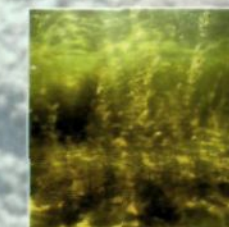


979-59



Zand boven Water 2 Literatuurstudie

*Huidige situatie van het milieu en de
effecten van ontgroningen in het
IJsselmeergebied*

W. Nagel
A. Hebbink
S. Lauwaars

Document is door RIZA vervaardigd in
opdracht van
Directie IJsselmeergebied
RIZA werkdocument: 2000.017X
Lelystad, januari 2000



Zand boven Water 2

Literatuurstudie

*Huidige situatie van het milieu en de
effecten van ontgroningen in het
IJsselmeergebied*



Ministerie van Verkeer en Waterstaat

P 979-59

Zand boven Water 2

**Huidige situatie van het milieu en de effecten van
ontgravingen in het IJsselmeer, Markermeer en de
Randmeren**

Literatuurstudie

**drs. W. Nagel
drs. A. Hebbink
drs. S. G. Lauwaars**

RIZA werkdokument: 2000.017x

Lelystad, januari 2000

Inhoudsopgave

.....

Samenvatting 5

1. Inleiding 20

- 1.1 Algemeen 20
- 1.2 Algemene karakteristieken IJsselmeergebied 20
- 1.3 Functies van het IJsselmeergebied 23

2. Abiotische aspecten van het IJsselmeergebied 28

- 2.1 Geologie 28
- 2.2 Geohydrologie 29
- 2.3 Grondwaterstroming 30
- 2.4 Grondwaterkwaliteit 32
- 2.5 Waterbodem 33
- 2.6 Oppervlaktewaterkwantiteit 36
- 2.7 Oppervlaktewaterkwaliteit 40
- 2.8 Veiligheid 44

3. Biotische aspecten van het IJsselmeergebied 45

- 3.1 Fytoplankton 45
- 3.2 Zoöplankton 49
- 3.3 Oever- en waterplanten 50
- 3.4 Macrofauna 52
- 3.5 Vissen 54
- 3.6 Vogels 57
- 3.7 Voedselweb 63

4. Abiotische effecten ontgravingen in het IJsselmeergebied 65

- 4.1 Geologie 65
- 4.2 Geohydrologie 65
- 4.3 Grondwaterkwaliteit 68
- 4.4 Waterbodem 69
- 4.5 Oppervlaktewaterkwantiteit 70
- 4.6 Oppervlaktewaterkwaliteit 75

5. Biotische effecten ontgravingen in het IJsselmeergebied 78

- 5.1 Fytoplankton 78
- 5.2 Zoöplankton 78
- 5.3 Oever- en waterplanten 79
- 5.4 Bodemfauna 80
- 5.5 Vissen 81
- 5.6 Vogels 83
- 5.7 Voedselweb 84

.....

Bijlage 1: Literatuur 86

Bijlage 2: Figuren en tabellen 95

Bijlage 3: Begrippenlijst 97

Bijlage 4: Lijst van geraadpleegde specialisten 99

Bijlage 5: Legenda zandwinkaart IJsselmeer, Markermeer (zie fig. 8) 100

Bijlage 6: Eutrofiëringsparameters 101

Bijlage 6: 1% normoverschrijding van vogels in het IJsselmeergebied 107

Bijlage 7: Watervegetatie in delen van het IJsselmeergebied 109

Bijlage 8: Winmateriaal 111

Samenvatting

Rijkswaterstaat directie IJsselmeergebied (RDIJ) bereidt een beleidsnota voor met betrekking tot de oppervlaktedelfstoffenwinning in de wateren onder haar beheer voor de periode 2000-2010 en met een doorkijk naar de periode tot 2025 (MINVENW, 1998). In de nota zullen mogelijk winzones of winlocaties voor oppervlaktedelfstoffen worden aangewezen met een gezamenlijk oppervlak van meer dan 100 ha; dit kan een aaneengesloten oppervlak betreffen of oppervlakten op samenhangende locaties. Daarom is een MER-procedure gestart en zullen de milieueffecten van het voorgenomen beleid worden vastgelegd in een Milieueffectrapport (MER).

De milieueffecten van de verschillende vormen van oppervlaktedelfstoffenwinning zijn door onder andere in het voorliggende literatuuronderzoek onderzocht, waarbij ook gebruik is gemaakt van recente, nog niet gepubliceerde gegevens. De literatuurstudie vormt naast modelberekeningen en gegevens uit boringen de basis voor het MER.

Van het IJsselmeergebied wordt op vele manieren gebruik gemaakt (recreatie, beroepsvisserij, natuur, landschap en cultuurhistorie, beroepsscheepvaart en drinkwatervoorziening). Van elk van deze functies is een korte beschrijving gegeven.

In het eerste deel van het rapport zijn enkele algemene karakteristieken van het IJsselmeergebied gegeven en is de huidige situatie beschreven. Hierbij is een onderscheid gemaakt in abiotische en biotische kenmerken. In het tweede deel komen de te verwachten effecten bij oppervlaktedelfstoffenwinning aan de orde. Bij de beschrijving is steeds een onderverdeling gemaakt in IJsselmeer, Markermeer (inclusief IJmeer en Gouwzee) en de Randmeren (inclusief Ketelmeer en Zwarte Meer).

Gebruiksfuncties van het IJsselmeergebied

Van het IJsselmeergebied wordt op vele manieren gebruik gemaakt. In het onderstaande zijn de verschillende functies kort beschreven.

Recreatie

De recreatieve betekenis van het IJsselmeergebied wordt in belangrijke mate bepaald door het uitgestrekte karakter van de meren, de uitstraling van de voormalige Zuiderzeehavens, de verbindingen met de omliggende wateren en de aanwezigheid van stranden, oevers, natuur en rust. Op diverse plaatsen langs de randen van de meren bevinden zich jachthavens met in totaal ongeveer 32.000 ligplaatsen met een gemiddelde bezettingsgraad van 90%.

Beroepsvisserij

De beroepsvisserij is na de aanleg van de Afsluitdijk sterk gedaald. Er zijn nog circa 94 beroepsvissers actief op het IJsselmeer en Markermeer en 8 beroepsvissers op de Randmeren actief. Er bevinden zich geen viskwekerijen in het IJsselmeergebied. De directe en indirecte bijdrage van de visserij aan de plaatselijke en regionale economie is gering (280 mensjaren). De marktpositie van de IJsselmeer- en Markermeervissers is. Tot op heden zijn aal, baars, snoekbaars en spiering de commercieel belangrijke vissoorten. In het IJsselmeer is het gedeelte commercieel belangrijke vis hoger dan in het Markermeer, door onder andere een hoger voedselaanbod en minder

slibopwerveling dan in het Markermeer. De productiviteit van het Markermeer is daardoor ongeveer de helft lager dan in het IJsselmeer. De hoeveelheid aal, baars en snoekbaars is de afgelopen 20 jaar dramatisch teruggelopen. Er wordt verwacht dat met verdergaande nutriëntenreductie de productiviteit en de algenbloei in de toekomst zullen verminderen, het doorzicht zal toenemen en de hoeveelheid vissen zal afnemen.

Landschap en cultuurhistorie

De landschappelijke kenmerken van het IJsselmeergebied zijn van grote betekenis voor natuur, recreatie en toerisme. De uitgestrektheid, grote oeverlengte, dijken, buitendijkse waarden, havensilhouetten en oriëntatiepunten vormen de karakteristieken. Met name de kuststrook is van belang voor zowel de beleving vanaf het land als vanaf het water. De cultuurhistorische waarden van het gebied zijn voor een groot deel zichtbaar geconcentreerd in de oude Zuiderzeestadjes en dorpjes langs IJsselmeer, Markermeer en Randmeren. Naast cultuurhistorische waarden herbergen het IJsselmeer en Markermeer ook archeologische waarden. In het noordelijk deel van het IJsselmeer langs de oude scheepvaartroutes langs de kust, zijn meerdere vondsten bekend van oude schepen.

Beroepsvaart

Het IJsselmeer en het Markermeer zijn voor de beroepsscheepvaart belangrijke schakels in het vaarwegennet. Zo loopt de hoofdvaarweg Amsterdam-Lelystad-Lemmer-Delfzijl via de Oranjesluizen, de Houtribsluizen en de Prinses Margrietsluis. Weliswaar is het aantal passages gedaald maar als gevolg van schaalvergroting is het gepasseerd tonnage toegenomen. De vaarroute Lorentzsluizen-Urk is van belang voor viskotters met visgronden op de Noordzee. Een sterk groeiende bedrijfstak binnen de beroepsscheepvaart was de laatste jaren die van de containervaart en de zeilende passagiersschepen (bruine vloot).

Drinkwatervoorziening

Aan het IJsselmeer en het Veluwemeer is de zogenaamde functie van oppervlaktewater bestemd voor de bereiding van drink- en industriewater toegekend. Het Veluwemeer heeft een drinkwaterfunctie vanwege de bijdrage aan het grondwater dat wordt ingenomen voor de drinkwaterwinning in Flevoland. In het algemeen voldoet het water in het IJsselmeer aan de normen voor drinkwaterbereiding; nutriënten en zuurgraad (pH) vormen nog wel een probleem (algenconcentraties).

Abiotische aspecten huidige situatie IJsselmeergebied

Geologie

In het IJsselmeer en Markermeer wordt onder de Holocene deklaag tot een diepte van circa 50 m voornamelijk fijn tot middelgrof zand (d.i. 150-300 µm) aangetroffen, soms afgewisseld met klei-, veen- of leemlagen. In de Randmeren is dit Holocene pakket in het grootste deel niet dikker dan 2 à 3 m tot hooguit 5 m. Daaronder kan tot op een diepte van meer dan NAP -50 m zand worden gevonden, al zijn storende klei- en veenlagen te verwachten. Op de meeste plaatsen in het IJsselmeergebied komt waarschijnlijk op meer dan circa NAP -50 m grof zand voor (Formaties van Harderwijk, Enschede en Urk). Voor zover bekend zijn er geen boorgegevens aanwezig die dieper gaan dan ongeveer NAP -50 m.

Geohydrologie

De bodemopbouw in het IJsselmeergebied bestaat uit watervoerende pakketten en scheidende lagen en deze lopen onder de meren van het

IJsselmeergebied nogal uiteen. Op sommige plaatsen is sprake van één slecht doorlatende deklaag met daaronder één dik watervoerend pakket, op andere plaatsen komt een dunne deklaag met daaronder één of meer scheidende lagen voor waardoor twee of meer watervoerende pakketten onderscheiden kunnen worden.

Grondwaterstroming

In de ondergrond is sprake van grondwaterstromingen van infiltratiegebieden naar gebieden waar grondwater uittreedt in de vorm van kwel. De infiltratiegebieden kunnen op het land liggen of in het water. In de regel is er een grondwaterstroming vanuit de meren naar het omringende gebied. Uit een onderzoek naar het optreden van kwel in een randzone van het IJsselmeer/Markermeer blijkt dat de gebieden met de sterkste kwel zich rond de Randmeren bevinden en in mindere mate ook langs delen van de Noord-Hollandse kust.

Grondwaterkwaliteit

Onder grondwaterkwaliteit wordt verstaan de kwaliteit van het water in de watervoerende pakketten. Dit water dringt de bodem binnen door wegzijging/infiltratie en treedt op een gegeven moment uit door kwel. Het grondwater in het IJsselmeer en Markermeer is overwegend brak. Nabij de Afsluitdijk komt zout grondwater voor. In de zuidelijke helft van het IJsselmeergebied komen chloridegehalten voor variërend van 1000 tot 2500 mg/l. In het noordelijke deel van het IJsselmeer is dat 5.000 tot 10.000 mg/l. In de westelijke punt ten zuiden van west Friesland en de Hoornse Hop in het Markermeer komt tot een diepte van ongeveer 80 à 90 m zoet grondwater voor. Het grondwater onder de Randmeren is overwegend zoet.

Geomorfologie

Binnen het IJsselmeer zijn er grote verschillen in meerbodemdiepte als gevolg van diep ingesneden getijdegeulen. Deze kunnen oplopen tot ongeveer NAP -9 m in het midden van het IJsselmeer tussen Enkhuizen en Stavoren. Er liggen veel zandwinputten langs de dijken en met name in het gebied bij Lelystad en Urk. Deze zijn ontstaan tussen 1926 en 1968 voor de aanleg van onder andere deze dijken. Ten noorden van de Houtribsluis ligt een aantal putten met dieptes tot ongeveer NAP -16 m. In het noordelijk deel van het IJsselmeer liggen keileemputten waarvan de keileem onder andere gebruikt is voor de bouw van de Afsluitdijk.

Het Markermeer heeft een uniforme bodemdiepteligging die verloopt van circa NAP -2 m bij de Noord-Hollandse kust tot NAP -4,8 m bij de Oostvaardersdijk. Er liggen relatief weinig zandwinputten mede vanwege het relatief dikke, Holocene klei- en veenpakket, dat de toegankelijkheid van het onderliggende Pleistocene zand beperkt. De putten langs de Oostvaardersdijk zijn thans niet dieper dan ongeveer NAP -6 m, maar waren bij aanleg in 1984 respectievelijk NAP -21,5 m en NAP -20 m diep. In het IJmeer, langs de rand van de stuwwal, is een diepe put aanwezig waar het zand relatief dicht aan het oppervlak kan worden gevonden. Deze put was ooit circa NAP -30 m diep en is thans tussen de NAP -15 en -30 m diep.

Een aanzienlijk deel van de bodem van de Randmeren is zeer ondiep. De gemiddelde diepte bedraagt iets meer dan NAP -1,3 m. Het blijkt dat het percentage van het areaal met ondiep gelegen meerbodem afneemt van noordoost naar zuidwest, van het Vossemeer naar het Gooimeer. De diepste plekken in de Randmeren bestaan uit oude zandwinputten en vaargeulen. Door inslibbing van de zandwinputten of door recente ontgravingen of verdieping in vaargeulen worden de zandwinputten, en in mindere mate de vaargeulen, minder diep. In het Veluwemeer en in het Wolderwijd zijn de zandwinputten maximaal NAP -5 tot -7 m diep. Van de putten in het Gooimeer is bekend dat deze na zandwinning meer dan 30 m diep waren

t.o.v. NAP. Het relatieve aandeel van het areaal zandwinputten en vaargeulen in de Randmeren is groter dan in het Markermeer en in het IJsselmeer. Dit wordt veroorzaakt door de relatief ondiep gelegen meerbodem, het ondiep voorkomen van Pleistoceen zand, de behoefte aan zand voor dijk aanleg ten tijde van de polderontwikkeling en vanwege de kleinschaligheid van de Randmeren.

Bodemafzettingen in ondiepe meren

De bodem van het IJsselmeer bestaat voornamelijk uit Zuiderzee Afzettingen. Dit is vrij uniform kleiarm, matig fijn zand in het relatief hoge en vlakke noorden en wordt fijnzandiger richting de Noordoostpolder. In de diepe, voormalige getijdegeulen en in keileem- en zandwinputten in dit noordelijk gebied kunnen zavelige en kleiige afzettingen worden aangetroffen. Dit zijn de IJsselmeer Afzettingen die zijn gesedimenteerd na de aanleg van de Afsluitdijk.

De Markermeerbodem bestaat overwegend uit klei- en zavelafzettingen. Een uitzondering hierop vormt het Enkhuizerzand, dat voornamelijk bestaat uit kleiarm en kleihoudend grof en matig fijn zand. Het lutumgehalte van de Zuiderzee Afzettingen neemt toe in west-zuidwestelijke richting, omdat dit gebied in de luwte van de voormalige Zuiderzee lag. De samenstelling van de top laag in het Markermeer is onderhevig aan veranderingen als gevolg van de erosie van relatief hooggelegen gebieden en door slibverplaatsing.

In de Randmeren komen grofweg gezien langs de oude landkust zandige afzettingen (formatie van Twente en Kreftenheye) voor, die gaande weg vanaf deze kust kleiiger worden (Zuiderzee en Almere Afzettingen). Ook in het Gooimeer en het Eemmeer worden over grote oppervlakten klei aangetroffen. In het Nuldernauw, het Nijkerkernauw en het Eemmeer wordt veen voornamelijk in de bovengrond aangetroffen.

Waterbodemkwaliteit

Uit bemonsteringen blijkt dat het sediment in 1997 van het IJsselmeer, Markermeer en de Randmeren verbeterd is t.o.v. de aangetroffen concentraties uit de jaren '60 en '70 en dat op slechts enkele plaatsen de concentratie zware metalen en microverontreinigingen boven de grenswaarde uit komt. Deze locaties bevinden zich o.a. in havens en het Ketelmeer.

De kwaliteit van de top laag van de waterbodems van de Randmeren is over het algemeen goed. Er zijn verhogingen van vervuilingen waargenomen in diepteprofielen in de laag NAP -40 tot -70 cm van de meerbodem in het Gooimeer, Ketelmeer en IJsselmeer. In tegenstelling tot in het IJsselmeer en Markermeer leidt in de Randmeren geen enkele verhoging aan vervuilingen tot een hogere klasse-indeling van het sediment.

Waterkwantiteitsbeheer

Het waterkwantiteitsbeheer in het plangebied wordt uitgevoerd aan de hand van peilbesluiten en waterakkoorden. Voor de boezemwateren van het IJsselmeergebied zijn zomer- en winterstreefpeilen vastgesteld. Daarnaast wordt gestuurd door middel van de onderlinge verdeling van het water in het plangebied, waarbij doorspoeling om de zoutlast te verminderen een belangrijke reden is. De Randmeren wateren af op het IJsselmeer en op het Markermeer. Gelet op de samenhang moeten de streefpeilen van de Randmeren dan gelijk of hoger dan die van IJsselmeer en Markermeer zijn. *Voor de Randmeren speelt verder nog mee dat ze een geohydrologische functie hebben namelijk het tegengaan van de verdroging van het gedeelte van de Veluwe dat aan de Randmeren grenst.* Het uitvoeren van het kwantiteitsbeheer in het IJsselmeergebied vindt onder andere plaats met de spuisluizen in de Afsluitdijk en de spuisluizen en het gemaal bij IJmuiden.

Slibhuishouding

Het zwevende stofgehalte is gemiddeld hoger in het Markermeer dan in het IJsselmeer. Dit hoge gehalte zorgt voor troebelheid en daarmee een laag doorzicht. Bij hogere windsnelheden (vanaf windkracht 3) zijn deze verschillen tussen beide meren het duidelijkst. Bij weinig wind vindt sedimentatie plaats in de diepere delen van het IJsselmeer. Na aanleg van de Houtribdijk heeft het slib in het Markermeer zich geconcentreerd aan de noordoostzijde. Voor de aanleg van deze dijk was er een meer homogene verspreiding van het sediment, aangezien er een afvoer was richting het IJsselmeer. Na afsluiting is de mogelijkheid van afvoer weggefallen en wordt enkel nog slib aangevoerd of geërodeerd in het zuidwesten.

Stratificatie

Stabiliteit van een waterkolom is het gevolg van opwarming van de bovenste waterlaag, waardoor warmere, dus lichtere waterlagen als het ware drijven op koudere, dus zwaardere waterlagen. Deze stratificatie in dichtheid verleent de kolom stabiliteit. In diepe systemen resulteert dit in seizoensstratificatie, waarbij gedurende een aantal maanden de waterkolom is gescheiden in een epi- en een hypolimnion. In ondiepere systemen, zoals het IJsselmeer leidt opwarming niet tot seizoens-stratificatie, wel kan als gevolg van zogenaamde microstratificatie een waterkolom ontstaan met een dusdanig hoge stabiliteit dat windmenging wordt tegengegaan.

Verblijftijden

Het oppervlaktewater heeft de langste verblijftijd in het Markermeer (10-15 maanden) en in het Wolderwijd/Nuldernauw (8-10 maanden), waarbij de verblijftijd in het Wolderwijd/Nuldernauw na 1991 sterk afneemt. Deze afname komt doordat meer water vanuit het Veluwemeer naar het Wolderwijd wordt gelaten. Het IJsselmeer en het Veluwemeer/Drontermeer hebben eind jaren 80 een vergelijkbare verblijftijd. Hierna is de verblijftijd in het Veluwemeer/Drontermeer (2-3 maanden) lager dan die in het IJsselmeer (3-4 maanden). De verblijftijd van het Wolderwijd/Nuldernauw is na 1991 vergelijkbaar met het IJsselmeer. In het algemeen is de verblijftijd in de zomer groter dan in de winter.

Macro-ionen samenstelling

De belasting van het IJsselmeer met macro-ionen is in hoofdzaak afkomstig uit de IJssel, die sterk met chloride is belast, en in mindere mate van uitslagwater van de IJsselmeerpolders, aanliggende boezemgebieden en van de Waddenzee via de Afsluitdijk. Over de verticaal treedt een behoorlijke menging op zodat geen gelaagdheid ontstaat in het zoutgehalte. In 1997 lagen de chloride-concentraties veelal onder de norm van 200 mg/l. Bij de locatie Kornwederzand (IJsselmeer) is sprake van een normoverschijding. Bij de locaties Spijkstrand en Hardersluis is in 1997 sprake van een beperkte normoverschijding van het chloride gehalte. Op de andere locaties lagen de chloride-concentraties veelal onder de norm van 200 mg/l. Wat betreft sulfaat is in het Markermeer en de Randmeren nog steeds sprake van aanzienlijke overschrijdingen van de grenswaarde. De overige oppervlaktewateren voldoen nagenoeg volledig aan de norm.

Bacteriën

Het bacteriologisch onderzoek richt zich op de thermotolerante coli's. Uit het in 1997 uitgevoerde onderzoek is gebleken dat op geen enkel van de onderzochte punten overschrijding van de norm heeft plaatsgevonden.

Eutrofiëring

Door eutrofiëring of verrijking van het oppervlaktewater met voedingsstoffen, worden processen gestimuleerd zoals algengroei, troebel water en het verdwijnen van waterplanten. De meest gebruikte eutrofiëringsparameters

zijn: *doorzicht, chlorofyl-a, fosfaat, stikstof en zuurgraad*. De uitkomsten van de metingen zijn vergeleken met de MTR-normen voor het oppervlaktewater (norm voor het Maximaal Toelaatbare Risico uit de Vierde Nota Waterhuishouding). In het Gooimeer, Nuldernauw, Wolderwijd, Veluwemeer en Zwarte Meer is het doorzicht 40 cm of meer. In alle wateren voldoen het chlorofyl-a en de zuurgraad aan de MTR-norm ($<100 \mu\text{g/l}$). De gehalten aan fosfaat en stikstof zijn relatief hoog in het Eemmeer en het Ketelmeer.

Microverontreinigingen

Onder microverontreinigingen worden zware metalen gerekend en een aantal organische verbindingen, die een risico vormen voor het ecosysteem en de volksgezondheid bij het overschrijden van een bepaalde waarde. Kwik lijkt in 1997 in toenemende mate een probleem te worden in alle wateren, met uitzondering van het Eemmeer en het Markermeer. In het Ketelmeer, Zwarte Meer en Vossemeer zijn naast kwik de metalen koper, chroom en zink als probleemstof aan te wijzen. In het Ketelmeer wordt op een enkel punt cadmium in te hoge concentraties aangetroffen. De aanvoer via de IJssel lijkt hierbij van invloed te zijn. Ten aanzien van VOX kan worden geconstateerd, dat incidenteel en in beperkte mate de norm ($5,0 \mu\text{g/l}$) in enkele meren wordt overschreden. Voor *chloorfenolen* geldt in bijna alle gevallen dat de waarnemingen beneden de detectiegrens van $0,01 \mu\text{g/l}$ liggen.

In het algemeen kan worden geconstateerd, dat het totale kwaliteitsbeeld voor de zware metalen en een aantal organische verbindingen in 1997 weinig is veranderd ten opzichte van de voorafgaande jaren.

Biotische aspecten huidige situatie IJsselmeergebied

Fytoplankton

Fytoplankton of algen zijn microscopisch kleine plantaardige organismen, die afhankelijk van de waterbeweging kunnen zweven of zinken en zijn aangepast om zinken zoveel mogelijk te voorkomen. De belangrijkste (hoofd)groepen fytoplankton die voorkomen in de zoete rijkswateren zijn blauwalgen, groenalgen en kiezelalgen. Iedere alg heeft chlorofyl-a als pigment in de celwand, met behulp waarvan de fotosynthese reactie kan worden uitgevoerd en koolhydraten en zuurstof worden geproduceerd. Dit biedt de gelegenheid de hoeveelheid algen te beschrijven door het verloop in de concentratie chlorofyl-a te bekijken. Het is nog opmerkelijk te weten dat blauwalgen toxines kunnen produceren die gezondheidsrisico's voor recreanten ten gevolge kunnen hebben.

Zowel het Markermeer als het IJsselmeer is een door blauwalgen gedomineerd systeem. Met uitzondering van de groenalgen overtreft het biovolume van fytoplankton in het IJsselmeer dat in het Markermeer. Naast de lagere nutriëntenbelasting van het Markermeer zal met name het verschil in het lichtklimaat onder water bepalend zijn voor de verschillen tussen de twee meren. De bodem van het Markermeer bestaat uit slib wat reeds bij lage windsnelheid in oplossing kan gaan en nadelig is voor fytoplankton doordat het de hoeveelheid licht beperkt.

In het Ketelmeer is de invloed van de IJssel duidelijk waarneembaar. Er worden weinig blauwalgen waargenomen en veel kiezelalgen (het aantal kiezelalgen is wel afgenomen). In het Zwarte Meer lijkt het fytoplanktonbeeld op het beeld in het Ketelmeer met als verschil dat draadvormige blauwalgen hier nog wel algemeen zijn, maar een factor 10 tot 20 lager dan in het Veluwemeer of Vossemeer.

De bedekkingsgraad van fytoplankton in het Veluwemeer en Wolderwijd is de laatste jaren omgekeerd evenredig aan die van kranswieren.

Zoöplankton

Zoöplankton bestaat uit kleine (enkele micrometers tot enkele millimeters), dierlijke organismen die actief bewegen, maar deels toch afhankelijk zijn van

(passieve) waterbeweging voor hun verspreiding en om te voorkomen dat ze naar de bodem zinken. Zij leven grotendeels van fytoplankton, ander zoöplankton en detritus. Zoöplankton vormt een belangrijke voedselbron voor jonge en planktivore vis.

De aanwezigheid van waterplanten heeft een sterk positief effect op de soortenrijkdom van het zoöplankton door het bieden van schuilgelegenheid tegen onder andere vispredatie. Waterplanten kunnen op deze wijze de aantallen en de diversiteit van het zoöplankton positief beïnvloeden.

Waterplanten

De diepte waarop waterplanten zich nog kunnen ontwikkelen is afhankelijk van de diepte waar voldoende licht doordringt voor netto-fotosynthese (het energie-leverende proces). Bij genoeg licht en een gering gehalte aan nutriënten kunnen waterplanten tot 5 m diepte voorkomen in het IJsselmeergebied (expert judgement van den Berg 1998). In het IJsselmeer en Markermeer is slechts een klein percentage van het bodemoppervlak bezet met waterplanten. De oorzaak hiervan is zowel de diepteverdeling van de meren als het doorzicht.

Ruwweg kan gesteld worden dat op een diepte waar minder dan 1% van de lichtintensiteit aan het oppervlak doordringt de respiratie snelheid de fotosynthese snelheid overtreft. Netto-productie en -groei van waterplanten is daar onmogelijk. In het algemeen zijn de mogelijkheden voor vestiging van waterplanten in diepe plassen beperkt. Slechts een ondiepe oeverzone (tot maximaal NAP -5 m) biedt kansen. In de Randmeren komen de kranswieren tot op een diepte van NAP -2,5 m voor en de fonteinkruiden hebben hun optimum op NAP -2,5 m. In de afgelopen jaren is de diepte waarop waterplanten voorkomen toegenomen. Dit is onder andere mogelijk geworden door een toegenomen doorzicht. Waterplanten komen niet veel dieper voor dan 2 maal het doorzicht in de waterkolom.

Driehoeksmosselen

Van alle macrofaunasoorten speelt de driehoeksmossel de belangrijkste rol in het ecologisch functioneren van het aquatisch systeem. Dit is de reden dat de driehoeksmossel als indicatorsoort wordt beschouwd. Driehoeksmosselen leven van organisch materiaal (zowel levende als afgestorven eencellige algen) dat zij uit het water filteren.

In 1992 werden in het IJsselmeer de hoogste dichtheden aan driehoeksmosselen aangetroffen in de driehoeken Breezand, Den Oever, Lelystad en Enkhuizen, Urk, Lelystad en hiermee is het beeld vergelijkbaar met het beeld dat uit de monitoring van 1981 volgde. Uit de waarnemingen van 1996 is goed zichtbaar dat de biomassa aan driehoeksmosselen in het zuidelijk deel hoger is dan in het noordelijk deel. In het Markermeer is de populatie ten westen van de lijn Enkhuizen-Blocq van Kuffeler en in het IJmeer in dichtheid wel afgenomen. In het zuidelijke deel van het Markermeer wordt de hoogste biomassa van driehoeksmosselen gevonden. In de ruim NAP -16 m diepe IJmeer-put zijn geen mosselen aangetroffen.

In de Randmeren bevinden zich de belangrijkste driehoeksmosselpopulaties in het Gooimeer en in het Wolderwijd; in het Drontermeer zijn de dichtheden het laagst.

Vissen

In IJsselmeer en Markermeer domineren acht soorten de visstand in de oeverzone en in het open water tot meer dan 90%; dit zijn aal, snoekbaars, baars, pos, spiering, blankvoorn, brasem en bot. In de Randmeren komt behalve deze 8 soorten, alver voor. Over de periode 1993-1996 bedraagt de totale biomassa in het IJsselmeer 478 kg/uur, en in het Markermeer 156 kg/uur. In het IJsselmeer zijn de vangsten gemiddeld gezien ruim twee maal groter dan in het Markermeer. Het verspreidingspatroon in het IJsselmeer vertoont een karakteristieke noord-zuid gradiënt voor alle vissoorten, waarbij

de biomassa in het noorden hoger is dan in het zuiden. In het Markermeer bevindt zich de hoogste visbiomassa in het zuidoosten, maar de gradiënt is minder sterk dan in het IJsselmeer. Het aantal vissen en de hoeveelheid watervogels zijn geringer dan in het IJsselmeer.

In het Ketelmeer worden beduidend meer soorten (37) aangetroffen dan in de andere Randmeren. In het Ketelmeer en het Veluwemeer domineert een klein aantal soorten: pos, brasem, blankvoorn, baars en snoekbaars. Van alle Randmeren kent het Gooi- en Eemmeer het laagste aantal vissoorten (19), hetgeen evenals de dominantie van brasem in het open water en in de oeverzone, op een eutrofe toestand wijst. Daar is ook de meeste brasem, pos, snoekbaars en blankvoorn te vinden in vergelijking tot in de andere Randmeren. Naast de brasem is de aal de meest gevangen soort.

Vogels

Het IJsselmeergebied heeft zich tot een natuurgebied van internationale allure ontwikkeld. De watervogels, die voorkomen in IJsselmeer, Markermeer en Randmeren, kunnen worden ingedeeld door naar de voedselvoorkeur te kijken. Zo zijn er waterplanten-etende (herbivore), bodemfauna-etende (benthivore) en visetende (piscivore) watervogels. Kleine zwaan en knobbelzwaan behoren tot de planteneters. Kuifeend, toppereend en brilduiker zijn mosseleeters; tafeleend, meerkoet vallen ook onder de categorie mosseleeters al gaan deze vogels in het najaar (in de Randmeren) over op plantaardig materiaal wanneer het aanbod aan mosselen niet toereikend is. Door de verbeterde situatie voor de mosselen in de Randmeren en een toegenomen aanvoer is de laatste jaren een toename van het aantal kuif- en tafeleenden in de Randmeren geconstateerd.

De watervogels fuut, aalscholver, grote zaagbek en nonnetje zijn viseters. Aalscholver, grote zaagbek en nonnetje kunnen dankzij sociaal foerageren toch goed vissen in matig troebele meren. Hierbij wordt de vis groepsgewijs van onderaf tegen het licht gejaagd. Een andere methode, die een deel van de volwassen aalscholvers beheerst, is het solitair vissen. Dit diepe vissen (>10m) langs hellingen (van verdiepingen) kan in het vroege voorjaar, als de in diep water overwinterende vis de vlakte optrekt, een gunstig alternatief zijn voor sociaal vissen.

Het Zwarte Meer was met gemiddeld 28 soorten watervogels per seizoen het meest soortenrijke Randmeer. Onder de meest talrijke soorten waren smient en wilde eend. Op het Ketelmeer is de kuifeend de meest voorkomende soort (meer dan 17.000 exemplaren). Mogelijk is de geringe afmeting van het Vossemeer de oorzaak van het lage aantal vogels en het lage aantal soorten. In het Gooi- en Eemmeer nam het aantal vogels toe, vooral door het aantal kuif-, tafeleenden en vooral smienten. In november 1998 naderde het aantal watervogels in de Veluwerandmeren voor het eerst sinds de jaren zestig de 100.000. Knobbelzwaan, meerkoet en kuifeend namen verder toe, maar veel opvallender toenames waren er bij brilduiker, nonnetje en vooral tafeleend, die met 49.000 vogels de helft van het totaal aantal getelde vogels uitmaakte.

Abiotische aspecten effecten zandwinning in IJsselmeergebied

Geologie

Door ontgronding wordt het bestaande geologische profiel verstoord. Niet alleen wordt een deel van het aanwezige materiaal verwijderd, afhankelijk van de gebruikte techniek kan een deel van het profiel geroerd worden. Als gevolg hiervan komt er een verandering in toplaag of in de samenstelling van onderliggende lagen. Het verwijderen van de goed doorlatende zandlaag betekent een verandering in de doorlatendheid van de bodem. De bodem zal minder doorlatend worden waardoor de kans bestaat dat grondwaterstromingen zullen veranderen.

Kwel

Tijdens ontgrondingen zijn veranderingen te verwachten in de hydraulische weerstanden (*c-waarden*) van afsluitende en scheidende lagen. De hydraulische weerstand zal na oplevering van de winput ter plekke van de winning meestal ongeveer halveren (om vervolgens weer toe te nemen door slibbezinking). Tijdelijk zijn er grotere effecten te verwachten waarbij de hoeveelheid zand die in één keer gewonnen wordt een belangrijke rol speelt. Op basis van modelberekeningen kan worden geconcludeerd dat de grootste effecten optreden bij de mogelijke zandwinlocaties in het Markermeer en het IJsselmeer. De grootste effecten zijn te verwachten bij een mogelijke zandwinning nabij de Houtrib. Dit wordt veroorzaakt door het grote verschil tussen het oppervlaktewaterpeil en de stijghoogte van het watervoerende pakket (circa 2,5 m) en de relatief hoge weerstand van de deklaag. Beide aspecten leiden tot een grote invloedssfeer van de zandwinning. In de nabij gelegen Flevopolder en Noordoostpolder kan de kwel toenemen met maximaal 0,25 mm/dag. Voor de overige zandwinlocaties bedraagt de toename van de kwel altijd minder dan 0,10 mm/dag. Hierbij is gerekend met het feit dat het zand in één keer gewonnen zal worden (zogenaamde 'worst-case benadering').

De effecten bij de ondiepe zandwinningen in het Veluwemeer en het Gooimeer beperken zich voornamelijk tot een klein gebied rond de zandwinput. De effecten op het vaste land zijn bij deze laatste winningen zeer gering tot verwaarloosbaar.

Stabiliteit dijken

Het doorbreken van de diepere afsluitende lagen kan blijvende consequenties hebben voor de grondwaterstroming in de watervoerende pakketten. In grote delen van het gebied is geen eerste scheidende laag aanwezig. De effecten van het doorbreken van de eerste scheidende laag zijn sterk afhankelijk van de geohydrologische situatie, die per locatie verschillend is. Behalve op de grondwaterstroming zijn er indirecte effecten op de zetting van de ondergrond en de stabiliteit van dijken. De stabiliteit van dijken wordt beïnvloed als gevolg van doorboring van het eerste watervoerende pakket, waar onderdruk heerst, vindt wegzijging plaats in het tweede watervoerende pakket. Hierdoor ontstaat in het tweede watervoerende pakket een toename van de waterspanning. Als gevolg hiervan neemt de korrelspanning in dit tweede watervoerende pakket af. Hierdoor kan het korrelpakket enigszins (elastisch) vervormen. Dit kan resulteren in een afname van de stabiliteit van de dijk. Als in het watervoerende pakket een overdruk heerst, kan de waterdruk onder het dijklichaam afnemen. Dit leidt tot een verhoging van de korrelspanning. Daardoor neemt de stabiliteit van de ondergrond toe, maar kunnen zettingen optreden door *consolidatie* van de eerste scheidende laag. De mate waarin deze processen optreden zijn voor iedere situatie afzonderlijk te berekenen, maar zijn vermoedelijk van geringe omvang gezien het verschil tussen de waterdruk en de druk van de constructie.

Zout

Een ander effect van het winnen van zand is dat het brakke, diepe grondwater dat in delen van het IJsselmeergebied op winbare diepte voorkomt in contact kan komen met het zoete oppervlaktewater. Op de locaties waar diepe winning overwogen wordt (te weten IJsselmeer en Markermeer), is nergens sprake van een opwaarts gerichte grondwaterstroming, omdat de drukhoogte van het oppervlaktewaterpeil ter plaatse overal (veel) hoger is dan de stijghoogte in de watervoerende pakketten, ook t.o.v. de diepere aquifers. Overal zal dus sprake zijn van infiltratie van meerwater naar de ondergrond.

Daarnaast is het mogelijk dat zout vrij komt bij de winning van zand (uittredend poriënwater). Uit globale berekeningen blijkt echter dat het om een verhoging van minder dan 0,5 mg/l gaat. Op een streefwaarde van 200

mg/l voor chloride in het oppervlaktewater is deze stijging gering. Een ander punt is dat bij kweltoename op het oude land in geval van brak grondwater er ook een zekere toename van zoute kwel is te verwachten. Daar de verwachte toename van de kwel zeer klein is, zal de extra zoutvracht ook gering zijn, in de regel minder dan 10%.

Grondwaterkwaliteit

Vanuit het IJsselmeergebied vindt er een grondwaterstroming plaats richting het omringende land. Door de verminderde weerstand van de deklaag (hetzij verwijderd, hetzij geroerd) treedt er (tijdelijk) een verhoogde infiltratie van zoet oppervlaktewater in het watervoerende pakket. In de onmiddellijke omgeving van de ontgronding zal hierdoor het grondwater enigszins verzoeten.

Bij Bremerberg wordt water gewonnen voor de drinkwatervoorziening van Flevoland. Het grondwater bestaat voor een deel uit geïnfiltreerd oppervlaktewater uit het Veluwemeer. Door het verstoren van de van nature aanwezige barrières kunnen eventuele verontreinigingen (die zich niet binden aan bodemmateriaal) tot grotere diepte doordringen en in het diepe grondwater terechtkomen. Diepere ontgrondingen dan tot NAP -2 m zijn daarom momenteel bij Bremerberg niet toegestaan.

Geomorfologie

Op de plaats van de ontgrondingen verdwijnt de natuurlijke opeenvolging van bodemlagen. De meerbodem ter plekke wordt dieper en dit kan ook gevolgen hebben voor het omliggende gebied, omdat hier een barrière ontstaat voor flora en fauna. Dit zal wellicht bij een geul een grotere rol spelen dan bij een ronde put. De methode van winnen is hierbij nogal van belang en met name de afwerking zal bepalen hoe de put eruit komt te zien. Inpassing in het gebied door eventueel gebruik te maken van een gevarieerde taludvorm kan een positieve invloed hebben. Hier zouden weer soorten gebruik van kunnen maken. Uit een onderzoek naar de invloed van de grootte van de taludhelling van diepe putten op stratificatie is gebleken dat hoewel er verschillen zijn geconstateerd - met name nabij de bodems - tussen putten met een taluds van 1/3 en 1/10, deze verschillen niet groot genoeg zijn om substantiële verschillen op te leveren voor de waterkwaliteit, de bodemfauna en de visstand in de putten.

Bodemafzettingen in ondiepe meren

Bij zandwinning worden de oorspronkelijke afzettingen verstoord, hetgeen resulteert in een verandering van de bodemsamenstelling. De bodemsamenstelling van een put kan grofweg verdeeld worden in slib en zand. In het Markermeer is meer slib aanwezig dan in het IJsselmeer. In een slibrijke bodem hebben de nog aanwezige flora en fauna bijna geen overlevingskansen en is het naderhand voor de pioniervegetatie ook een stuk moeilijker zich te vestigen. Een zandige bodem biedt meer perspectief voor rekolonisatie na ontgronding. Aan de andere kant wordt het aanwezige slib ingevangen in een put, waardoor daar de kansen voor vegetatie op de randen van de put kunnen toenemen.

Waterbodemkwaliteit

Door zandwinning in het IJsselmeer vindt een verplaatsing van de dunne sliblaag plaats naar de put, waardoor (plaatselijk) een verschooning van de waterbodem wordt verkregen. Bij zandwinning in het Markermeer komt de dikke sliblaag anders te liggen, de sliblaag in de put zal aanzienlijk toenemen. Omdat de kwaliteit van het oppervlaktewater voor wat betreft zware metalen de laatste jaren verbetert, zal de kwaliteit van de nieuwe afzettingen van het slib in de putten en/of vaargeul beter zijn dan de huidige kwaliteit van de bovenlaag. Omdat het pakket zo dik is, en omdat de verontreinigende stoffen

zich sterk aan het slib hechten, zal er geen beïnvloeding van de kwaliteit optreden.

Slibhuishouding

De aanleg van diepe (zandwin-)putten heeft directe gevolgen voor de slibhuishouding in watersystemen. De opwerveling van slib is sterk afhankelijk van de diepte. In diepe putten en diepe zones (dieper dan 8 tot 10 m) is de opwerveling verwaarloosbaar. Voor het Markermeer is berekend dat de opwerveling met circa 83% afneemt, als de lokale diepte (gemiddeld 4-5 m) verdubbeld wordt. Het slib accumuleert dan in de diepere delen en is niet of nauwelijks nog voor opwerveling beschikbaar. Afhankelijk van de totale verdieping in het meer en de totale hoeveelheid beschikbare zwevende stof zou plaatselijk en eventueel over grotere oppervlakken ook een verbetering van het doorzicht kunnen optreden.

Sedimentatiesnelheid

De snelheid waarmee materiaal in een put accumuleert is mede afhankelijk van de locatie van de put. Bij een put in het Markermeer zal een put meer slib invangen dan in het IJsselmeer aangezien het zwevendstofgehalte aanzienlijk groter is in het Markermeer. In de vaargeul van het IJsselmeer was de snelheid hoog in de eerste vier jaar (40 cm/jaar) en nam af naar een snelheid tussen de 2 en 5 cm/jaar. De sedimentatiesnelheid blijkt hier dus af te nemen in de tijd. Een zuigput voor de Westermoordijk ten noorden van Urk, kent een sedimentatiesnelheid die op het eind overeenkomt met de vaargeul, maar in de tussenliggende periode kende de zuigput een hogere sedimentatiesnelheid (12,6 cm/jaar). Voor het Markermeer zijn accumulatiefluxen berekend van enkele centimeters tot maximaal enkele decimeters per jaar.

Lichtklimaat

Als gevolg van de slibvang zal het lichtklimaat verbeteren. De zwevende stofconcentratie boven de put wordt niet alleen bepaald door de lokale opwerveling, maar ook door de opwerveling elders, in combinatie met transport door stroming. Voor grote putten (1225 ha) in het Markermeer met een diepte van NAP -8 m werd berekend dat de lokale zwevende stofconcentratie met circa 25 tot 50% afneemt. Op een afstand van 2 tot 3 kilometer van de put treedt maximaal nog een reductie van 20 tot 30% van het slibgehalte in de waterfase op. Het voorgaande maakt duidelijk dat de aanslibbing in putten afhankelijk is van de zwevende stofconcentraties in de omgeving van de put. In een omgeving waar veel slib aanwezig is en de strijklengten over de put groot zijn is de aanslibbing ook groter. Dat betekent dat de aanslibbing in het Markermeer groter is dan in het IJsselmeer, omdat het percentage zwevend stof veel hoger is in het Markermeer dan in het IJsselmeer.

Stratificatie

Het ontstaan van een zuurstofloos hypolimnion is een van de meest in het oog springende consequenties van stratificatie. De diepte waarop zuurstofloos water voorkomt wisselt sterk per systeem; er zijn waarnemingen waar de overgang van zuurstofhoudend naar zuurstofloos water al op een diepte van NAP -5 m ligt. In het verleden is vaak de vrees geuit dat bij de herfst-omkering van een diepe plas met een anaëroob hypolimnion het zuurstofverzadigings-percentages in de gehele plas tot onder een kritische waarde daalt. Vissterfte tijdens de omkering zou het gevolg zijn. In praktijk blijkt deze vrees vaak ongegrond. Alhoewel destratificatie in een kort tijdsbestek plaatsvindt, is het proces vrijwel altijd geleidelijk genoeg om problemen met zuurstofverzadiging te voorkomen. Een anaëroob hypolimnion leidt tevens tot een verhoogde fosfaatgifte van het sediment, hetgeen de interne eutrofiëring van de plas versterkt en vaak aanleiding is tot vertraagd herstel na het terugdringen van de externe fosfaatbelasting. In het

IJsselmeergebied bestaat de indruk dat het graven van diepe putten (meer dan NAP -5 m) een lichte versterking van de eutrofiëring veroorzaakt.

Verblijftijden

Verschuivingen in de verblijftijden van het water kunnen leiden tot veranderingen in nutriëntenbelasting en in algengroei. Dit kan zowel consequenties hebben voor de biologische productiviteit van de systemen, als voor de waterkwaliteit in termen van doorzicht, en dus voor de ontwikkelingsmogelijkheden van waterplanten. De verandering in verblijftijden door zandwinning in het IJsselmeer en Markermeer is uiterst gering. Het volume aan water in beide meren is zo groot dat het bijkomend extra volume als gevolg van de zandwinning maar zeer gering is. Het is dan ook niet waarschijnlijk dat meetbare consequenties voor de aquatische ecologie hieruit zullen voortvloeien.

De verandering in verblijftijden door zandwinning in de Randmeren is matig tot gering, afhankelijk van de omvang van de zandwinning. De in de periode 2000-2010 voorziene zandwin-activiteiten kunnen slechts tot een zeer beperkte verandering van verblijftijden aanleiding geven en dit zal niet tot substantiële verandering van de waterkwaliteit leiden.

Macro-ionen samenstelling

De effecten die op kunnen treden bij zandwinning voor de macro-ionen samenstelling gaan vooral in de richting van mogelijke verzilting door een verhoging van het chloride-gehalte bij ontgrondingen in gebieden waar lagen met een brak karakter worden aangesneden. Bij zandwinning in het IJsselmeer en in het Markermeer komt brak poriënwater vrij. Uit globale berekeningen blijkt een zeer geringe concentratie toename na winning. Er zijn dus geen nadelige effecten te verwachten op het aquatisch milieu of oppervlaktewater. Daar er geen zandwinning plaats zal vinden in de nabijheid van de drinkwaterinlaat bij Andijk is de drinkwaterwinning niet in gevaar.

Eutrofiëring

Over veranderingen in het nutriëntengehalte a.g.v. zandwinning is moeilijk een uitspraak te geven, omdat het zowel toe als af kan nemen. Een toename van nutriënten kan voorkomen doordat er fosfaatnalevering optreedt vanuit de put. Wanneer dit in het zomerseizoen plaatsvindt, kunnen toxische blauwalgen hiervan profiteren ten opzichte van de groenalgen en uiteindelijk drijfslagen vormen. Afname van nutriënten is ook mogelijk, omdat slib ingevangen wordt in de put. Bij geringe strijklengte en windsnelheden is resuspensie vanaf een NAP -10 m praktisch uitgesloten. Op die manier zullen er dan geen extra nutriënten beschikbaar komen voor blauwalgen, zodat de groenalgen de competitie aan kunnen gaan. Bij putten dieper dan NAP -10 m vindt geen fosfaatnalevering meer plaats.

Microverontreinigingen

Microverontreinigingen staan bekend om hun persistentie en binding aan zwevende stof en kleideeltjes. Het is daardoor misschien mogelijk dat bij het winnen vervuild slib of sediment weer in het water terechtkomt en de organische microverontreinigingen (PAK, PCB, OCB) weer in suspensie gaan en de zware metalen door oxidatie in oplossing gaan. Ook is het mogelijk dat er een pH-daling optreedt wanneer een systeem ongebufferd is, maar dit is waarschijnlijk niet het geval. Het is dus noodzaak om te weten of je op vervuild gebied zit, omdat dan eerst gesaneerd moet worden voordat zandwinning kan plaatsvinden. Voor effecten in vaargeulen komt daar nog bij dat door opwerveling van slib of sediment door scheepvaart weer organische contaminanten in suspensie gaan en zware metalen in oplossing gaan. Dat betekent dus dat vaargeulen op de juiste diepte minder negatief milieueffect veroorzaken, dan wanneer ze te ondiep zijn, op het gebied van vertroebeling en resuspensie. Bij het winnen van zand in diepe putten zal het vooral dus om

organismen deze barrière weer zullen en kunnen nemen (expert judgement van den Berg 1998).

Bodemfauna

Voor diepe en ondiepe winningen geldt dat het bodemleven ter plaatse sterk wordt verstoord of vernietigd. Wanneer de verdieping van de waterbodem niet dieper is dan NAP -8 m worden de levensomstandigheden voor bodemfauna niet blijvend aangetast. Het aantal organismen op een talud tussen 5 en 10 meter is hoger dan buiten de put. Op taluds die dieper liggen dan NAP -10 m is het aantal organismen per oppervlakte-eenheid belangrijk kleiner dan in de omgeving van de put.

Slakken en driehoeksmosselen (belangrijk voedsel voor blankvoorn, kuifeend en toppereend) kwamen in zandwinputten slechts sporadisch en niet tot op de bodem voor (wel op de taluds). Een verdere negatieve invloed op het voorkomen van macrofauna in diepe putten is het verzamelen van slib op de bodem van de put. Een slibrijke, zachte bodem is met name voor driehoeksmosselen een ongeschikte vestigingsplaats, al gaat dit alleen op voor putten die niet dieper zijn dan 15-20 m. Dieper komen ze toch al niet voor. Het is waarschijnlijk dat er op het talud van de put juist meer leven komt. Aangezien het talud goede mogelijkheden biedt voor bodemfauna en zwevende fauna in verband met de vrijgekomen reliëfvormen van het bodemoppervlak. Er zitten dan verschillende microhabitats bij elkaar, waardoor er een verhoogde productie van bodemfauna kan ontstaan. Dit zou positief door kunnen werken naar vissen en mossel- en visetende watervogels.

Een grotere diepte in de Randmeren zal minder temperatuurfluctuaties ten gevolge hebben en mogelijk een toename van de concentratie driehoeksmosselen bevorderen. Het is echter de vraag of de vermindering van temperatuurfluctuatie optreedt wanneer de verdieping kleinschalig plaatsvindt in de vorm van zandwinputten.

Vissen

De effecten op het gebied van slibgehalte, voedselvoorraden en zuurstofgehalte, die kunnen optreden bij het winnen van zand in putten zijn van belang voor vissen. Bodemorganismen ondervinden vooral tijdens warme en windstille perioden in de zomermaanden nadeel, van een teruglopend zuurstofgehalte (stratificatie) onderin zandwinputten. Bodemorganismen vormen het hoofdvoedsel van veel vissoorten, zoals blankvoorn, brasem, aal, pos, (jonge) snoekbaars en baars. Door ontgroningen tot een grote diepte in eutrofe meren als het Markermeer kunnen bodemtypen ontstaan waarop zich weinig of geen bodemorganismen ontwikkelen. Dit betekent dat deze bodemtypen als foerageergebied voor een aantal vissoorten verloren gaan, maar aan de andere kant is het wegvangen van slib door een zandwinput een positief effect op de toch al troebele en eutrofe situatie in het huidige Markermeer voor vissoorten uitgezonderd bodemwoelers.

Wanneer een verhoogde productie van zoöplankton het gevolg is van een zandwinning, kan dit een toegenomen concentratie van de planktivore vissoort spiering ten gevolge hebben. Dit leidt dan tot een verhoogde produktie van de spiering ter plaatse. Als spiering in de verdieping blijft, kunnen op zicht vissende watervogels zoals bijvoorbeeld aalscholvers en nonnetjes hiervan profiteren, te meer omdat ook het doorzicht toeneemt.

Bij ontgroningen met een grotere diepte dan NAP -8 m wordt de situatie als nadelig voor de visstand beschouwd. Daarentegen zijn er vissoorten die wel in diep water kunnen leven, mits er zuurstof aanwezig is door voldoende stroming. Een beperkte ontgroning biedt mogelijkheden voor ontwikkeling van onder meer baars, meerjarige snoekbaars en aal, die zich bij voorkeur op enige diepte ophouden. De vangst in een put blijkt vaak groter te zijn dan buiten de put. Paaimogelijkheden worden in diepe putten voor de meeste

vissoorten niet geboden omdat de temperatuur te laag is en er perioden van zuurstofloosheid kunnen optreden.

In de Randmeren moet er vooral gekeken worden naar de verdieping van vaargeulen en ondiepe winning van ten hoogste een paar meter, aangezien diepe zandwinning niet aanvaardbaar is ($> \text{NAP} - 12 \text{ m}$). Hierbij dient vermeld te worden dat grote vissen ($> 25 \text{ cm}$) de diepere delen opzoeken om te foerageren, mits ze niet dieper zijn dan 8 m. Wellicht liggen er mogelijkheden op de taluds waar zich veel plankton en bodemfauna ophoudt wat als voedselbron voor bepaalde vissen kan fungeren. Het is niet aan te raden om in gebieden met een diepte van minder dan $\text{NAP} - 2 \text{ m}$ te winnen aangezien in deze oevergebieden de paaigebieden liggen voor een groot aantal vissoorten als spiering, baars, snoekbaars en blankvoorn.

Vogels

Er bestaat een verband tussen zandwinning en het voedselaanbod voor duikende watervogels die op mosselen en vis foerageren. Een diepte van meer dan $\text{NAP} - 5 \text{ m}$ wordt ongeschikt geacht om naar voedsel te duiken. Het komt echter voor dat ervaren aalscholvers in de winter solitair vissen op dieptes van meer dan $\text{NAP} - 10 \text{ m}$ langs de hellingen. Gesuggereerd wordt dat in het vroege voorjaar het solitair vissen langs hellingen een goed alternatief is voor sociaal vissen.

In de winter kan bevriezing van de meren optreden, waarbij de locaties met putten langzamer dicht vriezen. Bij de dan ontstane wakken, komt het voor dat voornamelijk zaagbekken zich te goed doen aan vis die zich rond het wak ophoudt. Door het wak in te duiken en onder het ijs te zwemmen kunnen ze op die manier voedsel vinden. Dit is een mogelijk voordeel van diepe putten. Bij zandwinning in het IJsselmeergebied is het goed mogelijk dat voedselgebieden voor vogels verdwijnen en/of waterplantenvelden (Randmeren) en/of mosselbanken (IJsselmeer en Markermeer) en/of voedselgebieden voor vis (hele gebied). Door rekening te houden met de exploitatiebare voedselgebieden voor watervogels tijdens zandwinning blijft in ieder geval de huidige betekenis van deze gebieden in beeld als voedselbron voor watervogels. Hierbij gaat het om de instandhouding van bestaande waarden en niet om de ontwikkeling van nieuwe natuurwaarden. Vooral waar de aantallen watervogels de Ramsar-norm halen is het van groot internationaal belang dat deze voedselgebieden ongeschonden blijven. Mocht blijken dat de ontgrondingslocatie niet elders te vinden is en toch in een beschermd gebied plaats dient te vinden, mede vanwege een zwaar maatschappelijk belang dan is compensatie van de negatieve effecten door ontgrondingen wettelijk verplicht.

Voedselweb

Een relevante kaart met directe betekenis is de verspreiding van de driehoeksmosselen. De mosselen zijn dus een belangrijke verdeelsleutel in het ecologische functioneren en hebben bovendien een sterke uitstraling naar de waterkwaliteit binnen het gebied omdat ze tevens de helderheid van het water beïnvloeden. In het IJsselmeer vallen de gebieden met goed winbaar zand samen met rijke gebieden van driehoeks-mosselen en rustplaatsen van aalscholvers en futen; in het Markermeer zijn de goede locaties met winbaar zand qua natuurwaarde, waterkwaliteit en visserij minder kwetsbaar.

1. Inleiding

1.1 Algemeen

Rijkswaterstaat directie IJsselmeergebied (RDIJ) bereidt een beleidsnota voor met betrekking tot de oppervlaktedelfstoffenwinning in de wateren onder haar beheer voor de periode 2000-2010 en met een doorkijk naar de periode tot 2025 (MINVENW, 1998). In de nota zullen mogelijk winzones of winlocaties voor oppervlaktedelfstoffen worden aangewezen met een gezamenlijk oppervlak van meer dan 100 ha; dit kan een aaneengesloten oppervlak betreffen of oppervlakten op samenhangende locaties. Daarom is een MER-procedure gestart en zullen de milieueffecten van het voorgenomen beleid worden vastgelegd in een Milieueffectrapport (MER).

De milieueffecten van de verschillende vormen van oppervlaktedelfstoffenwinning zijn onder andere in het voorliggende literatuuronderzoek onderzocht, waarbij ook gebruik is gemaakt van recente, nog niet gepubliceerde gegevens. De literatuurstudie vormt naast modelberekeningen en gegevens uit boringen de basis voor het MER. Deze literatuurstudie bestaat uit een abiotisch en biotisch deel. Daarnaast zijn ook de belangrijkste gebruiksfuncties in het gebied meegenomen. Er is niet specifiek gekeken naar de economische aspecten van ontgroningen in het IJsselmeergebied omdat dit niet binnen het kader van de opdracht viel.

Deze literatuurstudie is als volgt opgebouwd:

In het eerste deel van het rapport (de hoofdstukken 1 tot en met 3) worden enkele algemene karakteristieken van het IJsselmeergebied gegeven en wordt de huidige situatie beschreven. Hierbij komen achtereenvolgens de abiotische kenmerken (geohydrologie, grondwaterstroming, waterbodem, oppervlakte-waterkwantiteit en oppervlaktewaterkwaliteit) en daarna de biotische kenmerken (flora, fauna, vissen en vogels) aan de orde. In het tweede deel (de hoofdstukken 4 en 5) komen de te verwachten effecten bij oppervlaktedelfstoffenwinning aan de orde. Bij de beschrijving is steeds een onderverdeling gemaakt in IJsselmeer en Markermeer (inclusief IJmeer en Gouwzee) en de Randmeren (inclusief Ketelmeer en Zwarte Meer).

1.2 Algemene karakteristieken IJsselmeergebied

De wateren in het IJsselmeergebied beslaan in totaal een zoetwateroppervlak van ongeveer 2.000 km². Met de term IJsselmeergebied wordt in dit rapport het geheel van IJsselmeer, Markermeer en de Randmeren bedoeld. Het IJsselmeergebied is op basis van waterhuishoudkundige samenhang verdeeld in een aantal watersystemen. Een indruk van de afmetingen van het IJsselmeergebied is gegeven in Tabel 1.

Tabel 1. Afmetingen van het onderzoeksgebied (BPN, RDII, 1997).

Watersysteem	Oppervlakte (km ²)	Oeverlengte (km)	Gem. diepte (NAP -m)	Streefpeil in m t.o.v. NAP		Gem. verblijftijd van het water in maanden	
				zomer	winter	zomer	winter
IJsselmeer	1139	296	4,4	-0,20	-0,40	5	3,5
Markermeer, IJmeer, Gouwee	682	185	3,5	-0,20	-0,40	15	12
Gooimeer, Eemmeer-Nijkerkernauw	41	77	1,6	-0,20	-0,40	-	2
Wolderwijd-Nulderneauw,	26	62	1,8	-0,10	-0,30	9	5
Veluwemeer, Drontemeer	38	99	1,4	-0,05	-0,30	3	1,5
Vossemeer, Ketelmeer, Zwarte Meer	56	102	2,4	-0,20	-0,40	-	0,1

Waarden over oeverlengte en verblijftijden komen uit de "Systeemanalyse IJsselmeergebied, Noordzeekanaal en Amsterdam-Rijnkanaal".

De afmetingen van het IJsselmeer en het Markermeer maken het gebied gevoelig voor wind. In het Markermeer is opwerveling van sediment van de slibbige bodem bepalend voor de helderheid van het water. In het IJsselmeer speelt dit in mindere mate door de aanwezigheid van een meer zandige bodem. Aanvoer van water vindt vooral plaats door de IJssel (circa 70%) en afvoer vindt vooral plaats naar de Waddenzee. Voor een overzicht van het onderzoeksgebied wordt verwezen naar Figuur 7.

IJsselmeer

Het oppervlak van het IJsselmeer bedraagt circa 1.139 km² (Tabel 1). Door de aanwezigheid van voormalige getijdegeulen heeft het IJsselmeer een sterk versneden meerbodem. De gemiddelde diepte van het IJsselmeer is 4,4 m, waarbij de grootste diepten (NAP -7 tot -9 m) nog steeds gevormd worden door de oude stroomgeulen bij Kornwerderzand en Den Oever. Op enkele plaatsen zijn diepe zandwinputten aanwezig (Harkink *et al.*, 1999). Het diepst is de Pampusput van NAP -32,5 m. De omtrek van het IJsselmeer is 296 km. De grens tussen open water en land is langs het overgrote deel van het IJsselmeer 'hard' (merendeels door dijken omgeven) en relatief steil, doordat de oorspronkelijke arealen ondiep water grotendeels zijn ingepolderd. Het resterende areaal is klein (enkele procenten). Langs ongeveer een derde van de oeverlengte bevindt zich een natuurlijke 'zachte' oever, voornamelijk langs de Friese kust en Noordwest Overijssel. Hier bevinden zich grote oppervlakten buitendijks gebied: voor de Friese kust circa 8,5 km² (inclusief de achter een zomerkade gelegen Workumerbuitenwaard) en enkele gebieden langs de zuidoever van het Zwarte Meer en Ketelmeer. Langs de kust van Noord-Holland liggen enkele veel kleinere buitendijkse terreinen. De verblijftijd van het water in het IJsselmeer is 5 maanden in de zomer en 3 tot 4 maanden in de winter. Door de seizoensinvloed (meer verdamping en minder rivierwateraanvoer) is de verblijftijd in de zomer groter dan in de winter (Buiteveld, 1997). Het streefpeil (Tabel 1) bedraagt NAP -0,20 m in de zomer en gaat jaarlijks in tussen 20 maart en 10 april. Het winterstreefpeil (vanaf omstreeks 20 september) ligt op NAP -0,40 m (Breukers, 1997).

Markermeer (inclusief IJmeer en Gouwee)

Het Markermeer (inclusief IJmeer en Gouwee) heeft een oppervlakte van ongeveer 700 km². Ondanks het feit dat de bodem van het Markermeer vrij vlak is en gemiddeld ondieper dan in het IJsselmeer (circa 3,5 m), is het areaal ondiep water hier toch kleiner. De oeverlengte bedraagt 185 km en bestaat eveneens voor het merendeel uit dijken - ongeveer 1/3 van de oever is 'zacht'. Buitendijkse gebieden komen voor langs de zuidrand van de Gouwee en in het zuiden van het IJmeer. Verder bevindt zich langs de Noord-Hollandse oever een aantal smalle polders omgeven door lage zomerdijken. De verblijftijd in het Markermeer is langer dan in het IJsselmeer: 15 maanden in het zomerhalfjaar en 12 maanden in de winter (Buiteveld, 1997). Het streefpeil (Tabel 1) bedraagt NAP -0,20 m in de zomer en gaat

jaarlijks in tussen 15 maart en 15 april. Het winterstreefpeil ligt op NAP -0,40 m en gaat in tussen 20 september en 15 oktober (Breukers, 1997).

Randmeren-Zuid

Het Gooimeer, Eemmeer en Nijkerkernauw staan in open verbinding met het Markermeer. De gezamenlijke oppervlakte bedraagt 41 km² en de gemiddelde diepte is 1,6 m. De diepste gedeeltes komen voor in het centrale deel van het Gooimeer. Ondiepe delen komen voor tegen de "oude land" zijde. De oeverlengte bedraagt circa 75 km. De verblijftijd in de winter bedraagt ongeveer 2 maanden (Buiteveld, 1997).

Randmeren-Oost

Het gebied Veluwemeer/Drontermeer en Wolderwijd/Nuldernauw worden als twee afzonderlijke boezems beschouwd. Ze worden gescheiden door de Knardam. De Hardersluis (gelegen in de Knardam) zal echter worden verwijderd waardoor in de toekomst deze twee boezems een geheel vormen (Buiteveld, 1997). Op de genoemde Randmeren stroomt een twintigtal Veluwse beken uit.

Het Veluwemeer/Drontermeer heeft een oppervlakte van 38 km² en is met een gemiddelde diepte van 1,4 m een ondiep meer. Met name in het Drontermeer komen grote ondiepe delen voor. De diepste gedeeltes komen voor aan de zijde van de Flevopolders. De oeverlengte bedraagt circa 100 km waarvan het merendeel (circa 2/3) uit natuurlijke oever bestaat. De verblijftijd in het Veluwemeer bedraagt 3 maanden in de zomer en 1 à 2 maanden in de winter (Buiteveld, 1997). Waar de Randmeren het oude land begrenzen bestaat de oever uit een geleidelijk oplopende kust met uitgestrekte rietlanden, gevormd door buitendijkse gebieden buiten de zomerkades. Langs een deel van dijken aan de westzijde van de Randmeren zijn voorlanden opgespoten ten behoeve van de recreatie (Breukers, 1997).

Het Wolderwijd/Nuldernauw is kleiner (25 km²), maar dieper (1,8 m) dan het Veluwemeer/ Drontermeer. Ook hier komen de diepste gedeeltes (circa 3 m) voor aan de voet van de dijk aan de polderzijde ("nieuwe land"), waarbij de diepte geleidelijk afneemt richting "oude land". De oeverlengte bedraagt 62 km, waarvan iets minder dan de helft uit natuurlijke oever bestaat. De verblijftijden in het Wolderwijd zijn respectievelijk 9 maanden in de zomer en 5 maanden in de winter (Buiteveld, 1997). De zomerstreefpeilen (NAP -0,05 m voor Veluwemeer/Drontermeer en NAP -0,10 m voor Wolderwijd/Nuldernauw) gelden voor de periode tussen 7 maart en 1 april, de winterstreefpeilen (NAP -0,30 m voor beide meren) gelden tussen 15 oktober en 1 november (Breukers, 1997).

Randmeren-Noord

Het Ketelmeer, Vossemeer en Zwarte Meer staan in open verbinding met het IJsselmeer. De gezamenlijke oppervlakte bedraagt 57 km² en de gemiddelde diepte is 2,4 m. Ondiepe delen komen voor in het Zwarte Meer, Vossemeer en het oostelijke deel van het Ketelmeer. De diepste gedeeltes (NAP -4 tot -6 m) komen voor in het westelijke deel van het Ketelmeer. De oeverlengte bedraagt circa 100 km. De verblijftijd in de winter bedraagt minder dan een maand (Buiteveld, 1997). In het Ketelmeer is een baggerdepot aangelegd (IJsseloog) ter grootte van circa 3 km² en er wordt een flexibele stormvloedkering bij de Ramspolbrug aangelegd (Breukers, 1997).

1.3 Functies van het IJsselmeergebied

Van het IJsselmeergebied wordt op vele manieren gebruik gemaakt. In het onderstaande zijn de verschillende functies kort beschreven.

1.3.1 Recreatie

De recreatieve betekenis van het IJsselmeergebied wordt in belangrijke mate bepaald door het uitgestrekte karakter van de meren, de uitstraling van de voormalige Zuiderzeehavens, de verbindingen met de omliggende wateren en de aanwezigheid van stranden, oevers, natuur en rust. Voor de recreatie is het gebied het grootste vaargebied van Nederland en de grootste binnenzee in Noord-West Europa. Recreatievaart, oeverrecreatie (zoals surfers, zwemmen, vogelaars, cultuurminnaars, etc.), wedstrijdsport, schaatsen en sportvisserij bepalen het beeld. Op diverse plaatsen langs de randen van de meren bevinden zich jachthavens met in totaal ongeveer 32.000 ligplaatsen met een gemiddelde bezettingsgraad van 90%. De meeste druk staat op de Noord-Hollandse kust. De verwachting is dat het aantal ligplaatsen voor de recreatievaart zal toenemen tot 43.000 in het jaar 2010. Dit komt neer op een groeipercentage van ongeveer 2% per jaar.

In het aantal bootbewegingen is een verplaatsing te zien in de richting van de Waddenzee en de Noordzee ten koste van het IJsselmeer en Markermeer. Waarschijnlijk is de drukte op de twee laatste meren hier de oorzaak van. Op basis van ontwikkelingen in het verleden wordt er van uitgegaan dat de recreatie in het algemeen een bescheiden maar gestage groei zal kennen. In Figuur 25 zijn de belangrijkste aspecten van de recreatievaart weergegeven (Harkink *et al.*, 1999).

Op hoofdlijnen komen de visies en wensen neer op het vasthouden en uitbouwen van de bestaande kwaliteit, het opheffen van bestaande capaciteitsknelpunten (de Krabbersgatsluis bij Enkhuizen, de Hardersluis bij Harderwijk en de zuidelijke sluis in Stavoren), het vergroten van het aantal vaardoelen in het gebied en het vergroten van het aantal plaatsen om af te meren (vooral nabij natuurgebieden), het ontwikkelen van een toervaartcentrum en het vergroten/verbeteren van de faciliteiten voor de chartervaart. In het Structuurschema Groene Ruimte (MINLNV & VROM, 1995) is aangegeven dat in het IJsselmeer, het Markermeer en de Randmeren ruimte is voor uitbreiding van het aantal vaste ligplaatsen voor recreatievaartuigen met een maximum van 18.000 tot een totaal van 50.000 ligplaatsen. Hiermee is de verwachte groei in ligplaatsen tot het jaar 2010 op te vangen (Harkink *et al.*, 1999).

1.3.2 Beroepsvisserij

De beroepsvisserij is na de aanleg van de Afsluitdijk sterk gedaald. Er zijn nog circa 90 beroepsvisserij op het IJsselmeer en Markermeer en 8 beroepsvisserij op de Randmeren actief. Er bevinden zich geen viskwekerijen in het IJsselmeergebied. De directe en indirecte bijdrage van de visserij aan de plaatselijke en regionale economie is gering (280 mensjaren). De marktpositie van de IJsselmeer- en Markermeervisserij is zwak (Harkink *et al.*, 1999).

Tot op heden zijn aal, baars, snoekbaars en spiering de commercieel belangrijke vissoorten. In het IJsselmeer is het gedeelte commercieel belangrijke vis hoger dan in het Markermeer, door onder andere een hoger voedselaanbod en minder slibopwerveling dan in het Markermeer. De productiviteit van het Markermeer is daardoor ongeveer de helft lager dan in het IJsselmeer. De hoeveelheid aal, baars en snoekbaars is de afgelopen 20 jaar dramatisch teruggelopen. Er wordt verwacht dat met verdergaande nutriëntenreductie de productiviteit en de algenbloei in de toekomst zullen

verminderen, het doorzicht zal toenemen en de hoeveelheid vissen zal afnemen (Lammens & Hosper, 1998).

De beroepsvisserij zelf is pessimistisch over de toekomstmogelijkheden in het IJsselmeergebied en over het beoogd resultaat van het gevoerde beleid. Men vermoedt dat de beoogde vermindering van de visserij-druk niet gehaald zal worden. De aalscholvers worden als grote concurrent ervaren en de sector is somber over een herstel van de glasaalintrek.

Algemeen doel van het visserijbeleid is de bevordering van een doelmatige bevissing van de wateren binnen de randvoorwaarden van het milieu-, water- en natuurbeleid. Het richt zich daarmee op een duurzame instandhouding van visbestanden. Het provinciaal beleid richt zich op de instandhouding van voldoende vangstlocaties en de instandhouding of waar mogelijk uitbreiding dan wel verbetering van de paaigebieden van snoekbaars, baars en spiering. Bij een gelijkblijvende betekenis van het gebied voor de visserij wordt voorrang gegeven aan natuurontwikkeling. Hierdoor kunnen delen van fuikenzones verloren gaan (vooroeveraanleg) (Figuur 31). Door de Rijksoverheid zijn in het verleden ook maatregelen genomen om de visserij-druk in het gebied te verlagen om een weliswaar kleinere maar gezonde bedrijfstak over te houden (Harkink *et al.*, 1999).

1.3.3 Natuur

Het IJsselmeer heeft zich, sinds de aanleg van de Afsluitdijk, kunnen ontwikkelen als een groot, relatief diep, helder en voedselrijk zoet meer. Het IJsselmeer heeft een groot oppervlak aan onbegroeid open water en een hierbij behorende vis- en vogelstand. Er komen door het jaar heen zeer grote aantallen vogels voor die ruim de normen van internationale beschermingsverdragen overschrijden. Het IJsselmeergebied is een belangrijk gebied voor de trekvogels. Naast voedselgebied fungeert het IJsselmeer tevens als belangrijk ruigebied voor watervogels. Het Markermeer vormt een belangrijk rust- en foerageergebied voor piscivore watervogels.

In het Veluwemeer en het Wolderwijd heeft een spectaculair ecologisch herstel plaatsgevonden sinds het begin van de jaren '90. Er zijn uitgebreide waterplantenvegetaties, met name kranswieren, waarboven het water glashelder is. Deze waterplanten trekken diverse watervogels aan. De visstand is diverser dan voorheen. Natuurontwikkelingsprojecten als de Abbert en Polsmaten vormen een belangrijke schakel tussen het open water en het vaste land. Voor een verdere ontwikkeling van natuurwaarden ontbreekt rust in het merendeel van het gebied.

De visserij- en recreatiesector kijkt met enige argwaan naar de natuurontwikkelingsplannen voor het IJsselmeergebied. Enerzijds betekent het verlies aan wateroppervlakte waar geen visserij en/of recreatieve varen meer kan plaats vinden. Anderzijds is het voor de visserijsector niet acceptabel dat met name de aalscholvers kan gaan toenemen in het gebied (Harkink *et al.*, 1999).

De toekomstige natuurontwikkelingsprojecten (Figuur 30) kunnen ook nieuwe kansen bieden voor de recreatie (vaardoel, beleving natuur).

Er wordt veel waarde gehecht aan het omkeren van het peilbeheer in het Markermeer. Dit houdt in het verhogen van het huidige winterpeil en het verlagen van het huidige zomerpeil. Met een meer "natuurlijker" verloop kunnen op een "natuurlijker" manier interessante geleidelijke oevers voor de harde dijken ontstaan. Daarnaast worden door gebruik te maken van overbodige specie bij zandwinning en/of door het storten van niet verontreinigd slib, nieuwe moerasgebieden voor de kustlijn van Noord-Holland voorgesteld (Harkink *et al.*, 1999).

In de VINEX (MINVROM, 1991) wordt voor het IJsselmeer, Markermeer, IJmeer en Ketelmeer een "blauwe koers" aangegeven. Gesteld wordt dat in deze gebieden grootschalige activiteiten en ingrepen in de ruimtelijke structuur vermeden dienen te worden. In het Structuurschema Groene Ruimte (SGR, 1993) zijn het IJsselmeer, Markermeer, IJmeer en het Ketelmeer geheel aangeduid als kerngebied binnen de Ecologische Hoofdstructuur (EHS) met waterrecreatie nevenschikkend. Voor een verbindingzone is het beleid erop gericht de migratiemogelijkheden tussen natuurterreinen voor bepaalde soortengroepen in stand te houden dan wel te herstellen of te ontwikkelen. In de verkenning "Natuur in het Natte Hart" worden de mogelijkheden voor grootschalige natuurontwikkeling in het IJsselmeergebied aangegeven. De Randmeren en zones voor de kust van Noord-Holland, de dijk langs de Oostvaardersplassen en gebieden langs de noordzijde van de Houtribdijk en de zuidelijke kust van Friesland zijn aangemerkt als natuurontwikkelingsgebieden (Iedema *et al.*, 1996). Onlangs is het hele IJsselmeergebied aangewezen als Speciale Beschermingszone (uitgezonderd een deel van het Gooimeer) en valt hiermee onder de Vogelrichtlijn, ingesteld door de Europese Unie (Vogelrichtlijn, 1981). Dit houdt in dat kenmerkende watervogels voor elk gebied worden vastgesteld aan de hand van vastgestelde criteria en beschermd dienen te worden door de Nederlandse overheid.

1.3.4 Landschap en cultuurhistorie

De landschappelijke kenmerken van het IJsselmeergebied zijn van grote betekenis voor de natuur, recreatie en toerisme. De uitgestrektheid, grote oeverlengte, dijken, buitendijkse waarden, havensilhouetten en oriëntatiepunten vormen de karakteristieken. Met name de kuststrook is van belang voor zowel de beleving vanaf het land als vanaf het water.

De cultuurhistorische waarden van het gebied zijn voor een groot deel zichtbaar geconcentreerd in de oude Zuiderzeestadjes en dorpjes langs IJsselmeer, Markermeer en de Randmeren. Van bijzondere betekenis is de Westfriese Omringdijk die aangewezen is als cultuurhistorisch monument. Niet aangewezen als cultuurhistorische monument maar wel van cultuurhistorische betekenis is de Westergodijk langs de Friese kust, van Kornwerderzand tot het Rode klif. Ook vormen de waterstaatkundige werken zoals de Afsluitdijk, de Houtribdijk en de polders en droogmakerijen en het voormalige eiland Urk elementen die cultuur(historische) waarden hebben. Van bijzondere betekenis is het eiland Marken met zijn karakteristieke (beschermd) dorpsgezicht (Harkink *et al.*, 1999).

Naast cultuurhistorische waarden herbergen het IJsselmeer en Markermeer ook archeologische waarden. In het noordelijk deel van het IJsselmeer langs de oude scheepvaartroutes langs de kust, zijn meerdere vondsten bekend van oude schepen. Van het Markermeer wordt verondersteld dat ook hier langs de oude scheepvaartroutes vergane schepen liggen (Gonggrijp, 1989).

In de nota Landschap (1992), nader uitgewerkt in het Structuurschema Groene Ruimte (MINLNV & VROM, 1995), is het beleid gericht op het bevorderen van de algemene landschapskwaliteit. Duurzame instandhouding en verdere ontwikkeling van een selectie van die patronen en elementen die op nationale schaal bepalend zijn voor het landschap, het zogenaamd nationaal landschapspatroon, zijn het doel. Rond het IJsselmeergebied ligt een groot aantal gebieden die goed bij het nationaal landschapspatroon vallen of behoren tot het te ontwikkelen nationaal landschapspatroon (Zuidwest Friesland, Oostvaardersplassen, gebied Randmeren, kop van Noord-Holland en Waterland). Daarnaast liggen er gebieden (Waterland, Zuidwest Friesland) waarvan behoud en herstel van bestaande landschapskwaliteit voorop staat. Ruimtelijke ingrepen en ontwikkelingen die de cultuurhistorische waarden, de ruimtelijke samenhang, de schoonheid en/of aardkundige waarden aantasten

zijn niet toegestaan. In Zuidwest Friesland, Flevoland en de Noordoostpolder liggen ook gebieden die kwetsbaar worden geacht vanwege de karakteristieke openheid, verlies hiervan moet zoveel mogelijk worden tegengegaan (Gonggrijp, 1989).

In het verlengde hiervan is het provinciaal beleid voor het IJsselmeergebied erop gericht de grootschaligheid en de geomorfologische en cultuurhistorische elementen te behouden (Provincie Friesland, 1993). Geomorfologische, cultuurhistorische en archeologische elementen zoals de kliffen van Gaasterland en de Westergodijk langs de Friese kust en de Westfriese Omringdijk van Noord-Holland worden in stand gehouden (Harkink *et al.*, 1999).

Het Rijksbeleid voor het archeologische erfgoed maakt deel uit van het cultuurbeleid en is verwoord in de Cultuurnota 1997-2000 "pantser of ruggegraat" (MINOCW, 1996). In het Beleidsplan 1997-2000 "geef de toekomst een verleden" is de uitwerking uiteengezet (Anonymous). Het uitgangspunt van het beleid is het selectief behouden van het bodemarchief; daar waar mogelijk wordt het archeologische erfgoed ter plekke behouden. Alleen indien het behouden ter plekke niet mogelijk is wordt er naar gestreefd de archeologische informatie door opgraving aan de bodem te onttrekken (Harkink *et al.*, 1999). In Figuur 28 staan de archeologisch waardevolle gebieden in het IJsselmeergebied aangegeven.

1.3.5 Beroepsscheepvaart

Het IJsselmeer en het Markermeer zijn voor de beroepsscheepvaart belangrijke schakels in het vaarwegennet. Zo loopt de hoofdvaarweg Amsterdam-Lelystad-Lemmer-Delfzijl via de Oranjesluizen, de Houtribsluizen en de Prinses Margrietsluis. Weliswaar is het aantal passages gedaald maar als gevolg van schaalvergroting is het gepasseerd tonnage gestegen (RWS, 1995). De vaarroute Lorentzsluizen-Urk is van belang voor viskotters met visgronden op de Noordzee (Harkink *et al.*, 1999). Een sterk groeiende bedrijfstak binnen de beroepsscheepvaart was de laatste jaren die van de zeilende passagiersschepen (bruine vloot) en de containervaart (RWS, 1995).

Er zijn ontwikkelingen binnen de beroepsscheepvaart die in de (nabije) toekomst vragen om bredere vaargeulen. Al geruime tijd stimuleert het Ministerie van Verkeer en Waterstaat het transport over water ter ontlasting van het wegennet (Vierde Nota Waterhuishouding, 1999). Dit zal op termijn leiden tot een verdere groei van de scheepvaart, met een extra behoefte tot aanleg- en overslagplaatsen. Hieraan gekoppeld is de verwachting dat het aantal coasters vanaf de Waddenzee richting Urk/Kampen zal groeien. Het belang van de viskotters van Urk zal dan verder afnemen, enerzijds door afname van de vloot, anderzijds doordat de viskotters steeds vaker havens langs de Noordzeekust als uitvalsbasis zullen gebruiken (Harkink *et al.*, 1999).

Veiligheid wordt door de scheepvaartsector als groot belang gezien. In het IJsselmeergebied spelen hierbij de beschikbare breedte van de vaargeul en de scheiding tussen beroeps- en pleziervaart een rol. Dit laatste aspect kan in de toekomst tot conflicten gaan leiden. In reactie op verwachte veranderingen in waterpeilen ten gevolge van klimaatveranderingen wordt het volgende gesteld: maatregelen ten gevolge van extreem hoge of lage waterstanden mogen niet van dien aard zijn dat de scheepvaart belemmering ondervindt. In het algemeen wordt door de sector gepleit voor het in stand houden en verbeteren van "kleine" vaarwegen omdat juist daar de concurrentie met het wegtransport kan worden aangegaan (bereikbaarheid van klanten) (Harkink *et al.*, 1999).

Bij het goederenvervoer zal een deel van de groei (landelijk circa 65 miljoen ton) van het wegvervoer kunnen worden opgevangen door extra maatregelen voor onder andere de binnenvaart (schonere vorm van vervoer). In het IJsselmeergebied dienen de hoofdvaarwegen Amsterdam-Lelystad-Lemmer en de aftakking hiervan via het Ketelmeer naar de IJssel geschikt te zijn voor de zogenaamde klasse Vb scheepvaart (RWS, 1995).

In de nota 'Verbetering vaarweg Amsterdam-Lemmer (1994)' is aangegeven dat de hoofdvaarweg Amsterdam-Lelystad in 2010 geschikt zal moeten zijn voor de 2-baksduwvaart. De huidige diepte is op grote delen van de vaarroute onvoldoende voor de steeds grotere binnenvaartschepen en duwbakstellen. Dit is de reden dat Rijkswaterstaat Directie IJsselmeergebied heeft besloten de vaarroute te gaan verdiepen. Dit zal deels plaatsvinden via zandwinning, zodat het beleid voor de winning van oppervlaktedelfstoffen zal worden ondersteund. Ook in andere vaarwegen vindt vergroting van de diepte en/of de breedte in beginsel plaats door middel van zandwinning. Voor het IJsselmeer, Markermeer, IJmeer en de verbinding van de IJssel door het Ketelmeer naar het IJsselmeer, wordt het wenselijk geacht het personenvervoer met grote snelheid met behulp van zogenaamde "speedkruisers", al dan niet in lijndiensten, in te voeren (Harkink *et al.*, 1999). Om de bereikbaarheid over water te verbeteren, wordt in het Tweede Structuurschema Verkeer en Vervoer gestreefd naar scheiding van beroeps- en recreatievaart, zodat de veiligheid en het ontwikkelingsniveau van het scheepvaartverkeer worden verbeterd (MINVENW, 1991-I).

1.3.6 Drinkwatervoorziening

Aan het IJsselmeer en het Veluwemeer is de zogenaamde functie van oppervlaktewater bestemd voor de bereiding van drink- en industriewater toegekend. Van de drinkwaterfunctie van het IJsselmeer wordt alleen door de provincie Noord-Holland gebruik gemaakt (Figuur 27). Het Veluwemeer heeft een drinkwaterfunctie vanwege de bijdrage aan het grondwater dat wordt ingenomen voor de drinkwaterwinning in Flevoland.

In het algemeen voldoet het water in het IJsselmeer aan de normen voor drinkwaterbereiding; nutriënten en zuurgraad (pH) vormen nog wel een probleem (algenconcentraties). In het Markermeer, dat mogelijk ook een drinkwaterfunctie krijgt, worden geregeld de norm voor zwevend stof en sulfaat overschreden (Harkink *et al.*, 1999).

In de Rijksnota's wordt ervan uitgegaan dat het aandeel dat het IJsselmeer en Markermeer aan de drinkwatervoorziening leveren, zal (moeten) stijgen. Uit prognoses van het Provinciaal Waterleidingbedrijf Noord-Holland (PWN) voor de waterbehoefte tot 2020 blijkt echter dat er op z'n hoogst een zeer geringe toename van het watergebruik zal optreden (PWN, 1998). Voor de drinkwatersector baart de waterkwaliteit meer zorgen dan de beschikbare hoeveelheid water. Een op waterbesparing gericht beleid wordt gevoerd waarbij ook gestreefd wordt naar een vermindering van het grondwatergebruik ten behoeve van de drink- en industriewatervoorziening. In de Vierde Nota Waterhuishouding wordt gesteld dat zowel het IJsselmeer als het Markermeer volop kansen bieden om bij te dragen aan de realisatie van de groeiende behoefte aan oppervlaktewater; dit omdat er in het IJsselmeer en in het Markermeer een betrouwbare aanvoer van water van aanvaardbare kwaliteit is en er ruime mogelijkheden zijn voor oeverinfiltratie.

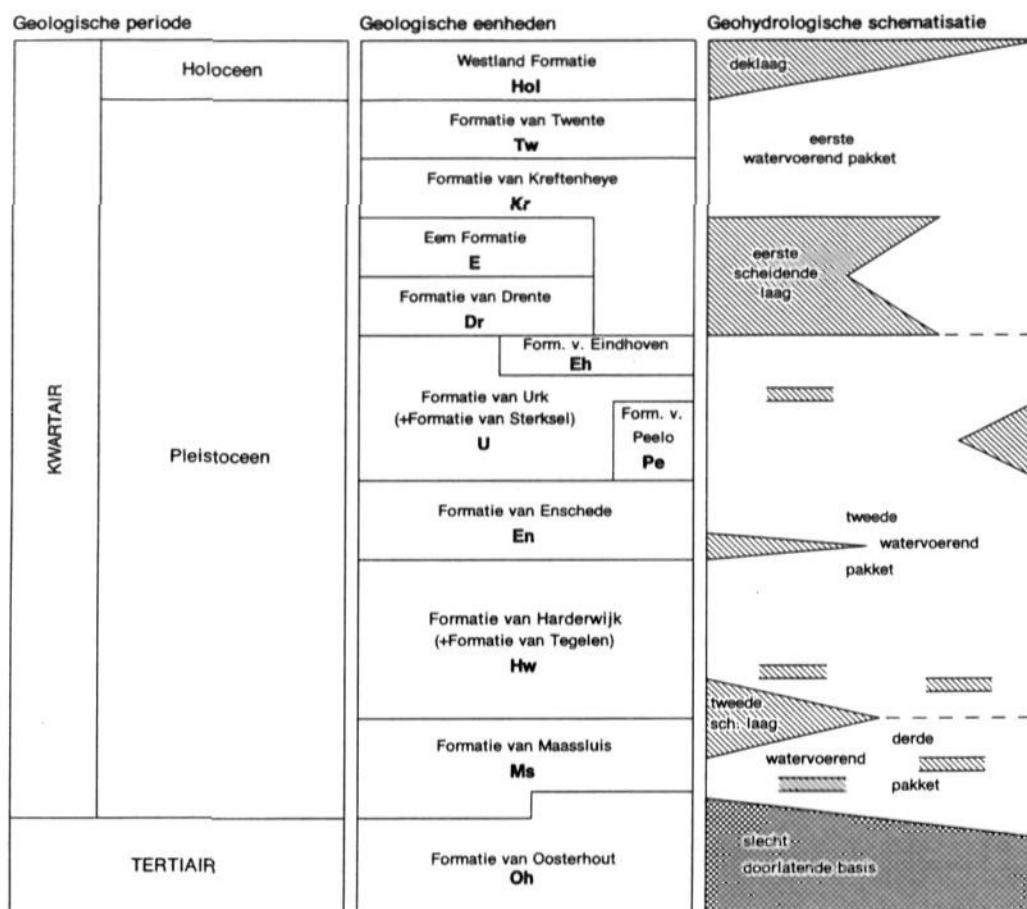
2. Abiotische aspecten van het IJsselmeergebied

2.1 Geologie

In het IJsselmeer en Markermeer wordt onder de Holocene deklaag tot een diepte van circa 50 m voornamelijk fijn tot middelgrof zand (d.i. 150-300 μm) aangetroffen, soms afgewisseld met klei-, veen- of leemlagen. In de Randmeren is dit Holocene pakket in het grootste deel niet dikker dan 2 à 3 m tot hooguit 5 m. Daaronder kan tot op een diepte van meer dan 50 m zand worden gevonden, al zijn storende klei- en veenlagen te verwachten. Op de meeste plaatsen in het IJsselmeergebied komt waarschijnlijk op meer dan circa NAP -50 m grof zand voor (Formaties van Harderwijk, Enschede en Urk). Voor zover bekend zijn er geen boorgegevens aanwezig die dieper gaan dan NAP -50 m (Koopstra *et al.*, 1993).

In Figuur 8 wordt een onderscheid gemaakt naar de potentie van het mogelijk te verwachten zand in het IJsselmeer en Markermeer tot maximaal NAP -50 m. De indeling loopt van I tot IV en de beschrijving van de legenda is in bijlage 5 gegeven (Lenselink & Menke, 1995). In Figuur 1 zijn in het kort van onder naar boven de formaties weergegeven die in het IJsselmeergebied worden onderscheiden (Geohydrologische Atlas IJsselmeergebied 1991).

Figuur 1. Geologische formaties in het IJsselmeergebied (Geohydrologische Atlas IJsselmeergebied, RIZA, 1991)



2.2 Geohydrologie

De bodemopbouw in het IJsselmeergebied bestaat uit watervoerende pakketten en scheidende lagen. De bodemopbouw onder de meren van het IJsselmeergebied loopt nogal uiteen. Op sommige plaatsen is sprake van één slecht doorlatende deklaag met daaronder één dik watervoerend pakket, op andere plaatsen komt een dunne deklaag met daaronder één of meer scheidende lagen voor waardoor twee of meer watervoerende pakketten onderscheiden kunnen worden. Hieronder volgt een korte beschrijving van de diverse scheidende lagen. Voor een meer gedetailleerde beschrijving wordt verwezen naar de Geohydrologische Atlas van het IJsselmeergebied (DBW/RIZA, 1991).

De deklaag

De deklaag, die met name bestaat uit Holocene klei- en veenlagen, strekt zich uit over een groot deel van het IJsselmeergebied maar is grotendeels afwezig boven de lijn Den Oever - Stavoren. Daar waar de Randmeren grenzen aan het Veluwemassief en de Utrechtse heuvelrug is de deklaag aan de oude landzijde eveneens afwezig. De dikte van de deklaag varieert van minder dan 1 m in het noordelijke deel van het IJsselmeer en in de Randmeren tot zo'n 15 m in het westelijke deel van het Markermeer (Geohydrologische Atlas IJsselmeergebied, 1991).

De deklaag biedt weerstand tegen verticale grondwaterstroming. Daar waar de deklaag aanwezig is kan de grondwaterstand in de onderliggende watervoerende pakketten (stijghoogte) afwijken van het meerpeil. In het IJsselmeer en Markermeer is de stijghoogte in het watervoerende pakket veelal lager dan het meerpeil. Dit houdt in dat in de beide meren de grondwaterstroming neerwaarts gericht is (wegzijging). In de Randmeren komt plaatselijk tegen de "oude land" zijde ook kwel voor (Blonk, 1999; Hebbink & de Lange, 1998).

De eerste scheidende laag

Op grotere diepte in de meerbodem bevinden zich ook lagen die de verticale stroming van grondwater bemoeilijken, de zogenaamde scheidende lagen. Ze scheiden de zandpakketten in afzonderlijke watervoerende pakketten. De eerste scheidende laag in het IJsselmeergebied bestaat uit klei (Eem Formatie) en keileem (Formatie van Drente). Beide formaties komen niet overal in het gebied voor (Figuur 9). De diepteligging varieert sterk, van NAP 0 m tot circa NAP -40 m. De dikte van de eerste scheidende laag varieert van minder dan 2 m (in het noordelijke deel van het IJsselmeer) tot meer dan 15 m in delen van het Markermeer. Tussen de deklaag en de eerste scheidende laag komt het eerste watervoerende pakket voor. De diepte varieert van maaiveld tot NAP -10 m en kan een diepte hebben tussen de 10 en 30 m (Geohydrologische Atlas IJsselmeergebied, 1991).

De tweede scheidende laag

In het IJsselmeergebied wordt de tweede scheidende laag voor een groot deel gevormd door een kleipakket aan de basis van de Formatie van Harderwijk. Deze tweede scheidende laag komt slechts voor in een strook langs de zuidrand van het IJsselmeergebied. Volgens de profielen in de Geohydrologische Atlas van het IJsselmeergebied (1991) varieert de diepteligging van deze laag tussen de NAP -150 en -300 m.

Tussen de eerste en tweede scheidende laag bevindt zich het tweede watervoerende pakket. Het tweede watervoerend pakket wordt onderscheiden indien de eerste scheidende laag aanwezig is.

Het bestaat voornamelijk uit grove rivierzanden. Dit zijn de formaties van Urk, Enschede en Harderwijk (Lenselink & Menke, 1995).

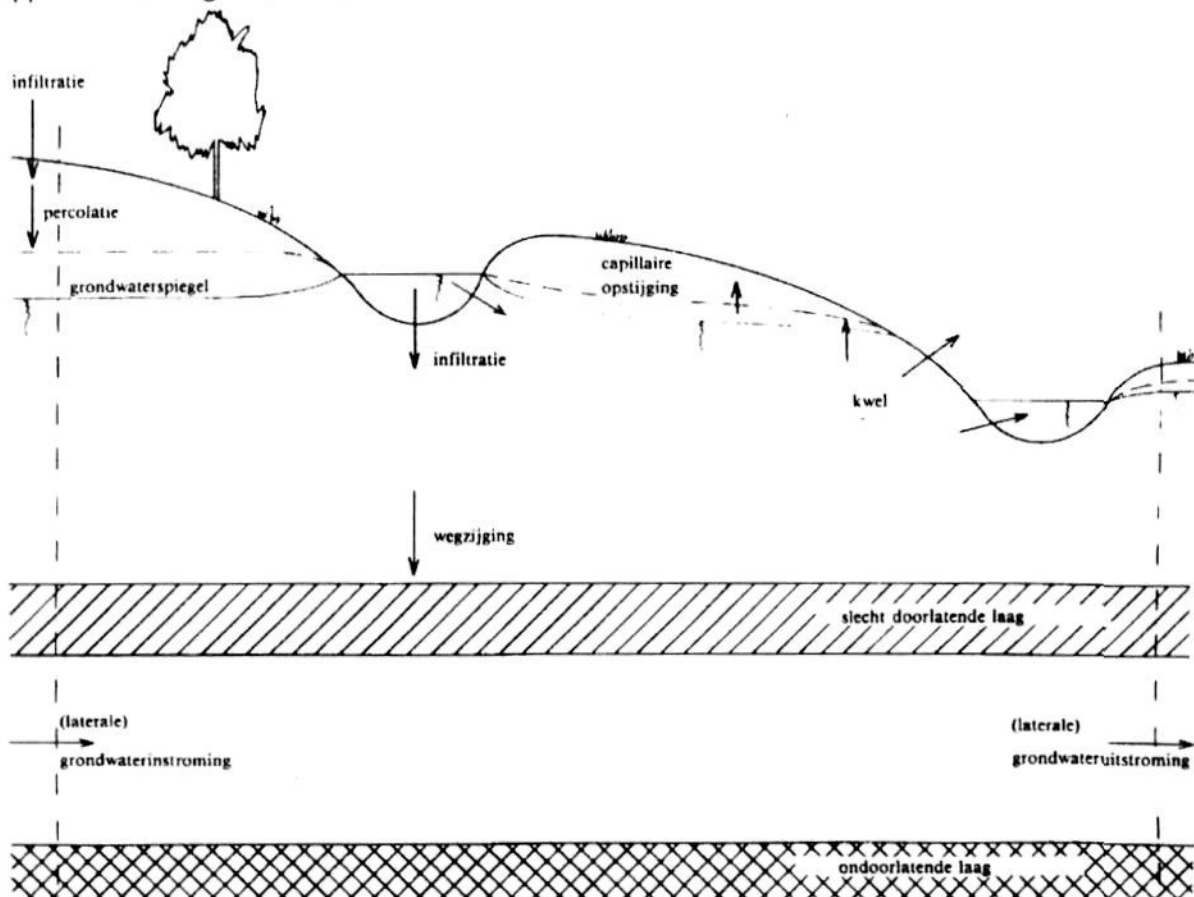
De ondoorlatende basis

Onder de tweede scheidende laag bevindt zich op nog grotere diepte de slecht doorlatende basis. Deze basis behoort tot de Formatie van Oosterhout. Deze laag ligt op een diepte die varieert tussen NAP-180 en -400 m (Geohydrologische Atlas IJsselmeergebied, 1991).

2.3 Grondwaterstroming

In de ondergrond is sprake van grondwaterstromingen van infiltratiegebieden naar gebieden waar grondwater uittreedt in de vorm van kwel. De infiltratiegebieden kunnen op het land liggen of in het water. Bij een neerwaartsgerichte grondwaterstroming spreken we van wegzijging. Daar waar het water aan het grondoppervlak de grond binnentreedt, hetzij vanaf het land, hetzij vanaf de onderwaterbodem, spreken we van infiltratie (Hooghart, 1986). Een schematisch overzicht is te zien in Figuur 2. Vanuit het IJsselmeer en het Markermeer vindt er een grondwaterstroming plaats naar de omliggende, veelal laag gelegen gebieden. Vanuit de Randmeren is de grondwaterstroming veelal gericht naar de Flevopolders.

Figuur 2. Schematische weergave van de waterbeweging aan en nabij de oppervlakte (Hooghart, 1986)



De grondwaterstroming in het eerste watervoerende pakket speelt een grote rol in de waterhuishouding van natuur- en landbouwgebieden, met name daar waar het eerste watervoerende pakket freatisch grondwater bevat (door het ontbreken van de Holocene deklaag). In het bijzonder geldt dit voor de overgangsgebieden van infiltratie naar kwel met vaak ondiepe grondwaterstanden (Hebbink & De Lange, 1998). Uit een onderzoek naar het

optreden van kwel in een randzone van het IJsselmeer/Markermeer (500 m) blijkt dat de gebieden met de sterkste kwel zich rond de Randmeren bevinden en in mindere mate ook langs delen van de Noord-Hollandse kust (Knol & Runhaar, 1997).

IJsselmeer en Markermeer

De stijghoogte van het grondwater in de watervoerende pakketten onder het IJsselmeer en het Markermeer is in het algemeen lager dan het waterpeil in de meren ('s zomers NAP -0,20 m en 's winters NAP -0,40 m). De stijghoogte in het eerste watervoerende pakket onder het IJsselmeergebied varieert van NAP -1,0 m in het noordelijke deel van het IJsselmeer tot circa NAP -4,0 m in het Markermeer (Geohydrologische Atlas IJsselmeergebied, 1991). Het water uit het meer zakt daardoor langzaam weg in de bodem van het meer en in het omliggende gebied kwelt het water op. De infiltratie van oppervlaktewater wordt belemmerd door Holocene veen- of kleilagen die op het zand zijn afgezet. In Tabel 2 is de hoeveelheid berekende kwel in de polders weergegeven grenzend aan het IJsselmeer, het Markermeer en de Randmeren (Reitsma, 1993). Kwelgebieden komen verder voor in het noordelijke deel van de Friese en Noord-Hollandse kust. Uitgaande van de gegevens van de Landelijke Hydrologische Systeemanalyse is hier waarschijnlijk sprake van zoute/brakke kwel (Knol & Runhaar, 1998).

Randmeren

Door de hoge ligging en de goede doorlatendheid zijn de stuwwallen van de Veluwe en de Utrechtse Heuvelrug belangrijke infiltratiegebieden. Bij de lagere gedeelten van de Veluwe en het Gooi langs de Randmeren kwelt dit water voor een deel weer op. Een ander deel stroomt ondergronds af richting de Flevopolders. In het deel van de Randmeren dat grenst aan de Flevopolders treedt infiltratie op (< 0,5 mm/dag; Blonk, 1999) (Hebbink & De Lange, 1998). In delen van Flevoland, direct grenzend aan de Randmeren, bedraagt de kwel meestal meer dan 2 mm/dag. Verder de polder in is de kwel veelal minder dan 1 mm/dag. Door sterke bemaling komt de kwel niet tot in het maaiveld, maar manifesteert zich vooral in en langs de sloten. Ook aan de zuidkant van de Randmeren is duidelijk sprake van kwel (Knol & Runhaar, 1998). Deze is grotendeels afkomstig van de stuwwallen van de Veluwe en het Gooi en manifesteert zich grotendeels buiten de zone van 500 m breedte langs de kust. In het gebied ter weerszijden van het Gooi is veel minder duidelijk sprake van kwel (kwelfluxen van minder dan 0,1 mm/dag) (Knol & Runhaar, 1998).

Tabel 2. Gemiddelde berekende waarden van de bestaande kwel (Reitsma, 1993).

	bestaande kwel in mm/dag	oppervlakte in ha
Noordoostpolder	1,5	48.000
Oostelijk Flevoland	1,1	54.000
Zuidelijk Flevoland	0,7	43.000
Wieringermeer	1,0	20.000
West-Friesland	0,25	20.000
Noord-Holland Midden	1,5	20.000

Het Drontermeer kent alleen infiltratie (globaal 5-10 mm/dag) met aan de zuidwestzijde de grootste intensiteit (IWACO, 1998). Het Veluwemeer kent relatief grote kwel- en infiltratieintensiteiten. Aan de westzijde treedt sterke kwel op die gaande van het westen naar het oosten overgaat in (sterke) infiltratie. De optredende kwel (globaal 2-10 mm/dag) is in het zuidelijke deel groter dan in het noordelijke deel. De infiltratie bedraagt in het overgrote deel meer dan 10 mm/dag (IWACO, 1998). Het Wolderwijd toont in het midden een lichte infiltratie (1 mm/dag). Aan de ooststrand vindt grote kwel plaats (5-10 mm/dag). In het smallere deel aan de noordzijde is een sterke infiltratie

aanwezig (IWACO, 1998). Langs de dijk van de Flevopolders vindt infiltratie plaats met een intensiteit van 4 mm/dag.

Het Nulderneauw kent bij de westelijke arm alleen infiltratie (4 - 10 mm/dag). Het noordelijke deel toont aan de oostzijde een smalle zone met kwel, die overstekend naar de westoever overgaat in infiltratie (Reitsma, 1993).

2.4 Grondwaterkwaliteit

Onder grondwaterkwaliteit wordt in dit rapport verstaan de kwaliteit van het grondwater in de watervoerende pakketten. Dit water dringt de bodem binnen door wegzijging en treedt op een gegeven moment uit door kwel. Hoe langer de verblijftijd en hoe dikker het watervoerend zandpakket, des te schoner het water wordt. De vervuilde deeltjes die met het geïnfiltreerde water meegaan, worden langzaam geabsorbeerd aan bijvoorbeeld lutum- en kleideeltjes, waardoor het water armer wordt aan vervuilde stoffen.

IJsselmeer en Markermeer

Het grondwater onder het IJsselmeer en Markermeer is overwegend brak. In Tabel 3 staan de chloridegehalten weergegeven behorend bij zoet, brak en zout water. Nabij de Afsluitdijk komt zout grondwater voor. In de zuidelijke helft van het IJsselmeergebied komen chloridegehalten voor variërend van 1000 tot 2500 mg/l. In het noordelijke deel van het IJsselmeer is dat 5.000 tot 10.000 mg/l. In de westelijke punt ten zuiden van West Friesland en de Hoornse Hop in het Markermeer komt tot een diepte van zo'n 80 à 90 m zoet grondwater voor (Geohydrologische Atlas IJsselmeergebied, 1991).

Tabel 3. Terminologie voor verschillende chloridegehalten (Geohydrologische Atlas IJsselmeergebied, RIZA, 1991).

Chloridegehalte (mg/l)	Term
> 10.000	Zout
300-10.000	Brak
20-300	Zoet
< 20	Zeer zoet

Gebieden met een aanzienlijk zoutbezwaar (meer dan 1000 kg per ha per jaar) komen voor in de kop van Noord-Holland en het noorden van Friesland, plaatselijk in Flevoland en in enkele droogmakerijen in Noord-Holland. Het zoutbezwaar is hier gedefinieerd als de gemiddelde chloride-vracht vanuit het diepe grondwater uitgedrukt in kg per ha per jaar. De chloride-vracht is bepaald door de chlorideconcentratie van het ondiepe grondwater (enkele meters diep) te vermenigvuldigen met de kwelintensiteit (Fransen *et al.*, 1997).

Randmeren

Het grondwater onder de Randmeren is overwegend zoet. In de Flevopolders liggen de drinkwaterwinningen Harderbroek, Bremerberg en Fledite. Deze drinkwaterwinlocaties maken gebruik van diep grondwater, grotendeels afkomstig van de Veluwe en het Gooi. Daarnaast wordt het opgepompte grondwater beïnvloed door het toestromen van kwelwater, afkomstig van het oppervlaktewater uit het nabij gelegen Randmeer. De toestroming van dit kwelwater is nu circa 25% en bij uitbreiding van de drinkwaterwinning kan het toenemen tot circa 40% (Provincie Flevoland, 1990). Het percentage water afkomstig uit de Randmeren is in die zin van belang, omdat dit water meer vervuilingen bevat dan het water afkomstig van de Veluwe en het Gooi. Bij de drinkwaterwinning Bremerberg vindt drinkwaterwinning plaats op een diepte van NAP -60 tot -80 m. Het chloridegehalte van het opgepompte grondwater varieert tussen de 20 en 50 mg Cl/l en wordt als zoet

geclassificeerd. De kwaliteit van het opgepompte water is zodanig dat de behandeling van het ruwwater relatief eenvoudig is (MINVENW, 1993).

2.5 Waterbodem

2.5.1 Geomorfologie

De huidige morfologie van de meerbodem in het IJsselmeergebied weerspiegelt het mariene en estuariene verleden. Naast diep uitgesneden getijdegeulen komen hoge zandvlaktes voor; in de hals van het IJsselmeer zijn met name zandige afzettingen aanwezig, terwijl meer naar de randen van de voormalige Zuiderzee met name de kleïge afzettingen zijn gesedimenteerd. Deze mariene invloed, die meer naar het zuiden toe minder sterk was dan nabij het Waddengebied, is terug te vinden in de meerbodemdieptekaart (Figuur 10) van het IJsselmeergebied. Voor de meerbodemdieptekaart is gebruik gemaakt van recente gegevens die uit lodingen verkregen waren. Deze lodinggegevens dateren uit de jaren 1986 tot en met 1998 en zijn afkomstig van de afdeling Metingen en Gegevensbeheer (ANM) van Rijkswaterstaat Directie IJsselmeergebied.

De opvulling van de diepere delen als gevolg van de estuariene invloed is hierop ook te zien. Naast de duidelijke invloed van de zee in het IJsselmeergebied speelt ook de invloed van de rivier de IJssel. Deze heeft in het historische verleden (1000-1400 A.D.) weliswaar vooral veel zand in haar mondingsgebied afgezet, maar voert in recentere tijden ook veel slib aan. Voor een meer gedetailleerde beschrijving wordt verwezen naar de Geologische en bodemkundige atlas van het IJsselmeer (Koopstra *et al.*, 1993), Markermeer (Lenselink & Menke, 1995) en van de Randmeren (Schout *et al.*, 1997).

IJsselmeer:

Binnen het IJsselmeer zijn er grote verschillen in meerbodemdiepte als gevolg van diep ingesneden getijdegeulen. Deze kunnen oplopen tot ongeveer NAP -9 m in het midden van het IJsselmeer tussen Enkhuizen en Stavoren. Er liggen veel zandwinputten langs de dijken en met name in het gebied bij Lelystad en Urk. Deze zijn ontstaan tussen 1926 en 1968 voor de aanleg van onder andere deze dijken. Ten noorden van de Houtribsluizen liggen een aantal putten met dieptes tot ongeveer NAP -16 m (nr. 11 op Figuur 29). In het noordelijk deel van het IJsselmeer liggen keileemputten waarvan de keileem onder andere gebruikt is voor de bouw van de Afsluitdijk (Figuur 10a).

Markermeer:

Het Markermeer heeft een uniforme bodemdiepteligging die verloopt van circa NAP -2 m bij de Noord-hollandse kust tot NAP -4,8 m bij de Oostvaardersdijk (Figuur 10a). Er liggen relatief weinig zandwinputten mede vanwege het relatief dikke, Holocene klei- en veenpakket, dat de toegankelijkheid van het onderliggende Pleistocene zand beperkt. De putten 13 en 14 langs de Oostvaardersdijk zijn thans niet dieper dan ongeveer NAP -6 m, maar waren bij aanleg in 1984 respectievelijk NAP -21,5 m en NAP -20 m diep (Figuur 29).

In het IJmeer, langs de rand van de stuwwal, is een diepe put aanwezig waar het zand relatief dicht aan het oppervlak kan worden gevonden. Deze put was ooit circa 30 m diep en is thans tussen de 15 en 30 m diep. Het grootste deel van de IJmeerput is ondieper geworden, alleen in het noorden van de put daar waar door ontgrondingen een vaargeul ontstaan is, is deze nog dieper geworden (de Witte, 1998).

Randmeren:

De diepteligging van de meerbodem is in acht klassen van ondiep tot diep weergegeven (Figuur 10). Het oude kustprofiel is nog te herkennen aan de bodemdiepte, deze neemt toe van de oude kust richting IJsselmeer. De diepste delen van de Randmeren worden dus gevonden grenzend aan de polderdijken.

Een aanzienlijk deel van de bodem van de Randmeren is zeer ondiep en ligt tussen de NAP 0 m en NAP -1,5 m. De gemiddelde diepte bedraagt iets meer dan NAP -1,3 m. Het blijkt dat het percentage van het areaal met ondiep gelegen meerbodem afneemt van noordoost naar zuidwest, van het Vossemeer naar het Gooimeer.

De diepste plekken in de Randmeren bestaan uit oude zandwinputten en vaargeulen. Door inslibbing van de zandwinputten of door recente ontgrondingen of verdieping in vaargeulen is de diepteligging in de zandwinputten, en in mindere mate de vaargeulen, sterk aan verandering onderhevig. De dieptes uit 1997 zijn aangegeven op de kaart waarop de diepteligging van de meerbodem is aangegeven (Figuur 10). In het Veluwemeer en in het Wolderwijd zijn de ontgrondingslocaties maximaal NAP -5 tot -7 m diep. Van de putten in het Gooimeer is bekend dat deze na zandwinning meer dan NAP -30 m diep waren. Het relatieve aandeel van het areaal zandwinputten en vaargeulen in de Randmeren is groter dan in het Markermeer en in het IJsselmeer. Dit wordt veroorzaakt door de relatief ondiep gelegen meerbodem, het ondiep voorkomen van Pleistoceen zand, de behoefte aan zand voor dijk aanleg ten tijde van de polderontwikkeling en vanwege de kleinschaligheid van de Randmeren (expert judgement Menke, 1998).

2.5.2 Bodemafzettingen in ondiepe meren

De waterbodemkaart (Figuur 11) beschrijft de bovenste 25 cm van de onderwaterbodem. Het voorkomen van zandige, zavelige, dan wel kleiïge afzettingen of veen hangt nauw samen met het ontstaan van de Zuiderzee. Over het algemeen zijn in de hals van de voormalige Zuiderzee de zandige afzettingen gesedimenteerd, terwijl in de meer in de luwte gelegen kom de kleiïge afzettingen zijn gesedimenteerd. Een meer uitgebreide beschrijving is te vinden in de Geologische en bodemkundige atlas van het IJsselmeer (Koopstra *et al.* 1993), Markermeer (Lenselink & Menke 1995) en van de Randmeren (Schout *et al.*, 1997).

IJsselmeer

De bodem van het IJsselmeer bestaat voornamelijk uit Zuiderzee Afzettingen. Dit is vrij uniform kleiarm, matig fijn zand in het relatief hoge en vlakke noorden en wordt fijnzandiger richting de Noordoostpolder. In de diepe, voormalige getijdegeulen en in keileem- en zandwinputten in dit noordelijk gebied kunnen zavelige en kleiïge afzettingen worden aangetroffen. Dit zijn de IJsselmeer Afzettingen die zijn gesedimenteerd na de aanleg van de Afsluitdijk.

Markermeer

De Markermeerbodem bestaat overwegend uit klei- en zavelafzettingen. Een uitzondering hierop vormt het Enkhuizerzand, dat voornamelijk bestaat uit kleiarm en kleihoudend grof en matig fijn zand. Het lutumgehalte van de Zuiderzee Afzettingen neemt toe in west-zuidwestelijke richting, omdat dit gebied in de luwte van de voormalige Zuiderzee lag. De samenstelling van de top laag in het Markermeer is onderhevig aan veranderingen als gevolg van de erosie van relatief hooggelegen gebieden en door slibverplaatsing. In het westen van het Markermeer langs de Noord-Hollandse kust zorgen wind en golven voor erosie van het aan het oppervlak liggende sediment. Na de aanleg van de Houtribdijk worden de IJsselmeerafzettingen (klei), die

voorheen in het hele Markermeer verspreid voorkwamen, geconcentreerd in de diepere delen langs de Oostvaardersdijk. Het reliëf neemt hierdoor geleidelijk af. Ook is het zwevend stofgehalte in het Markermeer door de combinatie van komgebied en de aanleg van de Houtribdijk hoger dan in het IJsselmeer. Dit geeft specifieke verschillen in aanwezigheid van bijvoorbeeld bodemfauna, plankton, vissen en vogels tussen beide meren. Aan dit aspect zal in dit rapport in verschillende paragrafen aandacht worden besteed.

Randmeren

In de Randmeren komen grofweg gezien langs de oude landkust zandige afzettingen (formatie van Twente en Kreftenheye) voor, die gaande weg vanaf deze kust kleiiger worden (Zuiderzee en Almere Afzettingen). De kleiige afzettingen zijn gesedimenteerd in de voormalige kom van de Zuiderzee en worden voornamelijk in de westelijke Randmeren op diepere plaatsen aangetroffen, vooral langs de polderdijken. Ook in het Gooimeer en het Eemmeer worden over grote oppervlakten klei aangetroffen. Met name daar waar deze meren grenzen aan Zuidelijk Flevoland kunnen deze pakketten klei dik zijn. De trend dat in de kom van de voormalige Zuiderzee de afzettingen zwaarder worden komt in het Randmerengebied minder tot uiting door de aanwezigheid van zand langs grote delen van de oude kust. In het Nuldernaauw, het Nijkerkernauw en het Eemmeer wordt veen voornamelijk in de bovengrond aangetroffen. Het betreft hier Hollandveen dat in deze meren direct op de Pleistocene dekzanden heeft ontwikkeld (Figuur 11).

2.5.3 Waterbodembkwaliteit

Uit bemonsteringen blijkt dat het sediment in het IJsselmeer, Markermeer en Randmeren verbeterd is t.o.v. de aangetroffen concentraties uit de jaren '60 en '70 en dat op slechts enkele plaatsen de concentratie zware metalen en microverontreinigingen boven de grenswaarde uit komt. Deze locaties bevinden zich o.a. in havens en het Ketelmeer. Op de andere locaties waar zand gewonnen kan worden is sprake van een voor Nederlandse begrippen goede kwaliteit van de waterbodem (klasse 1). De stoffen die er toe leiden dat op diverse plaatsen sprake is van verontreiniging van de waterbodem (klasse 2 - 4) zijn vooral PAK's en zware metalen. Deze stoffen hechten zich in sterke mate aan fijne deeltjes in het bodemslib. Uitspoeling valt niet te verwachten. Tabel 4 geeft een overzicht van streefwaarden voor zware metalen in waterbodems.

Tabel 4. Overzicht van streefwaarden voor zware metalen in de waterbodem in mg/kg d.s. (droge stof) (MINVENW et al., 1999; Vink & Winkels, 1991).

Parameter	Streefwaarde waterbodem (mg/kg d.s.)	Waarde IJsselmeerafzetting in 1989 (mg/kg d.s.)
Cadmium	0,8	2,4
Kwik	0,3	0,7
Koper	36	34,4
Nikkel	35	24,8
Lood	85	59,5
Zink	140	463,9
Chroom	100	59,4
Arseen	29	14,9

Wel zijn er verhogingen van vervuilingen waargenomen in diepteprofielen in de laag NAP -40 tot -70 cm meerbodem in het Gooimeer, Ketelmeer en IJsselmeer. Deze verhogingen zijn toe te schrijven aan verhoogde industriële activiteit in de jaren '60 en '70. Geen enkele verhoging aan vervuilingen leidt

echter tot een hogere klasse-indeling van het sediment in de Randmeren (m.u.v. het Ketelmeer), hetgeen in IJsselmeer en Markermeer wel het geval is (Vink & Winkels, 1996).

IJsselmeer

De kwaliteit van het nieuwe sediment in het IJsselmeer is verbeterd in de periode tussen 1979 en 1989. Dit kwam voornamelijk door de verbeterde samenstelling van het zwevend stof uit de IJssel. Hierbij moet een scheiding aangebracht worden tussen de zandige en kleiige afzettingen. De zandige afzettingen zijn duidelijk minder verontreinigd dan de kleiige, dit komt onder andere omdat zware metalen zich veel makkelijker hechten aan klei dan aan zand. Op lokale schaal is de invloed van plaatselijk aanwezige bronnen doorgaans overheersend (Vrind et al., 1994).

Het Ketelmeer is vervuild doordat het jarenlang als 'sink' heeft gefungeerd voor de IJssel. Zo worden in de IJsselmeerafzettingen in het Ketelmeer de hoogste cadmiumconcentraties aangetroffen van het gebied (Figuur 12). Een deel van deze afzettingen is ook gesedimenteerd in de voormalige getijdegeulen in het IJsselmeer, waarbij de concentraties van de vervuiling lager zijn door de grotere afstand vanaf de IJsseldelta (Winkels, 1997). Deze IJsselmeer afzettingen vormen ongeveer 25% van de totale oppervlakte. Met name binnen de dikkere afzettingen is sprake van een gelaagdheid, waarbij de hoogste concentraties zijn gesedimenteerd in de zestiger en zeventiger jaren. Deze lagen liggen in deze pakketten op een diepte van NAP -0,4 tot -0,7 m. De kwaliteit van het recent afgezette IJsselmeerslib is redelijk tot goed (klasse 1 tot 2). In de zandige gebieden, waar geen IJsselmeerslib aanwezig is, is de waterbodem schoon (klasse 0) (Vink & Winkels, 1991).

Markermeer

Het Markermeer is een ondiep eutroof meer met grotendeels lemige en kleiïge afzettingen op de bodem. De IJsselmeerafzettingen (klei) worden sinds de aanleg van de Houtribdijk vooral in het oostelijk gelegen deel aangetroffen. De sedimenten zijn over het algemeen niet verontreinigd met zware metalen, PCB's of PAK's (Figuur 12) (Winkels, 1994).

Randmeren

De kwaliteit van de top laag van de waterbodems van de Randmeren is over het algemeen goed. In enkele havens worden echter verontreinigingen met PAK's en zware metalen aangetroffen (Figuur 13). Over het algemeen lijkt de kwaliteit van het sediment van de Randmeren van de laatste 30 jaar te zijn verbeterd t.o.v. het sediment uit de jaren '60-'70. Ook zijn er geen grote verschillen in de mate van verontreiniging tussen de verschillende Randmeren (m.u.v. het Ketelmeer). Zoals reeds vermeld zijn verhogingen van vervuilingen waargenomen in de slibprofielen in de laag 40-70 cm beneden de meerbodem uit het Gooimeer en het Ketelmeer. Deze verhogingen zijn toe te schrijven aan verhoogde industriële activiteit in de jaren '60 en '70 (Vink & Winkels, 1996).

2.6 Oppervlaktewaterkwantiteit

2.6.1 Waterhuishouding

Het afwateringsgebied van het IJsselmeergebied beslaat een groot deel van Nederland en een klein gedeelte van Duitsland. Een gedeelte van het Rijnstroomgebied kan ook tot het afwateringsgebied worden gerekend, omdat een deel van de afvoer van de Rijn via de IJssel naar het IJsselmeer stroomt. De waterverdeling over de Rijntakken vindt plaats met behulp van de stuw in Driel. Het beheer wordt zodanig gevoerd dat ook bij lage Rijnafoeren een minimaal debiet (285 m³/s) over de IJssel gaat. De afwatering op het IJsselmeergebied vindt plaats via de IJssel, de Overijsselse

Vecht, de Veluwe beken, de Eem en via gemalen en uitwateringssluizen van de aangrenzende polders. Het overgrote deel van Noord-Holland en Friesland watert onder normale omstandigheden zoveel mogelijk af op de Waddenzee (dit in verband met hun zoutbezwaar) en alleen onder bijzondere omstandigheden op het IJsselmeer en het Markermeer. Het totale land- en wateroppervlak dat afwatert op het IJsselmeergebied is circa 19.000 km² (Breukers, 1997).

In Nederland zijn de grondwaterstanden relatief ondiep en bestaat een nauwe relatie tussen het oppervlaktewaterpeil en de grondwaterstand. Op veel plaatsen wordt door middel van het peil in het oppervlaktewater het grondwaterpeil gestuurd. Door de lage ligging van de polders rondom het IJsselmeergebied treedt in deze gebieden kwel op. Dit geldt met name voor de IJsselmeerpolders en gebieden in Noord-Holland grenzend aan het IJsselmeer en Markermeer. De gemiddelde waarden van de huidige kwel in de omringende polders zijn in paragraaf 2.3 reeds besproken (Tabel 2).

De afvoer van het wateroverschot van het IJsselmeergebied vindt voornamelijk plaats door de spuisluizen in de Afsluitdijk en in veel mindere mate door het Noordzeekanaal. Het spuien vindt plaats onder natuurlijk verval bij laagwater in de Waddenzee. Voor de watervoorziening van het omliggende gebied wordt tijdens de zomerperiode water onttrokken aan het IJsselmeergebied. Bij Andijk wordt water aan het IJsselmeer onttrokken voor de drinkwaterbereiding. Dit is gemiddeld zo'n 0,15 miljoen m³/dag (Breukers, 1997).

2.6.2 Waterkwantiteitsbeheer

Het waterkwantiteitsbeheer in het plangebied wordt uitgevoerd aan de hand van een aantal regels. De basis voor deze regels zijn peilbesluiten en waterakkoorden. Voor het IJsselmeergebied zijn per boezem zomer- en winterstreefpeilen vastgesteld (

Literatuurstudie MER Zand boven Water 2). Daarnaast wordt gestuurd door middel van de onderlinge verdeling van het water in het plangebied, waarbij doorspoeling om de zoutlast te verminderen een belangrijke reden is (MINVENW, 1997). Zo wordt in de zomer het Markermeer doorgespoeld met IJsselmeerwater.

De overwegingen die een rol hebben gespeeld bij het vaststellen van het huidige winterpeil in het IJsselmeer zijn: een laag streefpeil in verband met veiligheid, laag in verband met afwatering van het landelijk gebied, voldoende hoog boven het laagwater niveau op de Wadden in verband met voldoende spuicapaciteit en tenslotte: voldoende hoog om de minimum vaardiepte voor de scheepvaart te garanderen. Voor de zomersituatie is een hoger peil gekozen ten behoeve van de inlaat van water voor de watervoorziening en doorspoeling (MINVENW, 1997). De Randmeren wateren af op het IJsselmeer en op het Markermeer. Gelet op de samenhang zijn de streefpeilen van de Randmeren gelijk of hoger dan de streefpeilen van het IJsselmeer en het Markermeer (Breukers, 1997). Voor de Randmeren speelt verder nog mee dat ze een geohydrologische functie hebben namelijk het tegengaan van de verdroging van het gedeelte van de Veluwe dat aan de Randmeren grenst.

Het uitvoeren van het kwantiteitsbeheer in het IJsselmeergebied vindt plaats met de spuisluizen in de Afsluitdijk en de Houtribdijk, de Roggebotsluis, de Hardersluis, de Nijkerkersluis, het Oranjesluizen-complex, de Irene- en Beatrixsluizen en de spuisluizen en het gemaal bij IJmuiden. Voor het IJsselmeergebied zijn de belangrijkste boezemwerken de spuisluizen in de Afsluitdijk. Deze bestaan uit 5 groepen van elk 5 spuiokers. De Stevinsluizen

bij Den Oever bestaan uit 3 groepen en de Lorentzsluizen bij Kornwerderzand bestaan uit 2 groepen. De gemiddelde spuicapaciteit bedraagt bij een meerpeil van -0,40 m NAP voor beide sluiscomplexen samen ongeveer 600 m³/s (Breukers, 1997).

2.6.3 Slibhuishouding

Het zwevende stof-gehalte is gemiddeld hoger in het Markermeer dan in het IJsselmeer. Dit hoge gehalte zorgt voor troebelheid en daarmee een laag doorzicht. Bij hogere windsnelheden (vanaf windkracht 3) zijn deze verschillen tussen beide meren het duidelijkst.

In het IJsselmeer bevinden zich klei en sliblagen over circa 1/3 deel van het meer. Het noordwestelijk deel is met name zandig. Het slib bevindt zich in de diepere delen van dit meer (zie diverse kaarten Atlas IJsselmeer). In de zomer treden er algenbloeien op in dit meer, die de recreatie in en rond haventjes ernstig hinderen. Door de in Nederland voornamelijk voorkomende zuidwestelijke winden bewegen de golven zich ook in die richting en start de opwerveling en de verplaatsing van het slib ook op deze wijze. Volgens modelonderzoek verplaatst het gesuspendeerde sediment zich in het IJsselmeer in de vorm van twee cirkels, die tegen de wijzers van de klok in draaien. Deze cirkelvormige water- en slibbewegingen sluiten halverwege het IJsselmeer op elkaar aan. Bij weinig wind vindt sedimentatie plaats in de diepere delen van het IJsselmeer (Proefschrift Winkels hoofdstuk 1, 7 en 8, 1997)

In het Markermeer bestaat nagenoeg de toplaag van de bodem geheel uit klei en slib. De diepteligging van het meer is ook hier sturend voor de sedimentatie; dit levert een sliblaag op in het oosten van het Markermeer (Figuur 23). Daar het meer ondieper is dan het IJsselmeer komt al bij weinig wind veel slib in suspensie in de waterkolom. Na aanleg van de Houtribdijk heeft het slib zich geconcentreerd aan de noordoostzijde. Voor de aanleg van deze dijk was er een meer homogene verspreiding van het sediment, aangezien er een afvoer was richting het IJsselmeer. Na afsluiting is de mogelijkheid van afvoer weggevalen en wordt enkel nog slib aangevoerd of geërodeerd in het zuidwesten. Ook het afsterven van organisch materiaal (detritus) draagt bij aan de hoeveelheid sediment in suspensie.

2.6.4 Stratificatie

Stratificatie ontstaat als gevolg van dichtheidsverschillen in het water, die het gevolg zijn van temperatuur- en saliniteits-gradiënten. In diepere systemen resulteert dit in seizoens-stratificatie (expert judgement Ibelings, 1999). Gedurende de voorzomer warmt de bovenste waterlaag van het meer op als gevolg van instraling door de zon. De ondiepere, warmere en lichtere waterlaag (ook wel het *epilimnion* genoemd) drijft als het ware op de diepere, koudere, zwaardere waterlaag (het zogenaamde *hypolimnion*) (Figuur 3) (Haskoning, 1996). Deze dichtheidsgradiënt verleent de waterkolom stabiliteit, hetgeen betekent dat de waterkolom zich verzet tegen windmenging. De scheiding tussen het oppervlakkige, gemengde epilimnion en het diepe hypolimnion handhaaft zich gedurende de zomer en wordt pas opgeheven door convectie en windmenging in het najaar (de zogenaamde "herfst-circulatie"). De overgang van epilimnion naar hypolimnion is abrupt. De laag waar de dichtheid van het water sprongsgewijs toeneemt wordt *metalimnion*, *thermocline* of *spronglaag* genoemd (MINVENW, 1990).

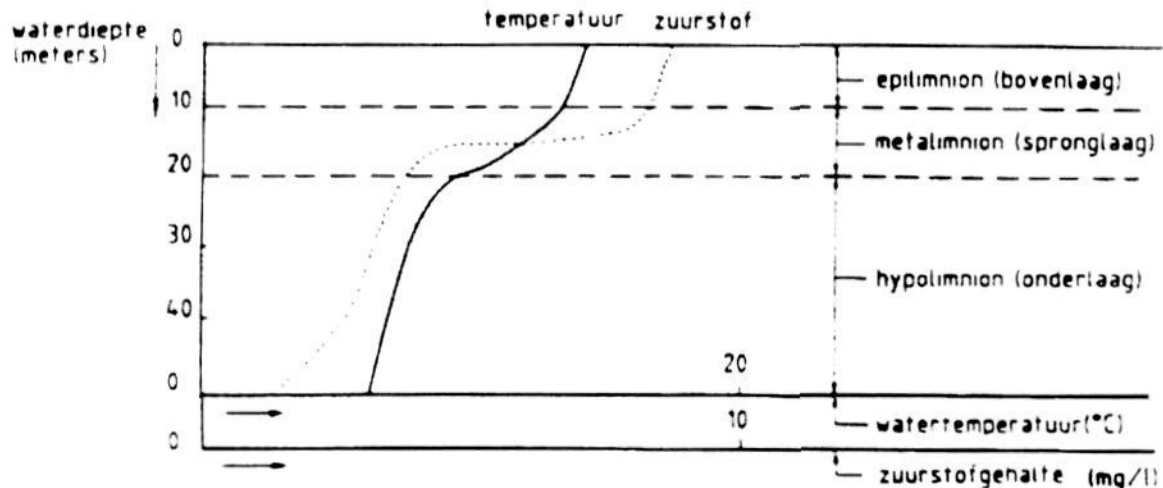
De diepte van de spronglaag en daarmee de verhouding tussen het volume van het epilimnion en het hypolimnion wordt bepaald door:

- de verhouding tussen oppervlakte en diepte van de plas;
- de morfometrie van de plas;
- de mate waarin de plas geëxponeerd is aan de overheersende windrichting;
- de strijklengte van de plas m.b.t. de overheersende windrichting;

- de verblijftijd van water in de plas;
- de klimatologische omstandigheden.

De uitwisseling van water, met de daarin opgeloste stoffen, tussen beide watermassa's is zeer beperkt. In het epilimnion overheersen opbouwprocessen, in het hypolimnion afbraakprocessen. Deze functionele scheiding is in wezen de oorzaak voor de negatieve ontwikkeling van de waterkwaliteit in het hypolimnion (Ibelings, 1990).

Figuur 3. Schematische temperatuur- en zuurstofverloop in diepe plassen tijdens stratificatie (Haskoning, 1996)



Bij het opheffen van een stratificatie wordt het zuurstofarme water van het hypolimnion over kortere of langere tijd volledig gemengd met het water van het meer. Het zuurstofgehalte van het meer wordt hierdoor niet beïnvloed als de putinhoud slechts een fractie is van de totale meerinhoud.

Onder zuurstofarme omstandigheden (zuurstofverzadigingspercentage 10%) neemt de nalevering van fosfaat vanuit de bodem sterk toe, hetgeen resulteert in een verhoging van het fosfaatgehalte van het hypolimnion (MINVENW, 1990). De concentratie aan nutriënten wordt hierdoor verhoogd en kan beschikbaar komen voor blauwalgen die zich ophouden bij de spronglaag wanneer de verticale stratificatie opgeheven wordt door windmenging. Dit kan leiden tot algenbloei. Door andere factoren als verbetering van het lichtklimaat door het invangen van slib is het echter ook mogelijk dat blauwalgen niet tot bloei komen, aangezien deze soorten niet tegen hoge lichtintensiteiten kunnen.

In een ondiep systeem als het IJsselmeer leidt opwarming niet tot seizoensstratificatie. Wel kan als gevolg van zogenaamde micro-stratificatie een waterkolom ontstaan met een dusdanig hoge stabiliteit dat windmenging wordt tegengegaan (expert judgement Ibelings, 1999).

2.6.5 Verblijftijden

De verblijftijd in de afzonderlijke systemen is evenredig met de gemiddelde diepte en het oppervlak en omgekeerd evenredig met de aanvoer (of afvoer). Een wijziging in een van deze factoren zal tot een wijziging in de verblijftijd leiden, waarbij de verblijftijd toeneemt met de relatieve toename van de diepte. Voor de verschillende systemen zijn de karakteristieke verblijftijden in Tabel 5 samengevat. De verblijftijd is het grootst in het Markermeer en het Wolderwijd/Nulderauw, waarbij de verblijftijd in het

Wolderwijd/Nuldernauw na 1991 sterk afneemt. Deze afname komt doordat meer water vanuit het Veluwemeer naar het Wolderwijd wordt gelaten (Buiteveld, 1997).

Tabel 5. Overzicht verblijftijden (maanden) op basis van maanddebieten van 1976 t/m 1993 (Buiteveld, 1997)

	minimum	maximum	zomer	gemiddeld	winter
IJsselmeer	1	8	4,5		3,5
Markermeer	4	35	14,5		11
Veluwemeer/Drontermeer	1	6,5	3,5		2,5
Wolderwijd/Nuldernauw	1,5	23,5	10,5		7,5

Het IJsselmeer en het Veluwemeer/Drontermeer hebben eind jaren 80 een vergelijkbare verblijftijd. Hierna is de verblijftijd in het Veluwemeer/Drontermeer lager dan die in het IJsselmeer. De verblijftijd van het Wolderwijd/Nuldernauw is na 1991 vergelijkbaar met het Markermeer. In het algemeen is de verblijftijd in de zomer groter dan in de winter. Ten gevolge van het gevoerde beheer met betrekking tot het doorspoelen van het Markermeer met IJsselmeerwater in de zomer wijkt het Markermeer soms van dit patroon af (Buiteveld, 1997).

2.7 Oppervlaktewaterkwaliteit

2.7.1 Macro-ionen samenstelling

De samenstelling van zouten (macro-ionen) in het IJsselmeergebied geeft een goed beeld van de chloride en sulfaatconcentraties in het gebied. De zoutbelasting wordt bepaald aan de hand van lozingen en hydrologische omstandigheden. Droge jaren laten hoge chloride- en sulfaatwaarden zien en natte jaren lage waarden, omdat in droge jaren relatief weinig neerslag valt en meer verdamping optreedt (Vrind et al., 1994).

IJsselmeer

De belasting van het IJsselmeer met macro-ionen is in hoofdzaak afkomstig uit de IJssel, die sterk met chloride is belast, en in mindere mate van uitslagwater van de IJsselmeerpolders, aanliggende boezemgebieden en van de Waddenzee via de Afsluitdijk. Over de vertikaal treedt een behoorlijke menging op zodat geen gelaagdheid ontstaat in het zoutgehalte. Structurele veranderingen over de onderzochte periode (1972-1992) zijn niet vast te stellen (Vrind et al., 1994). Eind jaren tachtig bleef het chloridegehalte onder de norm van 200 mg/l. In de jaren 1990 t/m 1992 werd de norm van 200 mg/l regelmatig overschreden, met een maximum van zo'n 270 mg/l in het najaar van 1991. In de jaren 1993 en 1994 varieerde het chloridegehalte tussen 100 en 150 mg/l. Sinds het voorjaar van 1995 zijn de concentraties aan chloride in het IJsselmeer aanzienlijk toegenomen met zo'n 50 tot 100 mg/l ten opzichte van 1994. In de zomerperiode van 1996 is de norm (200 mg/l) op de meeste meetpunten overschreden. Deze overschrijding kan voor het grootste deel verklaard worden uit de geringe spuiomogelijkheden via de Afsluitdijk wegens het te handhaven zomerstreefpeil en het droge weer. Ook in andere delen van het IJsselmeergebied waren de concentraties aan chloride in 1996 namelijk hoger dan in 1995. In 1997 lagen de chloride-concentraties veelal onder de norm van 200 mg/l. Bij de locatie Kornwederzand (IJsselmeer) is sprake van een normoverschijding (de Vrieze, 1998).

Het IJsselmeer voldoet nagenoeg volledig aan de norm van 100 mg SO₄/l voor sulfaat in 1995 en 1996 (de Vrieze, 1998).

Markermeer

Het chloridegehalte in het Markermeer schommelt in de periode 1985 t/m 1993 globaal rond de 200 mg/l (175 tot 225 mg/l). Daarna vindt er een daling plaats met zo'n 50 mg/l. Vanaf 1994 is het chloridegehalte (125 tot 175 mg/l) in het Markermeer onder de norm van 200 mg/l gebleven (de Vrieze, 1998).

Voor sulfaat echter zijn in het Markermeer soms aanzienlijke overschrijdingen van de grenswaarde (100 mg SO₄/l) geconstateerd (de Vrieze, 1998). Ondanks een daling van het sulfaat gehalte in 1997 in het Markermeer, is sprake van aanzienlijke overschrijdingen van de grenswaarde.

Randmeren

Het chloridegehalte in het Veluwemeer is in de periode 1985/1997 vrijwel beneden de norm (200 mg/l) voor chloride gebleven. Uitzonderingen waren de zomers van 1989, 1991, 1993 en 1994, waarin chloridegehalten tot circa 225 mg/l zijn waargenomen. De chlorideconcentraties na 1995 bleken zelfs aanzienlijk lager te zijn dan tijdens de vorige periode. Het chloridegehalte wordt in hoge mate bepaald door de kwaliteit van het uitslagwater afkomstig uit Flevoland (de Vrieze, 1998).

Voor de andere Randmeren voldoet het chloridegehalte aan de norm. Bij de locaties Spijkstrand en Hardersluis is alleen in 1997 sprake van een beperkte normoverschrijding van het chloride gehalte. Op de andere locaties lagen de chloride-concentraties veelal onder de norm van 200 mg/l.

Wat betreft sulfaat is in de Randmeren nog steeds sprake van aanzienlijke overschrijdingen van de grenswaarde, uitgezonderd het Ketelmeer, het Zwarte Meer, het Gooimeer en het Eemmeer waarvan het sulfaat zich in de laatste twee meren rond de grenswaarde (100 mg SO₄/l) bevindt (de Vrieze, 1998).

2.7.2 Bacteriën

Het bacteriologisch onderzoek richt zich op de thermotolerante coli's. Uit het in 1997 uitgevoerde onderzoek is gebleken dat op geen enkel van de onderzochte punten overschrijding van de norm heeft plaatsgevonden (de Vrieze, 1998).

2.7.3 Eutrofiëring

Door *eutrofiëring* of verrijking van het oppervlaktewater met voedingsstoffen, worden processen gestimuleerd zoals algengroei, troebel water en het verdwijnen van waterplanten. De meest gebruikte eutrofiëringsparameters zijn: *doorzicht, chlorofyl-a, fosfaat, stikstof en zuurgraad* (van der Molen et al., 1998). De uitkomsten van de metingen zijn vergeleken met de MTR-normen voor het oppervlaktewater (Tabel 6) (norm voor het Maximaal Toelaatbare Risico uit de Vierde Nota Waterhuishouding, MINVENW et al., 1998). De voor de verschillende parameters genoemde waarden zijn afkomstig uit het beheersverslag van de Vrieze (1998/1999). In bijlage 4 zijn voor het IJsselmeer, Markermeer en de Randmeren de eutrofiëringsparameters (het doorzicht, de zuurgraad en de gehalten chlorofyl-a, totaal-fosfaat en totaal-stikstof) beschreven. Het gemiddelde doorzicht over de periode 1990-1995 is ook nog eens te zien in Figuur 14. De gehalten aan chlorofyl-a en totaal-fosfaat zijn te zien in respectievelijk Figuur 15 en Figuur 16.

Tabel 6. Het Maximaal Toelaatbare Risico in het zoete oppervlaktewater (MINVENW et al., 1998)

Parameter	Grenswaarde water
Doorzicht (n, z, m)	0,40
Chlorofyl-a (n, z, µg/l)	100
Totaal-fosfaat (z, mg P/l)	0,15
Totaal-stikstof (z, mg N/l)	2,20
Zuurgraad (n, pH)	≥ 6,5 en ≤ 9,0

n = afwijkingen zijn toegestaan mits door natuurlijke processen veroorzaakt

z = zomergemiddelde voor eutrofiëringsgevoelige, stagnante wateren; april t/m september

Herstel van het ecosysteem van de Veluwerandmeren.

In de Veluwerandmeren (Nulderauw, Wolderwijd, Veluwemeer en Drontmermeer) hebben de beheersmaatregelen, die vanaf het begin van de jaren zeventig werden uitgevoerd, vanaf 1980 ten gevolge gehad dat de eutrofiëringsverschijnselen verminderden. Een combinatie van maatregelen, zoals afwissing, doorspoeling met fosfaat-arm polderwater en het doorzetten van Actief Biologisch Beheer (ABB) heeft sinds 1990 geresulteerd in herstel van het ecosysteem in het Veluwemeer en het Wolderwijd. In de periode 1993-1997 zette de in de voorgaande jaren gesignaleerde verbetering zich in de fysisch/chemische waterkwaliteit in de Veluwerandmeren verder door, met name in 1996. In 1996 vond er een afname plaats van de totaal-nutriënten gehalten (P, N), het zwevend stof gehalte en een toename van het doorzicht. Een duidelijk verschil is zichtbaar in doorzicht in het water boven de kranswervelden in het Veluwemeer en Wolderwijd/Nulderauw en het doorzicht van het water buiten de kranswervelden (Bak et al., 1998-I).

In Tabel 7 zijn de eutrofiëringsparameters nog eens kort samengevat. De vet gedrukte waarden houden in dat de MTR-normen niet gehaald zijn.

Tabel 7. Waarden voor eutrofiëringsparameters in 1997. Vet gedrukt zijn de waarden die de MTR-normen in 1997 niet halen (de Vrieze, 1999).

Parameter	norm	IJssel meer*	Marker meer**	Gooi meer	Eem meer	Nulder nauw	Wolder wijd	Veluwe meer	Drontmer meer	Vosse meer	Ketel meer	Zwarte Meer
doorzicht	≥40 cm	28	22	50	20	70	50	50	30	30	30	40
chlorofyl-a	≤100 µg/l	47	32	16	74	4	6	6	14	8	24	40
totaal-P	≤0,15 mg/l	0,12	0,11	0,12	0,36	0,09	0,06	0,08	0,09	0,15	0,19	0,15
totaal-N	≤2,20 mg/l	1,89	1,22	1,8	3,2	1,9	1,2	1,6	1,3	1,9	3,3	3,4
zuurgraad	≥6,5≤9,0	8,3-	8,3- 8,8	8,1- 9,0	8,2- 9,2	7,9- 9,0	8,1- 8,7	8,1- 9,2	8,3- 9,2	8,2- 9,0	8,0- 8,6	7,6- 9,0

* = gemiddelde van 8 meetpunten;

** = gemiddelde van 6 meetpunten.

2.7.4 Microverontreinigingen

Onder microverontreinigingen worden zware metalen en een aantal organische verbindingen (EOX, PAK's, chloorbenzenen, PCB's, VOX, organochloor bestrijdingsmiddelen, chloorfenolen en cholinesterase remmers) gerekend die een risico vormen voor het ecosysteem en de volksgezondheid bij het overschrijden van een bepaalde waarde (MAC-waarde). Van de genoemde organische microverontreinigingen worden VOX, chloorfenolen en cholinesterase remming regelmatig en op vrijwel alle oppervlaktewateren bemonsterd en geanalyseerd. Van de overige stofgroepen zijn nauwelijks of geen gegevens beschikbaar in water.

Metalen

Een overzicht van de grenswaarden voor zware metalen in oppervlaktewater is gegeven in Tabel 8.

Tabel 8. Overzicht van grenswaarden voor zware metalen in oppervlaktewater (Evaluatie-nota Water, 1993-II)

Parameter	Landelijke streefwaarde (NW 4) (µg/l)	MTR-norm (NW 4) (µg/l)	Grenswaarde (µg/l)
Cadmium	0,08	0,4	0,2
Kwik	0,01	0,02	0,03
Koper	0,5	1,5	3
Nikkel	3,3	5,1	10
Lood	0,3	11	25
Zink	2,9	9,4	30
Chroom	0,3	0,3	20
Arseen	1	25	10

IJsselmeer en Markermeer

In het IJsselmeer en het Markermeer de metalen koper, chroom en zink als probleemstof aan te wijzen. Kwik lijkt in 1997 in toenemende mate een probleem te worden in het IJsselmeer. Bovendien wordt in het IJsselmeer op een enkel punt cadmium in te hoge concentraties aangetroffen (de Vrieze, 1999).

Randmeren

Kwik lijkt in 1997 in toenemende mate een probleem te worden in alle wateren van de Randmeren, uitgezonderd het Eemmeer. Naast kwik zijn de metalen koper, chroom en zink als probleemstof aan te wijzen. In het Ketelmeer wordt op een enkel punt cadmium in te hoge concentraties aangetroffen. De aanvoer via de IJssel lijkt hierbij van invloed te zijn. In het algemeen kan worden geconstateerd, dat het totale kwaliteitsbeeld voor de zware metalen in 1997 weinig is veranderd ten opzichte van de voorafgaande 5 jaren (de Vrieze, 1999).

In

Tabel 9 zijn de waarden voor zware metalen in 1997 nog eens kort samengevat. De vet gedrukte waarden houden in dat de MTR-normen niet gehaald zijn. In het Gooimeer en Drontmeer zijn in 1997 geen zware metalen bepaald. De arseen concentratie is helemaal niet bepaald (de Vrieze, 1999).

Tabel 9. Waarden voor zware metalen in 1997. Vet gedrukt zijn de waarden die de MTR-normen in 1997 niet halen (de Vrieze, 1999)

Parameter	MTR norm (NW4) (µg/l)	IJssel meer*	Marker meer*	Eem meer	Nulder nauw	Wolder wijd	Veluwe meer	Dront meer	Vosse meer	Ketel meer	Zwarte Meer
cadmium	0,4	0,2	0,03	0,03	0,06	0,03	0,03	-	0,13	0,27	0,01
kwik	0,02	0,05	0,02	0,01	0,07	0,03	0,05	-	0,042	0,098	0,102
koper	1,5	5,8	2,5	2,7	2,4	3,1	3,6	-	3,0	6,8	3,23
nikkel	5,1	4	5	4,7	2,7	2,5	3,4	-	6,3	3,5	5,0
lood	11	5,3	4,8	3,6	6,3	8,5	5,3	-	3,7	8,2	2,8
zink	9,4	29,6	11,8	17,0	27,7	26,4	27,7	-	37,8	43,0	19,5
chroom	0,3	4,7	5,6	4,4	1,7	5,7	4,4	-	7,9	5,6	2,2
arseen	25	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-

* = gemiddelde van 5 meetpunten.

Organische microverontreinigingen

IJsselmeer en Markermeer

Ten aanzien van VOX kan worden geconstateerd, dat incidenteel en in beperkte mate de norm (5 µg/l) wordt overschreden. Voor chloorfenolen

(pentachloorfenol), geldt dat in deze periode in het hele IJsselmeergebied geen overschrijdingen van de norm zijn geconstateerd. In bijna alle gevallen liggen de waarnemingen beneden de detectiegrens van 0,01 µg/l. Cholinesterase remming wordt gemeten in de waterfase. In 1997 is een eenmalige overschrijding van de norm geconstateerd bij de locatie Hoornse Hop (Markermeer). Op alle andere locaties is voldaan aan de norm. In het algemeen geldt dat het kwaliteitsbeeld van de organische microverontreinigingen nauwelijks is gewijzigd ten opzichte van 1996 (de Vrieze, 1999).

Randmeren

Ten aanzien van VOX kan worden geconstateerd, dat incidenteel en in beperkte mate de norm (5 µg/l) in enkele meren wordt overschreden. De hoogste overschrijding van VOX wordt aangetroffen op de locatie Ketelmeer West. De aanvoer via de IJssel is hierbij van invloed. Voor chloorfenolen (pentachloorfenol), geldt dat in deze periode in het hele IJsselmeergebied geen overschrijdingen van de norm zijn geconstateerd (de Vrieze, 1999). In het Ketelmeer stegen in 1996 verschillende concentraties van stoffen als PCB's en PAK's ten opzichte van 1993, terwijl deze in het IJsselmeer afgenomen waren. Dit zou kunnen samenhangen met de bouw van het slibdepot en zou dan van tijdelijke aard moeten zijn (Bak et al., 1998).

2.8 Veiligheid

Om de veiligheid en stabiliteit te bepalen van dijken zijn hydraulische randvoorwaarden opgesteld. Dimensionering van de dijken wat betreft hoogte en stabiliteit gebeurt aan de hand van hydraulische randvoorwaarden, waterstand en golfhoogte.

De waterstand voor een dijkvak wordt bepaald door het meerpeil en de op- cq. afwaaiing. De golfhoogte wordt bepaald door de windsnelheid en -richting, waterdiepte en strijklengte. Met behulp van het probabilistische model Hydra-M wordt in het IJsselmeergebied dan bepaald wat de kruinhoogte van de dijk moet worden bij een vastgestelde norm. De norm die voor de Houtribdijk wordt aangehouden, stelt dat het maatgevende belastingniveau (hoogte) met een kans van 1/10.000 per jaar overschreden mag worden. De overslag over de dijk mag dan 1 l/m/s zijn. De minimale afmetingen van elke dijk staan opgenomen in zogenaamde leggers, de daadwerkelijke afmetingen in de beheersregisters. Deze worden, indien nodig, aangepast na toetsing. Deze toetsing gebeurt om de 5 jaar.