



**Het effect van overslag
van zand uit de
Loosdrechtse plassen
op het functioneren van
het Amsterdam-Rijnkanaal**

RIZA werkdocument 2000.156X
Project nr 6100.14.34

Dordrecht, oktober 2000

Auteurs: Erik-Jan Houwing,
Annelies de Hoog en Barro Steenkamp
(RIZA-WST)

Inhoudsopgave 2

1 Inleiding 3

2 Amsterdam-Rijnkanaal 4

2.1 Hydrologie 4

2.2 Morfologie 5

2.3 Ecologie 5

3 Procesbeschrijving 7

4 Berekening en resultaten 12

4.1 Sediment en vertroebeling 12

4.2 Doorzicht 13

4.3 Verspreiding in Amsterdam-Rijnkanaal 14

4.4 Sedimentatie in het Amsterdam-Rijnkanaal als gevolg van de overslag 15

4.5 Ecologie 16

4.5.1 Algen en zoöplankton 16

4.5.2 Macrofauna 16

4.5.3 Waterplanten 16

4.5.4 Vissen 17

4.5.5 Vogels 18

5 Gevoeligheidsanalyse 19

6 Conclusie 21

6.1 vertroebeling en doorzicht 21

6.2 Aanslibbing 21

6.3 Ecologie 22

6.4 Aanbeveling 22

Literatuur 23

1 Inleiding

In de Loosdrechtse plassen worden op een drietal plaatsen putten gezogen. Deze putten ontstaan door zand uit de diepere lagen te verwijderen. De bedoeling is om dit zand voor ophoging van IJburg te gaan gebruiken. Voor de overslag en het transport van dit zand naar IJburg is door het Ingenieurs Bureau Amsterdam een drietal varianten onderzocht. Vanwege technische haalbaarheid en vanwege hoge kosten lijkt één scenario in aanmerking te komen. Dit betreft het transporteren van het sediment met een persleiding naar het Amsterdam-Rijnkanaal (ARK) en het in schepen over te hevelen. Bij deze variant wordt een overstort van water met sediment in het ARK voorzien, waardoor mogelijk een extra vertroebeling van het water in het ARK kan gaan optreden. Dit laatste kan negatieve gevolgen voor de ecologie hebben.

Het RIZA is door de Directie Utrecht gevraagd om de effecten van deze overslag op het ARK in te schatten.

In dit werkdokument wordt als eerste de hydrologie, de morfologie en de ecologie van het ARK kort beschreven. Vervolgens wordt beschreven hoe de overslag van sediment afkomstig uit de Loosdrechtse plassen zal gaan plaatsvinden en welke processen en factoren de mogelijke vertroebeling in het ARK beïnvloeden. Hierna wordt de vertroebeling als gevolg van de overslag berekend en is aangegeven wat de gevolgen voor de ecologie in het ARK zijn. Vervolgens wordt voor de berekening een simpele gevoeligheidsanalyse uitgevoerd. Als laatste worden de conclusies gepresenteerd.

2 Amsterdam-Rijnkanaal

2.1 Hydrologie

Het ARK loopt van Tiel via Wijk bij Duurstede en Utrecht naar Amsterdam en heeft een totale lengte van 72 km. Het kanaal bestaat uit twee panden. Het eerste pand loopt van de Waal bij Tiel tot aan de Lek bij Ravenswaaij (het z.g. Betuwepand) en is circa 12 km lang; het tweede pand loopt vanaf de Lek bij Wijk bij Duurstede tot het IJ nabij Amsterdam en heeft een lengte van circa 60 km. Voor deze studie wordt alleen het tweede pand in beschouwing genomen.

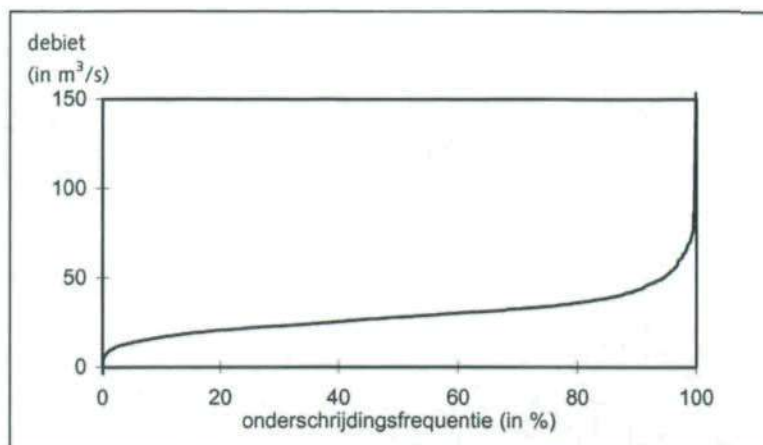
Het ARK heeft een gemiddelde breedte van 100 m en een gemiddelde diepte van 6 m. De oevers bestaan voor het grootste gedeelte uit stalen damwanden. Het tweede pand van het kanaal staat in open verbinding met het Noordzeekanaal. Verder zijn er open verbindingen met de havens van Utrecht, de Vecht, de Leidsche Rijn, de Nieuwe Wetering, het Smalweesp, de Gaasp, de Muider-trekvaart, de Diemen, het Nieuwe Diep en met diverse polderuitlaten.

Het ARK (exclusief het Betuwepand) vormt samen met het Noordzeekanaal een aaneengesloten boezem met een oppervlakte van circa 36 km². Het gebied dat rechtstreeks op de boezem afwatert heeft een oppervlak van circa 2.300 km². Op een aantal punten kan water onttrokken worden door polders, voor bereiding van drinkwater en voor koeldoeleinden.

Door het schutten met de sluizen te IJmuiden wordt het Noordzeekanaal met zout water belast. Om de zoutindringing op het Noordzeekanaal en het ARK tegen te gaan wordt het systeem met zoetwater doorspoeld. Dit doorspoelwater wordt aangevoerd vanuit het Markermeer en vanuit de Lek. Het overtollige water wordt bij IJmuiden via een spuisluis en een gemaal op zee geloosd. Gestreefd wordt naar een gemiddeld waterpeil van NAP -0,40 m op het Noordzeekanaal en het ARK.

Als gevolg van het spuien met de spuisluis te IJmuiden is het debiet in het ARK niet constant in de tijd. Door het spuien (en malen) ontstaat een translatiegolf die zich via het Noordzeekanaal tot in het ARK voortzet. Omdat dit proces zich vrijwel iedere spuiperiode weer herhaalt, ontstaat er op in het ARK een soort schijngetij. Een gevolg hiervan is dat bij lage afvoeren in het gehele ARK omkering van de stroming kan optreden. Bij hogere afvoeren is dit alleen in het noordelijke deel het geval (Amsterdam-Weesp). Afhankelijk van de afvoer van de Lek en van lozingen/onttrekkingen van polders varieert het debiet in het ARK in de tijd. In figuur 2.1 is de frequentieverdeling van de daggemiddelde debieten ter hoogte van Weesp in het ARK voor de periode 1994 tot half 1997 weergegeven.

Figuur 2.1 Overschrijdingsfrequentie van het dagelijks debiet gedurende de periode 1994-half 1997 (Steenkamp en Ludikhuize, 1998).



De afvoer van het ARK naar het Noordzeekanaal bedraagt gemiddeld circa 30 m³/s. De over het dwarsprofiel gemiddelde stroomsnelheid in het ARK is dan ongeveer 0,05 m/s.

2.2 Morfologie

Het water in het ARK heeft een gemiddelde achtergrondconcentratie zwevend stof van 30 mg/l. Deze waarde varieert tussen de 5 en 60 mg/l (gebaseerd op de resultaten van bemonsteringen die tussen 1996 en 2000 bij Nieuwegein zijn genomen, DONAR).

Nieuw sediment wordt voornamelijk door de Lek aangevoerd. Sedimentatie van dit materiaal is voor een groot deel afhankelijk van de snelheid van het water (en daarmee van het debiet) en van de stofvracht in het kanaal. Over het algemeen vindt sedimentatie in het ARK plaats in de voorhavens van Wijk bij Duurstede, Ravenswaaij en Tiel, en de zijhavens van Utrecht en de monding van het ARK.

In 1976-1977 en in 1980 is het tweede pand van het ARK tot op een diepte van ongeveer 6,4-6,60 m beneden NAP gebracht. In september 2000 zijn lodingen in het ARK uitgevoerd. Uit deze lodingen blijkt dat het merendeel van de bodem van het ARK nog steeds op de oude waarde van 6,40 tot 6,60 m beneden NAP ligt. Hieruit kan geconcludeerd worden dat in het ARK zelf de sedimentatie grotendeels achterwege blijft. Vermoed wordt dat dit een gevolg is van het voortdurend opwoelen van de waterbodem door scheepsbewegingen.

De verontreiniging in het ARK blijft voor een groot gedeelte onder de toetsingswaarden. Voornamelijk in de voorhavens van de sluizen zijn een aantal locaties aanwezig die matig verontreinigd (klasse 3) of sterk verontreinigd (klasse 4) zijn. De waterbodem van het kanaal zelf is voor een groot gedeelte slechts licht verontreinigd (klasse 1).

2.3 Ecologie

In het ARK is een gebiedseigen fytoplanktongemeenschap aanwezig die redelijk goed is ontwikkeld. De samenstelling van het zoöplankton is echter zeer incompleet. Dit wordt onder andere veroorzaakt door de slechte voedselsituatie, het ontbreken van oever- en watervegetatie en door de aanwezigheid van turbulentie in het water als gevolg van de scheepvaart.

De visstand in het ARK is arm aan soorten en wordt gedomineerd door brasem en andere algemeen voorkomende vissoorten. De vissen verkeren in een matige conditie doordat de oevers van het ARK voornamelijk uit stalen damwanden bestaan en niet voorzien in schuil, paai- en opgroeimogelijkheden voor vissen. Een gevolg van het ontbreken van natuurvriendelijke oevers is dat water- en oeverplanten in het ARK niet voorkomen hetgeen negatieve gevolgen heeft voor vissen en andere diersoorten.

In het ARK wordt het oriëntatievermogen van migrerende vis negatief beïnvloed door tal van factoren waaronder de lage stroomsnelheden, de intensieve scheepvaart, de verhoogde kopergehalten in het water en de temperatuurschommelingen door koelwaterlozingen. De sluiscomplexen (Noordzeesluizen te IJmuiden, Oranjesluizen te Schellingwoude, Prinses Irenesluizen te Wijk bij Duurstede en Prinses Beatrixsluizen bij Vreeswijk) zijn fysieke barrières in de migratieroutes.

De regionota (1995-2000) noemt voor het ARK een aantal knelpunten:

- Het ecologisch functioneren van het NZK en ARK wordt beperkt door het ontbreken van water- en oeverplanten.
- Het ontbreken van water- en oeverplanten is - met name in het ARK - mede oorzaak voor een weinig diverse zoöplanktongemeenschap en visstand.
- De slechte waterbodemkwaliteit zorgt voor een slechte conditie van vissen en macrofauna.
- Onnatuurlijke omstandigheden in het watersysteem hebben een negatieve invloed op het oriëntatievermogen van migrerende vis.
- De sluizencomplexen zijn fysieke barrières in de migratieroute.
- De bestaande oevers beperken de natuurontwikkelingsmogelijkheden.
- Er is niet voldoende ruimte aanwezig voor de aanleg van natuurvriendelijke oevers.
- De stalen damwanden langs het ARK vormen een onoverkomelijke barrière voor de passage van diverse dieren.
- De ecologische verbindingen tussen de oevers van het kanaal en de achterliggende natuurgebieden ontbreken.

In de voorliggende studie wordt alleen gekeken naar de effecten van een verhoging van de concentratie zwevend stof in het water op het ecologisch functioneren van het ARK.

In het algemeen kan gesteld worden dat het doorzicht van het water in het ARK van groot belang is voor de vestiging van waterplanten, voor zichtjagers en daarmee voor een divers en evenwichtige ecosysteem.

Het huidige doorzicht in het ARK varieert tussen de waarden 0,80 en 0,30 m (uit DONAR).

3 Procesbeschrijving

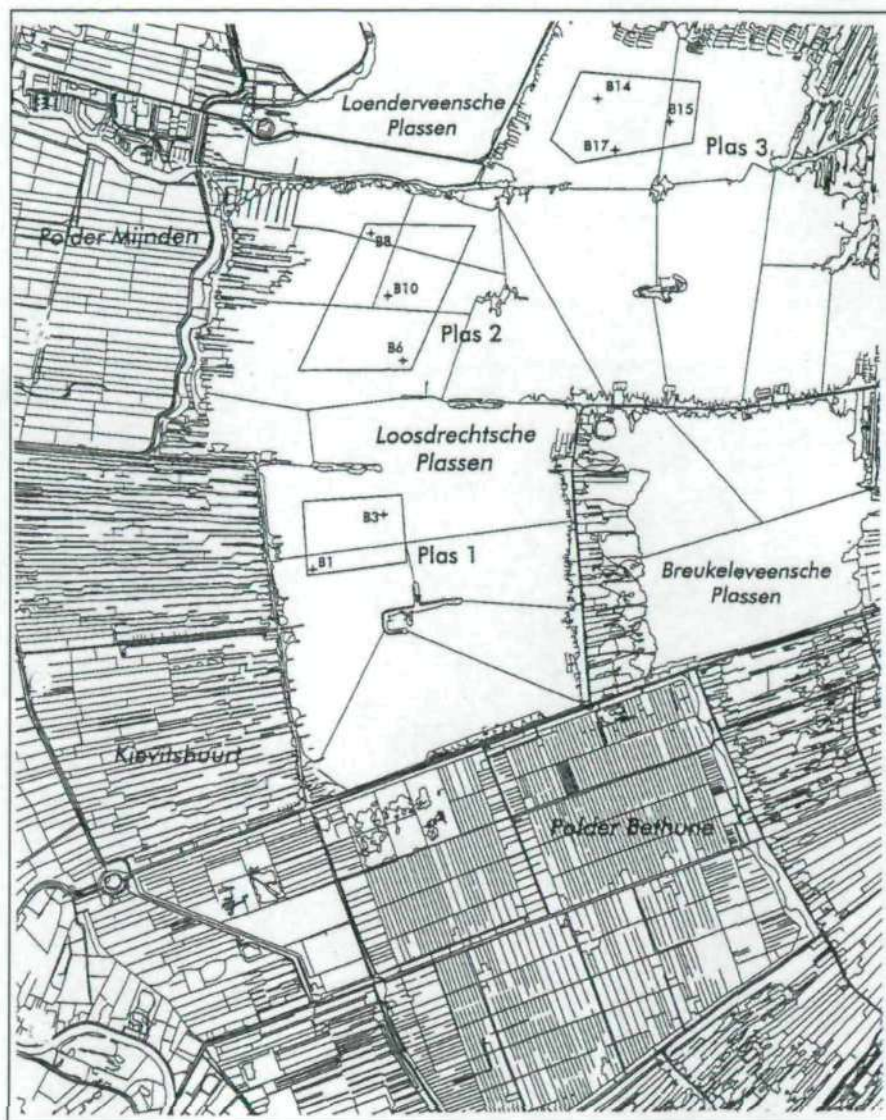
Voor het aanleggen van de diepe putten in de Loosdrechtse plassen wordt op een drietal plaatsen zand uit de bodem verwijderd (plas 1, 2 en 3, zie figuur 3.1). Het zuigen van de putten en de overslag in schepen in het ARK zal gedurende vijf jaren plaatsvinden. In deze vijf jaar zal de overslag gedurende vijf dagen per week en 24 uur per dag worden uitgevoerd. Er zullen echter periodes zijn waarin niet wordt gewonnen. Deze periodes zijn bij het ingaan van deze studie nog niet bekend.

Per week moet tenminste 100.000 m³ zand worden gewonnen. Verwacht wordt dat per jaar circa 2 miljoen m³ zand wordt gehaald, wat neerkomt op een productie van 10 miljoen m³ in vijf jaar.

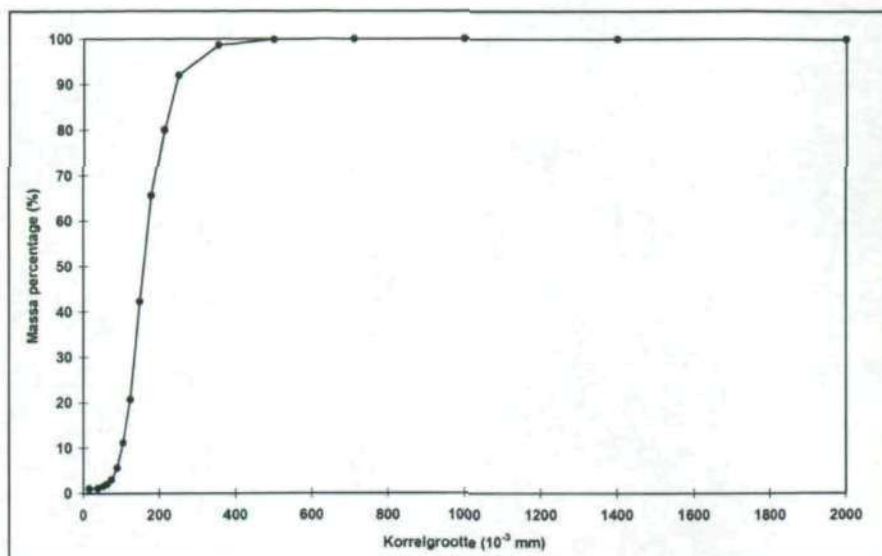
Het gewonnen zand wordt met behulp van een persleiding richting het ARK getransporteerd en vervolgens in schepen overgeslagen. Dit overslaan zal in een speciaal voor dit doeleinde gegraven haven plaatsvinden. Bij het vullen van de schepen zal het transportwater over de boorden stromen, waarbij in mors van voornamelijk fijn sediment wordt voorzien. Voor het transport van het zand door de persleidingen wordt gerekend met een verhouding zand en proceswater van 1 op 5. Dit betekent dat per productieweek globaal zo'n 500.000 m³ perswater over de boorden van de schepen stroomt. Met dit perswater zal ook een deel van het getransporteerde sediment in het ARK terecht kunnen komen. De vertroebeling van de waterfase in het ARK zal daarbij afhangen van de korrelgrootteverdeling van dat sediment. Voor zandig materiaal wordt weinig effect verwacht, omdat zand vanwege een relatief hoge valsnelheid vrijwel direct naar de bodem zinkt. Bovendien zal de zandfractie in het overstortende water gering zijn. Door fijner materiaal (slibdeeltjes) met een veel lagere valsnelheid kan vertroebeling van het water in het ARK optreden en, afhankelijk van de stroming van het water in het ARK, over zekere afstanden getransporteerd worden. Met andere woorden, de mate van vertroebeling van het water in het ARK zal onder andere afhangen van de verhouding tussen de vrij grote zanddeeltjes en de fijnere slibdeeltjes die in de bodem van de Loosdrechtse plassen worden gewonnen.

In figuur 3.2 is de gemiddelde korrelgrootteverdeling van het sediment in de bodem van de drie winlocaties weergegeven. Het materiaal is vrij goed gesorteerd waarbij het merendeel van het sediment in de grovere klasse valt (90% van het sediment is groter dan 100 µm (0,1 mm)). In tabel 3.1 is het percentage zeer fijn materiaal (tot 16 µm) en het percentage slib (tot 63 µm) per boringnummer weergegeven (zie figuur 3.1 voor de nummers van de boringen). Het zijn gemiddelde waarden die berekend zijn over de gehele boordiepte (tot 17 m diepte). Uit de tabel blijkt dat de diepere lagen van de bodem in de Loosdrechtse plassen gemiddeld minder dan 2% aan deeltjes kleiner dan 16 µm bevatten en voor minder dan 5% uit slib (< 63 µm) bestaan.

Figuur 3.1 Loosdrecht met de drie wingebieden (plas 1, 2 en 3). De boorlocaties voor bemonstering van sediment uit de diepere lagen zijn aangegeven met de betreffende codes B (1-17).



Figuur 3.2 Typisch voorbeeld van een frequentie-diagram van de gemiddelde korrelgrootteverdeling in de waterbodem tot 17 m diepte in de Loosdrechtse plassen.



Tabel 3.1 Gemiddelde waarde per locatie van massapercentage tot bepaalde korrelgrootte.

boringnummer	massapercentage tot 63 µm (in %)	massapercentage tot 16 µm (in %)
...		
1	4,6	2,3
3	1	0,65
6	11,5	2
8	1,9	0,8
10	2,8	1
14	2,5	1,3
15	4,5	2,3
17	2,2	1,5
gemiddeld	3,9	1,5

Zoals eerder vermeld zal het materiaal dat via overstort in het water terecht komt, afhankelijk van de specifieke valsnelheid, ter plekken kunnen bezinken of als een suspensiewolk het ARK in worden getransporteerd. Voor zand hangt de valsnelheid in water af van de korrelgrootte, namelijk hoe groter de zandkorrel en zijn soortelijke massa des te groter is de valsnelheid. Middels een simpele relatie kan deze valsnelheid berekend worden. Op basis van deze formule zal zand met een korrelgrootte van 100 µm met een snelheid van ongeveer 0,06 m/s bezinken. Zandkorrels met een grootte van 50 µm zullen met een snelheid van 0,017 m/s bezinken. Aangenomen mag worden dat eventueel overstortend zand in de directe omgeving van de overstort tot bezinking zal komen en niet zal bijdragen aan een extra vertroebeling van het ARK.

Voor het fijnere slib (korrelgrootte kleiner dan 63 µm), wat uit een mengsel van zand en kleideeltjes bestaat, is de relatie korrelgrootte-valsnelheid veel complexer. Hier speelt de concentratie in de waterfase ook een belangrijke rol. Uit onderzoek is gebleken dat in deze slibfractie vooral de deeltjes kleiner dan 16 µm zeer langzaam tot bezinking komen. Op basis van eerder onderzoek ligt de valsnelheid van sediment met deeltjesgrootte kleiner dan 16 µm tussen de $7 \cdot 10^{-5}$ m/s en $7 \cdot 10^{-4}$ m/s. Een gevolg van deze lage valsnelheden is dat juist dit materiaal vrij lang in de waterfase kan blijven en over relatief grote afstanden getransporteerd kan worden en daarmee voor een extra vertroebeling in het ARK kan zorgen.

Het proces van transport vanuit de overslaghaven naar het ARK is van een aantal factoren afhankelijk. Door het optreden van een verschil in de stroomsnelheid van het water tussen de haven (geen stroming) en het ARK (wel stroming) zullen neren ontstaan waarmee het sediment via dispersie getransporteerd wordt.

In het ARK wordt druk gevaren. Deze scheepsbewegingen kunnen voor een transport vanuit de overslaghaven zorgen. Uit een veldstudie uitgevoerd in kribvakken in de Waal (Kruyt, 1997) is gebleken dat scheepsbewegingen een groot effect hebben op de uitwisseling van het water en sediment tussen de rivier en de kribvakken. Verwacht mag worden dat de door de scheepvaart geïnduceerde waterbeweging (golfslag en het zuigeffect wanneer een beladen schip op vol vermogen voorbijvaart) het effect van neren ruim overtreft en dat het zelfs leidt tot een volledige uitwisseling van water en sediment tussen de overslaghaven en het ARK.

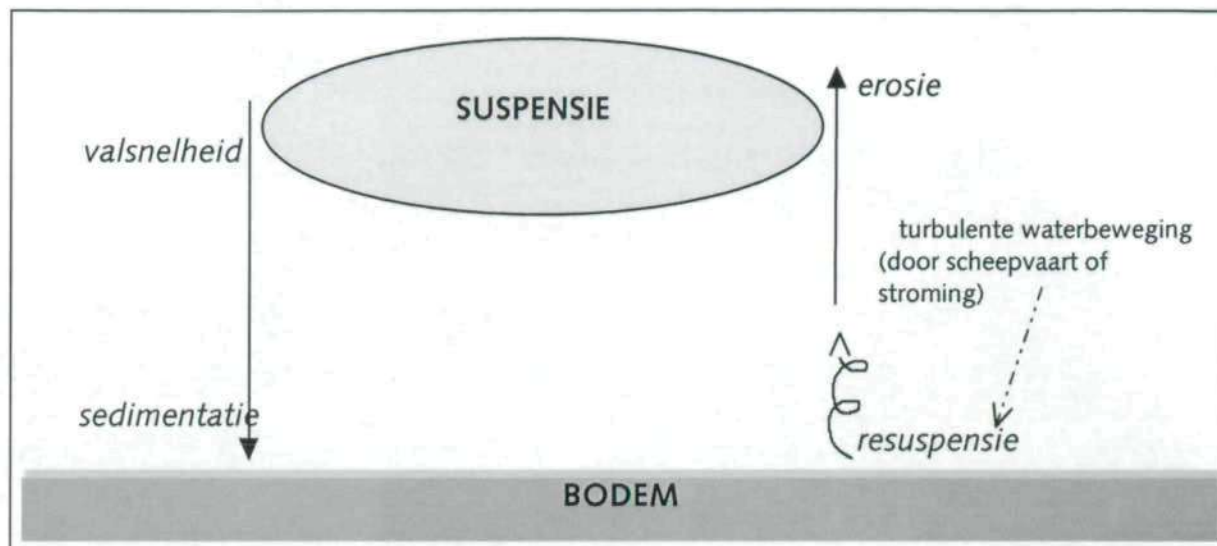
Daarnaast zal door het aanmeren en wegvaren van de schepen extra opwerveling en menging van het fijne sediment in de overslaghaven plaatsvinden en het ARK in getransporteerd worden.

Eenmaal in het ARK aangekomen zal een deel van het sediment door de stroming meegenomen worden. Ook hier geldt dat de afstand waarover het transport plaatsvindt afhangt van de snelheid van het water en de valsnelheid van het materiaal. Indien het water snel stroomt (gemiddeld boven 0,50 m/s) kan ook erosie van de toplaag van de bodem optreden. Voor het ARK zal, vanwege de lage stroomsnelheden in het kanaal, deze erosie niet optreden.

De scheepvaart kan echter wel voor extra vertroebeling zorgen. Uit diverse studies is gebleken dat door scheepvaart de waterbodem erodeert en de concentratie zwevend stof in de waterfase toeneemt, indien de kielspeling minder dan 2 m bedraagt (zie Kaa et al., 1992; Houwing, 1998).

In figuur 3.3 worden de processen met betrekking tot erosie en sedimentatie schematisch weergegeven.

Figuur 3.3 Schematische weergave van sedimentbewegingen tussen de bodem en het oppervlaktewater in het ARK.



4 Berekening en resultaten

4.1 Sediment en vertroebeling

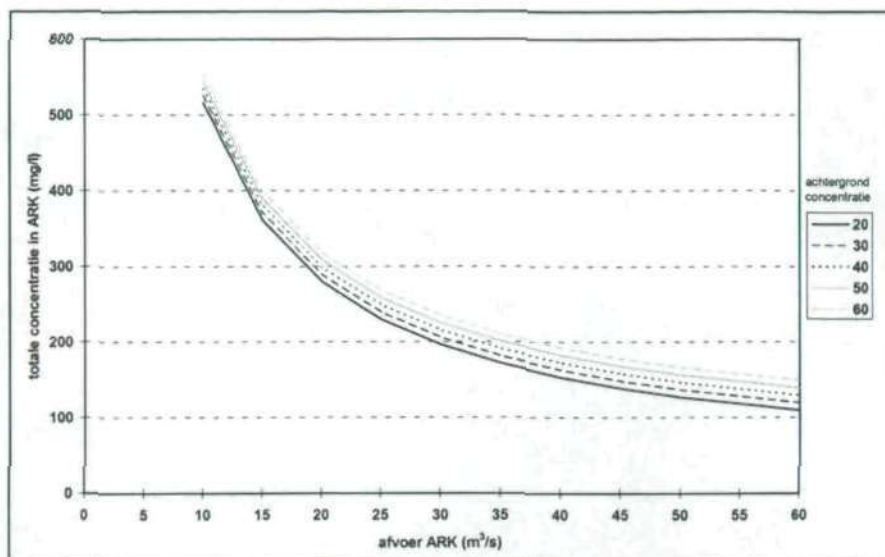
In één week tijd vindt circa 100.000 m³ zandoverslag plaats. Dit betekent dat per seconde circa 0,23 m³ sediment wordt overgepompt. Dit sediment wordt in een verhouding van 1:5 verdund met proceswater ten behoeve van het transport door een buisleiding. Dat betekent dat 1,15 m³/s water bijgemengd wordt. In het algemeen zal een volume van 1 m³ zand voor 70% uit werkelijk zand en voor 30% uit poriënwater bestaan. Uitgaande van 0,23 m³ sediment met 30% aan poriënvolume en aangenomen dat het sediment een soortelijke massa van 2.600 kg/m³ heeft, wordt er per seconde 419 kg aan sediment overgeslagen. Uit het bodemonderzoek is gebleken dat het zand uit de diepere lagen in Loosdrecht voor ongeveer 1,5% uit deeltjes kleiner dan 16 µm bestaat. Dit betekent dat er per seconde 6,3 kg aan zeer fijn sediment wordt overgeslagen. Aangenomen wordt dat al het sediment door de manier van het transporteren volledig in het proceswater is opgelost. Dit betekent dat de concentratie aan fijne deeltjes (< 16 µm) 6,3 kg/1,15 m³ = 5,48 kg/m³ (of 5.480 mg/l) is. Hierbij is geen rekening gehouden met sedimentatie van fijn materiaal in de zandwinputten tijdens de uitvoering van het project.

Aangenomen wordt dat al dit sediment door het transportproces en door het stortproces in het ruim van het schip volledig vrijkomt om met het proceswater over de boorden van het schip te stromen. Dit betekent dat de berekende 5.480 mg/l tevens de waarde van maximale vertroebeling van het water in de haven zal zijn. Met behulp van dit getal kan de vertroebeling in de directe omgeving in het ARK berekend worden. Aangenomen wordt dat al dit sediment in suspensie vanuit de haven het ARK instroomt. Afhankelijk van de achtergrondconcentratie en van het debiet in het ARK zal verdunning van deze hoge concentratie optreden (of bekeken vanuit het ARK een vertroebeling van het water in het ARK plaatsvinden). De berekening ziet er als volgt uit:

$$\text{conc ARK na haven} = \frac{(\text{debiet overstort} \cdot \text{conc in haven} + \text{debiet ARK} \cdot \text{conc ARK voor haven})}{(\text{debiet overstort} + \text{debiet ARK})} \quad (1)$$

Het debiet van de overstort wordt op 1 m³/s gehouden. De concentratie gesuspendeerd sediment in de haven, zoals boven is berekend, bedraagt 5.480 mg/l. In figuur 4.1 wordt op basis van formule (1) bij een bepaalde achtergrondconcentratie van het water in het ARK en voor verschillende debieten de uiteindelijke concentratie na de haven weergegeven. Uit de figuur blijkt dat voor verschillende debieten in het ARK de concentratie aan zwevend stof door vertroebeling sterk varieert (met waarden tussen de 500 en de 150 mg/l bij debieten van respectievelijk 10 en 60 m³/s). Bij een gemiddeld debiet van 30 m³/s wordt een vertroebeling van circa 200-250 mg/l verwacht. De achtergrondconcentratie in het ARK draagt niet veel bij aan de uiteindelijke concentratie zoals die na de overslaghaven wordt verwacht (maximale spreiding in de concentratie van ongeveer 40 mg/l bij gelijkblijvend debiet).

Figuur 4.1 Berekening van sedimentconcentratie in het water van het ARK na de haven, bij verschillende waarden van de afvoer van het ARK (10 tot m^3/s en met verschillende achtergrondconcentraties in het ARK (20 tot 60 mg/l).



4.2 Doorzicht

Het doorzicht van het water wordt beïnvloed door de aanwezigheid van algen, humuszuren in het water, de concentratie organisch stof (detritus) en de concentratie aan zwevend stof in het water. Door Buitenveld (1990) is aangetoond dat het doorzicht van het water met behulp van een simpele lineaire relatie berekend kan worden, waarbij elk van de boven beschreven variabelen wordt meegenomen. Omdat in dit rekenvoorbeeld alleen grote variaties in het zwevend stof voorkomen, wordt verondersteld dat de achtergrondconcentraties aan chlorofyl (algen), detritus en humuszuren geen enkele invloed op een verandering in het doorzicht hebben (zie ook Buitenveld, 1990). Boven een concentratie van 10 mg/l blijft alleen nog een lineaire relatie tussen doorzicht en concentratie aan zwevend stof over. Deze relatie ziet er als volgt uit:

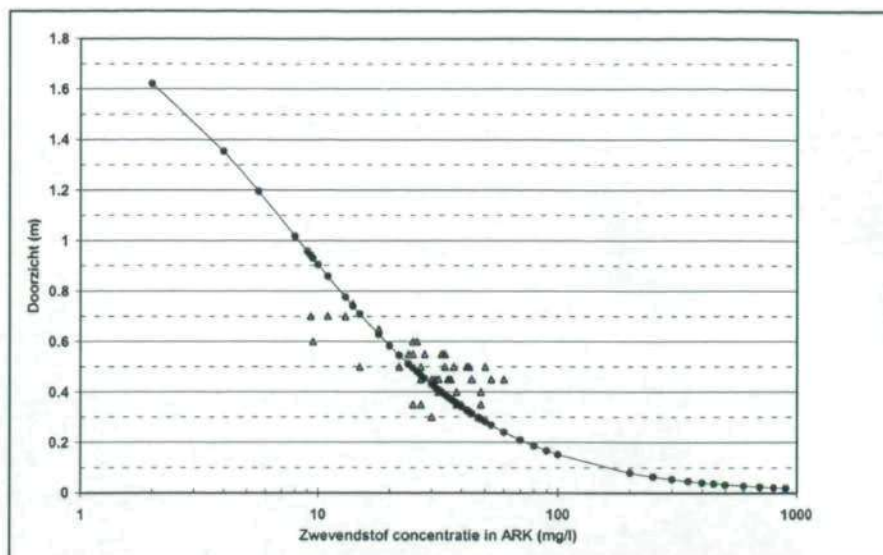
$$D = \alpha C \quad (2)$$

met:

$$\begin{aligned} D &= 1/\text{doorzicht} && (\text{m}^{-1}), \\ \alpha &= \text{coëfficiënt} && (\text{l/m/mg}) \text{ en} \\ C &= \text{concentratie zwevend stof in de waterfase} && (\text{mg/l}). \end{aligned}$$

Op basis van onderzoek (Buitenveld, 1990) wordt voor α een waarde van 0,061 aangehouden.

Figuur 4.2 Het doorzicht als functie van de concentratie zwevend stof. Berekende waarde (•) en gemeten waarde (Δ).



In figuur 4.2 is uit meetdata (uit DONAR) de relatie tussen de zwevend stofconcentratie en het doorzicht voor het ARK weergegeven. In de figuur staan ook de met behulp van formule (2) berekende doorzichtwaarden. Hoewel er een spreiding aanwezig is liggen de gemeten waarden redelijk rond de berekende waarden.

Uit figuur 4.1 valt af te lezen dat in het gunstigste geval de vertroebeling nog altijd boven de 100 mg/l ligt. Op basis van figuur 4.2 blijkt dat het doorzicht altijd minder dan 0,15 m bedraagt.

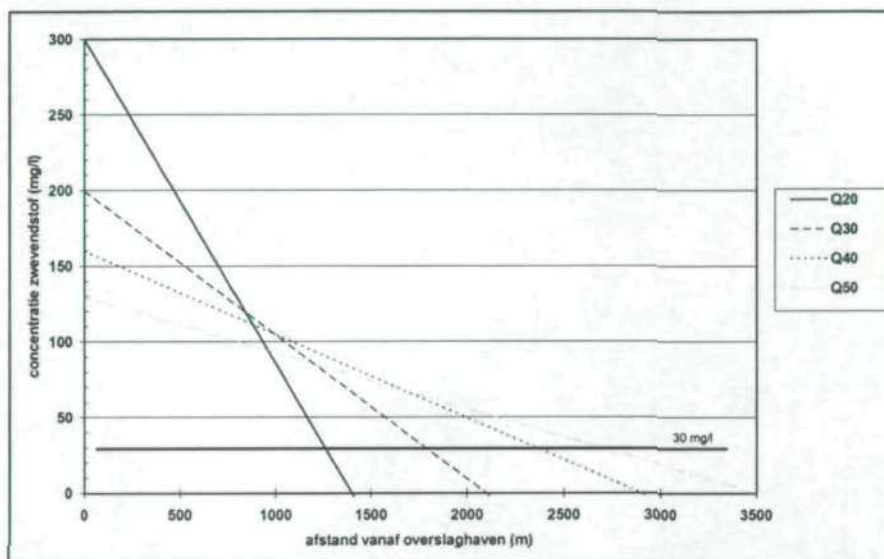
4.3 Verspreiding in Amsterdam-Rijnkanaal

In het volgende wordt berekend hoelang het zal duren (over welke afstand) voordat al het fijne materiaal uit de waterkolom is bezonken. Belangrijke parameters zijn hierbij de valsnelheid van het sediment, de snelheid van het water en de turbulentie in het water. Deze turbulentie wordt onder andere gegenereerd door de scheepsbewegingen en zorgt ervoor dat de deeltjes moeilijker tot bezinking kunnen komen en dat eerder bezonken sediment weer kan opwerpen. Dit proces is echter niet te kwantificeren.

Het is wel mogelijk om de bezinkafstand van het sediment te berekenen voor het hypothetische geval waarbij de invloed van scheepvaart wordt genegeerd. De bezinkafstand is dan alleen afhankelijk van de valsnelheid van de deeltjes en de snelheid van het water. In figuur 4.3 is voor deeltjes kleiner dan 16 μm met een valsnelheid van $7 \cdot 10^{-5}$ m/s bij verschillende debieten de afstand weergegeven, waarbij de vertroebeling volledig uit de waterkolom van het ARK is bezonken. Voor deze berekening is uitgegaan van een dieptegemiddelde situatie (3 m boven de bodem). Daarnaast wordt aangenomen dat al het fijne materiaal met het proceswater in het ARK terechtkomt. Voor de beginconcentratie die voor ieder debiet geldt worden de waarden uit figuur 4.2 genomen.

Bij een debiet van $20 \text{ m}^3/\text{s}$ wordt berekend dat na 1.400 m het meeste sediment bezonken zal zijn. Deze afstand wordt bij een oplopend debiet hoger en ligt bij een debiet van $50 \text{ m}^3/\text{s}$ op 3.500 m. Zoals gezegd geldt dit voor een ideale situatie. De waarden zullen dus optimistisch zijn. De door de scheepvaart geïnduceerde turbulentie zal op dit proces een negatieve invloed hebben (door resuspensie vanaf de bodem en door het negatief beïnvloeden van de uiteindelijke valsnelheid van de sedimentdeeltjes). Het is echter onmogelijk aan te geven hoe de situatie onder invloed van de scheepvaart er uit zal zien. De lijnen in figuur 4.3 laten een lineaire afname van de concentratie als gevolg van bezinking zien. In werkelijk zal deze afname meer logaritmisch verlopen. Uit figuur 4.3 kan worden afgelezen na welke afstand de concentratie zwevend stof weer op het oude niveau van 30 mg/l is teruggekeerd. Deze zal in het ideale geval (zonder scheepvaart) afhankelijk van het debiet tussen de 1,5 en 3 km liggen.

Figuur 4.3 De afstand (in m) waarover deeltjes vanaf een gemiddelde waterdiepte van 3 m zijn bezonken bij verschillende debieten van het ARK.



4.4 Sedimentatie in het Amsterdam-Rijnkanaal als gevolg van de overslag

Het fijne sediment dat via de overstort in het ARK terechtkomt zal daar ergens bezinken waarbij lagen van slib op de bodem van het kanaal ontstaan. De dikte van deze sliblagen zal afhangen van de hoeveelheid sediment dat via overstort vrijkomt en van de totale duur van het stortproces. In het navolgende wordt berekend hoe groot de aanslibbing in het ARK kan zijn. Bij deze berekening wordt van de maximale vertroebeling uitgegaan.

Per jaar wordt $2 \cdot 10^6 \text{ m}^3$ zand in schepen overgeslagen. Uitgaande van een poriënvolume van 30% en van een soortelijk gewicht van het zand van 2.600 kg/m^3 wordt er jaarlijks aan $(2 \cdot 10^6 \text{ m}^3 \times 0,7 \times 2.600 \text{ kg/m}^3)$ $364 \cdot 10^7 \text{ kg}$ zand overgeslagen. Dit zand bevat 1,5% aan deeltjes kleiner dan $16 \mu\text{m}$ welke volledig voor vertroebeling van het ARK vrijkomen. Dit betekent dat per jaar $(364 \cdot 10^7 \text{ kg} \times 1,5\%)$ $546 \cdot 10^5 \text{ kg}$ aan slib via het overstortende water in het ARK terecht komt. Al dit slib zal in het kanaal tot bezinking komen. Uit de vorige paragraaf werd aangenomen dat al het fijne sediment voor een ideale situatie (geen effect van de scheepvaart op het sedimentatieproces) binnen 3.000 m is bezonken. Zeer fijn materiaal (slib) heeft na afzetting een natte dichtheid van ongeveer 1.200 kg/m^3 . Omgerekend naar concentratie droge stof bevat een recent afgezette slibbodem circa 300 kg/m^3 aan sediment. Dit betekent dat de $546 \cdot 10^5 \text{ kg}$ slib een volume van $(546 \cdot 10^5 \text{ kg} / 300 \text{ kg/m}^3)$ 182.000 m^3 heeft. Als wordt aangenomen dat dit volume aan slib over een lengte van 3.000 m wordt verdeeld zal gemiddeld de jaarlijkse aangroei van de bodem (volume slib/lengte \times breedte van het kanaal = $182.000 \text{ m}^3 / 3.000 \text{ m} \times 100 \text{ m}$) 0,60 m bedragen.

4.5 Ecologie

Wanneer gedurende langere tijd en over een aanzienlijke afstand het doorzicht in een deel van het ARK beperkt zal zijn tot ongeveer 10 cm ('worst case', zie figuur 4.1 en 4.2), dan worden de hierna genoemde gevolgen voor de ontwikkelingsmogelijkheden van organismen in het kanaal verwacht.

4.5.1 Algen en zoöplankton

De ontwikkeling van algen is onder de huidige omstandigheden waarschijnlijk beperkt door verblijftijd en turbulentie door de scheepvaart (Bak *et al.* Watersysteemrapportage Kanalen, in voorbereiding). Een afname van de lichthoeveelheid onder water zal de groei van algen verder doen afnemen. Voor het zoöplankton is daardoor minder voedsel (minder algen) beschikbaar, zodat de ontwikkeling hiervan beperkt wordt.

4.5.2 Macrofauna

De mogelijkheden voor macrofauna-ontwikkeling ter plaatse nemen af, omdat bezinking van het slib de vestigingsmogelijkheden beperken.

Driehoeksmosselen hebben in stagnante wateren een doorzicht van 30-40 cm nodig (Laane, 1996a; Pieters, 1997c) om zich te kunnen ontwikkelen.

4.5.3 Waterplanten

Waterplanten komen in de huidige situatie niet of nauwelijks voor in het kanaal. Bij de aanleg van natuurvriendelijke oevers zullen lokaal de ontwikkelingsmogelijkheden voor waterplanten toenemen (Brochure Natuurvriendelijke oevers, Directie Utrecht). Voor de ontwikkeling van waterplanten is echter licht nodig. Er is een algemene relatie tussen het doorzicht (in m) en de maximale groeiddiepte (in m) van waterplanten in meren en plassen:

$$\text{maximale groeiddiepte} = 2 \cdot (\text{zichtdiepte})^{0,5} \quad (3)$$

De maximale groeiddiepte voor waterplanten bij verschillende zichtdiepten is weergegeven in tabel 4.1.

Tabel 4.1 Functie tussen maximale groei-
diepte voor water-
planten als functie
van de zichtdiepte.

zichtdiepte (in m)	maximale groeidepte waterplanten (in m)
0,10	0,63
0,15	0,77
0,20	0,89
0,30	1,09
0,40	1,26
0,50	1,41
0,60	1,55

Uit tabel 4.1 blijkt dat bij geringe zichtdiepten alleen in zeer ondiep water groei van waterplanten mogelijk is.

Het habitatmodel van schedefonteinkruid, de meest algemene waterplant in de grote Nederlandse wateren, geeft aan dat bij een zichtdiepte van minder dan 20 cm geen groei van deze plant mogelijk is (Laane, 1996b).

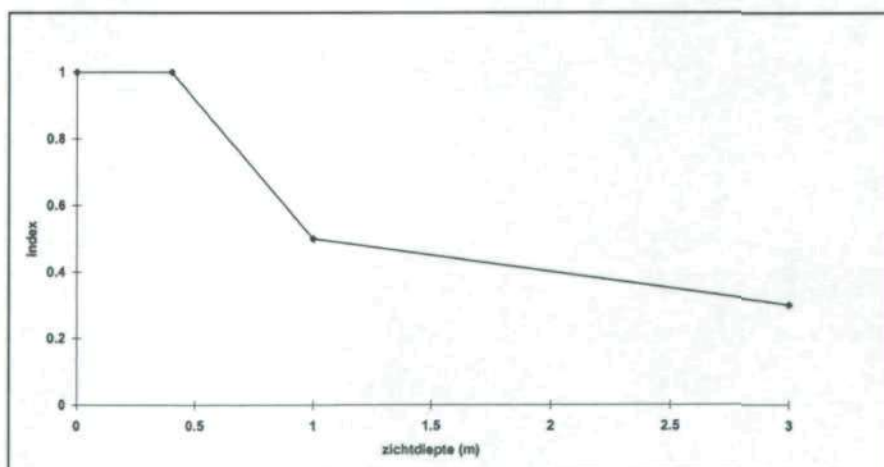
De zandoverslag zal daardoor lokaal de ontwikkelingsmogelijkheden voor waterplanten in het kanaal en in de geplande natuurvriendelijke oevers langs het kanaal verminderen.

4.5.4 Vissen

De huidige visstand in het kanaal bestaat uit brasem, baars, blankvoorn, kolblei en snoekbaars. Brasem is zowel in aantal als in biomassa veruit de meest voorkomende soort. Daarnaast komen ook trekvissoorten voor: paling, bot, spiering en driedoornige stekelbaars (watersysteemrapportage Kanalen, in voorbereiding).

De brasem is een soort die goed is aangepast aan troebele omstandigheden. Volgens het habitatmodel kan de brasem bij een doorzicht tussen 0 en 30 cm optimaal voorkomen (Van Breukelen, 1992a). De beperking van het doorzicht tot 10 cm heeft waarschijnlijk geen gevolgen voor de ontwikkelingsmogelijkheden van de brasem (zie figuur 4.4).

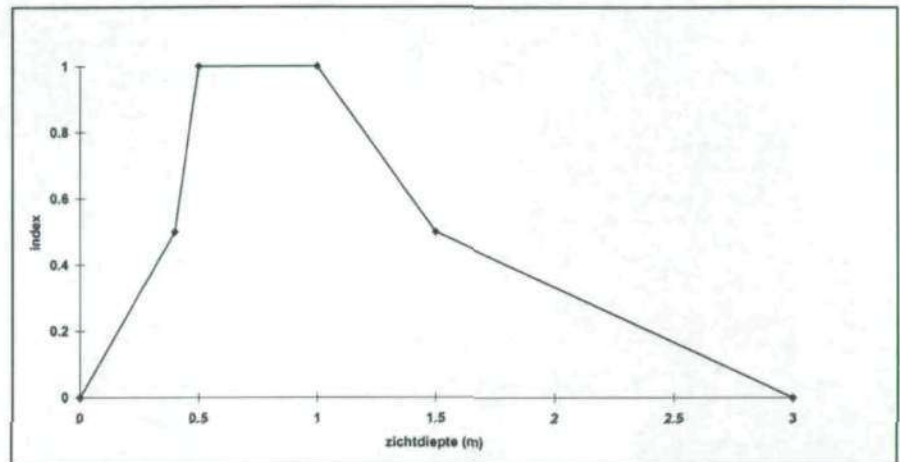
Figuur 4.4 Geschiktheidsindex
zichtdiepte van de
brasem.



De blankvoorn is een soort die bij minder gunstige lichtomstandigheden (minder dan 0,5 m zichtdiepte) kan overschakelen van zichtjagen op voedselgedrag waarbij meer op de tast gejaagd wordt (Van Breukelen, 1992b). De brasem heeft een fijner filterapparaat en kan daardoor efficiënter op de tast jagen dan blankvoorn. Bij geringe zichtdieptes (minder dan 30-40 cm) is de brasem dan ook sterker vertegenwoordigd dan de blankvoorn. De langdurige vertroebeling zal in het ARK tot een nog grotere dominantie van de brasem leiden dan nu reeds het geval is.

De snoekbaars is een roofvis die zich goed kan ontwikkelen in troebel water in tegenstelling tot de snoek. Bij een afname van de zichtdiepte tot onder de 0,5 m neemt de geschiktheid voor snoekbaars echter sterk af (zie figuur 4.5; Bakker & Schouten, 1992).

Figuur 4.5 Geschiktheidsindex zichtdiepte voor de ontwikkelingsmogelijkheden van de snoekbaars.



Een soort die nu niet in het kanaal voorkomt is de snoek. Deze soort heeft minimaal 40 cm zichtdiepte nodig voor zijn ontwikkeling. Met de aanleg van natuurvriendelijke oevers beoogt de beheerder de ontwikkelingsmogelijkheden voor snoek plaatselijk te stimuleren. Voor het uitkomen van eieren is de depositie van zwevend stof een kritische factor. Bij een zwevend stofdepositie van 1 mm/dag sterven de eieren. In de omgeving van de ingreep van de zandoverslag is de ontwikkeling van een snoekpopulatie onmogelijk, zowel door het beperkte doorzicht als door de mogelijke verhoogde depositie van zwevend stof.

4.5.5 Vogels

Voor de fuut en de kuifeend zijn in de AMOEBE (Pieters, 1997e) berekeningen gemaakt over het voorkomen in het ARK. Beide soorten hebben een indicatieve waarde voor het ecologisch functioneren van het watersysteem. Zij zullen door een langdurige vertroebeling nadelig worden beïnvloed.

De fuut is een zichtjager en heeft minimaal 40 cm zichtdiepte nodig om zich te kunnen handhaven. De kuifeend is afhankelijk van driehoeksmosselen als voedselbron. De ontwikkelingsmogelijkheden voor de driehoeksmossel zijn vanwege het geringe doorzicht beperkt. Dit zal zeker consequenties hebben voor de kuifeend.

5 Gevoeligheidsanalyse

In hoofdstuk 4 Berekening en resultaten is aangegeven hoe door de overslag de vertroebeling van het water in de overslaghaven kan worden berekend. Hierbij zijn een aantal aannamen gedaan. De belangrijkste zijn:

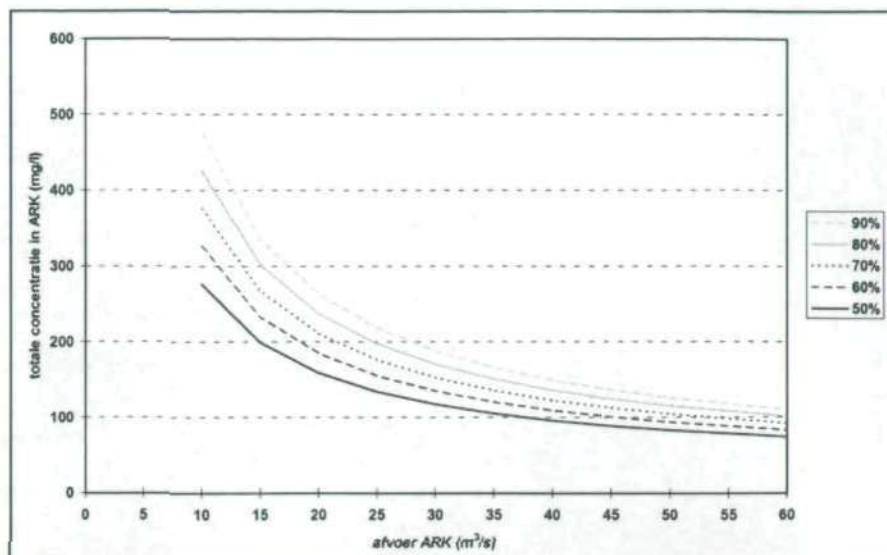
1. Al het sediment afkomstig uit de Loosdrechtse plassen zal door de manier van transporteren en overslag volledig in opgeloste fase in de schepen worden overgeslagen.
2. Alle fracties kleiner dan $16\ \mu\text{m}$ gaan door de manier van transport in suspensie en zullen met het overtollige proceswater volledig over de boorden van de schepen stromen.
3. Er wordt vanuit gegaan dat de suspensiewolk die in de overslaghaven ontstaat, als gevolg van scheepvaart in het ARK volledig in het ARK wordt opgemengd.

Op deze aannames kan nog wel wat kritiek geleverd worden. Men kan zich afvragen of al het sediment mooi opgemengd wordt in het proceswater. Het is niet ondenkbaar dat een deel van het zeer fijne materiaal toch in de poriën van het grovere sediment (zand) blijft zitten en zodoende in de bakken van de schepen terecht zal komen. Ook is niet bekend of alle zeer fijne fracties als afzonderlijke deeltjes in het water terecht zullen komen. Dit zeer fijne materiaal wordt aangeduid als cohesief sediment. Van dit type sediment is bekend dat het kan samenklonteren waarbij grotere deeltjes ontstaan die ook weer hogere valsnelheden bezitten. Het is geen uitgemaakte zaak dat, zoals in de berekening wordt aangenomen, al het fijne materiaal voor langere tijd in het water kan blijven zweven waarmee de vertroebeling van het water een feit is. Misschien is het zo dat toch een deel sneller zal bezinken, waardoor minder vertroebeling optreedt. Voor al deze zaken is geen kwantitatief getal bekend. Om toch enigszins een schatting te kunnen geven wat er kan veranderen, wordt ervan uitgegaan dat een zeker percentage van alle fracties kleiner dan $16\ \mu\text{m}$ op een of andere manier niet vrijkomt voor vertroebeling.

Voor deze gevoeligheidsanalyse wordt gewerkt met een gemiddelde achtergrondconcentratie in het ARK van $30\ \text{mg/l}$. Er wordt gerekend met een "maximale" aanvoer van $1\ \text{m}^3/\text{s}$ met een concentratie aan fijn sediment ($< 16\ \mu\text{m}$) van $5.480\ \text{mg/l}$. Door middel van een coëfficiënt (in percentages) wordt aangegeven hoeveel van dit fijne materiaal uiteindelijk niet in het ARK terechtkomt (doordat een deel toch in de schepen achterblijft en een deel in de overslaghaven tot bezinking komt). In figuur 5.1 zijn de berekeningen voor verschillende debieten weergegeven, waarbij uit wordt gegaan dat 90% tot 50% van het fijne sediment daadwerkelijk in het water van het ARK terechtkomt. Voor een gemiddeld debiet van $30\ \text{m}^3/\text{s}$ varieert de vertroebeling van het ARK water nu tussen de 200 tot $100\ \text{mg/l}$ (was $200\text{-}250\ \text{mg/l}$ bij 100% vrijkomen van de fijne deeltjes, zie figuur 4.1). Het doorzicht van het water in het ARK wordt daarmee echter niet substantieel verbeterd en blijft rond de $0,1\ \text{m}$ liggen (zie figuur 4.2).

Ook voor de jaarlijkse aanslibbing van het ARK zal het percentage kleiner dan $16\ \mu\text{m}$ dat bij het overslag proces vrijkomt gevolgen hebben. Indien slechts 50% van de maximale aanvoer daadwerkelijk in het ARK terechtkomt zal de totale aanslibbing ook met 50% verminderen. Dit komt echter nog steeds neer op een jaarlijks gemiddelde aanslibbing van de bodem van $30\ \text{cm}$.

Figuur 5.1 Berekening van sedimentconcentratie in het water van het ARK na de overslaghaven, bij verschillende waarden van de afvoer van het ARK (10 tot 60 m³/s) en bij een afnemend percentage fijn sediment dat beschikbaar is voor vertroebeling (90-50% van beginsituatie 5.480 mg/l).



Op basis van de recent uitgevoerde lodingen en van veldwaarnemingen (pers. comm. Directie Utrecht) kan met grote stelligheid aangenomen worden dat het fijne materiaal niet binnen 3 km van de overslaghaven zal worden afgezet. Met name de diepstekende duwbakken zullen het fijne materiaal voortdurend van de waterbodem opwervelen. Uit veldwaarnemingen blijkt dat het opgewervelde sediment niet volledig door de waterkolom wordt opgemengd maar tot slechts tot een beperkte afstand (enkele meters) boven de bodem reikt. Indien wordt aangenomen dat door de hoge frequentie aan scheepsbewegingen in het ARK de deeltjes kleiner dan 16 µm niet binnen 3.000 m maar over de rest van het kanaal richting Amsterdam wordt afgezet, zal de uiteindelijke sliblaag een stuk dunner worden. Voor de maximale belasting met fijn sediment (100%) zal gemiddeld de bodem (182.000 m³ slib/100 m x 20.000 m) met 9 cm per jaar aangroeien. Indien slechts de helft van het fijne sediment in het ARK terechtkomt, zal de bodem jaarlijks met 4,5 cm aangroeien.

Bij de huidige studie is het niet mogelijk om aan te geven hoe het transportproces van de fijne fracties richting Amsterdam zal gaan optreden. Onduidelijk is hoe snel het fijne materiaal stroomafwaarts getransporteerd gaat worden. Indien dit enkele maanden in beslag gaat nemen bestaat de mogelijkheid dit extra sediment middels frequent baggeren relatief eenvoudig uit het systeem te verwijderen. Om deze mogelijkheid te onderzoeken zal de vertroebeling als gevolg van de overslag en de ontwikkeling van de slibdikte op de waterbodem in de tijd gevolgd moeten worden.

6 Conclusie

Een belangrijke beperking bij deze studie is, dat niet bekend is hoeveel van de fijne fracties met het proceswater over de boorden van de schepen zal stromen. Verder is niet bekend hoe snel dit materiaal zal bezinken. Daarnaast is onbekend wat de invloed van scheepsbewegingen op dit proces zal zijn. Door deze onzekerheden kan slechts een globaal beeld worden verkregen van de effecten die worden verwacht. Hierbij wordt in eerste instantie uitgegaan van een maximaal optredende vertroebeling.

6.1 Vertroebeling en doorzicht

Ter plaatse van de overslaghaven zal zeker een forse vertroebeling van de waterfase in het ARK plaatsvinden. In het ergste geval (alle fijne deeltjes vallen met het proceswater overboord) zal dat tussen de 500 mg/l (bij een debiet van 10 m³/s in het ARK) tot 150 mg/l (bij een debiet van 60 m³/s) liggen. Bij een gemiddeld debiet van 30 m³/s wordt een lokale vertroebeling van ten hoogste 250 mg/l verwacht. Omdat waarschijnlijk niet alle fijne fracties in het water terechtkomen, en omdat wellicht ook nog een deel van de fijne fracties toch nog in de overslaghaven zal bezinken, zullen deze waarden lager uit kunnen vallen (zie figuur 5.1).

Het is niet mogelijk een beeld te schetsen hoe de vertroebeling zich verder in het ARK verplaatst. Mogelijk dat door scheepsbewegingen het fijne materiaal van de bodem voortdurend wordt opgewerveld. De extra vertroebeling die hiermee gepaard gaat zal waarschijnlijk tot de onderste meters van de water in het ARK beperkt blijven.

Het doorzicht zal als gevolg van de overslag lokaal sterk verslechteren en zal van de huidige gemiddelde waarde van 0,40 m kunnen dalen tot onder de 0,15 m.

6.2 Aanslibbing

Omdat er een behoorlijke grote hoeveelheid sediment over een lange periode (vijf jaar) wordt overgeslagen, zal er veel materiaal in het ARK terecht kunnen komen. Jaarlijks kan de bodem met 60 cm aangroeien indien er vanuit wordt gegaan dat alle fijne fracties in het ARK terechtkomen en dat deze fracties binnen 3 km bezinken. De jaarlijkse aangroei van de bodem zal gemiddeld 9 cm bedragen wanneer al dit sediment door scheepsbewegingen moeilijker tot bezinking komt en over het resterende deel van het kanaal (circa 20 km) wordt afgezet.

De mogelijkheid bestaat dat onder invloed van de scheepvaart in grote delen van het ARK geen aanslibbing kan plaatsvinden. Er zijn echter plekken waar wel aanslibbing mogelijk is (bijvoorbeeld ter hoogte van het Nieuwe Diep/kmr 2). Met de aanvoer van extra fijn sediment zal op deze plaatsen een verhoogde aanslibbing plaats kunnen vinden.

6.3 Ecologie

De ingreep zal de ecologische ontwikkelingsmogelijkheden van de soorten die nu in het kanaal voorkomen verder beperken. Dit geldt met name voor de omgeving van de overslaghaven. Voor de huidige situatie zal de ingreep de ontwikkeling van algen en zoöplankton verslechteren. Daarnaast zal een slechter lichtklimaat van het water tot een nog grotere dominantie van de brasem leiden dan nu reeds het geval is. De snoekbaars zal bij een verslechtering van het doorzicht zelfs kunnen verdwijnen.

Uitvoering van plannen om door middel van natuurvriendelijke oevers het ecologisch functioneren van het kanaal te verbeteren hebben in de omgeving van de ingreep geen zin, omdat het troebele water de ontwikkeling van waterplanten, een gevarieerdere visstand etc. zullen verhinderen.

6.4 Aanbeveling

De grootte van de aanslibbing van de bodem in het ARK als gevolg van de overslag lijkt zeer opvallend. Door de intensieve scheepvaart bestaat de mogelijkheid dat al dit materiaal niet blijvend tot afzetting komt maar alsnog in de waterfase in benedenstroomse richting wordt getransporteerd. Door baggeren kan een belangrijk deel van dit extra sediment uit het systeem verwijderd worden. Hiervoor is het noodzakelijk te weten of het sediment voortdurend in beweging is (waardoor de mogelijkheid om te baggeren beperkt is) of dat het tijdelijk toch ergens in het ARK wordt afgezet. Ook is het denkbaar dat een deel van het sediment pas in het IJ bij Amsterdam bezinkt. Hoeveel en hoe vaak er dan in het ARK gebaggerd moet gaan worden hangt vervolgens af van de hoeveelheid fijn materiaal dat tijdens het proces vrijkomt en of dit materiaal binnen een beperkte afstand of over een groot deel van het ARK tot afzetting komt.

Indien besloten wordt dat de overslag van zand gaat plaatsvinden, verdient het aanbeveling de mate van vertroebeling en de grootte aan sedimentatie in tijd en ruimte te monitoren. Het eerste proces kan met behulp van troebelheids-sensoren (bijv. Mexx) bij vaste meetpunten en varende in beeld worden gebracht. Het tweede proces (de aanslibbing) kan door middel van box-cores (lokale slibdiktebepaling) en lodingen (ruimtelijke aanslibbing) worden gevolgd. Met behulp van de verkregen (meet)data kunnen de uitkomsten uit dit werkdocument geëvalueerd worden. Daarnaast komt informatie beschikbaar voor advies voor de extra baggerwerkzaamheden en om in de toekomst soortgelijke projecten te begeleiden.

- Bak, A., A. Kaper, B. Reeze en I. van Splunder. RIZA rapport in voorbereiding. Biologische monitoring Rijkswateren. Watersysteemrapportage Noordzeekanaal, Amsterdam-Rijnkanaal, Kanaal Gent-Terneuzen, Twenthekanalen.
- Bakker H.D. & W.J. van Schouten, 1992. Habitat geschiktheid indexmodel. De snoekbaars *Stizostedion luciperca*. OVB.
- Breukelen S. van, 1992a. Habitat geschiktheid index model Brasem. *Abramis brama*. OVB.
- Breukelen, S. van, 1992b. Habitat geschiktheid model. De Blankvoorn. *Rutilus rutilus*. OVB.
- Buitenveld, H., 1990. Uitzicht; model voor berekening van doorzicht en extinctie. RIZA nota 90.058.
- Houwing, E.J., 1998. Erosie van de waterbodem door scheepvaartbewegingen in de Hollandsche IJssel. RIZA werkdocument 98.101X.
- Kaa, E.J. van de, L.J. Kappe en M.G. de Rijk, 1992. Integraal waterbeheer Ketelmeer; erosie ten gevolge van scheepvaart vervolgonderzoek. RWS, directie Flevoland.
- Kruyt, N.M., 1997. Kwantificering van sedimentbeweging in kribvakken onder invloed van scheepvaart in de Waal in het traject bij Druten-Ochten tijdens de zomer van 1996. Universiteit Utrecht, IMAU rapport R97-12.
- Laane, W.E.M., 1996a. Habitatmodellen Driehoeksmosselen *Hydropsyche contubernalis* en Oeveraas. RIZA werkdocument 96.044X.
- Laane W.E.M., 1996b. Habitatmodellen waterplanten. Gele plomp, Rivierfonteinkruid, Schedefonteinkruid en Watergentiaan. RIZA werkdocument 96.049X.
- Ministerie van Verkeer & Waterstaat, Directie Utrecht. Natuurvriendelijke oevers langs het Amsterdam-Rijnkanaal. Brochure.
- Pieters, P.C., 1997. Kwantificering doelvariabelen AMOEBE Noordzeekanaal/Amsterdam-Rijnkanaal. RIZA werkdocument 96.062X.
- Deel a. Algen en watervlooien
- Deel b. Vegetatie
- Deel c. Macrofauna
- Deel d. Vissen
- Deel e. Vogels
- Deel f. Zoogdieren
- Steenkamp, B.P.C. en D. Ludikhuizen, 1998. Effect verruiming passage Zeeburg op zoutindringing Amsterdam-Rijnkanaal. RIZA werkdocument 98.031X.