

---

### 3. Biotische aspecten van het IJsselmeergebied

---

#### 3.1 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. Algen gebruiken licht als energiebron en leggen koolstof vast middels fotosynthese. 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.

De belangrijkste hoofdgroepen fytoplankton (algen) die voorkomen in de zoete rijkswateren zijn blauwalgen, groenalgen en kiezelalgen. Blauwalgen, ook wel cyanobacteriën genoemd, zijn weer te verdelen in draadvormende blauwalgen, met als belangrijkste soorten *Planktothrix agardhii*, *Aphanizomenon* sp. en *Anabaena* sp., en kolonievormende blauwalgen. Een andere belangrijke groep binnen de blauwalgen zijn de kolonievormende blauwalgen *Microcystis* sp. Groenalgen worden ook vaak groenalgen genoemd en enkele soorten zijn *Scenedesmus* en *Monoraphidium*. Diatomeeën of kiezelalgen zijn verschillende benamingen voor kiezelalgen en worden in het IJsselmeergebied onder andere vertegenwoordigd door de soorten *Diatoma tenuis* en *Stephanodiscus* sp. (Noordhuis, 1997; Timmerman & Prins 1996). In dit rapport worden de algen voornamelijk ingedeeld in de hoofdgroepen; blauwalgen, groenalgen en kiezelalgen, tenzij de karakteristieken van bepaalde soorten belangrijk zijn bij het bestuderen van de effecten die door ontgrondingen kunnen ontstaan.

Om de algenbiomassa te bepalen, wordt meestal het chlorofyl-a gehalte bepaald (Figuur 15). De hoeveelheid fytoplankton en daarmee dus het chlorofyl-a gehalte is ondermeer afhankelijk van de beschikbare hoeveelheid nutriënten. In veel zoetwatersystemen is fosfaat limiterend voor de algengroei, maar zeker in eutrofe systemen zijn ook andere nutriënten zoals stikstof en een factor als licht van invloed op de algenbiomassa (Timmerman & Prins, 1996). Ook silicium kan limiterend zijn voor het voorkomen van kiezelalgen. Het jaarlijkse algengroeipatroon (successie) geeft een opeenvolging van kiezelalgen (voorjaar) - groenalgen (zomer) - en eventueel blauwalgen (nazomer).

Lichtdynamiek speelt naast extinctie van licht een grote rol in het Markermeer, aangezien de hoeveelheid slib - en daarmee ook de hoeveelheid licht - sterk afhankelijk is van de windsnelheid. Ibelings *et al.*, (1994) hebben groenalgen en blauwalgen vergeleken door hun reactie op een dynamisch lichtklimaat te onderzoeken en het bleek dat blauwalgen moeite hebben om zich aan te passen aan wisselende lichtcondities: groenalgen zullen blauwalgen verdringen. Dit komt overeen met de waarnemingen: Er zijn juist minder blauwalgen in het Markermeer waar een dynamisch lichtklimaat heerst (Noordhuis, in voorbereiding).

---

### *IJsselmeer en Markermeer*

De basis van het voedselweb (d.w.z. de primaire producenten) bevindt zich in de waterkolom en voor een kleiner deel op de bodem van de meren. In het IJsselmeer en Markermeer komt de primaire productie vrijwel uitsluitend voor rekening van fytoplankton en worden nauwelijks waterplanten aangetroffen. Dit komt doordat in het eutrofe en niet al te heldere water van de twee meren licht slechts op zeer ondiepe gedeeltes tot op de bodem doordringt (Platteeuw et al., 1997).

In het IJsselmeer komen relatief gezien vaker drijfalg van blauwalgen voor (gemeten van 1989-1992) dan in het Markermeer. Het verschil tussen blauwalgen groei in IJsselmeer en Markermeer kan enerzijds worden veroorzaakt door het verschil in slibdynamiek tussen beide meren. De hoge mate van afwisseling tussen sedimentatie en resuspensie van slib en algen zorgt er in het Markermeer voor dat de blauwalgen hun drijfvermogen niet effectief kunnen gebruiken om zich te handhaven. Dit vergroot de concurrentiepositie van de groenalgen. Deze zijn beter bestand tegen de wisselingen in groei-omstandigheden als gevolg van de slibdynamiek (Mur et al., 1990). Deze hypothese is overeenkomstig de correlaties die door Jagtman en van Urk (1988) zijn gevonden. Anderzijds is *Microcystis* uit literatuur bekend als een blauwalgensoort die, door het bezit van drijfvermogen, bij uitstek geadapteerd is aan diepere, stratificerende meren. Het IJsselmeer met een geringe diepte en een hoge mate van wind-expositie lijkt een minder geschikte habitat voor *Microcystis* (Ibelings 1990, deel I). Toch domineert *Microcystis* regelmatig in de nazomer het fytoplankton van het IJsselmeer. Het werk van Ibelings geeft daarvoor de volgende mogelijke verklaring. Als door micro-stratificatie de mengdiepte beperkt wordt tot een diepte die minder is dan de diepte van het meer, is er voordeel te behalen voor *Microcystis* en andere soorten die drijfvermogen bezitten. De kolonies van blauwalgen zullen zich snel concentreren in de mengzone nabij het oppervlak met een gunstig lichtklimaat, terwijl door sedimentatie de groenalgen in de stabiele, diepere laag terecht komen waar het lichtklimaat ongunstig is voor de groei. Zelfs bij afwezigheid van micro-stratificaties blijft *Microcystis* in het voordeel in de competitie om de groeifactoren licht en nutriënten, omdat het drijfvermogen de soort in staat stelt te ontsnappen aan de grenslaag dichtbij de bodem, waar geen stroming plaatsvindt, en dus sedimentatie zal plaatsvinden. Het optreden van blauwalgenbloei in het IJsselmeer is gecorreleerd aan de frequentie en duur van periodes met een (gedeeltelijk) stabiele waterkolom.

#### Intermezzo - Algenbloei

De dichtheid van fytoplankton is hoger dan van water. Dit betekent dat deze organismen afhankelijk zijn van windmenging van de waterkolom om in suspensie te blijven. In een gestratificeerde waterkolom is menging beperkt tot het epilimnion zodat sedimentatie verliezen naar het hypolimnion kunnen optreden.

Gedurende de zomermaanden, met name bij watertemperaturen boven de 20 °C en een hoog voedingsstoffengehalte bestaat echter het gevaar van het optreden van bloei van toxische blauwalgen. Deze blauwalgen bezitten namelijk zogenaamde gasvacuolen (holle eiwitblaasjes) in hun cel, waardoor de dichtheid lager is dan van water. Hierdoor wordt sedimentatie in diepere plassen voorkomen (Ibelings, 1990, expert judgement Ibelings, 1999). De soorten die deze gasvacuolen bezitten zijn onder andere de bovengenoemde draadvormende blauwalgen en kolonievormende algen zoals *Microcystis*. De blauwalgen kunnen in de stabiele waterkolom van een diepe plas hun drijfvermogen omzetten in verticale migratie en op deze wijze een optimale plaats in het onderwaterlicht-klimaat innemen (Ibelings, et al., 1991). Doordat bepaalde blauwalgen toxisch zijn en drijfvlagen kunnen vormen, zijn ze minder gewenst dan groenalgen en kiezelalgen.

Omdat drijfvlagen door hun mogelijk toxische eigenschappen, een gevaar kunnen vormen voor de (volks)gezondheid van recreanten, zou het een uitkomst zijn wanneer de locaties waar drijfvlagen kunnen voorkomen voorspeld kunnen worden. Helaas is dit nog niet mogelijk, aangezien er een aantal onzekere factoren (zoals wind, temperatuur) meespelen bij het wel of niet voorkomen van drijfvlagen (expert judgement Doef, 1999).

Gezien de aantallen cellen (geteld in ml) zijn zowel het Markermeer als het IJsselmeer door blauwalgen gedomineerde systemen. Met name kleinere soorten als *Aphanocapsa* en *Cyanodictyon* zijn het meest talrijk in het IJsselmeer. Op basis van *biovolume* ( $\mu\text{m}^3/\text{ml}$ ) wordt het IJsselmeer ook gedomineerd door blauwalgen, maar hier neemt *Aphanizomenon flos-aquae* de eerste plaats in, *Aphanocapsa* valt weg en *Microcystis* komt op. Het Markermeer echter krijgt het karakter van een systeem waar de groenalgen domineren. Dit is ook de situatie die er voor de afsluiting van de Houtribdijk heerste. In beide meren overschrijdt het *biovolume* van de blauwalgen *Microcystis* en *Aphanizomenon* nu nog de ecologisch gewenste grenswaarde. Voor een onderzoek in Volkerak Zoommeer is een referentiewaarde opgesteld op basis van het *biovolume* van twee blauwalgen: de *Microcystis* groep en de *Aphanizomenon* groep. Deze referentiewaarde is ondermeer gebaseerd op een raming van de dichtheid in het IJsselmeer rond 1983. In Tabel 10 staan de referentiewaarden, huidige zomergemiddelden en piekwaarden in 1996. Hieruit blijkt dat in beide meren de referentiewaarde flink wordt overschreden (Noordhuis, in voorbereiding).

Een grotere mengdiepte betekent gemiddeld een lagere lichtdosis en brengt bovendien grotere wisselingen in het onderwater-lichtklimaat met zich mee. In het algemeen is dat nadelig voor de groei van algen, zoals ook blijkt uit de CUWVO relaties tussen algenbiomassa en waterdiepte. Het is eveneens bekend dat groenalgen zich onder fluctuerend licht beter kunnen handhaven dan blauwalgen. Echter, in een (gedeeltelijk) stabiele waterkolom concentreert, zoals bovenstaand aangegeven, een kolonievormende soort als *Microcystis* zich in een ondiepe mengzone nabij het wateroppervlak. De variatie in lichtintensiteit wordt hiermee gereduceerd en de concurrentiekracht op peil gehouden. Voor niet-kolonievormende blauwalgen zoals *Oscillatoria* is het effect van een grotere mengdiepte anders dan voor *Microcystis* (Ibelings, 1990, expert judgement Ibelings, 1999). Draadvormende blauwalgen bezitten weliswaar drijfvermogen maar kunnen dit als gevolg van hun geringe diameter niet omzetten in een (snelle) migratie naar het bovenste deel van de waterkolom. Soorten als *Oscillatoria* tref je vaak aan in ondiepe, troebele, goed gemengde systemen. *Oscillatoria* wint hier de competitie op basis van superieure lichttoegestende eigenschappen. Troebele condities bevorderen de positie van *Oscillatoria*. Vergroting van de mengdiepte verlaagt de lichtdosis voor fytoplankton, hetgeen gunstig zou zijn voor *Oscillatoria*. Daarentegen is er in een diepere kolom vaak minder chlorofyl-a

aanwezig, waardoor licht dieper doordringt in het water. De resultante van deze twee processen bepaalt de omvang van de lichtdosis en daarmee van de concurrentie positie van *Oscillatoria* (Noordhuis, in voorbereiding).

Tabel 10. Referentiewaarden en waarden in 1996 voor biovolume ( $\mu\text{m}^3/\text{ml}$ ) van een tweetal blauwalgen in IJssel- en Markermeer (Noordhuis, in voorbereiding)

| Blauwalgen                      | Referentie waarde | Zomergemiddelde IJsselmeer | Piekwaarde IJsselmeer | Zomergemiddelde Markermeer | Piekwaarde Markermeer |
|---------------------------------|-------------------|----------------------------|-----------------------|----------------------------|-----------------------|
| <i>Microcystis aeruginosa</i>   | $5 \times 10^3$   | $6,3 \times 10^5$          | $3,0 \times 10^6$     | $1,5 \times 10^5$          | $2,72 \times 10^5$    |
| <i>Aphanizomenon flos-aquae</i> | $6 \times 10^3$   | $3,6 \times 10^6$          | $1,6 \times 10^7$     | $3,7 \times 10^5$          | $9,19 \times 10^5$    |

#### Randmeren

Het chlorofyl-a gehalte in de Veluwerandmeren is in 1997 (de Vrieze, 1999) een factor twee tot vier lager dan in de periode 1975-1980, op het hoogtepunt van de eutrofiëringsproblematiek. In het Gooimeer en Nulder nauw is de afname kleiner en in het Eemmeer is er nog geen sprake van een dalende trend. Door de verlaging van de fosfaatgehalten in de Rijn en de doorspoeling met fosfaatarm polderwater is in de Veluwerandmeren de blauwalg *Planktothrix* (= *Oscillatoria*) *agardhii* afgenomen in dichtheid, in de fytoplankton gemeenschap ten gunste van andere blauwalgsoorten, kiezelalgen en groenalgen (Noordhuis 1997). Opvallend is de massale terugkeer van ondergedoken waterplanten, gedomineerd door kranswieren (van den Berg et al., 1997).

Met name in het voorjaar wordt het Eemmeer beïnvloed door de afvoer van de Eem, waardoor het vergeleken met de Veluwerandmeren voedselrijk is. Dit leidt tot een relatief hoge dichtheid van kiezelalgen of *Bacillariophyceae* (diatomeeën) en relatief lage dichtheden van het blauwalg *Planktothrix agardhii* tot en met mei. Na de ijsbedekking in 1996 kon deze blauwalg zich in de loop van het jaar herstellen. Hierin verschilde het Eemmeer van de ondiepere Veluwerandmeren. Een aanhoudende aanvoer van nutriënten uit de Eem leidt tot een relatief hoge algendichtheid, waardoor het doorzicht relatief laag blijft (Bak et al., 1998). En mede door het diepteprofiel van het Eemmeer is er sprake van een slechte ontwikkeling van de watervegetatie.

#### Vossemeer, Ketelmeer en Zwarte Meer

In het Ketelmeer is de invloed van de IJssel duidelijk waarneembaar. Er worden in de periode 1990-1994 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 het draadvormige blauwalgen hier nog wel algemeen is, maar een factor 10 tot 20 lager dan in het Veluwemeer of Vossemeer. De soortensamenstelling van het Vossemeer toont grote overeenkomst met het Drontermeer en Veluwemeer (Noordhuis, 1997).

#### Veluwemeer en Wolderwijd

Vanaf midden 1996 zijn de gehalten chlorofyl-a in het Wolderwijd en in het Veluwemeer zeer laag (maximaal  $25 \text{ mg m}^{-3}$ ). De draadvormige blauwalg *Planktothrix* is verdwenen, terwijl *Microcystis* in veel kleinere bedekkingsgraad aangetroffen wordt. De bedekkingsgraad van fytoplankton in het Veluwemeer en Wolderwijd is de laatste jaren omgekeerd evenredig aan die van kransalgen. In de periode 1996-1999 is *Diatoma tenuis* afwezig, de kiezelalg die sinds 1981 de voorjaarsbloei domineerde. Enigszins verontrustend is de in het voorjaar van 1999 optredende bloei van de blauwalg *Anabaena lemmermanni* in het Veluwemeer (Meijer et al., 1999).

---

#### Drontermeer en Nulderneauw

In het Drontermeer en Nulderneauw komt *Planktothrix* de laatste jaren niet meer in hoge dichtheden voor, maar onbekend is of de draadvormende blauwalg geheel is verdwenen (Meijer *et al.*, 1999). In het Eemmeer is in 1993 sprake van een hoog percentage *Planktothrix agardhii* terwijl de absolute aantallen in 1993 lager zijn dan in het Wolderwijd. Evenals in de Veluwerandmeren trad in het Eemmeer in april een omvangrijke bloei op van *Diatoma tenuis* en andere kiezelalgen. In het Gooimeer was in 1993 het percentage blauwalgen hoger dan in het Eemmeer, maar was de feitelijke dichtheid lager. Naast deze blauwalgsoort wordt in het Gooimeer relatief veel *Aphanizomenon flos-aquae* gevonden, deze blauwalgsoort gedijt beter in dit iets diepere Randmeer (gemiddelde diepte is 3,6 m) (Noordhuis, 1997).

In het voorjaar van 1999 zijn drijfslagen op de Randmeren gesignaleerd. In juli waren de drijfslagen op de Randmeren verdwenen en werden ze aangetroffen bij de zuidkust van Friesland (expert judgement de Vrieze, 1999).

### **3.2 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. Tot het zoöplankton behoren raderdieren (Rotatoria), roeipootkreeftjes (Copepoda) en watervlooien (Cladocera). Het voedsel van zoöplankton bestaat uit algen, detritus, bacteriën en kleiner zoöplankton. De begrazing door zoöplankton van het fytoplankton leidt tot een toename van het doorzicht. In veel meren is er een piek in de graasdruk in het voorjaar door met name grotere watervlooien (*Daphnia*'s) waardoor er sprake is van een helderwaterfase. Ook de "veligerlarven" van de driehoeksmossel *Dreissena polymorpha* behoren tot het zoöplankton. Net als de meeste tweekleppigen op zee doorloopt de driehoeksmossel een vrijzwemmend, planktonisch larvestadium voor zich na twee tot drie weken aan substraat te vestigen. Deze larven worden in grote aantallen geproduceerd en bereiken dichtheden van meer dan 1000 larven per liter (Noordhuis, 1997).

#### IJsselmeer en Markermeer

De verschillen tussen het IJsselmeer en Markermeer zijn de lagere dichtheid en geringere lengte van het zoöplankton in het Markermeer. Er is alleen onderzoek bekend naar watervlooien, die verdeeld zijn in grote en kleine watervlooien, aangezien dit de belangrijkste soort is in de zoöplanktongroep, net als de driehoeksmosselen bij de bodemfauna. Beide zijn te beschouwen als indicatorsoorten voor de ontwikkeling van de voedselketens. In Figuur 20 wordt de verspreiding van watervlooien weergegeven (Lammens & Hosper, 1998). De ruimtelijke verspreiding van grote en kleine watervlooien is binnen het IJsselmeer nagenoeg gelijk, maar de seizoensontwikkeling is aanvullend. In het Markermeer daarentegen is de spreiding in ruimte nagenoeg aanvullend en is de seizoensontwikkeling nagenoeg gelijk. De belangrijkste predator van *Daphnia*-soorten is in beide meren spiering die vooral de grotere watervlooien eet, omdat de kleinere minder snel gezien worden (Lammens & Hosper, 1998, Lammens, 1999).

In 1996 wordt het zoöplankton in het IJsselmeer op basis van aantallen gedomineerd door rotiferen. Watervlooien kwamen in 1996 slechts in geringere aantallen voor (ten opzichte van de monitoring van het IJsselmeer in 1992, maar ook bijvoorbeeld ten opzichte van de Randmeren). Cladoceren en copepoden zijn dominant in het IJsselmeer (tot 40 ind. l<sup>-1</sup>, in juni 1996) dan in het Markermeer (tot 30 ind. l<sup>-1</sup>, in juni 1996). Wel moet worden opgemerkt dat de aantallen individuen zoöplankton sterk variëren van jaar tot jaar. In het IJsselmeer zou dit samen kunnen hangen met de variatie in het

---

aantal juveniele Spiering, in het IJsselmeer de belangrijkste predator van zoöplankton (Ibelings, in voorbereiding).

Ook in het Markermeer domineren rotiferen. De watervlooien en roeipootkreeftjes zijn talrijker in het IJsselmeer vanwege onder meer het lagere slibgehalte dan in het Markermeer. De lengtegroei van *Daphnia* in Marker- en IJsselmeer is beperkt (Noordhuis, in voorbereiding).

#### Randmeren

Op grond van een vergelijking van de zoöplankton gegevens in het IJsselmeer (data van 1996), Markermeer (data van 1996) en de Randmeren (data van 1989-1994) blijkt het volgende. De aantallen grote *Daphnia*'s lopen in april-juni in 1993 in de Randmeren op tot ongeveer 500 individuen l<sup>-1</sup> (met uitzondering van het Ketelmeer), in het IJsselmeer tot 20-40 ind. l<sup>-1</sup> (in juni 1996) en in het Markermeer tot 15-30 ind l<sup>-1</sup> (in juli en augustus 1996). De aantallen Cladocera, Copepoda en Rotifera zijn in het Wolderwijd, Veluwemeer en Eemmeer een factor 2-10 maal hoger dan in het IJsselmeer, hetgeen wijst op een ruim voedselaanbod. Het aantal individuen zoöplankton, met name de cladoceren, in het IJsselmeer is weer een factor 3 hoger dan in het Markermeer (Ibelings, in voorbereiding).

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 (Noordhuis, 1997).

#### Ketelmeer

In 1993 was de totale hoeveelheid zoöplankton (met uitzondering van de kleine watervlo *Bosmina* sp.), evenals de totale hoeveelheid fytoplankton, in vergelijking tot de andere Randmeren laag. De oorzaak van de dominantie van de kleine watervlooien (ook *Daphnia*'s waren in het Ketelmeer gemiddeld klein) kan liggen in de hoge predatiedruk van planktivore vis. Een andere mogelijkheid is dat de korte verblijftijd in het Ketelmeer beperkend is voor de ontwikkeling van *Daphnia*.

#### Veluwerandmeren

De soortensamenstelling was in 1993 ongeveer hetzelfde als in het Ketelmeer. Een verschil wordt gevormd door de hogere dichtheden van calanoïde copepoden in 1993 in het Wolderwijd en Veluwemeer dan in het Ketelmeer. In 1994 waren de aantallen cladoceren en copepoden in het Wolderwijd in vergelijking met voorgaande jaren uitzonderlijk laag.

#### Eemmeer

In het Eemmeer waren de maximale dichtheden van *Daphnia* in 1993 wat lager dan in het Veluwemeer en Wolderwijd. De dichtheid van *Bosmina* had hetzelfde verloop als bij *Daphnia*, maar de aantallen bleven lager. De ontwikkeling van de raderdierenpopulatie is vergelijkbaar met het verloop in het Veluwemeer.

### **3.3 Oever- en 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). De extinctie van licht onder water wordt in hoge mate bepaald door de aanwezigheid van zwevende deeltjes die licht verstrooien en absorberen. Enerzijds bestaan deze deeltjes uit slib, anderzijds uit algen. Ook humuszuren dragen bij aan lichtuitdoving. In eutrofe systemen is soms op 1 m al onvoldoende licht voor netto-fotosynthese (Haskoning, 1996). 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).

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 produktie 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 (Van den Berg & Coops, 1998). Let wel: het grootste deel van het IJsselmeergebied is ondieper dan 5 m.

Veel voorkomende waterplanten in het IJsselmeergebied zijn: schedefonteinkruid (*Potamogeton pectinatus*), doorgroeid fonteinkruid (*Potamogeton perfoliatus*), tenger fonteinkruid (*Potamogeton pusillus*), kranswieren, draadwieren, darmwieren en zannichellia spp. De laatste vier worden niet op soortniveau onderscheiden, maar als groep. In de Figuren Figuur 17 t/m Figuur 19 is de totale bedekking te zien van het Veluwemeer, Wolderwijd en Gooimeer voor drie verschillende jaren (Postema & de Witte, 1999). Alleen het Gooimeer is niet bemonsterd in 1999.

Het voorkomen van oeverplanten is bij het onderzoek naar effecten van zandwinning alleen meegenomen indien een zandwinlocatie zo dichtbij de oever ligt dat de winning de oever beïnvloedt. In alle andere gevallen liggen oevergebieden in de uitgesloten gebieden. Langs de Randmeren zijn tijdens inventarisaties 525 soorten aangetroffen, waaronder 17 Rode-Lijstsoorten. De flora van het deelsysteem Randmeren-Oost is het meest soortenrijk. De soortenrijkdom is in hoge mate afhankelijk van de inrichting en het beheer van de oevers. Steile, onnatuurlijke oevers en gebieden met een intensief agrarisch gebruik hebben een verarmde flora, terwijl gebieden met meer geleidelijke overgangen en een extensiever beheer (natuurbeheer of natuurontwikkeling) soms buitengewoon soortenrijk kunnen zijn (Odé et al. 1998).

#### IJsselmeer en Markermeer

Ofschoon waterplanten zich sinds het eind van de jaren tachtig in sommige ondiepere oevergebieden flink begonnen uit te breiden (o.a. de Witte et al., 1995 en 1998), spelen waterplanten in IJsselmeer en Markermeer slechts een marginale rol in het voedselweb (Platteeuw et al., 1997). De verschillende deelgebieden in het IJsselmeer en Markermeer worden niet elk jaar bemonsterd maar drie tot vierjaarlijks en ook niet allemaal in hetzelfde jaar. Waterplanten worden sinds 1987 bemonsterd en aangetroffen in de volgende deelgebieden: Buiten IJ - Marken, Edam - Hoorn, Enkhuizen - Trintelhaven, Hoorn - Enkhuizen, Medemblik - Andijk, Den Oever, Kornwerderzand - Hindeloopen, Hindeloopen Stavoren, Lemmer, IJmeer en de Gouwee (Postema & de Witte, 1999).

#### Randmeren

Sinds 1990 wordt onderzoek gedaan naar het voorkomen van de waterplanten in de Randmeren. In een aantal Randmeren zijn de waterplanten vrijwel gebiedsdekkend aanwezig en van grote betekenis voor het ecologisch functioneren van het aquatisch systeem. De toename in de biomassa van de waterplanten in bepaalde meren is te danken aan het uitvoeren van enkele nutriëntverlagende maatregelen. In de Veluwerandmeren heeft een combinatie van defosfatering van afvalwater, doorspoeling van de meren met fosfaatarm polderwater (en mogelijk in het Wolderwijd actief biologisch beheer) vanaf het begin van de jaren negentig een hernieuwde vestiging van ondergedoken waterplanten in gang gezet. Kranswieren komen hier nu weer op diverse plaatsen in hoge bedekkingen voor (Coops et al., 1997). In dichte kranswievelden in het Veluwemeer is het water, zelfs bij hoge windsnelheden, aantoonbaar helderder dan direct buiten

---

het kranswielveld (van den Berg et al., 1997). Dit wordt onder andere veroorzaakt door het vasthouden van bodemmateriaal door de waterplanten, waardoor er geen erosie kan optreden van slib. Daarnaast vormen waterplantvelden een geschikt habitat voor slakjes, muggenlarven, tweekleppigen en vormen ze geschikt paai- en opgroei gebied voor bepaalde vissoorten als snoek, zeelt, kleine modderkruiper en driedoornige stekelbaars (Grimm & Backx, 1990, van den Berg et al., 1997, Platteeuw et al., 1997). De verschillende deelgebieden in de Randmeren worden jaarlijks tot driejaarlijks bemonsterd.

Van de laatste periode 1996-1998 is in de Figuren Figuur 17 t/m Figuur 19 een overzicht te zien van de totale bedekking waterplanten in het hele gebied. De kaartjes met de totale bedekking van het Veluwemeer, Wolderwijd-Nuldernaauw geven een goed beeld van de omslag die de afgelopen jaren heeft plaatsgevonden (Figuur 17 en Figuur 18). Het Gooimeer is door de aanwezigheid van diepe delen nog weinig begroeid met waterplanten (Figuur 19).

De tabellen in bijlage 6 geven een overzicht van het totaal begroeide oppervlak en het oppervlak begroeid met kranswieren in de deelgebieden in verschillende jaren, variërend van 1987 tot 1998. Op de figuren van het Veluwemeer en het Wolderwijd-Nuldernaauw is de vooruitgang duidelijk te zien op de overgang van 1994 naar 1997.

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 (expert judgement Noordhuis & van den Berg, 1998). Waterplanten komen niet veel dieper voor dan zo'n 2 maal het doorzicht in de waterkolom.

### 3.4 Macrofauna

Onder macrofauna worden in het IJsselmeergebied onder andere driehoeksmosselen (*Dreissena polymorpha*), kieuwslakken, mosselkreeftjes (Ostracoden), wormen (Oligochaeten) en muggenlarven (Chironomiden) gerekend. Het aantal soorten is groot; in 1993 zijn 150 macrofaunasoorten gevonden in de Randmeren (Noordhuis, 1997). 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 (ten Winkel & Davids, 1982). Zij kunnen enorme hoeveelheden water filtreren; zo wordt de hoeveelheid water in het IJsselmeer verversd. Kolonisatie treedt in eerste instantie veelal op door aanhechting aan zachtere substraatdelen, later gevolgd door migratie naar harde substraatdelen (stenen, oude schelpresten of levende soortgenoten) (Bij de Vaate, 1991). Condities van zuurstofarmoede of zuurstofloosheid, mogelijk optredend in de diepste delen (o.a. zandwinputten of voormalige stroomgeulen), worden door de volwassen driehoeksmossel slecht verdragen (o.a. van Urk, 1976).

#### IJsselmeer

In het IJsselmeergebied worden driehoeksmosselen voornamelijk aangetroffen in de delen met de hardste bodem, waar meer sprake is van (lichte) erosie dan van sedimentatie van slib. Andere locaties waar driehoeksmosselen worden aangetroffen zijn de randen van de oude geulen in het IJsselmeer en het bovenste deel van de taluds van zandwinputten (MINVENW, 1991).

In 1992 is het hele IJsselmeer op driehoeksmosselen bemonsterd (Prins et al., 1994). De hoogste dichtheden zijn 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 (Bij de Vaate, 1991; Prins *et al.*, 1994). In 1996 zijn in het zuidelijk deel van IJsselmeer driehoeksmosselen op 56 locaties bemonsterd (Huynen, 1997). Binnen dit gebied is zichtbaar dat de biomassa aan driehoeksmosselen in het zuidelijk deel hoger is dan in het noordelijk deel. In Figuur 21 is de verspreiding van de driehoeksmosselen in het IJsselmeer en Markermeer in 1992 weergegeven. In 1998 is een deel van het IJsselmeer opnieuw bemonsterd. Wordt deze kaart vergeleken met een kaart van het IJsselmeer waar de netto sedimentatie op aangegeven staat (Figuur 22), dan valt op dat er in gebieden met veel slib zelden hoge concentraties driehoeksmosselen te vinden zijn. Opvallend is dat in het noordoosten van het IJsselmeer, waar sprake is van een harde substraatrijke bodem, geen driehoeksmosselen worden gevonden. Dit wordt mogelijk veroorzaakt door een combinatie van diepte en expositie aan de overheersende ZZW-wind wat leidt tot een dusdanig grote golfwerking dat het sedimenttransport hoog is en vestiging van driehoeksmosselen belemmert. De diepte waarop driehoeksmosselen zich vestigen varieert van 0,5 tot 7 m. Wel is het zo, dat naarmate de mosselen zich dieper vestigen, hun conditie afneemt (de Leeuw, 1997). Hierdoor neemt de aantrekkelijkheid van de dieper gevestigde mosselen als voedsel voor duikeenden sterk af, ondanks de hogere mosseldichtheden op grotere dieptes. Een grotere diepte kost ook meer energie van de duikeenden om de mosselen op te duiken.

#### Markermeer

In 1993 is het Markermeer op driehoeksmosselen bemonsterd (Prins *et al.*, 1994). Het beeld is in 1993 vergelijkbaar met de monitoring in 1981, met als opmerkelijkheid dat de populatie ten westen van de lijn Enkhuizen-Blocq van Kuffeler in 1993 de dichtheid wel afgenomen (Bij de Vaate, 1991). Ook de andere grotere concentratie in het Markermeer, in het IJmeer, is in 1993 afgenomen ten opzichte van 1981 (Prins *et al.*, 1994).

In 1997 is het zuidelijke deel van het Markermeer bemonsterd op 21 locaties (Huynen & Koenjer 1998). De hoogste biomassa van driehoeksmosselen werd in het zuiden van het bemonsterde gebied gevonden. In het noordelijk deel naast het eiland van Marken is de biomassa van de mosselen in 1997 hoger. In de ruim NAP -16 m diepe IJmeer-put zijn geen mosselen aangetroffen (Huynen & Koenjer, 1998).

In het Markermeer worden de hoogste concentraties driehoeksmosselen gevonden in gebieden met de laagste hoeveelheid slib (Figuur 23). In 1997 is het zuidelijke deel van het Markermeer bemonsterd op 21 locaties. In het noordelijk deel van het bemonsterde gebied worden over het algemeen kleine hoeveelheden mosselen gevonden. Naar het zuiden toe worden de aantallen groter, maar in de IJmeer-put van NAP -16 m diepte zijn geen mosselen aangetroffen, waarschijnlijk omdat hier ook geen harde, substraatrijke bodem aanwezig is. Vergeleken met de bemonsteringen van 1992 is de situatie in 1997 in de rest van het Markermeer vermoedelijk niet wezenlijk anders.

#### Randmeren

Er is macrofauna bemonsterd in de Randmeren in 1993, waarbij de verschillen in substraatsamenstelling doorwerken in de samenstelling en dichtheden van de macrofauna. Het is niet helemaal duidelijk welke specifieke bodemeigenschappen hierbij een rol spelen. In slibrijk substraat waren de meeste hoofdgroepen (weekdieren, kreeftachtigen, platwormen en bloedzuigers, wormen, muggenlarven en overige insecten) gemiddeld minder talrijk dan in zand en was de dichtheid ook lager. Dit verschil is relatief groot bij kieuwslakken, mosselkreeftjes en muggenlarven, maar dat wordt gedeeltelijk gecompenseerd door hoge dichtheden van wormen. De oeverzones waren relatief soortenrijk: op de locaties tussen oeverplanten,

waar vooral insectensoorten talrijk zijn, werden gemiddeld twee keer zoveel soorten gevonden als op de bodem (Noordhuis, 1997).

In oktober 1998 is een bemonstering van driehoeksmosselen uitgevoerd in de Randmeren (van Moorsel et al., 1999). Uit de inventarisatie in 1998 kunnen onder andere de volgende conclusies worden getrokken: de belangrijkste driehoeksmosselpopulaties bevinden zich in de Randmeren in het Gooimeer en in het Wolderwijd; in het Drontermeer zijn de dichtheden het laagst; de hoogste dichtheden bevinden zich tussen de 1 en 2,5 m diepte; in het Gooimeer worden hoge dichtheden ook nog tot op een diepte van 4 m aangetroffen; tussen 1996 en 1998 is er in het Wolderwijd/Nulderneau een vervijfvoudiging te zien in de dichtheid van de driehoeksmossel (Tabel 11); in het Veluwemeer is de dichtheid iets teruggelopen (van Moorsel et al., 1999).

Tabel 11. Gemiddelde dichtheid driehoeksmosselen (*Dreissena polymorpha*, exclusief broed) in 1996 (indien bepaald) en 1998 (in n/m<sup>2</sup>) (van Moorsel et al., 1999).

|                     | Dronterm. | Veluwemeer | Wolderw. | Nulderneau | Nijkerkernauw | Eemmeer | Gooimeer |
|---------------------|-----------|------------|----------|------------|---------------|---------|----------|
| 1996 (lengte ≥ 5mm) |           | 231,4      | 70,7     | 16,0       |               |         |          |
| 1998 (lengte ≥ 7mm) | 33,7      | 163,7      | 369,2    | 79,4       | 204,3         | 121,5   | 324,5    |

Door een verschil in monsternamedatum werden als criterium voor broed in 1996 en 1998 verschillende lengtes gehanteerd.

Een volgende conclusie uit de bemonstering in 1998 is het feit dat driehoeksmosselen nauwelijks aangetroffen worden in kranswiervelden mogelijk kan worden verklaard, uit de geringe diepte waarover de kranswiervelden zich bevinden (<1 m). In het Veluwemeer komt de driehoeksmossel wel in diepere kranswiervelden voor en is de dichtheid van de driehoeksmosselen te vergelijken met de dichtheid buiten de kranswiervelden. Opvallend is wel dat de lengte van de mosselen in de kranswiervelden de helft is van de lengte buiten de velden, maar de aanwezigheid van kranswieren blijkt het voorkomen van driehoeksmosselen niet uit te sluiten. Een nadeel van kranswier als substraat is echter dat de mosselen in het najaar samen met het kranswier zullen worden opgegeten of op de bodem terecht zullen komen waar mogelijk ongeschikt substraat aanwezig is.

Een andere conclusie is dat in het Wolderwijd en het Gooimeer de filtratiecapaciteit van de driehoeksmossel zo hoog is dat er mogelijk sprake is van een effect op de algenconcentratie. Voor het compenseren van algengroei is het noodzakelijk dat eens per drie dagen de gehele inhoud van het watersysteem wordt gefilterd (Noordhuis et al., 1994). Dit komt in het Wolderwijd en het Gooimeer redelijk in de buurt van de filtratiesnelheid die nodig is om algengroei te compenseren.

### 3.5 Vissen

In IJsselmeer en Markermeer domineren acht soorten de visstand in de oeverzone en in het open water tot meer dan 90% (Klinge et al. 1998). In het onderstaande lijstje staan de 8 algemeen voorkomende soorten in IJsselmeer en Markermeer (Hartgers, 1999). Voor de Randmeren komt er naast deze 8 soorten nog de alver bij (Klinge et al., 1998). In de rechter kolom staan de zeldzame migrerende soorten die aangetroffen worden in het IJsselmeer en Markermeer (Hartgers, 1999). In onderstaande lijst is het voedsel dat hoofdzakelijk in de adulte fase wordt gegeten meegenomen; het komt veel voor dat vissen in verschillende levensstadia verschillend voedsel nuttigen (OVb, 1996).

---

#### *Algemeen voorkomende vissoorten (met voorkeursvoedsel van volwassen vis)*

- aal (*insectelarven en kleine kreeftachtigen*)
- snoekbaars (*kleine vis*)
- baars (*allerlei dierlijk voedsel, maar boven een lengte van circa 15 cm vooral vis*)
- pos (*insectelarven en kleine kreeftachtigen*)
- spiering (*zoöplankton en kleine kreeftachtigen*)
- blankvoorn (*slakjes en insectelarven, soms plantedelen*)
- brasem (*insectelarven, kleine kreeftachtigen, zoöplankton en wormpjes*)
- bot (*kleine kreeftachtigen, wormpjes en kleine vis*)
- Randmeren: alver (*insecten(larven) en zoöplankton*)

#### *Zeldzame migrerende vissoorten (met voorkeursvoedsel van volwassen vis)*

- rivierprik (*leeft als parasiet op vissen*)
- zeeprik (*leeft als parasiet op vissen*)
- fint (*zoöplankton en kleine vis*)
- houting (*dierlijke organismen, met voorkeur voor zoöplankton*)
- grote marene (*zoöplankton*)
- zalm (*insecten(larven), kreeftachtigen en vis*)
- zeeforel (*insectelarven, kreeftachtigen en vis*)
- regenboogforel (*insecten, insectelarven, kreeftachtigen en soms kleine vissen*)

In de huidige situatie in het IJsselmeer en Markermeer domineert spiering. Verder is de snoekbaarspopulatie sterk gereduceerd sinds de jaren zeventig en is baars de belangrijkste roofvis. Door de toegenomen intensiteit van de visserij met staande netten en fuiken in combinatie met de verminderde intrek gedurende de afgelopen 15 jaar is de aalpopulatie tot een minimum gedaald (Lammens & Hosper 1998).

#### IJsselmeer en Markermeer

Sinds 1966 wordt de visstand in het IJsselmeer en Markermeer jaarlijks bemonsterd. Over de periode 1993-1996 bedraagt de totale biomassa in het IJsselmeer 478 kg/uur, en in het Markermeer 156 kg/uur. De biomassa is in het open water vastgesteld met de boomkuil en in de oeverzone op basis van fuikvangsten. 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 (tot , maar de gradiënt is minder sterk dan in het IJsselmeer. Het aantal vissen en de hoeveelheid watervogels zijn geringer dan in het IJsselmeer (Klinge *et al.*, 1998).

In Tabel 12 zijn de resultaten van de bemonstering in 1998 weergegeven (Hartgers, 1999). In beide meren zijn verschillende vissoorten dominant aanwezig. Dit zijn spiering, die zich na aanleg van de Afsluitdijk heeft ontwikkeld tot een standpopulatie, pos, baars, blankvoorn, brasem, bot, snoekbaars en aal (Klinge *et al.*, 1998). In het IJsselmeer zijn de vangsten gemiddeld gezien 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.

---

Tabel 12. Aantallen vissen in 1998 in het onderzoek met de grote kuil. (d = dominante vissoort) (Hartgers, 1999).

| Soort                    | IJsselmeer | Markermeer |
|--------------------------|------------|------------|
| aantallen trekken        | 28         | 14         |
| rode aal (d)             | 15         | 22         |
| snoekbaars (d)           | 498        | 838        |
| baars (d)                | 2897       | 1501       |
| pos (d)                  | 1346       | 1131       |
| spiering (d)             | 1734       | 1362       |
| blankvoorn (d)           | 1316       | 917        |
| brasem (d)               | 943        | 258        |
| bot (d)                  | 164        | 0          |
| alver                    | 0          | 4          |
| driedoornige stekelbaars | 48         | 2          |
| rivierdonderpad          | 107        | 154        |
| winde                    | 3          | 0          |

In het Markermeer bevindt zich de hoogste visbiomassa in het zuidoosten, maar de gradiënt is minder sterk dan in het IJsselmeer. Na de sluiting van de Houtribdijk is de nutriëntenconcentratie lager geworden en de verblijftijd van het water langer. Door het vele slib is de situatie ten opzichte van het IJsselmeer ongunstiger voor algen, macrofauna, zoöplankton en driehoeksmosselen. Bijgevolg is het aantal vissen en de hoeveelheid watervogels ook geringer dan in het IJsselmeer (Klinge *et al.*, 1998).

#### Randmeren

De samenstelling van de visstand over de periode 1993-1996 laat zien dat vijf soorten domineren in het open water van de Randmeren. Dit zijn brasem, pos, snoekbaars, blankvoorn en baars. In de oeverzone maken naast deze soorten ook aal, spiering, bot en alver een redelijk deel uit van de visstand (Klinge *et al.*, 1998).

In het Ketelmeer worden beduidend meer soorten aangetroffen (37 in de periode 1993-1996) dan in de andere Randmeren. In het Ketelmeer domineert een klein aantal soorten: pos, brasem, blankvoorn, baars en snoekbaars.

In de Veluwerandmeren wordt de visstand in het open water door dezelfde vissoorten gedomineerd als in het Ketelmeer. In het Veluwemeer-Drontermeer worden over de periode 1993-1996 26 soorten aangetroffen en in het Wolderwijd-Nuldernauw 22. In de oeverzone maken behalve deze soorten ook aal, spiering, bot en alver een redelijk deel van de visstand uit. In Tabel 13 is de biomassa van de meest voorkomende soorten in 1999 in het open water aangegeven (Klinge *et al.*, 1999).

Tabel 13. Overzicht van de meezomerige vis in de Veluwerandmeren in 1999 (in kg/ha) (d = dominante vissoort) (Wi+Bo, 1999).

| Meezomerige vis *              | Wolderwijd  | Nuldernauw   | Veluwemeer  | Drontermeer  |
|--------------------------------|-------------|--------------|-------------|--------------|
| snoekbaars (d)                 | 1,4         | 3,1          | 1,4         | 6,5          |
| baars (d)                      | 1,8         | 3,6          | 0,9         | 8,2          |
| pos (d)                        | 1,6         | 0,6          | 0,5         | 9,5          |
| blankvoorn (d)                 | 16,9        | 9,1          | 8,3         | 32,5         |
| brasem (d)                     | 38,3        | 77,7         | 20,1        | 41           |
| snoek                          | 0,8         | 0,1          | 1,2         | 18,4         |
| <b>totaal meezomerige vis</b>  | <b>62,5</b> | <b>98,4</b>  | <b>34,6</b> | <b>135,9</b> |
| <b>totaal visstand</b>         | <b>79,8</b> | <b>125,9</b> | <b>50,3</b> | <b>238,0</b> |
| <b>(broed+meezomerige vis)</b> |             |              |             |              |

\*) meezomerige vis is vis die één jaar of ouder is. Alles wat jonger is heet broed.

---

In het Veluwemeer-Drontermeer en Wolderwijd-Nuldernauw treedt sinds enige jaren ecologisch herstel op in de richting van helder en plantenrijk water mede door de afname van eutrofiëring. Dit heeft geresulteerd in een sterke ontwikkeling van kranswieren. Hierdoor is een habitat gecreëerd wat goede potenties biedt voor limnofiele vissoorten (Klinge *et al.*, 1998). Er zijn dan ook recent limnofiele vissoorten gevangen die lange tijd niet of nauwelijks voorkwamen, zoals de kleine modderkruiper en de driedoornige stekelbaars (Bak *et al.*, 1998).

Van alle Randmeren kent het Gooi-Eemmeer (in de periode 1992-1996) het laagste aantal vissoorten (19), hetgeen evenals de dominantie van brasem in het open water en in de oeverzone, op een eutrofe toestand wijst (Klinge *et al.*, 1998). Daar is ook de meeste brasem, pos, snoekbaars en blankvoorn te vinden in vergelijking tot in de andere Randmeren. De hoge dichtheid van brasem betekent een hoge predatiedruk op het zoöplankton, hetgeen leidt tot een relatief groot aandeel klein zoöplankton (Bak *et al.*, 1998). Een verschil met de andere meren is daarnaast nog het voorkomen van de aal in het Gooi- en Eemmeer, die na brasem het meest gevangen is. Dit is in overeenstemming met de commerciële oogst, die in het Gooi- en Eemmeer al meer dan tien jaar beduidend hoger ligt dan in de andere Randmeren (Klinge *et al.*, 1998).

### 3.6 Vogels

Het IJsselmeergebied heeft zich tot een natuurgebied van internationale allure ontwikkeld. Het gebied neemt binnen het netwerk van Europese wetlands een bijzondere plaats in. Dit komt vooral door schaal, (on)diepte en voedselrijkdom van het gebied en door de geografische ligging net ten zuiden van de 0° isotherm van de maand januari. Hierdoor is het IJsselmeergebied één van de zeer weinig grote benedenstroomse zoetwatergebieden in de gematigde klimaatzone van Europa, die 's winters in de regel slechts korte tijd dichtvriezen (Iedema *et al.*, 1996). De ecologische betekenis van het IJsselmeergebied is momenteel vooral gekoppeld aan het diepe open water. Zo zijn er van de zestien internationaal belangrijke vogelsoorten die in het IJsselmeergebied voorkomen, minstens twaalf aan het diepe water gebonden (Breukers, 1997).

De watervogels, die voorkomen in IJsselmeer, Markermeer en Randmeren, zijn onder te verdelen naar verschillen in soorten voedsel. Zo zijn er waterplanten-etende (herbivore), bodemfauna-etende (benthivore) en visetende (piscivore) watervogels.

De planteneters zijn de kleine zwaan (wortelknolletjes van schedefonteinkruid, maar ook bulbillen van kranswieren), de knobbelzwaan (bladmateriaal van ondergedoken waterplanten, waaronder ook draadalgen), de krooneend (kranswieren), de pijlstaart (kranswieren en fonteinkruiden), de smient (grasland), de tafeleend en de meerkoet (in de Randmeren, in IJssel- en Markermeer benthivore) (beide bladmateriaal van fonteinkruiden en kranswieren) (Noordhuis, 1997). Knobbelzwanen gebruiken het gebied alleen in de ruitijd als voedselgebied. Ze kunnen dan gedurende ongeveer een maand niet vliegen. De smient is in nog geringere mate dan de knobbelzwanen afhankelijk van het voedselaanbod in het IJsselmeergebied. Smienten gebruiken het als rustgebied en foerageren 's nachts op graslanden, vooral in Waterland en Friesland (van Rijn & Platteeuw, 1996-I en II).

Kuifeend, toppereend en brilduiker worden gerekend tot de mosseleeters. Ook de tafeleend en meerkoet vallen 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 (Noordhuis *et al.*, 1997). Mede

---

door de succesvolle bestrijding van de eutrofiëring is er de laatste jaren weer herstel van driehoeksmosselen opgetreden in de Randmeren (Noordhuis, 1997). Per saldo is de dichtheid in het Veluwemeer echter afgenomen, terwijl in het Wolderwijd/Nuldernauw een vervijfoudiging te zien is (Tabel 11). Ook is er een gunstige situatie in het Gooimeer, waar een regelmatige aanvoer van mossellarven is. Hierdoor is er de laatste jaren een toename van kuif- en tafeleenden geconstateerd, al is de dichtheid nog laag in het Gooimeer.

De watervogels fuut, aalscholver, grote zaagbek en nonnetje zijn viseters. Voor viseters zijn enerzijds omvang en samenstelling van het visbestand van belang, anderzijds de vangbaarheid van deze vis. Als negatieve ontwikkeling wordt de met eutrofiëring samenhangende 'verbraseming' genoemd. De brasem is namelijk goed in staat in een geëutrofiëerde omgeving te leven, maar is door zijn snelle groei en hoge rug al snel te moeilijk in te slikken voor de meeste vogels en dus geen extra voedselbron. Bovendien veroorzaakt de 'bodemoomwoeler' brasem bij het foerageren voor troebel water. Hierdoor ontstaat een vermindering van doorzicht wat voor op het oog jagende viseters eveneens een belemmering kan vormen. Aalscholver, grote zaagbek en nonnetje kunnen echter dankzij sociaal foerageren toch goed vissen in matig troebele meren (o.a. van Eerden & Voslamber *et al.*, 1995; Platteeuw *et al.*, 1997). 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 (>10 m) 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 (Voslamber *et al.*, 1995). Het aantal op het IJsselmeer waargenomen aalscholvers neemt toe aan het eind van de jaren tachtig en na 1991 af met 40% en blijft tot 1997 op dit niveau hangen. In het Markermeer neemt het aantal vanaf 1985 sterk af en blijft zeer laag (Lammens, 1999).

Ook futen schijnen ondanks geringe doorzichten weinig moeite te hebben om te vissen in troebel water. Voor vanuit de lucht jagende viseters als meeuwen, visdief en zwarte stern heeft troebel water het voordeel dat de vis eerder nabij de oppervlakte komt dan bij hoge doorzichten. Deze vogels duiken namelijk niet diep het water in, maar lokaliseren hun prooi op het oog vanuit de lucht. Vanaf 1992 is het bezoek door futen met de helft afgenomen. Ook voor futen geniet het IJsselmeer de voorkeur boven het Markermeer (minder vis in het Markermeer).

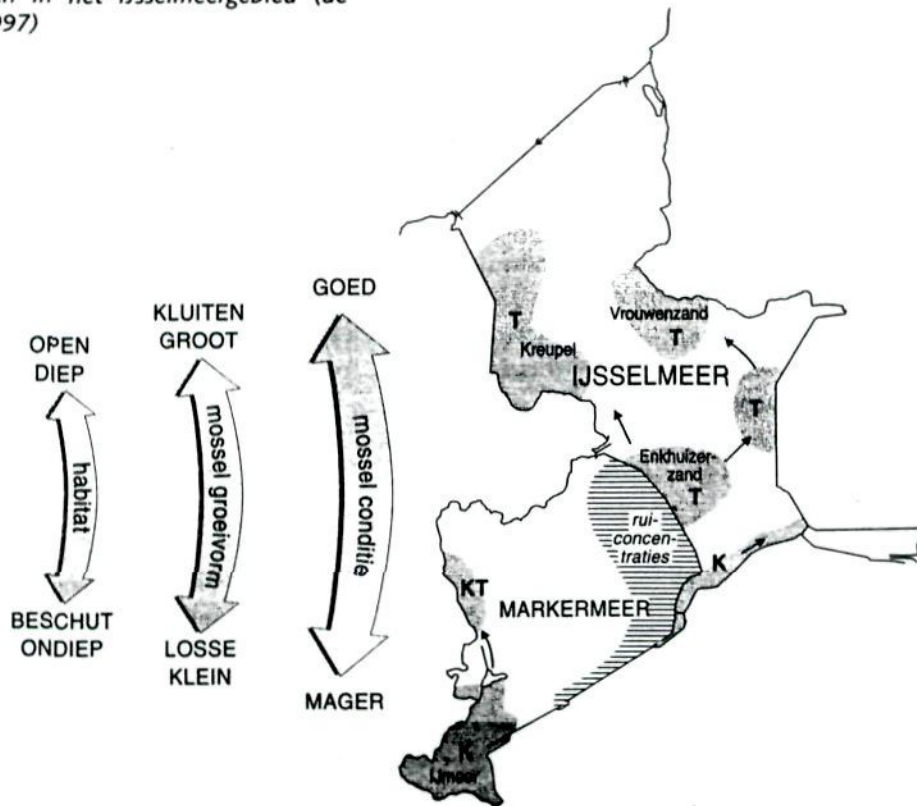
#### IJsselmeer en Markermeer

Duikenden (toppereend, kuifeend) komen in grote getale naar Nederland om te overwinteren op deze meren. Het voedsel bestaat voornamelijk uit driehoeksmosselen en daarom is het van belang dat er voldoende exploiteerbare mosselgebieden aanwezig zijn. Deze moeten niet te diep liggen (niet veel dieper dan 3,5 tot 4,5 m) om hun exploitatie door de vogels energetisch mogelijk te kunnen houden. Deze ondergrens hangt af van de lokale mosselcondities.

Ook dienen om energetische redenen de afstanden tussen de veelal aan de kust gelegen rustgebieden en de 's nachts te bezoeken voedselgebieden geminimaliseerd te worden. Modelberekeningen suggereren dat bij toppereenden de maximale afstand gemiddeld niet meer dan 8 km zou moeten zijn en bij kuifeenden slechts 6 km. Deze schattingen komen goed overeen met waarnemingen in het veld (de Leeuw, 1997). Ook bleek dat toppereenden in het noordelijk deel van het IJsselmeer dieper doken dan in het zuidelijk deel zoals verwacht werd op grond van gemeten verschillen in mosselconditie. Bovendien waren toppereenden bereid gemiddeld iets verder

te vliegen dan kuifeenden (de Leeuw, 1997). Ook bleek uit waarnemingen dat de eenden aan het eind van de winter, wanneer de voedselgebieden in de ondiepe delen uitgeput raken, door energiegebrek op zoek gingen naar andere gebieden (de Leeuw, 1997). Deze trekbewegingen zijn te zien in Figuur 4.

Figuur 4. Belangrijke voedsel- en rustgebieden van overwinterende duikeenden in het IJsselmeergebied (de Leeuw, 1997)



In Tabel 14 zijn voor het seizoen 1998/1999 in het IJsselmeer en het Markermeer, de actuele Nederlandse winterpopulatie en het aandeel van het IJsselmeer en Markermeer in de Nederlandse winterpopulatie gegeven (van Rijn, 1999). Populatiecijfers voor Nederland zijn ontleend aan Altenburger *et al.*, 1996.

Tabel 14: Maximum aantal vogels in seizoen 1998/99 in IJsselmeer en Markermeer, de actuele Nederlandse winterpopulatie en het aandeel van het IJsselmeer en Markermeer in de Nederlandse winterpopulatie (van Rijn, 1999).

|                      | IJsselmeer en<br>Markermeer | Nederland | %  |
|----------------------|-----------------------------|-----------|----|
| Tafeleend            | 13.690                      | 122.000   | 11 |
| Kuifeend             | 50.247                      | 226.000   | 22 |
| Toppereend           | 74.585                      | 158.000   | 47 |
| Brilduiker           | 3.293                       | 23.700    | 14 |
| Meerkoet             | 27.267                      | 360.000   | 8  |
| Aalscholver          | 18.036                      | 74.000    | 24 |
| Grote Zaagbek        | 9.977                       | 35.900    | 28 |
| Middelste Zaagbek    | 140                         | 19.600    | 1  |
| Nonnetje             | 1.046                       | *2.592    | 40 |
| Fuut                 | 3.291                       | 30.000    | 11 |
| Visdief              | 500                         | 54.000    | 1  |
| Zwarte Stern         | 697                         | 120.000   | 1  |
| Kokmeeuw             | 18.773                      | 825.000   | 2  |
| Zilvermeeuw          | 521                         | 300.000   | <1 |
| Stormmeeuw           | 5.474                       | 400.000   | 1  |
| Grote<br>Mantelmeeuw | 273                         | 71.500    | <1 |
| Dwergmeeuw           | 417                         | 11.200    | 4  |
| Knobbelzwaan         | 4.208                       | 13.000    | 32 |
| Smient               | 94.890                      | 327.000   | 29 |

\*Voor Nonnetje werd het aantal in januari 1997 gebruikt (naar SOVON 1998) omdat het maximum van 21.700 uit 1976 sterk verouderd is en dit aantal uitzonderlijk hoog was.

#### Randmeren

Het aantal watervogels is van rond de 15.000 in de jaren tachtig spectaculair gestegen tot 91.000 vogels in november 1997. De grootste aantallen vogels zijn aanwezig in de maanden september-december. De talrijkste soorten zijn meerkoet, tafeleend en knobbelzwaan, terwijl ook pijlstaart en kleine zwaan zijn toegenomen. In het seizoen 96/97 was het aantal aalscholvers hoger dan ooit tevoren, dit zal eerder veroorzaakt worden door een toename van het doorzicht dan door een toename van het visaanbod. Eind 1997 lagen de aantallen watervogels op ongeveer hetzelfde niveau als een jaar eerder, ondanks een verdubbeling van de biomassa van het kranswier. Alleen het aantal zwanen liet weer een sterke toename zien. Het gemiddeld aantal vogelsoorten is in het Veluwemeer als Wolderwijd-Nuldernauw sinds de jaren tachtig toegenomen. De oorzaken van deze stijging van het aantal watervogels liggen in de verbetering van de waterkwaliteit, alsmede de terugkeer van de waterplanten/kranswieren en driehoeksmosselen (Bak et al., 1998-I). Dichtheden en soorten watervogels blijken zeer afhankelijk te zijn van het voedselaanbod (Noordhuis, 1997).

Het Zwarte Meer was over de periode 1991-1995 met gemiddeld 28 soorten watervogels per seizoen het meest soortenrijke Randmeer. De vogeldichtheid was met gemiddeld 7576 vogels/km<sup>2</sup> relatief hoog. Onder de meest talrijke soorten waren smient en wilde eend (Noordhuis, 1997).

Op het Ketelmeer drijft de kuifeend over de periode 1991-1995 met meer dan 17.000 exemplaren de gemiddelde vogeldichtheid op tot 4549 vogels/km<sup>2</sup>. De kuifeend bepaald grotendeels het seizoensverloop.

Mogelijk is de geringe afmeting van het Vossemeer de oorzaak van het lage aantal vogels en het lage aantal soorten dat geteld wordt in de periode 1991-1995.

In het Eemmeer nam in de periode 1991-1995 het aantal vogels toe, vooral door het aantal kuif-, tafeleenden en vooral smienten. De smient is echter een soort die voor zijn voedsel niet van het meer afhankelijk is.

---

Ook in het Gooimeer was in de periode 1991-1996 sprake van een hoge vogeldichtheid die grotendeels het gevolg was van het grote aantal kuif- en tafeleenden. Over de periode september-april 1991-1995 waren het Zwarte Meer en Eemmeer, vooral door grote aantallen smienten het meest vogelrijk en was het Wolderwijd het armst.

#### Veluwerandmeren

Enkele minder talrijke soorten hebben in de seizoenen van 1997/98 en 1998/99 een opvallende aantalstoename laten zien, die te maken kan hebben met toegenomen doorzicht (brilduiker, nonnetje) of met de sterk toegenomen hoeveelheid draadwier (krakeend). In november 1998 naderde het aantal watervogels in de Veluwerandmeren voor het eerst sinds de jaren zestig de 100.000. Knobbelswaan, 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. Met maar liefst 14% was daarmee een groter deel van de internationale populatie aanwezig dan bij de kleine zwaan, die in het najaar van door de hoge waterstand in de Randmeren een slecht jaar had. Terwijl het maximum aantal in het Veluwemeer en Drontermeer sinds 1995 min of meer constant lijkt te zijn, is het vooral in het Wolderwijd verder toegenomen. De vogels bleven lang in het gebied aanwezig, voor het eerst was het totaal aantal watervogels in januari onveranderd hoog. Het watervogelseizoen was daarmee ten minste een maand langer dan in 1997/98. Terwijl de toename van het maximum aantal vogels beperkt was tot 8,7%, lag het aantal vogeldagen daarom circa 15% hoger dan in het voorgaande seizoen (van Rijn, 1996, 1999).

#### **3.6.1 Internationale waarden**

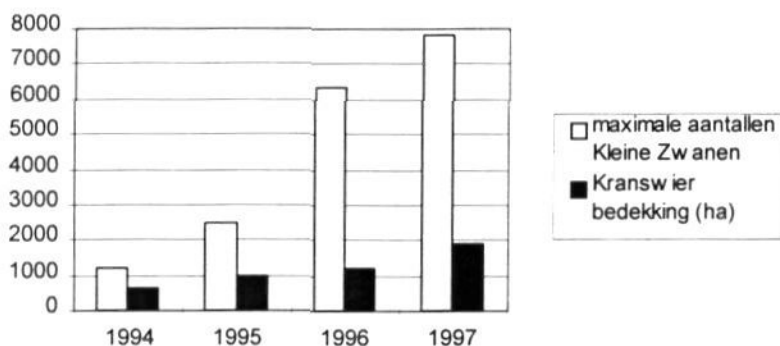
Indicaties voor de internationale waarden van het IJsselmeergebied voor watervogels kunnen afgeleid worden uit de zogenaamde 1% normen voor watervogels, opgesteld tijdens de Conventie van Ramsar in 1971. Dit betekent dat als er van een soort geregeld meer dan 1% van de wereldpopulatie voorkomt het betreffende gebied als internationaal belangrijk gedefinieerd mag worden (Rose & Scott, 1994). In bijlage 5 staan de 1% normoverschrijdingen van bodemfauna-eters, viseters en planteneters op IJsselmeer en Markermeer per telling in de periode juli 1998 t/m juni 1999 (Rose & Scott, 1994; Meininger *et al.*, 1995). Voor Nederland behelst deze populatie voor de meeste soorten de zogenaamde 'East Atlantic Flyway': de trekroute vanuit broedgebieden in het Arctisch gebied en Noord-Europa, naar West-Europa, of via West-Europa naar de overwinteringsgebieden in zuidelijker gelegen delen van Europa en Afrika.

Volgens de Ramsar-normen kan het Markermeer van oktober tot en met februari voor tafeleenden van internationaal belang worden geacht. Een zeer belangrijke bodemfauna-eter is de kuifeend waarvan de normen op zowel Markermeer als IJsselmeer vrijwel jaarrond overschreden werden. Toppereenden overschrijden de 1% norm vooral op het IJsselmeer. In de periode augustus - april werd in 1997-1998 de norm overschreden. De norm was in deze periode maximaal 21% wat vergeleken met vorig jaar (1996-1997) beduidend minder was toen nog een overschrijding van 37% werd bereikt. Op het Markermeer haalde de toppereend de norm in de periode november - januari. Voor brilduikers werd 1997-1998 de norm in z'n geheel niet gehaald en voor meerkoeten op het IJsselmeer in augustus en september en op het Markermeer in de periode september - november (van Rijn *et al.*, 1996, 1999).

Zelfs in de 'slechte' jaren zijn de Randmeren voor vogels van internationale betekenis geweest, met name voor de kleine zwaan. Door de recente ontwikkelingen, zoals de toename van waterplanten, neemt de betekenis van

het gebied toe, doordat van steeds meer soorten internationaal belangrijke aantallen van het gebied gebruik maken (Noordhuis, 1997) (Figuur 5).

*Figuur 5. Maximale aantallen kleine zwanen en kranswierbedekking in het Veluwemeer in de periode 1994-1997 (Bak et al., 1998)*



#### 3.3.1.1 Vogelrichtlijn

In de Europese Unie (EU) wordt onder de naam "Natura 2000" een netwerk van beschermde gebieden opgezet. Dit netwerk omvat alle onder de Vogelrichtlijn of onder de Habitatrichtlijn aangewezen beschermingszones (Figuur 30). De Vogelrichtlijn is een Richtlijn van de EU waaraan alle lidstaten gebonden zijn. Ze is sinds 1981 in alle lidstaten van kracht. Haar doel is alle in het wild levende vogelsoorten en hun leefgebieden te beschermen.

Om de leefgebieden van bovenstaande vogelsoorten te beschermen, kunnen gebieden aangewezen worden als "speciale beschermingszones" (SPA's). Het gaat hierbij zowel om broedgebieden van bedreigde soorten als om belangrijke pleistergebieden van trekvogels (Vogelrichtlijn, 1981).

In het kader van de Vogelrichtlijn zijn de volgende criteria ontwikkeld om de SPA's te kunnen selecteren:

1. Als het gebied behoort tot een van de vijf belangrijkste broedgebieden in Nederland voor een soort als genoemd in de Vogelrichtlijn.
2. en/of wanneer geregeld minimaal 1% van de biogeografische populatie van minimaal een trekkende watervogelsoort in het gebied aanwezig is (zogenaamde Ramsar-norm) (Carp, ed., 1971)

De bescherming onder de Vogelrichtlijn en Habitatrichtlijn houdt in dat de lidstaten ervoor moeten zorgen dat de natuurlijke kwaliteit van de speciale beschermingszones niet verslechtert en dat er geen storende factoren optreden die een significant negatief effect hebben op de soorten waarvoor het gebied is aangewezen. Indien een voorgenomen activiteit in een beschermingszone niet kan worden verplaatst buiten de beschermingszone en het van groot openbaar belang is, dat de activiteit plaats kan vinden, dan dient de lidstaat alle nodige compenserende en mitigerende maatregelen te nemen om te waarborgen dat de algehele samenhang van Natura 2000 bewaard blijft.

De watervogels die voorkomen in het IJsselmeergebied en op de lijst van de Vogelrichtlijn (voor Nederland relevante soorten) en op de lijst met watervogels die de Ramsar-norm overschrijden zijn als volgt:

- a. Vogelsoorten die in het kader van de Vogelrichtlijn van de EU als zeldzaam, bedreigd of kwetsbaar worden beschouwd en die regelmatig in het IJsselmeergebied voorkomen

|              |             |              |         |
|--------------|-------------|--------------|---------|
| Iepelaar     | Ijm, Mm, Rm | goudplevier  | Ijm     |
| kleine zwaan | Ijm, Mm, Rm | kemphaan     | Ijm     |
| wilde zwaan  | Ijm, Mm, Rm | visdief      | Ijm     |
| brandgans    | Ijm         | zwarte stern | Ijm, Mm |
| nonnetje     | Ijm, Mm, Rm |              |         |

- b. Vogelsoorten die de drempel van 1% van hun biogeografische populatie evenaren of overschrijden in het IJsselmeergebied.

In Tabel 15 is een overzicht gegeven van de vogelsoorten die de 1% norm overschrijden in de verschillende deelgebieden van het IJsselmeergebied (Ontwerp besluit van LNV, Voslamber & van Winden, 1999, Jonkers & Spaans, 1997, Eekhout, 1999 en Bak et al., 1998-I. De volgende meren ontbreken: Zwarte Meer, Nijkerkernauw, Eemmeer en Gooimeer.

Tabel 15. Overzicht van de vogelsoorten die de 1% norm overschrijden in de verschillende deelgebieden van het IJsselmeergebied

| Gebied                                                                  |               | IJssel<br>meer | Marker<br>meer | IJmeer | Zwarte<br>meer | Dronter<br>meer | Ketel<br>meer | Veluwem<br>eer | Wolder<br>wijd | Gooi<br>meer | Eem<br>meer |
|-------------------------------------------------------------------------|---------------|----------------|----------------|--------|----------------|-----------------|---------------|----------------|----------------|--------------|-------------|
| Criteria                                                                |               |                |                |        |                |                 | en Vossemeer  |                | en Nulder nauw |              |             |
| functie(s)<br>gebied                                                    | ruien         | x              | x              |        |                | x               |               |                | x              | x            | x           |
|                                                                         | slapen        | x              | x              | x      |                |                 | x             | x              | x              |              |             |
|                                                                         | rusten        | x              | x              | x      |                | x               | x             | x              |                | x            | x           |
|                                                                         | foerageren    | x              | x              | x      |                | x               | x             | x              | x              | x            | x           |
|                                                                         | doortrekken   | x              | x              | x      |                |                 | x             | x              |                |              |             |
| regelmatig 1%<br>van de<br>biogeo<br>grafische<br>populatie<br>aanwezig | kleine zwaan  | p              |                |        |                | x               |               | x              | x              | x            | x           |
|                                                                         | knobbelzwaan  | p              | x              | x      |                |                 |               |                |                |              |             |
|                                                                         | smient        | p              | x              | x      |                |                 |               |                |                |              | x           |
|                                                                         | krakeend      | p              |                |        | x (o)          |                 |               |                |                | x            |             |
|                                                                         | grauwe gans   | p              |                |        | x              |                 |               |                |                |              |             |
|                                                                         | tafeleend     | b              | x              | x      | x              |                 | x             | x              | x              |              |             |
|                                                                         | kuifeend      | b              | x              | x      | x              |                 | x             |                |                |              |             |
|                                                                         | toppereend    | b              | x              | x      | x              |                 |               |                |                |              |             |
|                                                                         | brilduiker    | b              | x              |        | x              |                 |               |                |                |              |             |
|                                                                         | meerkoet      | b              | x              |        | x (o)          |                 |               | x              |                |              |             |
|                                                                         | Iepelaar      | b              |                |        | x              |                 |               |                |                |              |             |
|                                                                         | fuut          | v              | x              |        |                |                 |               |                |                |              |             |
|                                                                         | aalscholver   | v              | x              | x      |                |                 |               |                |                |              | x           |
|                                                                         | nonnetje      | v              | x              | x      |                |                 |               |                |                |              |             |
|                                                                         | grote zaagbek | v              | x              | x      |                |                 |               |                |                |              |             |
| uit: ontwerp<br>besluit van LNV                                         | zwarte stern  | v              | x              |        |                |                 |               |                |                |              |             |

p = plantenetende watervogel

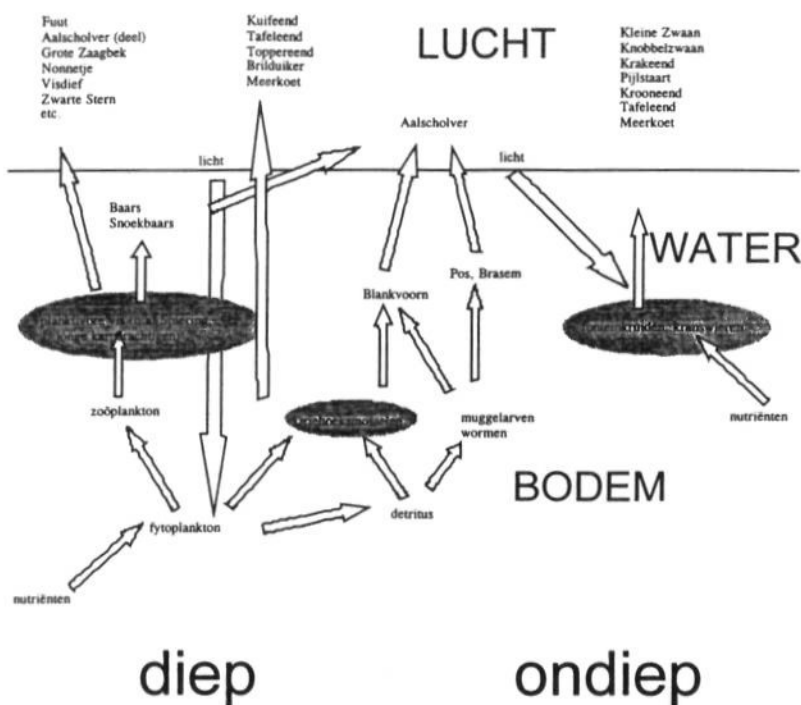
b = bodemfauna etende watervogel

v = visetende watervogel

### 3.7 Voedselweb

Het voedselweb is een geschematiseerde weergave van de belangrijkste voedselstromen in het open water van het IJsselmeergebied en de Randmeren in de huidige situatie. Hiermee kan aangegeven worden welke groepen van organismen belangrijk zijn in het ecologisch functioneren van het IJsselmeergebied en de Randmeren. In Figuur 6 is een schema van het voedselweb gegeven.

Figuur 6. Geschematiseerde weergave van de belangrijkste voedselstromen in het open water van het IJsselmeergebied in de huidige situatie (Iedema et al., 1996)



In IJsselmeer en Markermeer wordt fytoplankton vooral geconsumeerd door enerzijds in de waterkolom levende zoöplankton, dat op zijn beurt het stapelvoedsel vormt voor kleine pelagische vis (voornamelijk spiering), en anderzijds op de bodem levende driehoeksmosselen. Spiering en driehoeksmossel vormen in de huidige situatie de belangrijkste basis voor de ecologische draagkracht van het IJsselmeer en Markermeer voor vis en watervogels (van Eerden & Bij de Vaate, 1984, van Eerden & Zijlstra, 1986, Lammens, 1993).

In de Veluwerandmeren is inmiddels ook de primaire productie van waterplanten van wezenlijk belang geworden voor de draagkracht in plaats van fytoplankton. Deze vormen het hoofdvoedsel van grote groepen eenden (o.a. krakeend, pijlstaart, krooneend en tafeleend) en zwanen (o.a. kleine zwaan, knobbelswaan) (Noordhuis et al., 1997, van der Winden et al., 1997). Dit gaat dan vooral op wanneer ze in voldoende biomassa en (voor ondergrondse delen) op exploitatieerbare diepte aanwezig zijn (Beekman et al., 1991).

In de diepere delen van de Veluwerandmeren, in het Zwarte Meer en in het meer eutrofe Gooi- en Eemmeer komt de primaire productie wel weer voornamelijk voor rekening van fytoplankton. De aanwezigheid van bodemfauna-soorten als de driehoeksmossel, muggenlarven en wormen verschillen van elkaar in concentraties. In de Randmeren zijn de concentraties driehoeksmosselen nog niet zo hoog als in het IJsselmeer en Markermeer, hoewel ze in recente jaren wel talrijker zijn geworden. Hierdoor verlopen de grootste voedselstromen via afgestorven fytoplankton, detritus en de andere bodemfauna-soorten als muggenlarven en wormen en via zoöplankton en kleine jonge planktivore vis (Figuur 6) (Platteeuw et al., 1997).

---

## 4. Abiotische effecten ontgroningen in het IJsselmeergebied

.....

### 4.1 Geologie

Door ontgroning wordt het bestaande geologische profiel verstoord. Niet alleen wordt een deel van het aanwezige materiaal verwijderd, afhankelijk van de gebruikte techniek (zie bijlage 7 winmateriaal) 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.

### 4.2 Geohydrologie

*Het effect van zandwinmethodes op de weerstand van de deklaag*

Met behulp van een steekzuiger wordt het zand zoveel mogelijk onder de Holocene deklaag weggezogen. De deklaag stort in en zakt naar een grotere diepte. In het ideale geval wordt de deklaag alleen verticaal verplaatst. In werkelijkheid ontstaat er een ruwer patroon van bergen en dalen en zal de deklaag voor een deel worden meegezogen met het zand waarna het fijne materiaal uit het zand wordt gespoeld en bezinkt.

In het geval van zandwinning met een steekzuiger is het aannemelijk dat de weerstand tegen infiltrerend oppervlaktewater van de deklaag in dit geval kleiner is. De doorlatendheid van de hellende wanden wordt niet verlaagd door bezonken slibdeeltjes, maar door de in het water aanwezige slibdeeltjes die bij inziging van oppervlaktewater in het zandpakket zullen achterblijven op het zandoppervlak en daar een ondoorlatende plak vormen. Deze opeenstapeling van deeltjes gaat vanzelf door de toestroming van water en het verhang dat door de deeltjes wordt opgewekt. Hierdoor blijft die plak stabiel, ongeacht de eventuele taludhelling. Dit zal steeds het sterkst zijn op plaatsen die het meest doorlatend zijn, omdat daar de poriën aan de bovenkant van het zandpakket goed opgevuld kunnen worden door de slibdeeltjes (MINVENW, 1993).

*Kwel*

Tijdens ontgroningen 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 (Hebbink, 1995, Beemster & Hebbink, in voorbereiding). Door het wegnemen van een grote hoeveelheid bodemmateriaal in een keer kan er instabiliteit van de bodem optreden. Kweltoename als gevolg van diepe zandwinning (dieper dan NAP -30 m) is in de IJsselmeerpolders te verwachten. De grootte van deze effecten zal sterk afhankelijk zijn van de locatie en de diepte (expert judgement Claessen, 1998).

Begin jaren 90 is er voor de MER Zand boven Water een grondwaterstudie gedaan naar de geohydrologische effecten van zandwinscenario's: zowel ondiepe winning als winning tot NAP -30 m werden toen onderzocht voor het IJsselmeer, Markermeer en de Randmeren. Dat is gebeurd middels sterk vereenvoudigde analytische radiaal symmetrische berekeningen (Reitsma, 1993). Uitslag van deze studie was dat in het IJsselmeer en Markermeer

---

ondiepe winning over zeer grote oppervlakten (ruim 3000 ha) effecten zal hebben op de kwel naar de omliggende poldergebieden. Uit deze berekeningen voor het IJsselmeer blijkt dat de kweltoename in de Noordoostpolder kan variëren van minder dan 0,05 mm/dag tot maximaal 0,25 mm/dag (bij een stijghoogte verhoging van ongeveer 0,40 m en een zandwinning voor Urk). De gemiddelde kwel in de Noordoostpolder bedraagt ongeveer 1,5 mm/dag. Hierbij dient opgemerkt te worden dat de kwel in de noordwesthoek van de Noordoostpolder in de huidige situatie plaatselijk meer dan 5 mm/dag bedraagt. Bij winning nabij Medemblik of Enkhuizen is een maximale toename van de kwel in Noord-Holland berekend van minder dan 0,15 mm/dag (Reitsma, 1993).

Bij winning in het Markermeer is een maximale kweltoename berekend voor Noord-Holland van minder dan 0,10 mm/dag op een huidige kwel van 1,5 mm/dag. Voor de Randmeren (Veluwemeer, Wolderwijd en Gooimeer) is een maximale kweltoename te verwachten van 0,1 mm/dag (Reitsma, 1993).

Door TAUW (1998) zijn een aantal berekeningen met NAGROM uitgevoerd van het effect van verdieping in de vaargeul Lelystad-Lemmer. Op basis van die berekeningen kan worden geconcludeerd dat de toename in kwel in de Noordoostpolder (direct achter de dijk) varieert van minder dan 0,03 tot maximaal 0,10 mm/dag.

In 1993 is een onderzoek uitgevoerd naar de effecten van ontgroningen in het IJsselmeer tussen de Rotterdamse en de Friese Hoek. Bij de winning van zand is de Holocene deklaag niet verwijderd. Hierbij zijn de stijghoogten van het grondwater in het watervoerende pakket gemeten ter plaatse van de ontgronding en op een tweetal kavels direct achter de dijk. Uit deze studie is niet af te leiden dat als gevolg van de verdieping de stijghoogte (en daarmee de kwel) in het aangrenzende deel van de Noordoostpolder is gestegen. Hierbij dient wel opgemerkt te worden dat de nulsituatie niet bekend was, omdat pas begonnen is met de metingen toen er al zand werd gewonnen (Beemster & Hebbink, 1994).

Bij de aanleg van het speciedepot IJsseloog in het Ketelmeer is in een put met een diameter van circa 1 km tot op een diepte van circa NAP -40 m zand gewonnen. De Holocene deklaag ter plaatse van het depot is volledig verwijderd. Tevens is het totale volume aan zand in vrij korte tijd gewonnen. Met behulp van het model MODFLOW zijn een aantal berekeningen uitgevoerd naar de effecten van de aanleg van het speciedepot. Uit de berekeningen blijkt dat net achter de dijk een verhoging van de stijghoogte met circa 1 m plaatsvindt en de kwel toeneemt met zo'n 0,50 à 0,70 mm/dag (Hebbink, 1995). De met het model berekende veranderingen in stijghoogte zijn in het veld ook waargenomen (Beemster & Hebbink, in voorbereiding). Door DLV is in 1997 en 1998 een onderzoek gedaan naar de gevolgen van een verhoogde grondwaterstand in de Noordoostpolder als gevolg van de aanleg van het speciedepot IJsseloog (DLV, 1999). Uit dit onderzoek bleek dat alleen in de gebieden waar de verhoging van de stijghoogte groter was dan 40 cm plaatselijk negatieve effecten (vernatting, achteruitgang van de bodemstructuur en opbrengstverliezen) zijn geconstateerd.

Wanneer zand gewonnen wordt in het Veluwemeer heeft dit een kweltoename van < 0,05 mm/dag op het vasteland ten gevolge (Blonk, 1999).

#### *Kwel-grootte/afstand*

Voor de ontgroningen in het IJsselmeergebied zijn de effecten op de kwel berekend door Reitsma, (1993). Uitgangspunt voor deze berekening was dat

---

de totale hoeveelheid zand ineens wordt verwijderd, in plaats van gespreid over een periode van tien jaar. De invloed van de kwel is afhankelijk van de afstand tussen zandwinlocatie en polder. De kwel in de Noordoostpolder neemt bijvoorbeeld toe met 0,14 mm/dag in het geval er bij Urk 1000 ha tot een diepte van NAP -8 m wordt ontgrond (Reitsma, 1993). Wordt dezelfde 1000 ha ontgrond in het Markermeer dan heeft dat voor de Noordoostpolder geen effect. Een vergroting van de ontgroning heeft dienovereenkomstig een vergroting van de kwel tot gevolg. Bij een oppervlakte van 3000 ha tot een diepte van 8 m in de buurt van Urk neemt de kwel naar de Noordoostpolder toe met 0,25 mm/dag in plaats van 0,14 mm/dag. De relatie tussen oppervlakte en kwel is niet rechtevenredig: het drievoudige oppervlak leidt nog niet tot een verdrievoudiging van de toename. Het tijdelijke effect kan echter groter zijn. Als voorbeeld het Ketelmeer. Ervaring bij het slibdepot IJsseloog leert dat wanneer een ontgroning in één keer plaats vindt de stijghoogte kan stijgen met circa 0,80 m bij de rand van de Noordoostpolder (Beemster & Hebbink, in voorbereiding). Op basis van deze 'worst case' benadering kan geconcludeerd worden dat ontgronden in de andere meren nergens leidt tot kwelverhogingen van meer dan 0,1 mm/dag, gemiddeld over de polder, ook niet in het meest ongunstige geval waarbij de ontgroning op relatief korte afstand van de polder plaatsvindt (MINVENW, 1993).

Voor de vaargeul Amsterdam - Lelystad - Lemmer zijn de veranderingen in de grondwaterstroming berekend als gevolg van verdieping in de vaargeul. Hierbij varieert de afstand van de vaargeul tot de dijk tussen de 1200 en 4000 m. Tijdens de winning kan de stijghoogte van het grondwater direct achter de dijk, afhankelijk van de afstand tussen de vaargeul en de dijk, toenemen met zo'n 0,15 à 0,50 m. De grondwaterstand neemt met 1 tot 5 cm toe (MINVENW, 1993).

Door de relatief lage weerstandswaarden van de bodem van de Randmeren zullen ontgravingen een beperkte invloed hebben op de grondwaterbeweging en de grondwaterstanden op het oude land. De reden hiervoor is dat reeds in de huidige toestand het grondwater sterk in contact staat met het oppervlaktewater in de Randmeren. Dit contact treedt vooral op in de eerste tientallen meters langs de randen van de meren. Alleen ingrepen in deze randzone zullen een (vrij lokaal) effect hebben op het grondwater. Als veilige breedte kan voor deze zone 150 meter worden aangenomen voor het hele Randmeer gebied. Daarbuiten zullen ingrepen op de waterbodem nauwelijks hydrologische effecten hebben (Hebbink & de Lange, 1998).

In aansluiting op de uit de literatuur gehaalde informatie is door Blonk (1999) in opdracht van Directie IJsselmeergebied een aantal berekeningen met NAGROM uitgevoerd naar het effect van diverse zandwinningen in het IJsselmeergebied. Hierbij werd de 'worst-case' benadering gevolgd, waarbij aangenomen is dat het ontgronde oppervlak in een keer verwijderd werd om zo de grootst mogelijke lekverandering te kunnen berekenen. Op basis van die berekeningen kan worden geconcludeerd dat de grootste effecten optreden bij de diepe zandwinningen in het Markermeer en het IJsselmeer. De grootste effecten zijn te verwachten bij een 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 (Blonk, 1999).

---

De effecten bij de ondiepe zandwinningen in het Veluwemeer en het Gooimeer beperken zich voornamelijk tot een klein gebied rond de zandwinput bestaande uit oppervlaktewater. De effecten op het vaste land zijn bij deze laatste winningen zeer gering tot verwaarloosbaar. Dit geldt tevens voor verdiepingen in de vaargeulen waar aanvullende berekeningen voor zijn gedaan (Blonk, 1999).

#### *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 (Figuur 9). 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, vind 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 korreelpakket 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 (MINVENW, 1993).

#### *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 (Geohydrologische Atlas IJsselmeergebied, 1991) in contact kan komen met het zoete oppervlaktewater. Als gevolg hiervan kan het chloridegehalte in het IJsselmeer of het Markermeer stijgen (nadelig voor de drinkwaterwinning en voor de flora en fauna in het gebied).

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 (dieper dan NAP - 0,4 m) overal veel hoger is dan de stijghoogte in de watervoerende pakketten, ook t.o.v. de diepere aquifers (dieper dan NAP - 2,0 m). Overal zal dus sprake zijn van infiltratie van meerwater naar de ondergrond.

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%.

### **4.3 Grondwaterkwaliteit**

#### IJsselmeer en Markermeer

Vanuit het IJsselmeergebied vindt er een grondwaterstroming plaats richting het omringende land. De omvang van de kwelstroom is mede bepalend voor onder andere de vegetatie (zoute kwel).

Op grond van de soortverspreidingsgegevens blijken er langs de kust van het IJsselmeergebied slechts in beperkte mate kwelafhankelijke vegetaties voor te komen die mogelijk zouden kunnen worden beïnvloed door kwelveranderingen. Dit wordt waarschijnlijk veroorzaakt door de aanwezigheid van een relatief voedselrijk substraat, hoge fosfaatgehalten en

---

relatief hoge chloridegehaltes: het chloridegehalte is vaak te hoog voor het ontstaan van soortenrijke zoetwatervegetaties, maar te laag voor het voorkomen van specifieke brakwatersoorten (Knol & Runhaar, 1998). 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 zandwinput zal hierdoor het grondwater enigszins verzoeten.

#### **Randmeren**

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 grondwater terechtkomen. Diepere ontgrondingen dan tot NAP -2 m zijn daarom momenteel bij Bremerberg niet toegestaan (MINVENW, 1993).

### **4.4 Waterbodem**

#### **4.4.1 Geomorfologie**

Op de plaats van de ontgrondingen verdwijnt de natuurlijke opeenvolging van bodemlagen. De meerbodembodem 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. Volgens Witteveen & Bos (1994) leiden aangebrachte verdiepingen met een flauwhellend talud tot een diepte van NAP -10 tot -15 m waarschijnlijk tot een herstel van het bentische systeem.

In genoemd rapport wordt aanbevolen om nader te onderzoeken of door een goede locatiekeuze en specifieke afwerking van de taluds kan worden bijgedragen aan de slibbeheersing op systeemniveau. Hierbij kan worden gedacht aan diepe troggen gecombineerd met flauwhellende taluds. Onderzoek naar de interne slibproductie in het Markermeer is daarnaast noodzakelijk om inzicht te krijgen in de duurzaamheid van de oplossingen (van de Ven, 1994).

In het onderzoek naar de invloed van de grootte van de taludhelling van diepe putten op stratificatie door Claessen (1987) is gebleken dat hoewel er verschillen zijn geconstateerd - met name nabij de bodems - tussen putten met een talud 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.

De optimale vorm van een put bestaat uit zoveel mogelijk randlengte om op dat bodemoppervlak dan microhabitats te kunnen creëren (expert judgement van den Berg 1998). Een cirkelvormige put (grootste oppervlak bij kleinste omtrek) is dan de minst gunstige putvorm. Dit in tegenstelling tot de langwerpige (rechthoekige) putvormen die gunstiger zijn (expert judgement Van Hoorn, 1999).

#### **4.4.2 Bodemafzettingen in ondiepe meren**

Bij het winnen van zand zijn de Holocene klei- en veenlagen, de afdekkende laag, niet gewild. Deze kunnen worden verwijderd (bijvoorbeeld bij het baggeren) of blijven liggen bij de methode van het onderzuigen. Een andere

---

manier is dat deze eerst wordt verwijderd en later weer teruggestort of dat de toplaag in het vorige gat wordt gestort, dit laatste heet omputten. Alle methoden verstoren de oorspronkelijke afzettingen en resulteren in een verandering van de bodemsamenstelling (MINVENW, 1991).

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.

#### **4.4.3 Waterbodemkwaliteit**

##### IJsselmeer

Door zandwinning in het IJsselmeer vindt een verplaatsing van de dunne sliblaag plaats naar de put, waardoor (plaatselijk) een verschoning van de waterbodem wordt verkregen.

##### Markermeer

Door zandwinning in het Markermeer komt de dikke sliblaag anders te liggen, de dikte ter plaatse van de put neemt af en 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 (MINVENW, 1993).

##### Randmeren

Sanering van de ernstig verontreinigde delen van het Ketelmeer vindt plaats tot een diepte van NAP -5 m.

#### **4.5 Oppervlaktewaterkwantiteit**

##### **4.5.1 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. Door Blom (1991) is voor het Markermeer 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.

Na diepe zandwinning zal de bovenliggende slib en kleilaag met het opzuigen van het zand inzakken. Er vindt dus een verdieping van het huidige bodemoppervlak plaats en met name de taluds zullen inzakken. Lokaal zal ook zand gemorst worden en zal de oorspronkelijke laagsgewijze opbouw verstoord raken door het zandzuigen.

Daar waar diepe zandwinning plaatsvond zal de sedimentatie aanvankelijk hoog zijn. Afhankelijk van de ligging van de zandwinplek zal de sedimentatie versneld blijven of langzamer gaan verlopen met de tijd. 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.

#### 4.5.1.1 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. Van enkele putten zijn in Tabel 16. de sedimentatiesnelheden gegeven. Na het graven van een put zal een put zich eerst gaan zetten, waarbij de wanden inzakken tot de stabiele helling is bereikt. De sedimentatiesnelheid is eerst hoog en in de loop van de tijd, na enkele jaren, lager.

De helling is voor slib maar minimaal, omdat dit materiaal heel veel water bevat (min. 70%). Hierdoor is de opslibsnelheid in het begin ook een stuk hoger dan bij zand. De helling voor zandputten kan 1:3 worden, voor slib is dit eerder 1:10.

De jaarlijkse sedimentatie bedraagt voor de keileemput bij Gaast gemiddeld 15 cm en voor de zuigerput gemiddeld 1,4 m. De geringere waarde bij Gaast is te verklaren uit de zandige bodem van het noordelijke deel van het IJsselmeer in samenhang met het verschijnsel dat het water daar bepaald minder slibrijk is dan in de zuidelijke kom. Het hogere slibgehalte van de bodem in de zuidelijke kom moet de voornaamste oorzaak zijn van het snelle volslibben van de zuigerput. De sedimentatie van de zuigerput was over de eerste drie jaar gemiddeld 2,1 m, wat vooral veroorzaakt zal zijn door het sediment wat vanaf de wanden naar de bodem loopt. In de daaropvolgende drie jaar is de sedimentatiesnelheid gezakt naar een gemiddelde van 0,7 m per jaar (Ente et al., 1982).

Tabel 16. Overzicht van enkele sedimentatiesnelheden in putten (verschillende rapporten)

| Rapport                                 | Put(ten)                                         | Sedimentatiesnelheid (gem. cm/jaar) | Sedimentatiesnelheid in eerste jaren             |
|-----------------------------------------|--------------------------------------------------|-------------------------------------|--------------------------------------------------|
| van de Ven 1994                         | put in Markermeer                                | 2-20                                |                                                  |
| Winkels 1997                            | putten en geulen in IJsselmeer                   | 2-4                                 |                                                  |
| Vink & Winkels 1991                     | vaargeul IJsselmeer                              | 8,2                                 | 40                                               |
|                                         | zuigput in IJsselmeer langs dijk Noordoostpolder | 2 (12,6 in tussenliggende periode)  |                                                  |
| Werkdocument "Zuigerputten Markerwaard" | Keileemwinplaats nabij Gaast                     | 15                                  |                                                  |
|                                         | zuigerput in Markermeer                          | 140                                 | 210 in eerste drie jaar (in drie jaar daarna 70) |

Opvulsnelheid door bezinking van slib (cm/jaar) (expert judgement Blom 1999):

|                  |       |
|------------------|-------|
| Markermeer-oost  | 10-20 |
| Markermeer-west  | 5-10  |
| IJsselmeer-zuid  | 5-10  |
| IJsselmeer-noord | 2- 5  |

In het rapport van Vink en Winkels (1991) worden sedimentatiesnelheden berekend in de vaargeul in het IJsselmeer op basis van waarnemingen en lodingen. De snelheid was 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 Westermeedijk ten noorden van Urk, kent een sedimentatiesnelheid die op het eind overeenkomt met de vaargeul (2,1 cm/jaar in de geul tegen 2,0 cm/jaar in de zuigput), maar in de tussenliggende periode kende de zuigput een hogere sedimentatiesnelheid dan de vaargeul (8,2 cm/jaar, tegen 12,6 cm/jaar in de zuigput).

Door van de Ven (1994) zijn voor het Markermeer accumulatiefluxen berekend van circa 10 tot circa 60 kg.m<sup>2</sup>/jaar. Dat komt neer op sedimentatiesnelheden van enkele centimeters tot maximaal enkele decimeters per jaar.

#### 4.5.1.2 Lichtklimaat

Als gevolg van de slibvang zal het lichtklimaat verbeteren. Dit zal een uitwerking hebben tot 2 à 3 km buiten de put. Hiervan kunnen verschillende organismen profiteren, maar voor bodemfauna dat aan hard substraat de voorkeur geeft zal habitat verdwijnen. Deze zal zich mogelijk op het talud kunnen vestigen, mits zich hier een hard substraat kan ontwikkelen. Op een slappe bodem kan ze bedekt worden met slib en verstikken. In slibrijk substraat worden de meeste hoofdgroepen als mosselkreeftjes en muggenlarven minder talrijk aangetroffen dan in zand, maar dit wordt gedeeltelijk gecompenseerd door hoge dichtheden van wormen (Oligochaeten) (Noordhuis, 1997).

Van Duin (1992) heeft model-onderzoek gedaan naar de effecten van diepe putten op de zwevende stofgehalten. 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. De verschillen tussen de reductiepercentages hangen samen met de locatie van de gesimuleerde putten. De grootste effecten treden op locaties met een grote *strijklengte*. Wanneer de wind over een groot aaneengesloten wateroppervlak kan strijken, treedt er meer opwerveling op en ontstaat er meer dynamiek. Hierdoor is bijvoorbeeld de kans op het doorbreken van stratificatie groter.

De studie laat ook zien dat er een zekere uitstraling van het lokale effect van putten is. 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. Slib draagt bij aan de uitdoving van licht onder water. In het Markermeer is circa 40% van de vermindering van de zichtdiepte toe te schrijven aan slib. In het IJsselmeer is dat circa 25%. De aanleg van diepe putten kan derhalve een bijdrage aan de verbetering van het lokale lichtklimaat geven (Tabel 17). In het meest gunstige geval is deze verbetering circa 20%. Een reductie van het slibgehalte met 20-30% op 2 tot 3 kilometer afstand van de put betekent een verbetering van het lichtklimaat met 8-13% (expert judgement Blom, 1999).

Tabel 17. Verbetering lichtklimaat a.g.v. diepe putten in het IJsselmeer en Markermeer (Blom, 1999).

| Aspect                 | onderzuigen | dagbouw | onderzuigen | dagbouw | onderzuigen | dagbouw |
|------------------------|-------------|---------|-------------|---------|-------------|---------|
| Diepte put             | 30          | 30      | 70          | 70      | 150         | 150     |
| Oppervlakte (ha)       | 800         | 1000    | 275         | 500     | 60          | 200     |
| % Slibreductie         | 20-40       | 20-40   | 5-10        | 10-20   | Nihil       | 5-10    |
| % Lichtverbetering Mm  | 10-20       | 10-20   | 2-5         | 5-10    | Nihil       | 2-5     |
| % Lichtverbetering IJm | 5-10        | 5-10    | Nihil       | 2-5     | Nihil       | Nihil   |

*Bij dagbouw blijft de bovenste slappe laag niet liggen, maar wordt ook afgegraven. Bij onderbouw blijft de slappe laag liggen en steekt de zuigpijp door de slappe laag tot in het zand.*

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, mits de putvorm ook meegenomen wordt bij het bepalen van de strijklengte. Binnen het Markermeer is de aanslibbing die op zal treden in het oostelijk deel groter dan in het zuidwestelijk deel (IJmeer), aangezien in het oostelijk deel grotere strijklengtes voorkomen met de heersende zuidwesten- tot westenwinden in Nederland. In het IJsselmeer is de aanslibbing die te verwachten is in het zuidelijk deel groter dan die in het noordelijk deel. De lokale effecten op de slibgehalten in de waterfase zijn het grootst op plaatsen met een grote strijklengte, met name die waar ondanks de strijklengte nog slib op de bodem aanwezig is.

Bij diepe putten zullen er bovendien zuurstofloze perioden optreden, waardoor ze eveneens zal afsterven. Dit geldt ook voor groenalgen en kiezelalgen, die niet blijven drijven wanneer er een stabiele waterkolom ontstaat. Voor blauwalgen kan een put juist concurrentie voordeel opleveren. Wanneer er verticale stratificatie en dus een stabiele waterkolom ontstaat, kunnen zij door hun gasvacuolen blijven drijven. Hierdoor kunnen ze optimaal gebruik maken van het licht en nutriënten. Door het invangen van algen, detritus en slib verbetert het doorzicht en dit vergroot de kansen voor zoöplankton, als watervlooien en raderdiertjes. Vissen kunnen dan profiteren van de toename aan zoöplankton. Het talud speelt daarbij een belangrijke rol, aangezien zich daar een nieuw evenwicht kan inzetten, wanneer het substraat gunstig en vast genoeg is. Daar is dan voedsel aanwezig voor vissen, die dan vervolgens als prooi kunnen dienen voor piscivore watervogels. Wel is het zo dat dit maar een tijdelijk effect heeft, aangezien zo'n put weer dicht geslibd is na verloop van tijd (expert judgement Blom, 1998).

Wanneer het talud op niet meer dan 4 à 5 m is opgeleverd dan bestaat wellicht de kans dat waterplanten zich kunnen vestigen. Deze zouden dan de algenbloei kunnen tegenhouden, omdat beide groepen organismen nutriënten als stikstof en fosfaat nodig hebben. De groei van waterplanten langs de kust van het IJmeer is mogelijk een reden dat er in en rond de IJmeerput geen algenbloei wordt geconstateerd, terwijl de omstandigheden gunstig zijn voor blauwalgen (expert judgement Ibelings, 1999).

#### 4.5.2 Stratificatie

De diepte van de spronglaag en daarmee de verhouding tussen het volume van het epilimnion en hypolimnion wordt onder andere bepaald door de verhouding tussen oppervlakte en diepte van de put. Bij een putdiepte van NAP -30 tot -40 m kunnen langdurige perioden met gelaagdheid voorkomen (3-4 maanden). Bij ronde putten zal dit eerder voorkomen dan bij langgerekte putten. Dit heeft te maken met de verschillen in verblijftijd tussen ronde en langgerekte putten. Langgerekte putten die geëxposeerd liggen ten opzichte van de overheersende windrichting kennen een korte verblijftijd van het water in de put. Hierdoor zal er minder kans zijn op langdurige stratificatie, aangezien er geen temperatuurgelaagdheid kan optreden (Haskoning, 1990, Ente et al., 1982 en MINVENW, 1990).

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. Verbruik van zuurstof is het gevolg van microbiele activiteit in het hypolimnion. Zuurstofloosheid ontstaat slechts in een hypolimnion dat een relatief hoge belasting met organisch materiaal ontvangt. Een hoge organische belasting wordt veroorzaakt door eutrofiëring die leidt tot een toename van de algenbiomassa in het epilimnion. Via sedimentatie van (afgestorven) algen wordt het hypolimnion belast met organisch materiaal (Waterwinningbedrijf Brabantse Biesbosch, 1996).

---

In het verleden is vaak de vrees geuit dat bij de herfst-omkering van een diepe plas met een anaëroob hypolimnion het zuurstofverzadigingspercentage 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. Door Haskoning (1996) werd voor alle diepe plassen in Noord en Zuid Holland nagegaan in hoeverre vissterfte optrad als gevolg van herfst-circulatie. Vissterfte werd slechts eenmalig geconstateerd in een zeer beschutte plas met een kleine strijklengte. In grotere, geëxponeerde systemen wordt, voorafgaand aan de omkering, de ligging van de spronglaag verlegd naar grotere diepte a.g.v. een krachtige windmenging (Waterwinningbedrijf Brabantse Biesbosch, 1996).

Een anaëroob hypolimnion leidt ook anderszins tot een verslechtering van de waterkwaliteit. Door reductie van chemische verbindingen en microbiele omzettingen kunnen (toxische) stoffen als zwavelstof ( $H_2S$ ), ammoniak en ammonium ( $NH_4$ ) ontstaan. Het ammonium-stikstof-gehalte van het hypolimnion kan toenemen met 2 - 6 mg N- $NH_4$ /liter. De extra belasting met ammonium van een meer bedraagt in dat geval 0,03 - 3,8 gram per  $m^2$  meeroppervlak per jaar. Een anaëroob hypolimnion leidt tevens tot een verhoogde fosfaat afgifte 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 een lichte versterking van de eutrofiëring veroorzaakt (Waterwinningbedrijf Brabantse Biesbosch, 1996).

In het algemeen wordt de mening aangehangen dat een relatief klein hypolimnion gunstig is voor het ecosysteem, omdat het volume water met een slechte waterkwaliteit gering is. Volgens Oskam (1988) is dat onjuist. De aërobe mineralisatie-capaciteit van een hypolimnion met een groot volume is zowel absoluut, als relatief gezien veel groter, waardoor anaërobie minder snel zal optreden. Het streven naar een zo klein mogelijk hypolimnion is dus niet altijd de juiste strategie, omdat anaërobie van een groot hypolimnion wellicht voorkomen kan worden.

#### 4.5.3 Verblijftijden

De verblijftijd van water in een meer 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 en het oppervlak en met de relatieve afname van de aanvoer (Breukers, 1997). De karakteristieke verblijftijden zijn reeds gegeven in Tabel 5 (Buiteveld, 1997).

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 (Platteeuw *et al.*, 1997).

#### IJsselmeer en Markermeer

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.

### Randmeren

De verandering in verblijftijden door zandwinning in de Randmeren is matig tot gering, afhankelijk van de omvang van de zandwinning. De in de Richtlijnen voor het MER (Ontgrondingenbeleid IJsselmeergebied periode 2001-2010) voorziene zandwin-activiteiten kunnen slechts tot een zeer beperkte verandering van verblijftijden aanleiding geven en dit kan niet tot substantiële verandering van de waterkwaliteit leiden (expert judgement van der Molen & Platteeuw, 1998).

Bovenstaande geldt alleen voor ondiepe winning met een gering oppervlak. Als er over een groot oppervlak zand gewonnen gaat worden met behoorlijke diepte, dan kan de verblijftijd toenemen (expert judgement Hebbink, 1999).

Uit Tabel 5 is af te lezen dat de invloed op de verblijftijd van een diepe zandwinning het sterkst zal zijn in de ondiepe Randmeren. Bij wijze van voorbeeld is dit uitgerekend voor het Veluwemeer/Drontermeer: De gemiddelde diepte is 1,2 m en de oppervlak is 3700 ha. Uitgaande van een zandwinning van 100 ha en 10 m diepte leidt dit tot een volumevergroting van circa 25% en derhalve tot een toename van de verblijftijd met zo'n 25%).

## **4.6 Oppervlaktewaterkwaliteit**

### **4.6.1 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. Het chloridegehalte van het grondwater in het winbare zandpakket vertoont grote variaties; van 100 tot 5000 mg Cl<sup>-</sup>/l (Ente et al., 1982) (Geohydrologische Atlas IJsselmeergebied, 1991). De vraag kan gesteld worden of winning van zand met poriënwater dat een hoog chloridegehalte heeft ook het chloridegehalte van het oppervlaktewater merkbaar zal beïnvloeden.

### IJsselmeer

Bij zandwinning in het IJsselmeer komt brak poriënwater vrij. De berekeningen voor het MER bij Zand boven Water I gaven een zeer geringe concentratie toename na winning. Er zijn dus geen nadelige effecten te verwachten op het aquatisch milieu of oppervlaktewater (MINVENW, 1993). Of de daadwerkelijke effecten door zandwinning ook gemeten zijn, is niet bekend. Slechts indien de zandwinning nabij bijvoorbeeld een waterinlaat is gesitueerd zal de zoutbelasting nader bekeken moeten worden (Ente et al., 1982).

Voor de drinkwaterinlaat bij Andijk kan de winning van zand effect hebben wanneer het chloridegehalte van het oppervlaktewater bij het inlaatpunt verandert. Door zandwinning kan het brakke poriënwater in contact komen met het zoete oppervlaktewater. Als gevolg hiervan kan het chloridegehalte in de directe omgeving enigszins stijgen. Daar er geen zandwinning plaats zal vinden in de nabijheid van het inlaatpunt is de drinkwaterinlaat niet in gevaar. Het chloridegehalte in de ondergrond tot NAP -50 m varieert in het IJsselmeer van 500 mg/l bij het Ketelmeer en onder de vaargeul Lemmer-Lelystad tot 4500 mg/l onder de vaargeul Urk-Kornwerderzand. Uitgaande van een winning van 5 miljoen m<sup>3</sup> per jaar en een gemiddeld chloridegehalte van het poriënwater van 2500 mg/l kan berekend worden dat er jaarlijks in totaal 5 miljoen kg zout in het IJsselmeer komt. De jaarlijkse afvoer van het IJsselmeer bedraagt op dit moment circa 21 miljard m<sup>3</sup> (Buiteveld, 1997). Dit geeft een concentratieverandering van 0,2 mg/l. Hierbij dient opgemerkt te

---

worden dat bij de berekening van een perfect gemengd systeem is uitgegaan. Op de plaats van de zandwinning kan de concentratie toename groter zijn.

#### Markermeer

De invloed van een verhoging van het chloridegehalte bij zandwinning in het Markermeer is al berekend in begin tachtiger jaren door Ente et al., 1982. Daarbij werd uitgegaan van een variabel chloridegehalte in het winbare zandpakket van 100 tot 5000 mg Cl/l. Bij een weekproduktie van 100.000 m<sup>3</sup> zand, gedurende een jaar, betekent dit een totale geschatte zoutlast van maximaal circa 10 miljoen kg Cl<sup>-</sup>. In het Markermeer zou dat een toename van de totale zoutlast met gemiddeld circa 2% betekenen. Het chloridegehalte kan plaatselijk meer toenemen als gevolg van een ongelijkmatige verdeling over het meer. Daar dit tijdelijke belastingen zijn en het rekenvoorbeeld van een extreme situatie uitgaat, kan dit effect op het oppervlaktewater nagenoeg overal buiten beschouwing worden gelaten (Ente et al., 1982).

#### **4.6.2 Eutrofiëring**

Over veranderingen in het nutriëntengehalte als gevolg van zandwinning is moeilijk een uitspraak te geven, omdat het zowel toe als af kan nemen. Een toename van nutriënten kan vóórkomen doordat er fosfaataflevering 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 stroomkwaliteit en windsnelheden is resuspensie vanaf 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 fosfaataflevering meer plaats (Blom, 1989, Ibelings, 1990).

Volgens Vermij et al., (1992) zal een verdieping in het Markermeer leiden tot lagere fosfaatconcentraties. Dit komt doordat de toegenomen sedimentatie van fosfor in een verdieping groter is dan de extra hoeveelheid fosfaat die door de bodem in een put wordt nageleverd. Hierbij zijn de tijdelijke effecten van het graven van een verdieping door het vrijkomen van fosfor van omgewoeld sediment buiten beschouwing gelaten.

#### **4.6.3 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 (expert judgement Vink, 1998). Het is dus noodzaak om te weten of je op vervuild gebied zit, omdat dan de afwerking strikter zal moeten gebeuren.

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. Bij het winnen van zand in diepe putten zal het vooral dus om lokale effecten gaan die voornamelijk tijdens de winning plaatsvinden door de opwerveling. In het Markermeer speelt dit meer dan in het IJsselmeer door hogere slibconcentraties.

---

#### 4.7 Veiligheid

##### *Toename golfhoogte*

In verband met de golfbeweging voor de dijken is het ongewenst dat een zandwininput tot vlak bij de dijken wordt uitgevoerd. Voor de veiligheid van een dijk zijn onder meer bepalend de waterstanden, de golfhoogte en de golfploop, welke vóór, respectievelijk, op het betreffende dijkvak kunnen optreden. De waterstand vóór een dijkvak wordt bepaald door de maatgevende gemiddelde waterstand van het meerpeil en de mate van op- en afwaaiing. Verdieping van de bodem zal de hoeveelheid op- en afwaaiing verkleinen. De mate waarin dit geschiedt is afhankelijk van de vormgeving van de bovenverdieping en de windrichting. Wanneer de bodemverdieping langgerekt en smal is, zoals bij een vaargeul, is de verandering in op- en afwaaiing in de dwarsrichting te verwaarlozen. In de lengterichting is het effect groter. De golven (hoogte, periode) nemen aanzienlijk toe, wanneer de diepte over een grote breedte en over enkele kilometers lengte (in de windrichting) wordt vergroot, omdat in dat geval de golven verder kunnen groeien voordat ze weer gaan breken bij de grotere diepte.

Met de golfhoogte neemt ook de golfploop toe; deze kan, afhankelijk van de taludhelling van de dijk, een grootte van 1,5 tot 3 maal de significante golfhoogte bereiken. Door ontgrondingen zullen de golfafmetingen nabij de dijk toenemen, ook wanneer tussen het zandwingebied en de kust een strook onaangeroerd blijft. De afmetingen van een Randmeer zijn namelijk zodanig dat ook zonder ontgronding de golfgroei door de wind niet in evenwicht is met de *golfdamping door de bodemweerstand*. Door de *ongeroderde strook* naast de ontgronding in het meer zal de golfhoogte niet kunnen worden teruggebracht tot de grootte van voor de ontgronding. Arbitrair is gesteld voor de bestaande dijken van de Noordoostpolder en Flevoland dat de toename van de golfhoogte vlak voor de dijk niet meer dan 10% mag zijn (Ente et al., 1982). De breedte van de niet ontgronde strook moet daarop worden afgestemd. Voor de Randmeren zal de zandwinning circa 800 - 1500 m vanaf de dijk gelokaliseerd moeten zijn om aan de hierboven genoemde norm te voldoen (ZZW, 1977).

---

## 5. Biotische effecten ontgroningen in het IJsselmeergebied

---

### 5.1 Fytoplankton

Bij een zeer ondiep systeem (< 2 m) is de rol van microstratificatie (zie hoofdstuk 2.6.4) te gering om soorten als *Microcystis* een concurrentie voordeel te geven (expert judgement Ibelings, 1999). In diepe zandwinputten, vanaf circa 8 - 10 m, is er als gevolg van de langdurige stratificatie wel een duidelijk competitief voordeel voor blauwalgen. In systemen met een intermediaire diepte, zoals het IJsselmeer, blijkt *Microcystis*, afhankelijk van de mate waarin microstratificatie optreedt, ook voordeel te halen uit het bezit van drijfvermogen. Sommige auteurs stellen zelfs dat de concurrentiekracht van *Microcystis* het grootst is in systemen met een wisselende stabiliteit, zoals dat het geval is in meren van 5-8 m diepte. De conclusie zou kunnen zijn dat de concurrentiepositie van *Microcystis* bij ontgroningen op grote schaal minder versterkt wordt door enkele diepe putten met gering oppervlak dan door uitgebreide winning tot NAP -8 m diepte, omdat in het laatste geval in een veel groter deel van het systeem competitief voordeel wordt behaald uit het bezit van drijfvermogen.

Diepe putten in een meer kunnen fungeren als slibvang. Met de reductie van het slibgehalte stijgt de voor algengroei beschikbare lichtdosis. Zeker in het Markermeer zou dat het geval kunnen zijn. De fluctuatie van licht wordt minder, hetgeen een positief effect zou kunnen hebben op soorten als *Microcystis*, terwijl *Oscillatoria* a.g.v. een afname van de troebelheid juist negatief zou worden beïnvloed.

#### Conclusie

Ontgroningen versterken in beperkte mate de concurrentiepositie van blauwalgen als *Microcystis*, vooral als gevolg van een toename van het stabiele deel van de waterkolom op grotere dieptes. Het effect op *Oscillatoria* is afhankelijk van de invloed van ontgroningen op het lichtklimaat. Gezien het feit dat het maximaal te ontgronden oppervlak minder dan 2% van het meeroppervlak beslaat, zal ook een ontgroning van deze omvang naar verwachting niet resulteren in een toename van de overlast door blauwalgen. De grootste effecten zijn mogelijk te verwachten als gevolg van reductie van het slibgehalte, indien de ontgronde putten dienst doen als slibvang.

### 5.2 Zoöplankton

Het zoöplankton in het IJsselmeergebied is in te delen in drie verschillende groepen: watervlooien (Cladocera), roepootkreeftjes (Copepoda) en raderdiertjes (Rotatoria). Zoöplankton leeft van algen, detritus en bacteriën. Het zoöplankton vormt een belangrijke voedselbron voor jonge en planktivore vis (Noordhuis, 1997).

De invloed van slibgehalte en (lokale) waterbodemverdiepingen op de zoöplanktonproductie in het Markermeer is beschreven door Vermij *et al.*, (1992). Hierbij zijn putten bekeken die niet dieper waren dan 12 m. Verdiepingen verminderen de slibconcentraties ter plaatse, waardoor de zoöplanktonproductie toeneemt. Dit leidt dan tot een verhoogde productie van spiering ter plaatse. Als de spiering in de verdieping blijft, kunnen op zicht vissende watervogels zoals aalscholvers en nonnetjes hiervan profiteren, temeer omdat ook het doorzicht ter plaatse van de verdieping toeneemt. Bij dit laatste effect moet de conclusie echter weer voorzichtig zijn. Door de

---

grotere vangstefficiëntie die bij een hoger doorzicht mogelijk is, is het mogelijk dat de hoeveelheid spiering zodanig afneemt dat de productie ervan ondanks de verhoogde aanvoer van zoöplankton uiteindelijk toch vermindert en er dus slechts tijdelijk een positief effect is (Vermij *et al.*, 1992).

Op grote oppervlakten heeft een verdieping echter negatieve effecten op de productie van zoöplankton. Door vermindering van de slibconcentratie in het Markermeer ontstaat een verhoging van de productie van zoöplankton en een verlaging van de primaire productie (o.a. fytoplankton). Een verlaging van de slibconcentraties leidt tot een hogere graasefficiëntie, waardoor er per tijdseenheid meer algen gegeten worden. Hierdoor wordt de algen concentratie verlaagd en is er minder voeding voor zoöplankton en neemt de concentratie zoöplankton ook weer af (Noordhuis, 1997).

### 5.3 Oever- en waterplanten

Om de effecten in te schatten van zandwinning op de ondergedoken waterplanten in het Gooimeer, Wolderwijd, Veluwemeer en Drontmeer is het empirische waterplantenmodel Macromij gebruikt (van den Berg *et al.*, 1999). Alleen het effect op kranswieren (*Characeae*) is berekend, omdat kranswieren de belangrijkste natuurwaarden herbergen én de belangrijkste waterplanten zijn die voor een grote waterhelderheid zorgen (Zant *et al.*, 1999; van den Berg, 1999; uitgezonderd het Gooimeer waar kranswieren zich nog niet gevestigd hebben). Overigens zullen bij sterke verdieping (> 6m) voor andere soorten vergelijkbare veranderingen als waargenomen bij de kranswieren worden gevonden. Bij ondiepe verdiepingen kunnen grote verschillen ontstaan tussen soorten onderling.

Het effect op waterkwaliteit (helderheid) is ingeschat door de effecten op watervegetatie te vertalen naar effecten op waterhelderheid. Dit is gedaan met het stochastische model dat ontwikkeld is voor de stabiliteitsstudie van de Veluwerandmeren (Meijer *et al.*, 1999).

Het model voorspelt met behulp van berekende kansverdelingen het oppervlak kranswieren. Voor deze opdracht zijn de oppervlaktes berekend voor de hoge bedekkingsklassen (15-50 en 50-100% bedekking), omdat lagere bedekkingen weinig bijdragen aan natuurwaarden en grote waterhelderheid. Vervolgens is uit het oppervlak van bedekkingsklasse 2 en 3 met een regressievergelijking het oppervlak inwendige bedekking berekend. De inwendige bedekking (areaal met 100% bedekking) is een goede maat voor de totale hoeveelheid waterplanten in een gebied.

Het inwendige oppervlak bedekt door kranswieren is per meer berekend. Deze percentages van het meeroppervlak zijn omgerekend naar effect op helderheid met het stochastische model dat voor de stabiliteitsstudie is ontwikkeld (Meijer *et al.*, 1999). De mediale kans op de betreffende waterhelderheid is gehanteerd bij onderlinge vergelijkingen en het aangeven van effecten. Verder wordt in de stabiliteitsstudie 30% inwendige bedekking van kranswieren geadviseerd voor een stabiele waterhelderheid van 1 meter doorzicht.

Het effect van verdiepingen leidt tot een kleiner areaal waarop waterplanten zoals kranswieren kunnen groeien. Juist de kranswieren zijn belangrijk gebleken bij het ecologische herstel van de Veluwerandmeren (van den Berg & Coops 1998; Meijer *et al.*, 1999; van den Berg, 1998). Ze vormen een belangrijk habitat voor macrofauna, hebben bijgedragen aan de terugkeer van de Driehoeksmossel, hebben geleid tot een nieuw habitat voor vissen en hebben spectaculair effect gehad op de watervogelaantallen en soortsaantallen. Bovendien hebben kranswieren een bijzonder sterk positief effect op de waterhelderheid. In deze paragraaf wordt verder alleen ingegaan op de effecten van areaalverkleining van kranswieren op de waterhelderheid.

---

In de stabiliteitsstudie van de Veluwerandmeren is met een stochastisch model aangetoond dat een inwendig bedekt oppervlak van minimaal 30% van het meer nodig is om de gewenste doelstelling van 1 meter doorzicht te bereiken. Het blijkt dat alleen het Veluwemeer hieraan voldoet. Verdiepingen zijn dus vanuit dit oogpunt onwenselijk, omdat ze leiden tot een afname van het inwendig bedekt areaal en de mogelijkheid om de 30% norm te bereiken nadelig beïnvloeden. De berekende afnames in het doorzicht is in dezelfde orde van grootte of voor sommige meren zelfs hoger dan de positieve effecten die voorgestelde maatregelen hebben ter verbetering van de waterkwaliteit, zoals de 4<sup>e</sup> trap RWZI en afleiding Schuitenbeek. Afhankelijk van het scenario en het meer bedraagt de geschatte verbetering door de voorgestelde maatregelen ter verbetering van de waterkwaliteit tussen enkele cm's en maximaal 10 cm (Meijer et al., 1999). De effecten van veranderingen van het inwendig percentage kranswier op chlorofyl-a en fosfaat gehalte zijn kleiner. Door een verkleining van het ondiepe areaal in de meren wordt ook de stabiliteit en de veerkracht van het ecosysteem aangetast. Waterplanten zijn de sleutel in het stabiliseren van helder water in ondiepe meren (Jeppesen, 1998; Scheffer, 1998). Door verkleining van het areaal ondieptes wordt de terugkeer van waterplanten (na bijvoorbeeld lange periode van afwezigheid, zoals in de jaren zeventig) moeilijker (van den Berg, 1998). De veerkracht van het systeem om zich te herstellen is dus kleiner. Ook de weerstand van het ecosysteem tegen veranderingen van waterkwaliteit is lager in diepere delen, doordat waterplanten het meest en met de hoogste kans voorkomen in ondiepe delen (van den Berg et al., 1999; van den Berg & Joosse, 2000).

#### 5.4 Bodemfauna

Zandwinputten in Nederland worden meestal gekenmerkt door een dominantie van muggenlarven en ringwormen. In het epilimnion vindt men sterk zuurstofminnende soorten, bijvoorbeeld vedermuggen. In het hypolimnion leidt een verslechtering van de zuurstofhuishouding tot een overgang naar andere muggenlarfsoorten, vervolgens naar dominantie door oligochaeten en bij volledige anaërobie tot het ontbreken van benthos (Stowa, 1994).

##### IJsselmeer en Markermeer

Voor diepe en ondiepe winningen geldt beide dat het bodemleven ter plaatse sterk wordt verstoord of vernietigd (MINVENW, 1990). In IJsselmeer en Markermeer zijn volgens de in 1991 vastgestelde 'mer' "Zand boven Water" (MINVENW, 1991) door de lage zuurstofconcentraties in diepe putten de levensomstandigheden voor bodemfauna ongunstiger dan buiten de put. Wanneer de verdieping van de waterbodem niet dieper is dan NAP -8 m wordt deze echter niet blijvend aangetast (MINVENW, 1990). Het aantal organismen op een talud tussen NAP -5 en -10 m 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 (MINVENW, 1991). Het bodemleven herstelt zich volgens de Commissie Diepe Putten t.a.v. het Markermeer, IJmeer, IJsselmeer en Gooimeer in het algemeen binnen enkele maanden (MINVENW, 1990). Langduriger is het effect op de fauna door verdieping van de bodem als gevolg van diepe zandwinning. De helling van de zandwinput is daarbij van ondergeschikte betekenis.

Slakken en driehoeksmosselen (belangrijk voedsel voor blankvoorn, kuifeend en toppereend) kwamen in zandwinputten slechts sporadisch en niet tot op de bodem voor. 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 (Bij de Vaate, 1991).

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 (expert judgement Noordhuis, 1998).

#### Randmeren

Volgens Noordhuis, Reeders en Scheffer (1992) wordt het ontbreken van driehoeksmosselen in het Veluwemeer en Drontermeer in de eerste plaats veroorzaakt door het wegvallen van de aanvoer van larven in combinatie met gebrekkige lokale voortplanting ontstaan door fluctuaties van de watertemperatuur. Het blijkt dat door de geringe diepte van de Randmeren (NAP -1 tot -2 m) in vergelijking met het IJsselmeer (NAP -4 tot -6 m) de watertemperatuur in de Randmeren aan grotere fluctuaties onderhevig is dan in het IJsselmeer. Hierdoor zijn de driehoeksmosselen in de Randmeren gedurende het zomerhalfjaar niet in staat hun activiteitsniveau aan te passen, zodat ze voortdurend in een energetisch ongunstige situatie verkeren. Driehoeksmosselen filteren namelijk hun voedsel uit het water. De filtratiesnelheid van een mossel neemt eerst toe als de temperatuur stijgt. Bij een bepaalde temperatuur wordt echter een maximum bereikt, terwijl bij nog hogere temperaturen de filtratiesnelheid weer afneemt. Omdat de kosten van filtratie sneller toenemen dan de filtratiesnelheid zelf, is de energiebalans rond het maximum relatief ongunstig. Wanneer temperatuurwisselingen in het voorjaar voorkomen, in de periode waarin de ontwikkeling van de geslachtscellen plaatsvindt, zal de mossel zich telkens aan de temperatuurverandering moeten aanpassen en zal er minder energie overblijven voor de voortplanting (Noordhuis *et al.*, 1992). Een grotere diepte in de Randmeren zal minder temperatuurfuctuaties ten gevolge hebben en mogelijk een toename van de concentratie driehoeksmosselen bevorderen. Het is echter de vraag of de vermindering van temperatuurfuctuatie optreedt wanneer de verdieping kleinschalig plaatsvindt in de vorm van zandwinputten.

### **5.5 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 ontgrondingen 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 (MINVENW, 1991).

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 productie van de spiering ter plaatse (van de Heul & Cazemier, 1986). 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. Omdat de zoöplanktonproductie per m<sup>2</sup> boven een

---

*zandwinput sterk toeneemt, is het mogelijk dat de hoeveelheid spiering per m<sup>2</sup> toeneemt. Het is mogelijk dat spiering zich tot scholen verdicht en zich op en neer door de waterkolom beweegt om zich te voeden met zoöplankton. Wanneer dit zo is levert dit een voordeel voor visetende watervogels (Haskoning, 1996).*

#### *IJsselmeer en Markermeer*

Als er stratificatie optreedt worden de diepe delen van de putten gemeden door vis. Bij ontgrondingen met een grotere diepte dan NAP -8 m wordt de situatie als nadelig voor de visstand beschouwd. Dit is echter afhankelijk van de vissoort, er zijn vissoorten die wel in diep water kunnen leven, mits er zuurstof aanwezig is door voldoende stroming (Haskoning, 1996, expert judgement Lammens, 1998). Het is mogelijk dat er bij het ontstaan van hele *diepe wateren een nieuw habitat wordt gecreëerd dat vanwege het permanent koele (< 10 °C) water gunstig kan zijn voor salmoniden (forel, beekridder), coregoniden (grote en kleine marene, houting) en kwabaal. Het is echter (ook omdat ze er nu niet zijn) niet waarschijnlijk dat de genoemde soorten in zulke relatief kleine oppervlaktes als van een zandwinput zullen voorkomen. Ook omdat ze nu niet aanwezig zijn. Spiering en brasem zullen in ieder geval niet dit koude water opzoeken (expert judgement Lammens 1998). 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 (Haskoning, 1996). Paaimogelijkheden worden in diepe putten voor de meeste vissoorten niet geboden omdat de temperatuur te laag is en er perioden van zuurstofloosheid kunnen optreden (Lammens, 1999).*

De grootte en locatie van het te verstoren oppervlak en het aantal putten zijn van belang bij de mogelijke invloed op de biologische gemeenschap. Wanneer bijvoorbeeld in het midden van het IJsselmeer of Markermeer één diepe zandwinput wordt gegraven, zijn de effecten kleiner dan wanneer meerdere putten gegraven worden. Het verstoorde oppervlak is dan kleiner en het totale wateroppervlak is vele malen groter. In het Markermeer is het nog van belang op te merken dat er door aanleg van een zandwinput een mogelijke slibvangfunctie gecreëerd kan worden waardoor een beter lichtklimaat kan ontstaan in de naaste omgeving tot maximaal 3 km om de put. Hierdoor is het wellicht mogelijk dat de hoeveelheid zoöplankton, bodemorganismen en mosselen in het Markermeer toe zal nemen. Een slecht lichtklimaat blijkt namelijk na toetsing de beperkende factor te zijn (Lammens & Hosper, 1998; Lammens, 1999). Door een overwogen keuze van de vorm van de put kunnen wellicht nog extra kansen gecreëerd worden op de taluds voor bodemfauna en vis (expert judgement Lammens, 1999).

#### *Randmeren*

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. Hierbij dient vermeld te worden dat grote vissen (> 25 cm) de diepere delen opzoeken om te foerageren, mits ze niet dieper zijn dan 8 m (expert judgement Lammens, 1998). 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 NAP -2 m te winnen aangezien in deze oevergebieden de paaigebieden liggen voor een groot aantal vissoorten als spiering, baars, snoekbaars en blankvoorn (Haskoning, 1996 en expert judgement Buijse, 1998).

## 5.6 Vogels

Uit de eerste mer "Zand boven Water" blijkt dat er een verband bestaat tussen zandwinning en het voedselaanbod voor duikende watervogels die op mosselen en vis foerageren. Een diepte van meer dan NAP -5 m wordt volgens deze mer ongeschikt geacht om naar voedsel te duiken. Volgens Voslamber et al. (1995) komt het echter voor dat ervaren Aalscholvers in de winter solitair vissen op dieptes van meer dan NAP -10 m langs de hellingen. Gesuggereerd wordt dat in het vroege voorjaar het solitair vissen langs hellingen een goed alternatief is voor sociaal vissen. Hierbij zouden ervaren vogels een zinvol gebruik maken van hun terreinkennis door scholen overwinterende vis te exploiteren die zich ophouden langs deze gradiënten in diep water.

Tabel 18 geeft een overzicht van de belangrijkste in het IJsselmeergebied voorkomende duikende watervogels in combinatie met de maximale duikdiepte en type voedsel (Cramp, 1988 en expert judgement van Eerden, 1998). De tweede kolom met duikdieptes geeft in ieder geval de maximale diepte aan tot welke diepte deze watervogels kunnen duiken en is geactualiseerd door van Eerden (1998).

*Tabel 18. Overzicht van de belangrijkste in het IJsselmeergebied voorkomende duikendeenden (Cramp, 1988 en expert judgement van Eerden, 1998).*

| Soort         | Max. duikdiepte (m) uit 1988 | Max. duikdiepte (m) uit 1998 | Voedsel                                                                                                                   |
|---------------|------------------------------|------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Krooneend     | 2-4                          | 0,5-2                        | kranswieren                                                                                                               |
| Tafeleend     | 1-2,5                        | 0,5-4                        | bladmat. van fonteinkruiden,<br>wortelknolletjes van fonteinkruiden,<br>muggenlarven, kranswieren en<br>driehoeksmosselen |
| Brilduiker    | 1-3                          | 0,5-6                        | driehoeksmosselen, slakken, vis                                                                                           |
| Kuifeend      | 0,6-3                        | 0,5-6                        | driehoeksmosselen, slakken,<br>crustaceën, (viskuit)                                                                      |
| Toppereend    | 0,5-3,5                      | 1-6                          | driehoeksmosselen, (viskuit)                                                                                              |
| Aalscholver   | 1-3                          | 1-20                         | vis                                                                                                                       |
| Fuut          | 1-4                          | 1-15                         | vis                                                                                                                       |
| Grote Zaagbek | 1-4                          | 1-10                         | vis                                                                                                                       |
| Nonnetje      | 1-4                          | 0,5-6                        | vis                                                                                                                       |

In de winter kan bevrozing 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 (expert judgement Noordhuis en van Eerden, 1998).

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. In het seizoen 1997-1998 hebben tien watervogelsoorten de Ramsar-norm gehaald. Voor een goede nabestemming van de hoeveelheden bodemmateriaal, die als bijproduct worden gewonnen, kan eventueel gedacht worden aan het

---

inzetten van dit zand voor de realisering van verondiepingen op strategische punten. Dit zijn dan punten waar goede kansen liggen voor de ontwikkeling van nieuwe waterplantvelden (met al hun positieve punten, dus voor waterkwaliteit, visrefugia, bodemfaunadiversiteit en watervogelvoedsel) (van Rijn, 1999).

### 5.7 Voedselweb

Om de belangrijkste biotische componenten in het ecosysteem van het IJsselmeer en Markermeer te kunnen waarderen wanneer er gekeken wordt naar de effecten bij zandwinning, is gebruik gemaakt van het "Ecologisch Informatie Systeem IJsselmeer". Dit systeem maakt het mogelijk de diverse data, die aanwezig zijn van het ecosysteem IJsselmeer en Markermeer, met elkaar in verband te brengen. De belangrijkste doelstellingen van deze ecosysteemanalyse zijn het verkrijgen van inzicht in de effecten van veranderingen in nutriëntenbelasting op de draagkracht van het ecosysteem en inzicht in de effecten van visserij en vogelpredatie op de structuur van het ecosysteem. Ecosys kent twee delen, waarvan ECODIS een applicatie is waarmee de gegevensbronnen worden ingelezen en verwerkt. ECOGIS is de analysetool voor geografische analyse en presentatie die ingezet wordt nadat de dataset geëxporteerd is vanaf ECODIS. Voor deze studie naar de effecten van zandwinning in het IJsselmeergebied, zijn een aantal datasets in ECODIS ingevoerd en vervolgens gepresenteerd in Figuur 24. De toelichting bij de kaarten wordt hieronder beschreven.

De beschikbaarheid van winbaar zand volgens de Geologische en bodemkundige atlas van het IJsselmeergebied, wordt vergeleken met verspreidingskaarten van organismen die indicatief zijn voor het functioneren van het gebied. Deze kaarten staan niet los van elkaar maar hebben een onderling verband dat meer gedetailleerd in het rapport 'Het voedselweb van IJsselmeer en Markermeer' (Lammens & Hosper, 1998) is uitgewerkt. In deze toelichting wordt kort ingegaan op het verband van deze functies en de relatie met het winnen van zand.

De eerste relevante kaart met meest directe betekenis is die van de verspreiding van de driehoeksmosselen. De mosselen drukken een zwaar stempel op het functioneren van het gebied omdat ze sturend zijn voor de ontwikkeling van de voedselketens. De mosselbanken zijn het sterkst ontwikkeld in het zuidelijk en noordwestelijk deel van het IJsselmeer, en het zuidelijk en zuidwestelijk deel van Markermeer. De gradiënt in de algenontwikkeling in beide meren kan alleen goed verklaard worden op grond van de activiteit van deze organismen (Lammens & Hosper, 1998) en heeft ook een sterke relatie met de overige verspreidingspatronen. De beschikbaarheid van voedsel voor de voedselketen die via zoöplankton en benthos naar vis en vervolgens visserij en vogels loopt, vertoont in beide meren een min of meer complementair beeld, dwz. de verspreiding van vis toont de hoogste dichtheden in het noordelijk deel van het IJsselmeer en het oostelijk deel van het Markermeer. De aalscholvers zoeken na de broedperiode de Friese kust op en foerageren van daaruit voornamelijk in het noordelijk deel van het IJsselmeer. Ook futen zoeken dit specifieke deel van het meer voor de ruipaatsen. In de complementaire delen vindt ook de meest intensieve visserij plaats van vissers als vogels, hoewel dit in het Markermeer aanzienlijk lager is dan in IJsselmeer. Over het geheel genomen is het Markermeer aanzienlijk armer dan het IJsselmeer, de productie van algen is 2 maal zo laag als in IJsselmeer. De lagere hoeveelheid algen en planktivore vis maakt het Markermeer voor visetende vogels en visserij minder aantrekkelijk dan het IJsselmeer. Wat betreft de lagere mosseldichtheden is het Markermeer nauwelijks minder aantrekkelijk dan het IJsselmeer voor mosseletende vogels (zie Lammens & Hosper, 1998).

---

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. Wil men de mosselen zoveel mogelijk sparen dan is het gebied ten zuiden van de lijn Lemmer-Enkhuizen te kwetsbaar. Maar ook het gebied onder de Friese kust valt af omdat het samenvalt met de rustplaatsen van futen en aalscholvers. In het noordelijk deel zijn er minder kwetsbare gebieden. Het westelijk deel van het Markermeer wordt veel door vogels bezocht en is relatief kwetsbaar. Het oostelijk deel van het Markermeer is van het gehele gebied qua natuur en visserij vrij arm. De enige kanttekening die voor dit gebied geldt is dat aalscholvers het bezoeken in de broedperiode, daarna wijken ze samen met de juvenielen uit naar het IJsselmeer.

Conclusie:

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.

---

## Bijlage 1: Literatuur

.....

Anonymous, Beleidsplan 1997-2000; "geef de toekomst een verleden".

Bak, A., S. Dirksen & K.H. Prins, 1998. **Biologische trends in de zoete rijkswateren**. ISBN 90-369-5203-4. Bureau Waardenburg bv en Rijkswaterstaat, Rijksinstituut voor Integraal Zoetwaterbeheer en Afvalwaterbehandeling, Lelystad.

Bak, A., G.W.N.M. van Moorsel & T.J. Boudewijn, 1998-I. **De ontwikkelingen in het aquatisch ecosysteem van de Veluwerandmeren tot en met 1997**, BOVAR-Rapport nr. 98-04.

Beekman, J.H., M.R. van Eerden & S. Dirksen, 1991. **Bewick's Swans *Cygnus Columbianus bewickii* utilising the changing resource of *Potamogeton pectinatus* during autumn in the Netherlands**. In: J. Sears & P.J. Bacon (eds.) Proc. Third IWRB International Swan Symposium, Oxford 1989: 238-248. Wildfowl Supplement No.1.

Beemster, A.H. & A.J. Hebbink, 1994. **Onderzoek naar de hydrologische effecten van zandwinning in het IJsselmeer op de kavels langs de Noordermeerdijk**. Flevobericht nr. 354. Lelystad.

Beemster, A.H. & A.J. Hebbink, (in voorbereiding). **Hydrologische effecten aanleg speciedepot in het Ketelmeer; resultaten metingen grondwaterstanden en stijghoogten over de periode 1997 - 1999**. RIZA, Rijksinstituut voor Integraal Zoetwaterbeheer en Afvalwaterbehandeling, Lelystad.

Berg, van den, M.S., R.W. Doef, F.M. Zant & H. Coops, 1997. **Kranswieren: helder water en macrofauna in de Veluwerandmeren**. De Levende Natuur 98: 14-19.

Berg van den, M.S. & H. Coops 1998. **Kranswieren: waardevol voor waterbeheer**. RIZA rapport 98.030, ISBN 9036951801.

Berg, van den, M.S., 1999. **Charophyte colonization in shallow lakes**. Processes, ecological effects and implications for lake management. Proefschrift, Vrije Universiteit, Amsterdam.

Berg, M.S. Van den, Scheffer, M., Van Nes, E.H. & H. Coops, 1999. **Dynamics and stability of *Chara* sp. and *Potamogeton pectinatus* in a shallow lake changing in eutrophication level**. Hydrobiologia, in press.

Berg, M.S. Van den, Coops, H., Joosse, W. & J. Van der Hout, 1999. **"MACROMIJ": MACrofyten MOdel voor het IJsselmeergebied**. RIZA werkdocument 99.134, Lelystad.

Berg, van den, M.S. & W. Joosse, 2000. **Inschatting van effecten door zandwinning op de watervegetatie en waterhelderheid**. RIZA Notitie. Rijksinstituut voor Integraal Zoetwaterbeheer en Afvalwaterbehandeling, Lelystad.

Blom, G., 1989. **Beïnvloeding transport fosfaatrijk slib in het Veluwemeer**. Een studie naar de effecten van slibvangen en dammen op de slibhuishouding

---

in het Veluwemeer. Landbouwniversiteit Wageningen, Vakgroep Natuurbeheer, Wageningen.

Blom, G., 1991. **Minder slib in het Markermeer**. Rapport nr 91-017, Vakgroep Natuurbeheer, Sectie Waterkwaliteitsbeheer, Landbouwniversiteit Wageningen.

Blonk, A.T., 1999. **Modelberekeningen zandwinnings en verdieping vaargeulen in IJsselmeergebied**. Tauw bv, Deventer. In opdracht van Rijkswaterstaat, directie IJsselmeergebied, Lelystad.

Breukers, C., 1997. **Systeemanalyse IJsselmeergebied Noordzeekanaal en Amsterdam-Rijnkanaal**; RIZA rapport 97.088, Rijkswaterstaat, Rijksinstituut voor Integraal Zoetwaterbeheer en Afvalwaterbehandeling, Lelystad.

Buiteveld, H., 1997. **Huidige situatie waterhuishouding en de gevoeligheid van hydrologische en hydraulische parameters voor wijzigingen in de waterhuishouding**. RIZA werkdocument 97.148x., Lelystad.

Carp, E., ed., 1971. **The Final Act of the Ramsar Convention on Wetlands**. Proceedings, International Conference on the Conservation of Wetlands and Waterfowl, Ramsar, Iran (Slimbridge, UK: International Wildfowl Research Bureau, 1972).

Claessen, F.A.M., 1987. **Invloed van de grootte van de taludhelling van diepe putten op stratificatie**. Nota nr. 87.036. Rijkswaterstaat, Dienst Binnenwateren/RIZA, Lelystad.

Coops, H., R.W. Doef, B.J. de Witte & M.S. van den Berg, 1997. **Herstel van de watervegetatie in de Veluwerandmeren**. De Levende Natuur 98: 8-13.

Cramp, S. (ed.), 1988. **Handbook of the birds of Europe, the Middle East and North Africa. The birds of the Western Palearctic Vol. 1, Ostrich to ducks**.

DLV Adviesgroep nv, 1999. **Oplegnotitie kwelonderzoek Noordoostpolder**, februari 1999.

Duin, E.H.S. van, 1992. **Het effect van slibvangen op het slibgehalte in het Markermeer**. In: *De invloed van het slibgehalte en waterbodemverdieping op de zoöplanktonproductie in het Markermeer*, S.G. Vermij, G. Blom, E. van Donk en E.H.S. van Duin, Werkdocument 1992 - 24 Lio, Rijkswaterstaat, Directie Flevoland, Lelystad.

Eekhout, 1999. **Handboek wetlandwachten**. Vogelbescherming Nederland.

Eerden, M.R. van & A. bij de Vaate, 1984. **Natuurwaarden van het IJsselmeergebied**. Flevobericht 242. Rijkswaterstaat, Rijksdienst voor de IJsselmeerpolders, Lelystad.

Eerden, M. van & M. Zijlstra, 1986. **Natuurwaarden van het IJsselmeergebied. Prognose van enige natuurwaarden in het IJsselmeergebied bij aanleg van de Markerwaard**. Flevobericht nr. 273. Rijkswaterstaat Directie IJsselmeergebied, Lelystad.

Eerden, M.R. van & B. Voslamber, 1995. **Mass fishing by Cormorants *Phalacrocorax carbo sinensis* at lake IJsselmeer**, The Netherlands: a recent and successful adaptation to a turbid environment. *Ardea* 83: 199-212.

---

Ente, P.J., A.J. Hebbink, C. Berger & M.A. Viergever, 1982. **Zandwinning ten behoeve van de Markerwaard**. Werkdocument 293 Abw/Cdw. Rijkswaterstaat, Lelystad.

Fransen, W., G.P. Können, R. Mureau & P.J. de Wildt, 1997. **Klimaatverandering en bodemdaling: gevolgen voor de waterhuishouding van Nederland**. Resultaten van een onderzoek in het kader van de voorbereiding van de Vierde Nota Waterhuishouding. RDIJ, RIZA, KNMI, ON.

Gonggrijp, G.P., 1989. **Nederland in vorm**. Aardkundige waarden van het Nederlandse landschap. Ministerie van Landbouw en Visserij.

Grimm, M.P. & J.J.G.M. Backx, 1990. **The restoration of shallow eutrophic lakes, and the role of northern pike, aquatic vegetation and nutrient concentration**. In: R.D. Gulati, E.H.R.R. Lammens, M.-L. Meijer & E. van Donk (eds.) *Biomanipulation - a tool for water management*: 557-566. *Hydrobiologia* 200/201.

Harkink, L. & F. van Luijn, 1999. **Naar een integrale visie op het IJsselmeergebied in de 21<sup>e</sup> eeuw**; basisrapport. Directie IJsselmeergebied, Lelystad.

Hartgers, M., 1999. **Visstand en visserij op het IJsselmeer en Markermeer: de toestand in 1998**. Rijksinstituut voor Visserijonderzoek, Dienst Landbouwkundig Onderzoek, IJmuiden.

Haskoning, 1996. **Ongrondingen Flevoland. Algemene randvoorwaarden diepe putten**. Provincie Flevoland en Haskoning, Koninklijk Ingenieurs- en Architectenbureau, Nijmegen.

Hebbink, A.J., 1995. **Hydrologische effecten aanleg speciedepot en sanering bodem Ketelmeer; berekeningen met model MODFLOW**. Werkdocument 1995-18. RIZA, Lelystad.

Hebbink, A.J. & W.J. de Lange, 1998. **Notitie; Globale inventarisatie effecten te nemen maatregelen t.b.v. IIVR**. RIZA, Lelystad.

Heul, van de J.W. & W.G. Cazemier, 1986. **Bodemfauna en visstand in twee speciale zandwinputten in het Markermeer**. Rijksinstituut voor Visserijonderzoek, IJmuiden.

Hooghart, J.C. (red.), 1986. **Verklarende hydrologische woordenlijst**. Gespreksgroep Hydrologische Terminologie. Rapportnummer 16, Commissie voor hydrologisch onderzoek TNO, Den Haag.

Ibelings, B.W., 1990. **Algenbloei in het IJsselmeer. Deel I-III**. Laboratorium voor microbiologie, Universiteit van Amsterdam

Ibelings, B.W., L.R. Mur, & A.E. Walsby, 1991. **Diurnal changes in buoyancy and vertical distribution in populations of Microcystis in two shallow lakes**. In: *Journal of Plankton Research* 13, 419-436.

Ibelings, B.W., B.M.A. Kroon & L.R. Mur, 1994. **Acclimation of photosystem II in a eukaryotic green alga and a cyanobacterium to high and fluctuating photosynthetic photon flux densities, simulating those induced by mixing in lakes**. *New Phytol.* 128, 407-424.

---

Iedema, W., M. Platteeuw & A. Rijdsdorp, 1996. **Natuur in het natte hart. Een verkenning van de kansen voor natuurontwikkeling in het IJsselmeergebied.** Rijkswaterstaat Directie IJsselmeergebied, RIZA.

IWACO, 1998. **Rapportage kwelonderzoek Veluwerandmeren.** Bovar rapport 98.12.

Jagtman, E. & G. van Urk, 1988. **Algen in het Markermeer; groei of opwerveling?** H<sub>2</sub>O (21) 1988, blz. 606-610.

Jeppesen, E., 1998. **The ecology of shallow lakes.** Doctors Dissertation, NERI report, Silkeborg, Denmark.

Jonkers & Spaans. 1997. **Vogels en mainportsystemen.** IBN-DLO.

Klinge, M., A.D. Buijse, W.G. Cazemier, E.H.R.R. Lammens, & K.H. Prins, 1998. **Biologische monitoring zoete rijkswateren: Vis in de zoete rijkswateren, 1992-1996.** Nota nr. 98.017. ISBN 90-369-516-66. Rijkswaterstaat, Rijksinstituut voor Integraal Zoetwaterbeheer en Afvalwaterbehandeling, Lelystad.

Koopstra, R., G. Lenselink & U. Menke, 1993. **Geologische en bodemkundige atlas van het IJsselmeer.** ISBN 90-369-1107-9. Rijkswaterstaat, Directie Flevoland, Lelystad.

Lammens, E., 1993. **Onderzoeksplan ecosysteemanalyse IJsselmeer.** Rijkswaterstaat RIZA & Rijkswaterstaat Directie Flevoland, Lelystad.

Lammens, E. & H. Hosper, 1998. **Het voedselweb van IJsselmeer en Markermeer. Trends, gradiënten en stuurbaarheid.** Rapport nr. 98.003. ISBN 90-369-515-42. Rijkswaterstaat Directie IJsselmeergebied, Rijksinstituut voor Integraal Zoetwaterbeheer en Afvalwaterbehandeling, Lelystad.

Lammens, E.H.R.R., 1999. **Het voedselweb van IJsselmeer en Markermeer. Veldgegevens, hypotheses, modellen en scenario's.** RIZA rapport 99.008, Lelystad.

Leeuw, J.J. de, 1997. **Demanding divers. Ecological energetics of food exploitation by diving ducks.** Van Zee tot Land 61. ISBN 90-369-1207-5. Rijkswaterstaat, Directie IJsselmeergebied.

Lenselink, G. & U. Menke, 1995. **Geologische en bodemkundige atlas van het Markermeer.** ISBN 90-369-1148-6. Rijkswaterstaat, Directie IJsselmeergebied, Lelystad.

Meijer, M.L., R. Portielje, E. Lammens, R. Noordhuis, M. Van den Berg, W. Joosse, B. Ibelings, H. Coops & E. Rijdsdijk, 1999. **Stabiliteit van de Veluwerandmeren.** RIZA rapport 99.054, Lelystad.

Meininger, P.L., H. Schekkerman & M.W.J. van Roomen, 1995. **Populatieschattingen en 1%-normen van in Nederland voorkomende watervogelsoorten: voorstellen voor standaardisatie.** Limosa 68: 41-48.

Ministerie van Landbouw, Natuurbeheer en Visserij & Ministerie van Volkshuisvesting, Ruimtelijke Ordening en Milieubeheer, 1995. **Structuur Schema Groene Ruimte, deel 4: planologische kernbeslissing.** SDU uitgeverij, Den Haag.

---

Ministerie van Onderwijs, Cultuur en Wetenschappen, 1996. **Cultuurnota 1997-2000; "pantser of ruggegraat"**. Den Haag. ISBN 90-346-3331-4.

Ministerie van Verkeer en Waterstaat, 1977. **Zandwinning IJsselmeer en Randmeren**. Nota ZZAP-N-77.000.03.

Ministerie van Verkeer en Waterstaat, 1988. **Handboek Zandsuppleties**.

Ministerie van Verkeer en Waterstaat, 1990. **Samenvatting onderzoek diepe putten IJsselmeer en Randmeren**. Rijkswaterstaat, Directie Flevoland, Lelystad.

Ministerie van Verkeer en Waterstaat, 1991. **'Zand boven water', deel 2: milieueffectrapport oppervlaktedelfstoffenwinning wateren IJsselmeergebied 1991 - 2000**. ISBN 90-369-1090-0, Rijkswaterstaat Directie Flevoland, Lelystad.

Ministerie van Verkeer en Waterstaat, 1991-I. **Tweede Structuurschema Verkeer en Vervoer (SVV-II, aangepaste regeringsbeslissing)**. ISBN 90-399-0180-5.

Ministerie van Verkeer en Waterstaat, 1993. **'Zand boven water', deel 3: aanvullingen op het milieueffectrapport oppervlaktedelfstoffenwinning wateren IJsselmeergebied**. Flevobesluit 343. ISBN 90-369-1101-X. Rijkswaterstaat Directie Flevoland, Lelystad.

Ministerie van Verkeer en Waterstaat, 1993-I. **Evaluatienota Water 1993. Aanvullende beleidsmaatregelen en financiering 1994 - 1998**. ISBN 90-369-0502-9. Rijkswaterstaat, Rijksinstituut voor Integraal Zoetwaterbeheer en Afvalwaterbehandeling (RIZA) en Dienst Getijdewateren, Lelystad.

Ministerie van Verkeer en Waterstaat, 1997. **Beheerplan Nat IJsselmeergebied 1997**; BPN/RDIJ-R-95.001. Rijkswaterstaat, Directie IJsselmeergebied, Lelystad

Ministerie van Verkeer en Waterstaat, 1998. **Startnotitie mer Ontgrondingenbeleid IJsselmeergebied periode 2000 t/m 2010**. Directie IJsselmeergebied, Lelystad.

Ministerie van Verkeer en Waterstaat, Ministerie van Landbouw, Natuurbeheer en Visserij & Ministerie van Volkshuisvesting, Ruimtelijke Ordening en Milieubeheer & Unie van Waterschappen, 1999. **Vierde Nota Waterhuishouding**. Regeringsbeslissing. Den Haag.

Ministerie van Volkshuisvesting, Ruimtelijke Ordening en Milieubeheer, 1991. **Vierde Nota over de Ruimtelijke Ordening Extra. Planologische kernbeslissing**, Den Haag. ISBN 90-12-07517-3.

Molen, van der, D.T., R. Portielje, P.C.M. Boers & L. Lijklema, 1998. **Changes in sediment phosphorus as a result of eutrophication and oligotrophication in Lake Veluwe**, The Netherlands. Water Research, accepted.

Moorsel van, G.W.N.M., A. Bak & R. Munts, 1999. **Status van de Driehoeksmossel (*Dreissena polymorpha*) in de Randmeren in 1998**. Bureau Waardenburg bv in opdracht van Rijksinstituut voor Integraal Zoetwaterbeheer en Afvalwaterbehandeling. Rapport nr. 98.065.

Mur, L.R., M.J. van Hezewijk, & P.M. Visser, 1990. **Fytoplankton Markermeer. Eindconclusie. Synthese van de veldstudies en**

---

**laboratoriumstudies verricht in 1987-1989. Laboratorium voor Microbiologie, Universiteit van Amsterdam.**

**Nota Landschap, 1992.**

**Nota 'Verbetering vaarweg Amsterdam-Lemmer, 1994.**

Noordhuis, R., H.H. Reeders & R. Scheffer, 1992. **Waarom kan de Driehoeksmossel zich in de Veluwe Randmeren niet handhaven?** De Levende Natuur 93: 188-192.

Noordhuis, R., H.H. Reeders & E.C.L. Marteiijn, 1994. **Inzet van driehoeksmosselen bij biologisch waterbeheer; resultaten van veldexperimenten.** H<sub>2</sub>O 27(6): 150-160.

Noordhuis, R. in voorbereiding. **IJsselmeer en Markermeer - Planktonmonitoring 1996.** Rijkswaterstaat, Rijksinstituut voor Integraal Zoetwaterbeheer en Afvalwaterbehandeling, Lelystad.

Noordhuis, R., 1997. **Biologische monitoring zoete rijkswateren: watersysteemrapportage Randmeren.** Nota nr. 95.003. ISBN 90-369-046-1. Rijkswaterstaat, Rijksinstituut voor Integraal Zoetwaterbeheer en Afvalwaterbehandeling, Lelystad.

Noordhuis, R., M. van Roomen, R. Zollinger, J. Tempel & W. Bouw, 1997. **Watervogels in de Randmeren in historisch perspectief.** De Levende Natuur 98: 25-33.

N.V. waterwinningbedrijf Brabantse Biesbosch; mei 1996. **Bestrijding van planktonische cyanobacterien in de Biesbosch spaarbekkens.**

Organisatie ter Verbetering van de Binnenvisserij (OVb), 1996. **De Nederlandse Zoetwatervissen.** Nieuwegein.

Platteeuw, M., D. van der Molen & E. Lammens, 1997. **Het ecologisch functioneren van het open water in het IJsselmeergebied: mogelijke effecten van veranderingen in de waterhuishouding. Definitiestudie instrumentarium waterhuishouding in het natte hart.** RIZA werkdokument 97.093X. Rijksinstituut voor Integraal Zoetwaterbeheer en Afvalwaterbehandeling, Lelystad.

Platteeuw, M., M.R. van Eerden & J.H. Beekman, 1997. **Social fishing in wintering Smew Mergus albellus enhances prey attainability in turbid waters.** In: Van Eerden, M.R., 1997. Patchwork. Patch use, habitat exploitation and carrying capacity for water birds in Dutch freshwater wetlands: 377-399. Van Zee tot Land 65, Rijkswaterstaat Directie IJsselmeergebied, Lelystad.

Postema, J. & B.J. de Witte, 1999. **Evaluatie van de kartering van waterplanten in het IJsselmeergebied 1987-1998.** Rapport 99-4. Rijkswaterstaat, Directie IJsselmeergebied. ISBN 90-369-1232-6.

Prins, K.H., Klinge, M., Ligtvoet, W., de Jonge, J., 1994. **Biologische monitoring zoete rijkswateren: watersysteemrapportage IJsselmeer en Markermeer 1992.** RIZA nota nr. 94.060, Lelystad.

Provincie Flevoland, 1990. **Grondwaterbeschermingsplan Provincie Flevoland 1990-1999.** Nota WenM/9009133/ES.

---

Provincie Friesland, 1993. **Interprovinciaal Beleidsplan IJsselmeer**. Provinciale Staten van Friesland, Flevoland en Noord-Holland.

Provinciaal Waterleidingbedrijf Noord-Holland (PWN), 1998. **Lange termijn prognoses drinkwaterverbruik PWN 2000-2020**.

Reitsma, T., 1993. **Studie naar de gevolgen van winning van oppervlaktedelfstoffen voor het grondwater (kweltoename) in het IJsselmeergebied**. Nota opgesteld in het kader van de MER oppervlaktedelfstoffenwinning IJsselmeergebied. Notanummer 92.044. Rijksinstituut voor Integraal Zoetwaterbeheer en Afvalwaterbehandeling, Lelystad.

Rijkswaterstaat, DBW/RIZA, 1991. **Geohydrologische Atlas IJsselmeergebied** ISBN 90-369-0451-X, Lelystad.

Rijkswaterstaat, Directie IJsselmeergebied, 1995. **Statistisch overzicht verkeer en vervoer IJsselmeergebied**.

Rijkswaterstaat, 1996. **Scheepvaart IJsselmeergebied, jaaroverzicht 1996**. Directie IJsselmeergebied, Lelystad.

Rijn, S. van & M. Platteeuw, 1996-I. **Watervogels in IJsselmeer en Markermeer: seizoensverslag 1994/95**. Nota nummer 96.194X. Rijkswaterstaat, Rijksinstituut voor Integraal Zoetwaterbeheer en Afvalwaterbehandeling, Lelystad.

Rijn, S. van & M. Platteeuw, 1996-II. **Watervogels in IJsselmeer en Markermeer: seizoensverslag 1995/96**. Nota nummer 96.195X. Rijkswaterstaat, Rijksinstituut voor Integraal Zoetwaterbeheer en Afvalwaterbehandeling, Lelystad.

Rijn, S. van, 1999. **Watervogels in IJsselmeer en Markermeer: seizoensverslag 1997/98**. RIZA werkdokument nr. 98.177x.

Rose, P. & D. Scott, 1994. **Waterfowl population estimates. IWRB special publication 29**. International Waterfowl and wetlands Research Bureau, Slimbridge, England.

Scheffer, M. 1998. **Ecology of shallow lakes**, Chapman & Hall, New York, 357 pp.

Schout, J.J., M. Stoffer & G. Lenselink, 1997. **Geologische en bodemkundige atlas van de Randmeren**. ISBN 90-369-5030-9. Rijkswaterstaat, Rijksinstituut voor Integraal Zoetwaterbeheer en Afvalwaterbehandeling, Lelystad.

Stowa, 1994. **Ecologische beoordeling en beheer van oppervlaktewater. Beoordelingssysteem voor zand-, grind- en kleigaten op basis van fyto- en zoöplankton, macrofyten en epifytische diatomeeën**.

TAUW, 1998. **Modelberekeningen ontzanding vaargeul Lemmer-Lelystad**. Dl. 1 en 2. RAP\981385.wp1\v en RAP\982058.wp1\b, Deventer.

Timmerman, J.G. & K.H. Prins, 1996. **Biologische monitoring zoete rijkswateren 1994**. Nota nr. 96.009. ISBN 90-369-4577-1. Rijkswaterstaat, Rijksinstituut voor Integraal Zoetwaterbeheer en Afvalwaterbehandeling, Lelystad.

---

Urk, van, G., 1976. **De Driehoeksmossel *Dreissena polymorpha* in de Rijn.** In: H2O 18: 509-513.

bij de Vaate, A. 1991. **Distribution and aspects of population dynamics of the zebra mussel, *Dreissena polymorpha* (Pallas, 1771), in the lake IJsselmeer area (The Netherlands).** Oecologia 86: 40-50.

Ven, van de, C.L.M., 1994. **Het slibtransport voor het Markermeer met het oog op de aanleg van een vaargeul.** Vakgroep Waterkwaliteitsbeheer en Aquatische Oecologie, Landbouwuniversiteit Wageningen.

Vermij, S.G., G. Blom, E. van Donk & E.H.S. van Duin, 1992. Werkdocument; **De invloed van slibgehalte en waterbodembediepingen op de zoöplanktonproductie in het Markermeer.** Rijkswaterstaat Directie Flevoland, Lelystad.

Vink, J.P.M. & H.J. Winkels, 1991. **Opbouw en kwaliteit van de waterbodem van het IJsselmeer.** Flevovericht nr. 326. Rijkswaterstaat Directie Flevoland, Lelystad.

Vink, J.P.M. & H.J. Winkels, 1996. **De waterbodembodemkwaliteit van de Randmeren van Oostelijk en Zuidelijk Flevoland.** Intern rapport 1996 - 4Li. Rijkswaterstaat, Directie IJsselmeergebied, Lelystad.

Vogelrichtlijn, 1981. **Vogelrichtlijn 79/409/EEG,** de Europese Gemeenschappen, Brussel.

Voslamber, B., M. Platteeuw & M.R. van Eerden, 1995. **Solitary foraging in sand pits by breeding cormorants *Phalacrocorax carbo sinensis*: Does specialised knowledge about fishing sites and fish behaviour pay off?** In: **Riding on the crest of the wave: possibilities and limitations for a thriving population of migratory Cormorants *Phalacrocorax carbo* in man-dominated wetlands.** In: ARDEA, journal of the Netherlands ornithologists' union 83(1), 1995. Pag. 213-222. ISBN 90-9008356-1.

Voslamber & van Winden. 1999. **Watervogels in Zoete Rijkswateren in 1996/97.** SOVON en RIZA.

Vrieze, A.G.M. de, 1998. **Beheersverslag Rijkswateren IJsselmeergebied 1995/1996.** RDIJ-rapport 98-5. ISBN 90-369-1223-7. Rijkswaterstaat Directie IJsselmeergebied, Lelystad.

Vrieze, A.G.M. de, 1999. **Beheersverslag Rijkswateren IJsselmeergebied 1997.** Rijkswaterstaat Directie IJsselmeergebied, Lelystad.

Vrind, B., F. Leus & M. van Oirschot, 1994. **De waterkwaliteit van het IJsselmeer in de periode 1972-1992.** Nota nr. 94.048. ISBN 90-369-0193-6. Rijksinstituut voor Integraal Zoetwaterbeheer en Afvalwaterbehandeling, Lelystad.

Winden, van der, J., M.J.M. Poot, M.S van den Berg, T.J. Boudewijn & S. Dirksen, 1997. **Kranswieren: voedsel voor grote aantallen watervogels.** De Levende Natuur 98: 34-41.

Winkel, ten, E. H. & C. Davids, 1982. **Food selection by *Dreissena polymorpha* Pallas (Mollusca: Bivalvia).** In: Freshwater Biology 12: 553-558.

---

Winkels, H.J., 1994. **De kwaliteit van de waterbodem van het Markermeer.** Intern rapport 1994 - 11 Lio. Rijkswaterstaat Directie IJsselmeergebied, Lelystad.

Winkels, H.J., 1997. **Contaminant variability in a sedimentation area of the river Rhine.** Van Zee tot Land nr. 64. ISBN 90-369-1210-5. Landbouwwuniversiteit Wageningen, Rijkswaterstaat Directie IJsselmeergebied en het Rijksinstituut voor Integraal Zoetwaterbeheer en Afvalwaterbehandeling, Lelystad.

Witte, B.J. de, L.H.C.A. Hector, M.L. Streekstra & G.D. Butijn, 1995. **Monitoring van waterplanten in het IJsselmeergebied in het kader van het regionaal meetnet (1990-1994).** Intern rapport 1995 - 5 ANM/ANW. Rijkswaterstaat Directie IJsselmeergebied, Lelystad.

Witte, B.J. de, C.H.M. Koenjer & J. Postema, 1998. **Monitoring van waterplanten in het IJsselmeergebied 1998.** RDIJ-rapport 98-6. ISBN 90-369-1217-X. Rijkswaterstaat Directie IJsselmeergebied, Lelystad.

Witte, B.J. de, 1998. **Monitoring ROM-IJmeer, jaarrapportage 1996-1997.** RDIJ-rapport 98-1. ISBN 90-369-1216-4. Rijkswaterstaat Directie IJsselmeergebied, Lelystad.

Witteveen + Bos, 1994. **Natuurontwikkeling IJssel- en Markermeer: verkenning ecologische effecten van verdiepingen.** Rw 119.3. Witteveen + Bos Raadgevende ingenieurs b.v.. Rijkswaterstaat, Directie Flevoland Groene Poot, Lelystad.

Zant, F.M., R. Bijkerk, Berg, M.S. van den & H. Coops, 1999. **Beheersing van waterplanten in de Veluwerandmeren, literatuurstudie naar methode en effecten.** RIZA werkdokument 99.077.

---

## Bijlage 2: Figuren en tabellen

### Lijst met figuren

- Figuur 1. Geologische formaties in het IJsselmeergebied (Geohydrologische Atlas IJsselmeergebied, RIZA, 1991)
- Figuur 2. Schematische weergave van de waterbeweging aan en nabij de oppervlakte (Hooghart, 1986)
- Figuur 3. Schematische temperatuur- en zuurstofverloop in diepe plassen tijdens stratificatie (Haskoning, 1996)
- Figuur 4. Belangrijke voedsel- en rustgebieden van overwinterende duikeenden in het IJsselmeergebied (de Leeuw, 1997)
- Figuur 5. Maximale aantallen kleine zwanen en kranswierbedekking in het Veluwemeer in de periode 1994-1997 (Bak et al., 1998)
- Figuur 6. Geschematiseerde weergave van de belangrijkste voedselstromen in het open water van het IJsselmeergebied in de huidige situatie (Iedema et al., 1996)
- Figuur 7. Wateren onder beheer van de directie IJsselmeergebied van Rijkswaterstaat (RIZA, 1999)
- Figuur 8. Zandwinkaart IJsselmeer en Markermeer (Geologische en bodemkundige Atlas IJsselmeer en Markermeer, RIZA, 1993, 1995)
- Figuur 9. Diepte ligging bovenkant scheidende laag in NAP -m (MINVENW, 1993)
- Figuur 10. Diepteligging meerbodem IJsselmeergebied (RIZA, 1999)
- Figuur 11. Waterbodem IJsselmeergebied (bovenste 25 cm) (Geologische en bodemkundige Atlas IJsselmeer en Markermeer, RIZA, 1993, 1995, 1997)
- Figuur 12. De verspreiding van de cadmium concentraties in de toplaag van het IJsselmeer, Markermeer en Randmeren (Winkels, 1997)
- Figuur 13. Kwaliteit toplaag waterbodem Veluwemeer, Wolderwijd/ Nuldernauw en Gooimeer (Vink & Winkels 1996)
- Figuur 14. Doorzicht gemiddeld over 1990-1995 in decimeters (RIZA, 1999)
- Figuur 15. Gemiddeld chlorofyl-a gehalte 1990-1995 (RIZA, 1999)
- Figuur 16. Gemiddeld fosfaatgehalte 1990-1995 (totaal fosfaat) (RIZA, 1999)
- Figuur 17. Waterplantenkartering 1994-'97-'99, totale bedekking Veluwemeer (Postema & de Witte, 1999)
- Figuur 18. Waterplantenkartering 1994-'97-'99, totale bedekking Wolderwijd (Postema & de Witte, 1999)
- Figuur 19. Waterplantenkartering 1994 en '97, totale bedekking Gooimeer (Postema & de Witte, 1999)
- Figuur 20. Geïnterpoleerd beeld van de concentratie van de grote en kleine Daphnia-soorten (watervlooien) in IJsselmeer en Markermeer gemiddeld over de periode april 1993 - juli 1995 (Lammens & Hosper 1998)
- Figuur 21. Het verspreidingspatroon van de dichtheden van driehoeksmosselen in IJsselmeer en Markermeer in 1992 (RIZA, 1999)
- Figuur 22. Ruimtelijke verdeling erosie/sedimentatie in IJsselmeer op basis van een berekening door STRESS-2d voor het jaar 1992 (Winkels, 1997)
- Figuur 23. Dikte afzettingen in Markermeer als resultante van morfodynamiek na aanleg van Houtribdijk op basis van Lenselink & Menke (1995)
- Figuur 24. Verspreidingsfiguren IJsselmeergebied Ecosys (RIZA, 1999)
- Figuur 25. Recreatievaart in het IJsselmeergebied (BPN, RDIJ, 1999)
- Figuur 26. Obstakels en belemmeringen voor zandwinning buiten de vaargeul (RDIJ, 1999)
- Figuur 27. Drinkwatervoorziening in het IJsselmeergebied (BPN, RDIJ, 1999)
- Figuur 28. Archeologische waardevolle gebieden in het IJsselmeergebied (ROB, ARCHIS, 1999)
- Figuur 29. Overzicht zandwinlocaties in putten en vaargeulen (BPN, RDIJ, 1999)
- Figuur 30. Natuurontwikkeling en staatsnatuurmonumenten (BPN, RDIJ, 1999)
- Figuur 31. Beroepsvisserij en paaigebieden (BPN, RDIJ, 1999)

## Lijst met tabellen

|                                                                                                                                                                                                                                |     |
|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----|
| Tabel 1. Afmetingen van het onderzoeksgebied (BPN, RDIJ, 1997).....                                                                                                                                                            | 21  |
| Tabel 2. Gemiddelde berekende waarden van de bestaande kwel (Reitsma, 1993).....                                                                                                                                               | 31  |
| Tabel 3. Terminologie voor verschillende chloridegehalten.....                                                                                                                                                                 | 32  |
| Tabel 4. Overzicht van streefwaarden voor zware.....                                                                                                                                                                           | 35  |
| Tabel 5. Overzicht verblijftijden (maanden) op basis van maanddebieten van 1976 t/m 1993 (Buiteveld, 1997).....                                                                                                                | 40  |
| Tabel 6. Het Maximaal Toelaatbare Risico in het zoete oppervlaktewater (MINVENW et al., 1998) ....                                                                                                                             | 42  |
| Tabel 7. Waarden voor eutrofiërings-parameters in 1997. Vet gedrukt zijn de waarden die de MTR-normen in 1997 niet halen (de Vrieze, 1999).....                                                                                | 42  |
| Tabel 8. Overzicht van grenswaarden voor zware metalen in oppervlaktewater (Evaluatie-nota Water, 1993-II).....                                                                                                                | 43  |
| Tabel 9. Waarden voor zware metalen in 1997. Vet gedrukt zijn de waarden die de MTR-normen in 1997 niet halen (de Vrieze, 1999).....                                                                                           | 43  |
| Tabel 10. Referentiewaarden en waarden in 1996 voor biovolume ( $\mu\text{m}^3/\text{ml}$ ) van een tweetal blauwalgen in IJssel- en Markermeer (Noordhuis, in voorbereiding).....                                             | 48  |
| Tabel 11. Gemiddelde dichtheid driehoeksmosselen ( <i>Dreissena polymorpha</i> , exclusief broed ) in 1996 (indien bepaald) en 1998 (in $\text{n}/\text{m}^2$ ) (van Moorsel et al., 1999).....                                | 54  |
| Tabel 12. Aantallen vissen in 1998 in het onderzoek met de grote kuil. (d = dominante vissoort) (Hartgers, 1999).....                                                                                                          | 56  |
| Tabel 13. Overzicht van de meerzomerige vis in de Veluwerandmeren in 1999 (in $\text{kg}/\text{ha}$ ) (d = dominante vissoort) (Wi+Bo, 1999).....                                                                              | 56  |
| Tabel 14. Maximum aantal vogels in seizoen 1998/99 in IJsselmeer en Markermeer, de actuele Nederlandse winterpopulatie en het aandeel van het IJsselmeer en Markermeer in de Nederlandse winterpopulatie (van Rijn, 1999)..... | 60  |
| Tabel 15. Overzicht van de vogelsoorten die de 1% norm overschrijden in de verschillende deelgebieden van het IJsselmeergebied.....                                                                                            | 63  |
| Tabel 16. Overzicht van enkele sedimentatiesnelheden in putten (verschillende rapporten).....                                                                                                                                  | 71  |
| Tabel 17. Verbetering lichtklimaat a.g.v. diepe putten in het IJsselmeer en Markermeer (Blom, 1999).....                                                                                                                       | 72  |
| Tabel 18. Overzicht van de belangrijkste in het IJsselmeergebied voorkomende duikendeenden (Cramp, 1988 en expert judgement van Eerden, 1998).....                                                                             | 83  |
| Tabel 19. 1% normoverschrijding van bodemfauna-eters op Markermeer en IJsselmeer per telling in de periode juli 1998 t/m juni 1999 (van Rijn, 1999).....                                                                       | 107 |
| Tabel 20. 1% normoverschrijdingen van viseters op Markermeer en IJsselmeer per telling in de periode juli 1998 tot en met juni 1999 (van Rijn, 1999).....                                                                      | 107 |
| Tabel 21. 1% normoverschrijdingen van planteneters op Markermeer en IJsselmeer per telling in de periode juli 1998 tot en met juni 1999 (van Rijn, 1999).....                                                                  | 108 |
| Tabel 22. Soorten die vanaf 1987/1988 één of meer seizoenen de 1%-norm overschrijden in de Veluwerandmeren (van Rijn, 1999).....                                                                                               | 108 |
| Tabel 23. Watervegetatie in delen van het IJssel-meer (Postema & de Witte, 1999).....                                                                                                                                          | 109 |
| Tabel 24. Watervegetatie in delen van het Marker-meer (Postema & de Witte, 1999).....                                                                                                                                          | 109 |
| Tabel 25. Watervegetatie in de zuidelijke Randmeren en het Wolderwijd-Nuldernauw (Postema & de Witte, 1999).....                                                                                                               | 110 |
| Tabel 26. Watervegetatie in het Veluwemeer, Drontermeer en de Deltarandmeren (Postema & de Witte, 1999).....                                                                                                                   | 110 |

## Bijlage 3: Begrippenlijst

|                                                 |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                    |
|-------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| <i>actief biologisch beheer (abb)</i>           | actief (door de mens) ingrijpen in een ecosysteem                                                                                                                                                                                                                                                                                  |
| <i>adsorptie</i>                                | vastlegging van stoffen aan grensvlak, bij voorbeeld een bodemdeeltje                                                                                                                                                                                                                                                              |
| <i>AOX</i>                                      | adsorbeerbare organohalogenen verbindingen                                                                                                                                                                                                                                                                                         |
| <i>benthos</i>                                  | dierlijk leven op bodem van wateren                                                                                                                                                                                                                                                                                                |
| <i>betonzand</i>                                | een mengsel van natuurlijk grof zand en fijn grind gebruikt voor de productie van betonwaren en betonmortel. In NEN 5905 wordt dit mengsel zand 0-4 genoemd (SOD, dl.4)                                                                                                                                                            |
| <i>beton- en metselzand</i>                     | natuurlijk zand, toegepast in betonmortel, betonwaren en metselspecie. Dit betreft zand met een gemiddelde korrelgrootte van meer dan 300 µm en een maximale korrelgrootte van 2000 µm (bovengrens zandfractie). Het grofste zand wordt gebruikt in beton, eventueel na bijmenging van fijn grind (2-4 mm) (SOD, dl.4)             |
| <i>c-waarde oftewel verticale weerstand</i>     | weerstand die een bepaalde laag biedt tegen een verticale grondwaterstroming. Te berekenen als quotiënt van het verschil in stijghoogte boven en onder de laag en de volumestroomdichtheid door deze laag. Bij een homogene laag is deze grootte gelijk te stellen aan het quotiënt van laagdikte en doorlatendheid                |
| <i>cyanobacterien</i>                           | de meest eenvoudige algen, die soms door hun primitieve bouw bij de bacterien worden ingedeeld                                                                                                                                                                                                                                     |
| <i>chlorofyl-a gehalte</i>                      | Gehalte aan bladgroen, het belangrijkste lichtinvangende pigment van algen die met behulp van zonlicht biomassa produceren                                                                                                                                                                                                         |
| <i>doorlatendheid</i>                           | een maat voor het vermogen van een watervoerend pakket om vloeistof door te laten, gelijk te stellen aan de volumestroom door een eenheid van oppervlakte, als de stijghoogtegradiënt loodrecht op het oppervlak gelijk is aan één                                                                                                 |
| <i>doorzicht</i>                                | zichtdiepte, de afstand waarop een object onder water nog juist visueel kan worden waargenomen; als object wordt bij metingen gebruik gemaakt van een (witte)Secchi-schijf                                                                                                                                                         |
| <i>ecosysteem</i>                               | verzameling van op een en dezelfde plaats voorkomende populaties (micro-organismen, planten, dieren) die daardoor met elkaar en met het omringende fysische en chemische milieu interacties kunnen aangaan en aldus een functionele eenheid vormen                                                                                 |
| <i>EOX</i>                                      | extraheerbare organohalogenen verbindingen                                                                                                                                                                                                                                                                                         |
| <i>epilimnion</i>                               | de bovenste, warmere en lichtere waterlaag wanneer stratificatie optreedt                                                                                                                                                                                                                                                          |
| <i>eurytope of algemene vissoorten</i>          | soorten waarvan alle levensstadia in vrijwel elk watertype (stilstaand en stromend, plantenrijk en plantenloos, voedselrijk en voedselarm) worden aangetroffen                                                                                                                                                                     |
| <i>eutrofiëring</i>                             | de verrijking van water, zowel zoet als zout, met voedingsstoffen, in het bijzonder fosfor- en stikstofverbindingen, waardoor de groei van algen en hogere vormen van plantenleven wordt versneld                                                                                                                                  |
| <i>golfhoogte</i>                               | de verticale afstand tussen dal en top van een golf                                                                                                                                                                                                                                                                                |
| <i>hypolimnion</i>                              | de lagere, koudere en zwaardere luchtlaag wanneer stratificatie optreedt                                                                                                                                                                                                                                                           |
| <i>industriezand</i>                            | verzamelnaam voor natuurlijke zanden ten behoeve van met name industriële toepassingen (betonzand, metselzand, kalkzandsteen, zilverzand, asfaltzand, stucadoorzand etc.) (SOD, dl.4)                                                                                                                                              |
| <i>infiltratie</i>                              | het verschijnsel dat water aan het grondoppervlak de grond binnentreedt                                                                                                                                                                                                                                                            |
| <i>kwel</i>                                     | het uittreden van grondwater (onder invloed van grotere stijghoogten buiten het beschouwde gebied; het uittreden van water dat binnen het gebied aan het oppervlak is toegevoerd, valt dus binnen deze term. Het uittreden kan onder meer geschieden direct aan het grondoppervlak, in sloten, drains of via capillaire opstijging |
| <i>limnofiele of plantenminnende vissoorten</i> | soorten van stagnerend water die in een of meer levensstadia gebonden zijn aan de aanwezigheid van waterplanten. Soorten als snoek, ruisvoorn en zeelt behoren tot deze groep                                                                                                                                                      |
| <i>MAC</i>                                      | maximaal aanvaardbare concentratie                                                                                                                                                                                                                                                                                                 |
| <i>macrofauna</i>                               | met het blote oog zichtbare ongewervelde dieren                                                                                                                                                                                                                                                                                    |
| <i>m63</i>                                      | mediane korrelgrootte van de fractie >63 µm en < 2000 µm (zandfractie), i.e. de korrelgrootte waarbij 50 gewichts % van het zand een kleinere korrelgrootte heeft en 50 gewichts % van het zand een grotere korrelgrootte heeft (SOD, dl.4)                                                                                        |
| <i>metalimnion</i>                              | thermocline of spronglaag: de laag waar de dichtheid van het water sprongsgewijs toeneemt; de laag tussen het epi- en hypolimnion                                                                                                                                                                                                  |
| <i>metselzand</i>                               | natuurlijk zand, gebruikt voor de aanmaak van metselspecie. Veelal wordt hiervoor grof zand gebruikt met een M63 van circa 300 µm tot 600 µm (SOD, dl.4)                                                                                                                                                                           |
| <i>NAP</i>                                      | Het Nederlandse standaardvergelijkingsvlak voor de hoogteligging                                                                                                                                                                                                                                                                   |
| <i>ontgronding</i>                              | onttrekking van een hoeveelheid bodemmateriaal aan een watersysteem                                                                                                                                                                                                                                                                |
| <i>ophoogzand</i>                               | natuurlijk zand, gebruikt voor ophoging en aanvulling in de weg- en waterbouw, ophoging van bouwterreinen etc. In het algemeen wordt de term ophoogzand alleen gebruikt voor fijn zand, met een M63 van 100 µm tot 300 µm (SOD, dl.4)                                                                                              |
| <i>sedimentatiesnelheid</i>                     | snelheid waarmee sedimenten zich op het bodemoppervlak afzetten: massa per oppervlakte-eenheid per seconde                                                                                                                                                                                                                         |
| <i>sleephopperzuiger</i>                        | een zelfvarend baggerwerktuig, voorzien van één of meer zuigbuizen, één of meer pompinstallaties en een eigen laadruim (beun of hopper genoemd)                                                                                                                                                                                    |

---

|                            |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                           |
|----------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| <i>slib</i>                | organische en anorganische deeltjes of agglomeraten van deeltjes (vlokken) met geringe valsnelheid                                                                                                                                                                                                                                                        |
| <i>spronglaag</i>          | de laag tussen het epi- en hypolimnion en de dichtheid van het water sprongsgewijs toeneemt (ook wel thermocline of spronglaag genoemd)                                                                                                                                                                                                                   |
| <i>steekhopperzuiger</i>   | een drijvend baggerwerktuig voorzien van een zuigbuis en een eigen laadruim, geschikt voor een relatief klein oppervlak en een diepe winput                                                                                                                                                                                                               |
| <i>stijghoogte</i>         | de som van de drukhoogte en plaatshoogte overeenkomend met de afstand van het peil dat met een tensiometer uitmondend in het beschouwde punt, kan worden gemeten, tot het referentieniveau ten opzichte waarvan de plaatshoogte is bepaald                                                                                                                |
| <i>stratificatie</i>       | Het voorkomen of de vorming van duidelijke, onderling gescheiden lagen in een waterbekken, gekarakteriseerd door temperatuur- en dichtheidsverschillen over de waterkolom. In de bovenlaag overheersen opbouwprocessen, en in de onderlaag afbraakprocessen. Laatstbedoelde processen kunnen in de onderlaag gepaard gaan met onder meer zuurstoftekorten |
| <i>strijklengte</i>        | In de voortplantingsrichting van de windgolven gemeten afstand, waarover wind over een aaneengesloten wateroppervlak strijkt                                                                                                                                                                                                                              |
| <i>talud</i>               | onder helling gelegen vlak                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                |
| <i>troebelheid</i>         | mate van ondoorzichtigheid van een op zichzelf heldere vloeistof veroorzaakt door de aanwezigheid van fijn verdeeld zwevend materiaal                                                                                                                                                                                                                     |
| <i>volumestroom (flux)</i> | het volume water dat per tijdseenheid door een gegeven oppervlak stroomt                                                                                                                                                                                                                                                                                  |
| <i>VOX</i>                 | vluchtige organohalogenen verbindingen                                                                                                                                                                                                                                                                                                                    |
| <i>waterbodem</i>          | gehalte in waterbodem (in mg/kg), omgerekend naar de standaardbodem (10% organische stof en 25% lutum); voor standaard zwevend materiaal (20% organische stof en 40% lutum) liggen de waarden voor zware metalen en organische stof respectievelijk een factor 1.5 en 2 hoger                                                                             |
| <i>wegzijing</i>           | het verschijnsel dat water aan de onderwaterbodem de grond binnentreedt                                                                                                                                                                                                                                                                                   |