem)

sanering: het opheffen of tegengaan van verontreiniging van de bodem en de schadelijke gevolgen daarvan

saneringsonderzoek: inventarisatie van mogelijkheden tot sanering van een verontreiniging en beoordeling van deze mogelijkheden op milieuhygiënische, technische en financiële criteria

saneringsprogramma: programma waarin de gevallen van bodemverontreiniging worden aangewezen, inclusief de voorgenomen aanpak met betrekking tot onderzoek en sanering en de stand van zaken daarvan

signaleringswaarde (water en waterbodem): criterium (norm) waarboven mogelijk sprake is van ernstig gevaar voor de volksgezondheid of het milieu, vergelijkbaar met de C-waarde voor landbodem en grondwater; de signaleringswaarde is de grens tussen klasse 3 en 4

STRESS: wiskundig model, waarmee het horizontaal en verticaal slibtransport, incl. sedimentatie, erosie en resuspensie, wordt nagebootst

toetsingswaarde (waterbodem): een tijdelijke normenreeks voor waterbodems, gericht op het tegen gaan van verspreiding van de meest verontreinigde baggerspecie (klasse 3 en 4) en het onder voorwaarden tijdelijk toelaten van de verspreiding van licht verontreinigde specie (klasse 2) in het water; de toetsingswaarde is de grens tussen klasse 2 en 3

toxische stof: stof met het vermogen om een schadelijk effect op levende organismen uit te oefenen

watervoerend pakket: goed doorlatende laag in de ondergrond, waarin grondwaterstroming plaats vindt

zware zavel: sediment met een kleigehalte tussen 12 en 25 %

Bijlage 1: Samenstelling van de Projectgroep Integraal Waterbeheer Ketelmeer (per 1-11-1991).

Ir. E.J. van de Kaa (vz.) Rijkswaterstaat, directie Flevoland
Ir. J. Driebergen (secr.)
Ir. E. Schultz
Ir. A.J. Kolvoort

Drs. F.A.M. Claessen Rijkswaterstaat, RIZA
Mevr. Dr. Ir. T. Reitsma
Drs. C. van de Guchte
Ir. E.J.B. Uunk

Ir. S.H. Plantenga Rijkswaterstaat, Hoofddirectie

Ir. J.C. Barreveld Rijkswaterstaat, directie Overijssel

Ir. J.E. van de Weyer Rijkswaterstaat, directie Gelderland

Ir. F.G. Bisschop Inspectie Milieuhygiëne Overijssel en Flevoland

Ing. L. Bakker Provincie Flevoland

Ing. H. Post Provincie Overijssel

In de reeks Flevoberichten zijn na 1985 verschenen:

250. WAL, C. VAN DER. Dorpen in de IJsselmeerpolders. Lelystad, 1986.
251. BRUINSHORST, J.A. en M.A. VIERGEVER. Statistische proefbelastingen. Lelystad, 1985.
252. Wadden en landaanwinning: voordrachten, gehouden voor de wetenschappelijke bijeenkomst in mei 1985. Lelystad, 1985.
253. NAGTEGAAL, P. De beroepvisserij in het IJsselmeergebied. Lelystad, 1985.
254. Jaarverslag 1984 van de onderzoeksafdelingen van de Rijksdienst voor de IJsselmeerpolders. Lelystad, 1985.
255. IEDEMA, C.W., en P. KIK. Habitatgebruik en voedselkeuze van grauwe ganzen in de Oostvaardersplassen. Lelystad, 1985.
256. NOUTA, R. De voorgeschiedenis, afsluiting, ontginning en de verbouw van cultuurgewassen gedurende de tijdelijke exploitatie in de jaren 1971 t/m 1978 in de Lauwerzee. Lelystad, 1986.
257. KRUITWAGEN, P.G. De invloed van verontreinigde neerslagafvoer op de oppervlaktewaterkwaliteit: een modelbenadering. Lelystad, 1986.
258. ENTE, P.J., J. KONING en R. KOOPSTRA. De bodem van Oostelijk Flevoland. Lelystad, 1986.
259. IEDEMA, C.W. en P. KIK. Het zoetwatermoeras de Oostvaardersplassen. Lelystad, 1986.
260. Actualisering van het verkavelingsplan voor het oostelijk deel van Zuidelijk Flevoland eindredactie ir. F.W. Albers. Lelystad, 1987.
261. Verslag studiedag 14 maart 1986 gehouden in het expositiecentrum "Nieuw Land" te Lelystad met als thema "met het oog op de toekomst"/samenstelling J.E. Smid. Lelystad, 1986.
262. VIERGEVER, M.A. De ondergrond van Almere: grondmechanische en funderingstechnische gegevens. Lelystad, 1986.
263. LEGET, M. De economische ontwikkeling en structuur van de Zuidelijke IJsselmeerpolders. Lelystad, 1987.
264. HAAR, E. TER, en A. VAN STRATEN. Verblifstecreanten in Flevoland: een inventariserend en evaluerend onderzoek naar het gedrag van verblifstecreanten, in relatie tot inrichtingskenmerken op 15 verblifsterreinen in Flevoland in augustus 1983. Lelystad, 1987.
265. ACHT, W.H.M. VAN, T.J. KAMPHORST en L. TIGELAAR. Beleving, waardering en kennis van natuur bij inwoners van Almere en Huizen. Lelystad, 1986.
266. ZIJLSTRA, M. De weidevogelbevolking van de Kievitslanden in de periode 1966-1982. Lelystad, 1986.
267. BOELEN, J.J., en E. KONING. Grondverbetering in de IJsselmeerpolders. Lelystad, 1986.
268. BERGER, C., e.a. De kans op blauwalgenbloei in de randmeren van de Markerwaard. Lelystad, 1986.
269. Wording en opbouw van de Noordoostpolder: geschiedenis van de ontginning en eerste ontwikkeling (1940-ca. 1960). Lelystad, 1986.
269. Wording en opbouw van de Noordoostpolder: geschiedenis van de ontginning en eerste ontwikkeling (1940-ca. 1960). Deel 2: Het in cultuur brengen der drooggevalen gronden. Lelystad, 1988.
269. Wording en opbouw van de Noordoostpolder: geschiedenis van de ontginning en eerste ontwikkeling (1940-ca. 1960). Deel 3: De inrichting en ontwikkeling van het landbouwgebied (nog niet verschenen).
269. Wording en opbouw van de Noordoostpolder: geschiedenis van de ontginning en eerste ontwikkeling (1940-ca. 1960). Deel 4: De ontwikkeling der dorpen (nog niet verschenen).
271. KONING, J., en P.J. ENTE. De bodemkundige code- en profielenkaart van Zuidelijk Flevoland, schaal 1:25000, kaartbladen, toelichting. Lelystad, 1986.
272. Ervaringen met spuitvrije akkerbouw op bedrijf NZ 27. Lelystad, 1986.
273. EERDEN, M.R. Van en M. ZIJLSTRA. Natuurwaarden van het IJsselmeergebied: prognose van enige natuurwaarden in het IJsselmeergebied bij aanleg van de Markerwaard. Lelystad, 1986.
274. FRIELING, D.H. De IJsselmeerpolders: een voorbeeld van ruimtelijke ordening in Nederland - The IJsselmeerpolders: an example of physical planning in the Netherlands. Lelystad, 1986.
275. Studie naar de inpassing van geluidshinderaspecten voor weg- en railverkeer in de bestemmingsplannen van Almere/W.F. Landheer, J.E. Smid, C.G.M. Willems (et al.) Lelystad, 1986.
276. ACHT, W.N.M. VAN. Natuurbouw in stadsrandgebieden. Lelystad, 1987.
277. ROZENDAAL, H., en H.A. VAN MANEN. Het grondwater in het ondiepe pleistocene pakket in Zuidelijk Flevoland (stijghoogte, kwel en kwaliteit), over de periode april 1981-april 1984. Lelystad, 1987.
278. Bodemkundig en waterhuishoudkundig onderzoek ten behoeve van de inrichting van het militaire oefenterrein in de Marnewaard (Lauwerszee)/eindred. R.J. de Glopper. Lelystad, 1988.
279. NOUTA, R. De voorgeschiedenis, afsluiting, ontginning en de verbouw van cultuurgewassen gedurende de tijdelijke exploitatie in de Lauwerszee 2e verbeterde druk. Lelystad, 1987.
280. Raakvlakken tussen scheepsarcheologie, maritieme geschiedenis en scheepsbouwkunde: inleidingen gehouden tijdens het Glavimans Symposium 1985 / red. R. Reinders. Lelystad, 1987.
281. Jaarverslag 1985 van de onderzoeksafdelingen van de Rijksdienst voor de IJsselmeerpolders / eindred. ir. A.J. Hebbink.
282. Ontwikkelingsvisie Oostvaardersplassen / Beheerscommissie Oostvaardersplassen; eindred. G.K.R. Polman en S. Schmidt-ter Neuzen. Lelystad, 1987.
283. New Land: push to mechanization: Amsterdam, 20 to 23 January 1986, congress papers/compiled by A.W. Berkens and H.J. Nijland. Lelystad, 1987.
284. MEBIUS, J.E. Zetting door historische processen in de holocene lagen in het Noord-Hollandse randgebied van de Markerwaard. Lelystad, 1987.
285. Jaarverslag 1986 van de onderzoeksafdelingen van de Rijksdienst voor de IJsselmeerpolders/eindred. ir. A.J. Hebbink. Lelystad, 1988.
286. VOSLAMBER, B. Visplaatskeuze, fourageerwijze en voedselkeuze van aalscholvers in het IJsselmeergebied in 1982. Lelystad, 1988.
287. SLAGER, H., en G.F.J. SMIT. De buitendijkse natuurgebieden langs de Friese IJsselmeerkust: bodem, grondwater en vegetatie. Lelystad, 1988.
288. KLOOSTER, E.W. Arbeidsmarkt en uitgaande pendel Almere 1987. Lelystad, 1988.
289. SMIT, G.F.J. en J. VISSER. Voormalige zandplaten in het Veerse Meer: grondwater en vegetatie. Lelystad, 1988.
290. KLOOSTER, E.W. Arbeidsmarkt en uitgaande pendel gemeente Lelystad 1987. Lelystad, 1988.
291. SCHOLTEN, J. Vijftienvig jaar drainagematerialienonderzoek bij de Rijksdienst voor de IJsselmeerpolders. Lelystad, 1988.

292. ZWIERS, P.B., en K. VLIERMAN. De Lutina, een Overijssels vrachtschip vergaan in 1888: het onderzoek van een vrachtschip gevonden op kavel H 48 in Oostelijk Flevoland. Lelystad, 1988.
293. Polderlandschap als cultuuruiting: symposiumverslag Genootschap Flevo. Lelystad, 1988.
294. ZWARTS, L. De Bodemfauna van de Fries-Groningse Waddenkust. Lelystad, 1988.
295. CONSTANDSE, A.K. Boeren in Flevoland 2: nieuwe beschouwingen over plattelandscultuur in de nieuwe IJsselmeerpolders. Lelystad, 1988.
296. KLOOSTER, E.W. Arbeidsmarkt en uitgaande pendel gemeente Zeewolde 1987. Lelystad, 1989.
297. Jaarverslag 1987 van de onderzoeksafdelingen van de Rijksdienst voor de IJsselmeerpolders, eindredactie ir. H.J. Winkels. Lelystad, 1989.
298. NAWIJN, K.E. Almere hoe het begon: achtergronden, herinneringen en feiten uit de eerste ontwikkelingsjaren van Almere. Lelystad, 1988.
299. KLOOSTER, E.W. Arbeidsmarkt en uitgaande pendel in drie plattelandsgemeenten: Dronten, Noordoostpolder en Urk. Lelystad, 1990.
300. 't Blijft mensenwerk. Een bundel opstellen aangeboden aan prof. dr. R.H.A. van Duin i.i. bij zijn ambtelijk afscheid / eindred. A.K. Constandse, J.H. van Kampen en S. Schmidt-ter Neuzen. Lelystad, 1989.
301. NIP, J., en A. Arnoldussen. Ontwikkelingsplan Horsterwold. Lelystad, 1991.
302. HABEKOTTÉ, A. Invloed van de zaaitijd op opbrengst en ontwikkeling van winterkoolzaad en granen. Lelystad, 1991.
303. BEEMSTER, N., H. DROST en M.R. VAN EERDEN. Evaluatie van het beheer in het natuurgebied in het Lauwersmeer in de periode 1982-1987. Lelystad, 1989.
304. LEMKES-STRAVER, E.P.J. De starterscompetitie Flevoland 1982/1983: een nabeschuiving. Lelystad, 1991.
305. Richtlijnen voor veldwerkzaamheden bij de afdeling Waterhuishouding; eindredactie H. de Roo. Lelystad, 1989.
306. GLOPPER, R.J. de. Land subsidence and soil ripening. Lelystad, 1989.
307. Randmerensymposium. Verslag van inleiding en discussie van het symposium over de Randmeren van Flevoland, Genootschap Flevo 9-6-1989. Lelystad, 1991.
308. Op stap in het Zuiderzeeproject. Publikatie van lezingen, gehouden tijdens de HLI-woensdagochtendbijeenkomst 17 mei 1989, ter gelegenheid van het afscheid van dr. J.H. van Kampen als directeur landinrichting. Eindredactie E. ten Berge. Lelystad, 1991.
309. Jaarverslag 1988 van de onderzoeksafdelingen van de RIJP (RWS directie Flevoland i.o.). Eindredactie H.J. Winkels. Lelystad, 1991.
310. Beheersvisie Krammer-Volkerak, Eendracht en Zoommeer. Lelystad, 1991.
311. CONSTANDSE, A.K., M.K. SCHONK en H.J. van HAPEREN. Leven in Lelystad 1988: voortgezet onderzoek naar de kwaliteit van het bestaan in een nieuwe stad. Lelystad, 1991.
312. SLAGER, H., en J. VISSER. Abiotische kenmerken van de drooggevalen gebieden in de Grevelingen. Lelystad, 1990.
313. LINDEN, M.J.H.A. VAN DER. Nitrogen and phosphorus economy of reed vegetation in the polder Zuidelijk Flevoland (The Netherlands). Lelystad, 1991.
316. PAS, J.B. VAN DER, W. DE VRIES. Bepanting in de Lauwerszee: beheerervaring met bos- en landschappelijke bepantingen in de periode 1971-1987. Lelystad, 1990.
317. De bedrijfsgrootte voor akkerbouwbedrijven in het Centraal kleigebied (een verkennende studie). Lelystad, 1990.
318. DEGENAAR, J.H.M. Winkelplanning Zeewolde 1990 en volgende jaren. Lelystad, 1990.
319. WAL, C. VAN DER. De ruimtelijke opbouw van de Noordoostpolder: jongere bouwkunst en stedenbouw in de Noordoostpolder (nog niet verschenen).
320. Design and execution of drainage projects in Egypt, ed. H.J. Nijland. Lelystad, 1991.
321. GROEN, K.P. De geschiedenis van het zoutonderzoek in Nederland. Lelystad, 1991.
322. Scheepsarcheologie: prioriteiten en lopend onderzoek; inleidingen gehouden tijdens de Falvimans symposia in 1986 en 1988. Red. Reinder Reinders en Rob Oosting. Lelystad, 1991.
323. OOSTING, R. en K. VLIERMAN. De Zeehond, een Groninger tjalk gebouwd in 1878, vergaan in 1886. Lelystad, 1991.
324. POORTER, E.P.R. Bewick's swans cygnus columbianus bewickii, analyses of breeding success and changing resources. Lelystad, 1991.
325. WINKELS, H.J. en A. VAN DIEM. Opbouw en kwaliteit van de waterbodem van het Ketelmeer. Lelystad, 1991.
326. VINK, J.P.M. en H.J. WINKELS. Opbouw en kwaliteit van de waterbodem van het IJsselmeer. Lelystad, 1992.
327. SLAGER, H. De waterhuishouding van de bossen in Zuidelijk Flevoland 1980-1989. Lelystad, 1991.
328. Jaaroverzicht scheepvaart IJsselmeergebied 1990. Lelystad 1991.
329. Krammer-Volkerak zoet en helder. Lelystad, 1991.
330. VIERGEVER, M.A. Evaluatie van het lange termijn zettingsonderzoek in Almere. Lelystad, 1991.
331. MOORTELO, A. VAN DE. A cog-like vessel from The Netherlands. Lelystad, 1991.
332. GLOPPER, R.J. DE, A.G.M. MINTEN en H.J. WINKELS. Chemische rijping van de bodem in Zuidelijk Flevoland (nog niet verschenen).
333. Zand boven water deel 1: beleidsnota oppervlaktedelfstoffenwinning wateren IJsselmeergebied 1991-2000. Lelystad, 1991.
334. Zand boven water deel 2: milieu-effectrapport oppervlaktedelfstoffenwinning wateren IJsselmeergebied 1991-2000. Lelystad, 1991.
335. Integraal waterbeheer Ketelmeer: nader onderzoek bodem Ketelmeer. Lelystad, 1992.
336. Jaaroverzicht scheepvaart IJsselmeergebied 1991. Lelystad, 1992.
337. Milieu-effectrapport en projectnota: baggerspeciebergingslocatie Ketelmeergebied deel 1: afweging van varianten. Lelystad, 1992.
338. Integraal waterbeheer Ketelmeer: saneringsonderzoek waterbodem Ketelmeer. Lelystad, 1992.