

Hoogheemraadschap van West-Brabant

variantenstudie waterbeheer Binnenschelde



Witteveen+Bos

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

Hoogheemraadschap van West-Brabant

variantenstudie waterbeheer Binnenschelde

registratie	projectcode	status
SECI/ROEG/rap.003	Boz80.23	definitief
projectleider	projectdirecteur	datum
dr.ir. L.A.J. Nagelkerke	drs. M.P. Grimm	99-08-20

autorisatie	naam	paraaf
goedgekeurd	drs. M. Klinge	

Witteveen+Bos

Raadgevende ingenieurs b.v.

Van Twickelostraat 2

postbus 233

7400 AE Deventer

telefoon 0570 69 79 11

telefax 0570 69 73 44

© Witteveen+Bos Raadgevende ingenieurs b.v.

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

1945895

INHOUDSOPGAVE

0. SAMENVATTING	1
0.1. Achtergrond	1
0.2. Oplossingsrichtingen	1
0.3. Afweging van de varianten	2
1. INLEIDING	3
1.1. Probleemstelling en oplossingsrichtingen	3
1.2. Doel van de studie	5
1.3. Leeswijzer	5
2. PROBLEEMANALYSE	6
2.1. Water- en stoffenbalans	6
2.1.1. Waterbalans	6
2.1.2. Stoffenbalansen	8
2.2. Ontwikkelingen in de Binnenschelde op het gebied van waterkwaliteit en ecologie	12
2.3. Evaluatie	15
3. OPLOSSINGSVARIANTEN	16
3.1. Zoete variant	16
3.1.1. 'Natuurlijk' zuiveringsmoeras	16
3.1.2. Zoete variant met methanoldosering	17
3.2. Zoute variant	17
4. UITWERKING VAN DE VARIANTEN	19
4.1. Ecologische uitwerking	19
4.1.1. Zoete variant met natuurlijk zuiveringsmoeras	19
4.1.2. Zoete variant met methanoldosering	22
4.1.3. Zoute variant	23
4.2. Technische uitwerking	28
4.2.1. Zoete variant met natuurlijk zuiveringsmoeras	28
4.2.2. Zoete variant met methanoldosering	29
4.2.3. Zoute variant	29
4.3. Aanlegkosten	31
4.3.1. Zoete variant met natuurlijk zuiveringsmoeras	31
4.3.2. Zoete variant met methanoldosering	32
4.3.3. Zoute variant	33
4.4. Exploitatie-, onderhouds- en afschrijvingskosten	34
5. INTEGRALE BEOORDELING EN KEUZE	36
5.1. Beoordelingscriteria	36
5.2. Integrale afweging	36
5.3. Conclusie	37
6. NADERE AANBEVELINGEN	38
LITERATUUR	39
 laatste bladzijde	 40

INHOUDSOPGAVE

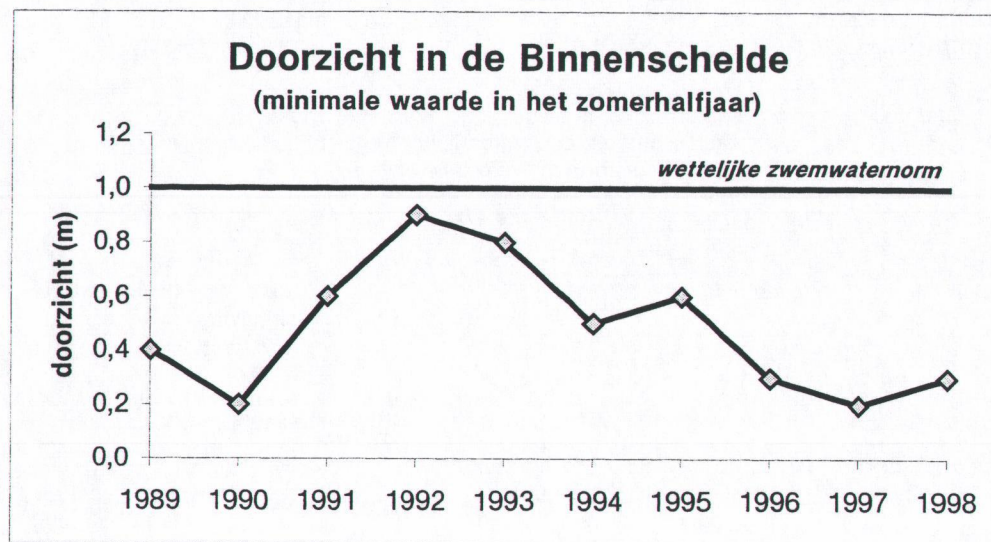
BIJLAGEN		aantal bladzijden
I	Uitgangspunten van de water- en stoffenbalansen	2
II	Verband tussen stikstofconcentraties en algengroei	1
III	Geohydrologische uitwerking van de effecten van zoute kwel vanuit een zoute Binnenschelde	6
IV	Nadere technische uitwerking en kostenraming van de zoute variant	14
V	Nadere kostenraming van de zoete varianten	2
VI	Berekening van de stikstofconcentraties	1
VII	De effecten van wateraanvoer vanuit de Augustapolder	5
VIII	Jaarlijkse kosten van de zoete variant	3
IX	Jaarlijkse kosten van de zoute variant	4

0. SAMENVATTING

0.1. Achtergrond

De Binnenschelde, een meer van ca. 180 ha groot in de gemeente Bergen op Zoom, kampt de laatste jaren met waterkwaliteitsproblemen: het doorzicht is veel minder dan de voor zwemwater vereiste 1 meter (**afbeelding 0.1.**) en er treedt overmatige algengroei op. Dit brengt de recreatieve functie van de Binnenschelde in gevaar.

Afbeelding 0.1. Het verloop van het minimale doorzicht in de Binnenschelde in het zomerhalfjaar



Het Hoogheemraadschap van West-Brabant en de gemeente Bergen op Zoom hebben opdracht aan Witteveen+Bos gegeven om een studie uit te voeren naar de mogelijkheden om de waterkwaliteit duurzaam te verbeteren via het verlagen van de belasting met stikstofverbindingen. Hierbij is het Hoogheemraadschap formeel als opdrachtgever opgetreden. Er wordt hierbij gestreefd naar een zodanige beperking van de hoeveelheid stikstof (N_{tot}) in het water, dat hierdoor de algengroei sterk wordt beperkt en zo duurzaam helder water wordt verkregen.

0.2. Oplossingsrichtingen

De volgende varianten zijn in de voorliggende studie hoofdzakelijk met elkaar vergeleken:

Een zoete variant met een natuurlijk zuiveringsmoeras

In deze variant wordt het water uit de Binnenschelde gedurende ca. 200 dagen ^{per jaar.} gezuiverd door het te recirculeren (m.b.v. een recirculatieleiding en een gemaal) over een droog zuiveringsmoeras (nitrificatieveld) van 3 ha en daarna over een permanent nat zuiveringsmoeras (denitrificatieveld) van 9 ha. Hierdoor vindt voldoende verwijdering van stikstof uit het water plaats. Bovendien wordt gedurende maximaal 100 dagen ^{per jaar.} ingelaten Zoommeerwater door beide moerassen geleid.

De aanlegkosten worden geraamd op $\pm f$ 14,5 miljoen (exclusief omzetbelasting).

een zoute variant

In deze variant wordt de Binnenschelde voortdurend doorgespoeld met stikstofarm zeewater uit de Oosterschelde (ca. 14.000 m³ per dag). Hierdoor zal de stikstofconcentratie zo laag en het chloridegehalte zo hoog worden dat duurzaam helder, zout water, zonder algenproblemen mogelijk wordt. Het Oosterscheldewater wordt m.b.v. een gemaal tijdens hoog water de Binnenschelde ingepompt door een gecombineerde aan- en afvoerleiding (die onder de Schelde-Rijnverbinding doorloopt). Tijdens laag water wordt Binnenscheldewater onder vrij verval naar de Oosterschelde afgelaten.

De aanlegkosten worden geraamd op $\pm$ f 10,8 miljoen (exclusief omzetbelasting).

0.3. Afweging van de varianten

De zoete variant met het natuurlijke zuiveringsmoeras en de zoute variant zijn nader uitgewerkt en afgewogen, zoals samengevat in **tabel 0.1**.

Tabel 0.1. Schema van de integrale afweging van de zoete variant 1 en de zoute variant 3

criterium	zoet/natuurlijk zuiveringsmoeras	zout/doorspoelen met zout water
jaarlijkse kosten (exploitatie, onderhoud en afschrijving, in f exclusief omzetbelasting)	1.310.000,-- (1.008.000,-- tot 1.613.000,--)	1.112.000,-- (842.000,-- tot 1.382.000,--)
effectiviteit (kans op helder water)	niet gegarandeerd vanwege: - onzekerheid m.b.t. denitrificatie vanwege gebrek aan ervaring met grote helofytenvelden - mogelijk optreden van stikstofbindende algen	groot
negatieve neveneffecten	eventuele insectenoverlast	- resterende zoute kwel naar omgeving - eventuele hinder van kruiskwallen - eventuele hinder van zeesla/zeegras
duurzaamheid/belevingswaarde/natuurpotentie	- duurzamer dan andere alternatieven - belevingswaarde positief - past goed in overige natte natuur in de omgeving	- niet duurzaam - belevingswaarde positief - nieuwe zoute natuur, enigszins discontinu met directe omgeving

De jaarlijkse kosten zijn niet onderscheidend tussen de twee varianten. De effectiviteit (gedefinieerd als de kans op het verkrijgen van water met de gewenste kwaliteit) van de zoute variant is echter groot, terwijl die van de zoete variant onzeker is. Hoewel beide varianten als onduurzaam gekenschetst kunnen worden (er is continu energie nodig om de gewenste toestand te handhaven), geldt dit voor de zoete variant wat minder dan voor de zoute variant. Bovendien past deze wat beter in de omgeving. Aangezien de criteria van kosten en effectiviteit twee maal zo zwaar worden gewogen als de andere criteria (conform de wens van de opdrachtgever), wordt geconcludeerd dat van de twee onderzochte varianten de zoute variant het gunstigst is.

1. INLEIDING

De Binnenschelde, gelegen in de gemeente Bergen op Zoom, is in 1987 ontstaan na afsluiting van de Markiezaatsdam. Het oorspronkelijk zoute water is daarna in ongeveer drie maanden tijd verzoet. Het meer is ca. 180 ha groot met een gemiddelde diepte van 1,5 meter (maximaal 3,5 meter) en heeft een belangrijke recreatieve functie. Deze functie is afhankelijk van een goede waterkwaliteit, d.w.z. dat het doorzicht voldoende groot moet zijn in verband met de functie als zwemwater (de norm hiervoor is minimaal 1 meter) en dat er dus geen overmatige algengroei mag plaatsvinden.

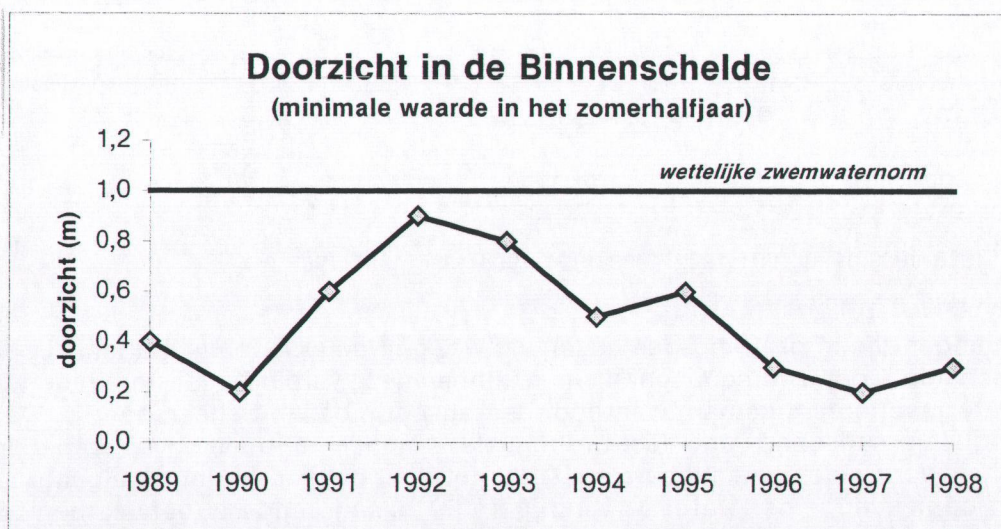
Een goede waterkwaliteit is tevens belangrijk voor de nieuwe woonwijk Bergse Plaat die direct aan de Binnenschelde grenst. Overlast door bijvoorbeeld stank van algen of rottende plantenresten is hier ongewenst. Het waterkwaliteitsbeheer is in handen van het Hoogheemraadschap van West-Brabant en het recreatiebeheer is in handen van de gemeente Bergen op Zoom.

1.1. Probleemstelling en oplossingsrichtingen

Sinds een aantal jaren neemt de waterkwaliteit van de Binnenschelde geleidelijk af. Hierdoor komt de recreatieve functie in gevaar en kan er mogelijk overlast voor de woonwijk Bergse Plaat optreden.

De verminderde waterkwaliteit uit zich met name door een afnemend doorzicht (**afbeelding 1.1.**), (deels) veroorzaakt door sterke algengroei. Hierdoor voldoet het doorzicht in de Binnenschelde op zijn minst tijdens één meting in het zomerhalfjaar niet aan de wettelijke norm voor zwemwater (minimaal 1 meter doorzicht). Gedurende de laatste jaren wordt het minimale doorzicht in de zomer steeds lager.

Afbeelding 1.1. Het verloop van het minimale doorzicht in de Binnenschelde in het zomerhalfjaar

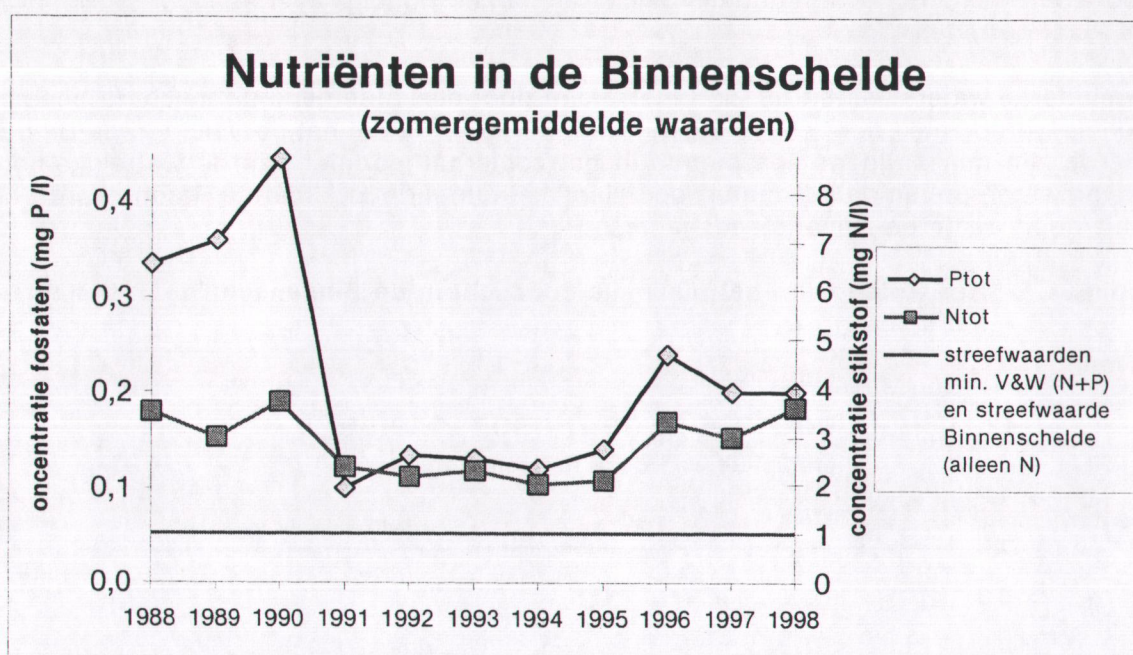


Reeds kort na het ontstaan is begonnen met beheer om de Binnenschelde helder te krijgen. Actief Biologisch Beheer (ABB) kreeg hierbij de nadruk. Deze vorm van beheer richt zich niet primair op het beperken van de externe aanvoer van voedingsstoffen, maar op het zodanig **verdelen** van de voedingsstoffen over de verschillende onderdelen van het voedselweb en tussen de waterfase en de waterbodem, dat de waterfase de gewenste kwaliteit (helder, weinig algen) heeft. Gedurende de jaren 1991 tot 1996 was dit beheer redelijk succesvol, hoewel er altijd een korte periode in het seizoen was waarin het doorzicht minder dan 1 meter werd (zie **afbeelding 1.1.**). Vanaf 1996 is de waterkwaliteit gaan verslechteren en treden er steeds langere periodes met troebel water en algenbloei op; een ontwikkeling die tot op heden doorzet. De reden hiervoor moet gezocht worden in de instabiliteit van dit (nog

erg jonge) ecosysteem (zie hoofdstuk 2), welke thans een ongunstige (her)verdeling van voedingsstoffen veroorzaakt, met een vertroebeling door algengroei als resultaat.

De huidige instabiliteit van het ecosysteem (en dus van de waterkwaliteit) heeft het Hoogheemraadschap van West-Brabant en de gemeente Bergen op Zoom ertoe gebracht uit te zien naar andere, meer beheersbare, middelen dan ABB om de gewenste waterkwaliteit te bereiken en te handhaven. Eén van de belangrijkste alternatieve mechanismen om de waterkwaliteitsproblemen in de Binnenschelde aan te pakken is het beperken van de externe aanvoer van voedingsstoffen voor algen, te weten fosfor- (P) en stikstof- (N) verbindingen. De concentraties van beide typen voedingsstoffen zijn thans hoog in de Binnenschelde (**afbeelding 1.2.**), veel hoger dan de landelijke streefwaarden voor oppervlaktewater die worden aangehouden in de Vierde Nota Waterhuishouding (Ministerie van Verkeer en Waterstaat, 1998) (P_{tot} : 0,05 mg/l; N_{tot} : 1,0 mg/l). Deze streefwaarden zijn gebaseerd op een verwaarloosbaar risico met betrekking tot het optreden van (blauw)algenbloei.

Afbeelding 1.2. Het verloop van de concentratie P_{tot} en N_{tot} in de Binnenschelde; de streefwaarden voor oppervlaktewateren zijn aangegeven (P_{tot} : 0,05 mg/l; N_{tot} : 1,0 mg/l)



P-verbindingen zijn in grote hoeveelheden aanwezig in de (voormalig mariene) bodem van de Binnenschelde. Door diverse mechanismen kunnen deze verbindingen vanuit de waterbodem in de waterfase terecht komen, waardoor de aanvoer moeilijk beheersbaar is. Daarom richt het Hoogheemraadschap van West-Brabant de aandacht primair op de beperking van de hoeveelheid voor algen beschikbare stikstof. Het doel hiervan is om de algengroei tegen te gaan en duurzaam helder water te verkrijgen. De bijbehorende streefwaarde voor het N_{tot} -gehalte in de Binnenschelde bedraagt eveneens 1 mg/l. Een onderbouwing van deze waarde is te vinden in paragraaf 2.1.

Aan Witteveen+Bos is opdracht gegeven voor het uitvoeren van een studie, waarbij twee, door de opdrachtgever voorgestelde oplossingsrichtingen worden verkend. Deze richtingen gaan uit van een beperking van de hoeveelheid stikstof:

1. voortdurend verwijderen van stikstof door zuivering m.b.v. rietmoerassen, eventueel in combinatie met doorspoeling van de Binnenschelde met een overschot aan (stikstofarm) water uit het aangrenzende stedelijke gebied (de 'zoete' variant);
2. voortdurend doorspoelen van de Binnenschelde met stikstofarm zeewater uit de Oosterschelde (de 'zoute' variant).

Het Hoogheemraadschap van West-Brabant als waterkwaliteitsbeheerder en de gemeente Bergen op Zoom als recreatiebeheerder hebben beiden tot uitvoering van de studie besloten. Het Hoogheemraadschap van West-Brabant is formeel als opdrachtgever opgetreden.

1.2. Doel van de studie

Het doel van de studie is om bovenstaande oplossingsvarianten nader te definiëren met betrekking tot:

- de ecologische aspecten: wat zijn de te verwachten ontwikkelingen in het ecosysteem na realisatie van de varianten (inclusief eventuele ongewenste effecten);
- de effectiviteit van de varianten wat betreft de reductie van de hoeveelheid stikstof;
- de benodigde technische voorzieningen voor de realisatie van de varianten, inclusief de aanlegkosten;
- de duurzaamheid;
- de eventuele negatieve effecten op de omgeving.

Vervolgens zijn de bovenstaande aspecten integraal afgewogen.

1.3. Leeswijzer

Het voorliggende rapport is als volgt opgebouwd:

- in hoofdstuk 2 wordt de probleemanalyse gepresenteerd;
- in hoofdstuk 3 worden de oplossingsvarianten geïdentificeerd en beschreven;
- in hoofdstuk 4 worden de varianten ecologisch en technisch uitgewerkt;
- in hoofdstuk 5 wordt een integrale afweging en beoordeling van varianten gemaakt;
- in hoofdstuk 6 worden verdere aanbevelingen gedaan.

2. PROBLEEMANALYSE

De probleemanalyse is als volgt opgebouwd:

- eerst wordt een beschouwing gegeven van water- en stofstromen (van chloride en stikstof) in het systeem met behulp van water- en stoffenbalansen;
- vervolgens wordt een beschrijving gegeven van het ecologisch functioneren van de Binnenschelde door de jaren heen;
- tenslotte wordt een evaluatie gegeven.

2.1. Water- en stoffenbalans

2.1.1. Waterbalans

De waterbalans voor de Binnenschelde over de periode 1994-1998 is gebaseerd op gegevens over:

- inkomend water, nl.:
 - . neerslag (gegevens van KNMI);
 - . inlaat vanuit het Zoommeer (gegevens van waterschap Het Scheldekwartier);
- uitgaand water, nl.:
 - . verdamping (gegevens van KNMI);
 - . doorspoeling van de Plaatvliet (gegevens van waterschap Het Scheldekwartier);
 - . wegzijging (gegevens uit Van Manen, 1994);
 - . overige uitlaat.

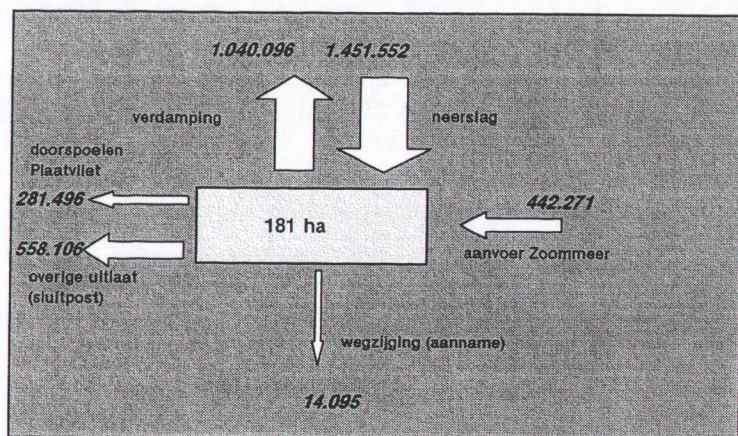
De gegevens over neerslag, inlaat vanuit het Zoommeer, verdamping en doorspoeling van de Plaatvliet zijn bekend. Gegevens over de wegzijging zijn betrokken uit een eerdere waterbalans-studie (0,15 mm/dag). De overige uitlaat, die wordt veroorzaakt door neerslagoverschot is niet gemeten en wordt daarom als sluitpost van de waterbalans gebruikt.

In **afbeelding 2.1.** zijn waterbalansen van de Binnenschelde weergegeven voor een gemiddeld jaar uit de periode 1994-1998, een droog jaar (1996) en een nat jaar (1998). Aanvoer van water vanuit het Zoommeer is sterk afhankelijk van de hoeveelheid neerslag en varieert van 0 tot ca. 830.000 m³ per jaar. Zoommeerwater wordt alleen ingelaten als er geen sterke algengroei in plaatsvindt. De verblijftijd van het water in de Binnenschelde varieert niet sterk (1,2-1,4 jaar).

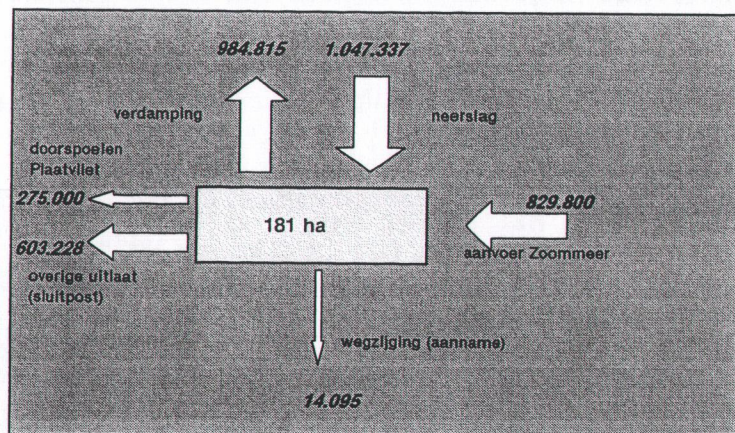
De uitgangspunten van de water- en stoffenbalansen worden gegeven in **bijlage I.**

Afbeelding 2.1. Waterbalansen voor een gemiddeld jaar over de periode 1994-1998, een droog jaar (1996) en een nat jaar (1998)

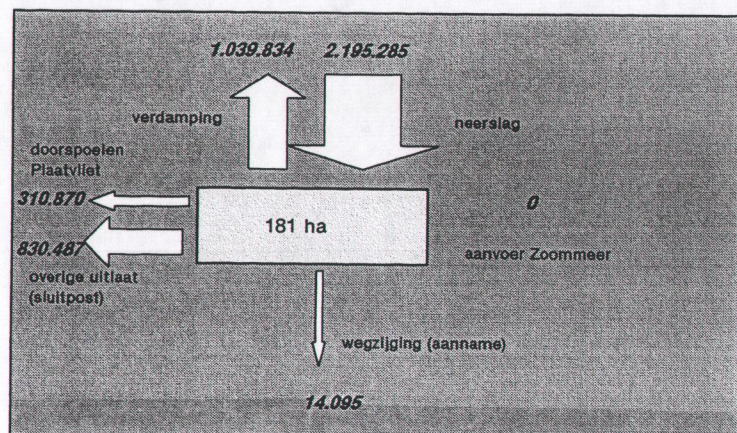
gemiddeld (1994-1998), in m³/jaar



1996



1998



2.1.2. Stoffenbalansen

Op basis van de waterbalans zijn stoffenbalansen opgesteld voor chloride en stikstof (uitgangspunten in **bijlage I**, berekeningswijze in **bijlage VI**). Het doel van de balansen is om het verloop van de concentraties van deze stoffen in de Binnenschelde te volgen in de huidige situatie. Deze berekende concentraties zijn vergeleken met gemeten concentraties. Verschillen tussen berekende en gemeten concentraties duiden erop dat er extra aanvoer- of verliestermen zijn waarmee de stoffenbalansen moeten worden gecalibreerd. Er wordt hier met name gedacht aan de nalevering van chloride uit de bodem en de omzetting van stikstof tot niet-oplosbare componenten (atmosferische stikstof, gesedimenteerde deeltjes of opslag in organismen).

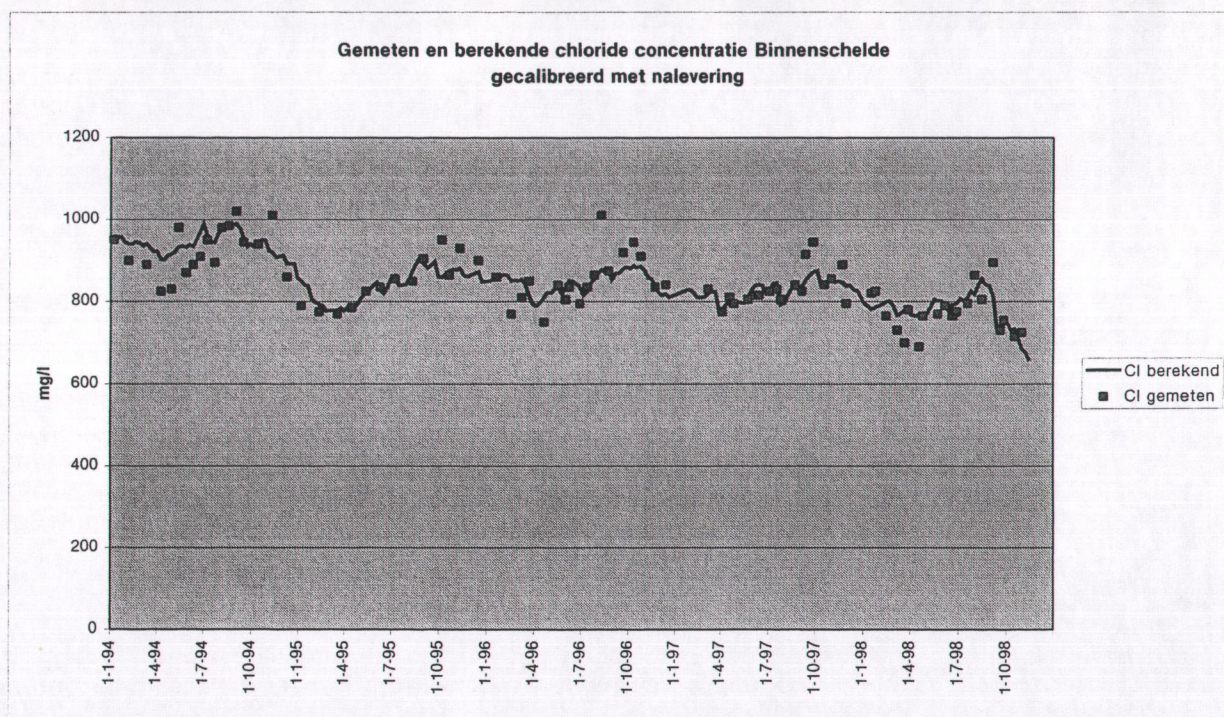
De gecalibreerde stoffenbalansen vormen de basis voor voorspellingen over het verloop van de stoffenconcentraties als bepaalde maatregelen worden toegepast en zijn zo de basis voor een nadere uitwerking van de varianten.

chloridebalans

De chloridebalans (zie tevens **bijlage I**) is gebaseerd op:

- aanvoer van chloride door:
 - . inlaatwater (Zoommeerwater met een concentratie van 315 mg/l in de huidige situatie: 0-262.105 kg/jaar, gemiddeld 139.698 kg/jaar; gegevens over concentraties afkomstig van RIZA, afdeling IMI; Oosterscheldewater in de zoute variant; gegevens over concentraties afkomstig van RIKZ);
 - . neerslag (concentratie is 4 mg/l: 4.390-9.202 kg/jaar; gemiddeld 6.084 kg/jaar; gegevens uit Somhorst & Stolk, 1996);
 - . nalevering uit de bodem (gegevens niet bekend);
 - . droge depositie (gegevens niet bekend);
- afvoer van chloride door:
 - . uitstromend water (wegzijging, doorspoelen woonwijk, overige uitlaat: 562.786-1.055.765 kg/jaar; gemiddeld 727.034 kg/jaar: gegevens over waterstromen en concentraties afkomstig van waterschap Het Scheldekwartier en van het Hoogheemraadschap van West-Brabant).

Afbeelding 2.2. Het verloop van de chlorideconcentraties in de Binnenschelde van 1994-1998



De chloridebalans wordt als basis gebruikt voor voorspellingen over het verloop van de chlorideconcentraties in de zoute variant. Daarnaast wordt de chloridebalans nog voor een tweede doel gebruikt, namelijk het valideren van de waterbalans. Om extra zekerheid over de juistheid van de waterbalans te krijgen, worden de gemeten chloridegehalten vergeleken met chloridegehalten die zijn berekend op basis van de waterstromen uit de waterbalans. Chloride is een conservatieve stof, hetgeen wil zeggen dat deze niet gemakkelijk wordt omgezet in niet-oplosbare componenten (zoals dat bij stikstofverbindingen vaak wel het geval is). Hierdoor zijn veranderingen in chlorideconcentraties direct met de waterbalans te koppelen. Er moet wel rekening worden gehouden met droge depositie uit de atmosfeer en nalevering van chloride uit de bodem van de Binnenschelde.

Gegevens over de hoeveelheid droge depositie zijn niet bekend, maar de hoeveelheden zijn waarschijnlijk verwaarloosbaar vergeleken met de hoeveelheid nalevering door de bodem. De nalevering van chloride uit de bodem is na de afsluiting van de Binnenschelde afgenomen. Dit heeft aanvankelijk waarschijnlijk volgens een exponentiële curve plaatsgevonden, maar is snel afgevlakt naar een nagenoeg constante, relatief kleine nalevering. In de huidige situatie blijkt dat de chloridebalans goed kan worden gecalibreerd als van een constante droge depositie plus nalevering van $0,6 \text{ g/m}^2/\text{dag}$ wordt uitgegaan, hetgeen neerkomt op een belasting van gemiddeld 394.175 kg/jaar .

Als rekening wordt gehouden met de genoemde calibratie komen de berekende en de gemeten chlorideconcentraties goed overeen (**afbeelding 2.2.**), hetgeen erop wijst dat de waterbalans goed is geconstrueerd.

stikstofbalans

Stikstof komt de Binnenschelde in via:

- aangevoerd water (in huidige situatie is dat Zoommeerwater met een jaargemiddelde N_{tot} concentratie van $4,8 \text{ mg/l}$: $0.3.994 \text{ kg/jaar}$; gemiddeld 2.129 kg/jaar ; gegevens over concentraties afkomstig van RIZA, afdeling IMI);
- neerslag (natte depositie, met een concentratie van $1,1 \text{ mg/l}$: $1.155\text{-}2.421 \text{ kg/jaar}$; gemiddeld 1.601 kg/jaar , gegevens uit Somhorst & Stolk, 1996);
- droge depositie ($2.988\text{-}3.251 \text{ kg/jaar}$; gemiddeld 3.132 kg/jaar ; gegevens van RIVM);
- eventuele binding van atmosferische stikstof door stikstofbindende blauwalgen (of dit optreedt en hoe belangrijk het is, is onbekend; dit verschijnsel kan een belangrijke rol in zoete wateren spelen, maar in zout water is het niet van belang).

Stikstof gaat de Binnenschelde uit via:

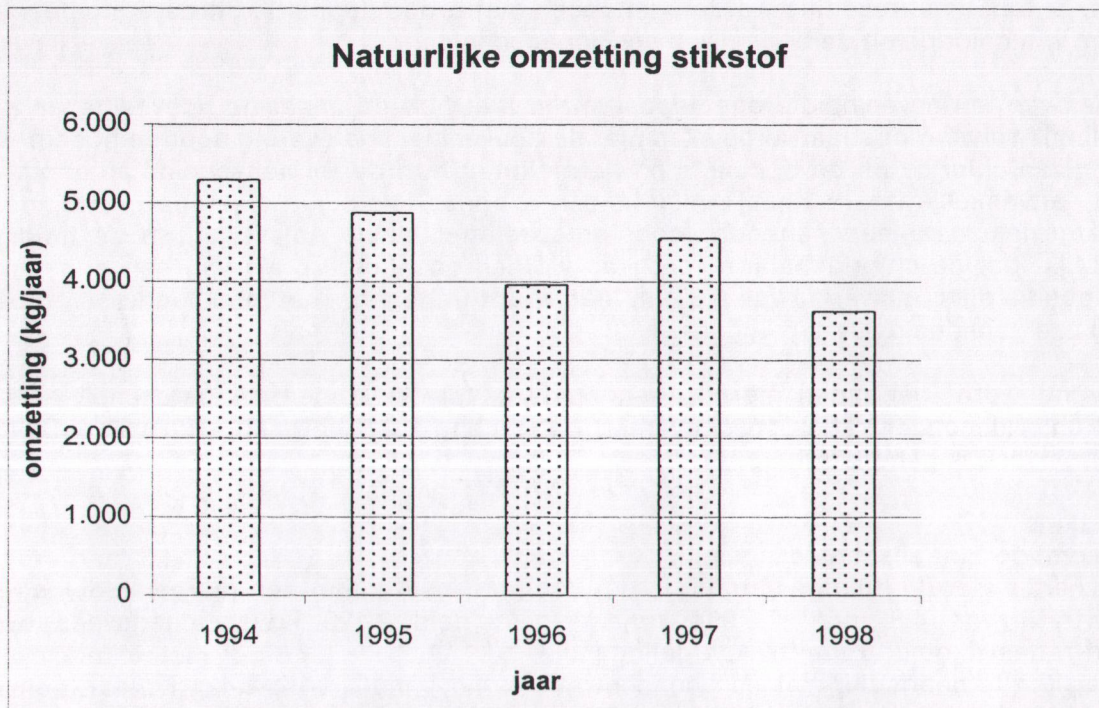
- uitstromend water (doorspoelen Plaatvliet, wegzijging, overige uitlaat: $2.032\text{-}2.402 \text{ kg/jaar}$; gemiddeld 2.264 kg/jaar ; gegevens over hoeveelheden water en concentraties afkomstig van waterschap Het Scheldekwartier en het Hoogheemraadschap van West-Brabant);
- omzetting van stikstof in onoplosbare componenten (verwijderingsterm) zoals:
 - . vastlegging in het voedselweb;
 - . sedimentatie van stikstof-bevattende deeltjes;
 - . chemische omzetting van oplosbare stikstof in onoplosbare stikstofcomponenten (denitrificatie); deze is gereconstrueerd als gemiddeld 4.200 kg/jaar (zie hierna).

Als geen rekening wordt gehouden met de omzetting in onoplosbare componenten, maar alleen met de aanvoer en afvoer van stikstof via waterstromen en vanuit de atmosfeer, dan kan worden berekend dat in de periode 1994-1998 de concentratie N_{tot} met ongeveer 5 mg/l zou zijn gestegen tot ca. 7 mg/l . In werkelijkheid is de toename ongeveer $1,5 \text{ mg/l}$ geweest tot ca. $3,5 \text{ mg/l}$ geweest.

Het bovenstaande verschil wordt verklaard uit het feit dat stikstof geen conservatieve stof is, hetgeen betekent dat het omgezet kan worden en uit het systeem kan ontsnappen. De concentraties zijn daarom niet meer uitsluitend van de waterstromen afhankelijk. De stikstofbalans moet dan ook gecalibreerd worden met behulp van een verwijderingsterm. Deze verwijderingsterm is onder meer afhankelijk van de ecologische toestand van de

Binnenschelde. In de waterbodem zorgen bacteriën voor denitrificatieprocessen, waardoor stikstof als gas naar de atmosfeer ontwijkt. Waterplanten leggen stikstof (tijdelijk) vast in hun weefsels en zorgen ervoor dat deeltjes die stikstof bevatten sedimenteren. Bovendien kunnen ze de omstandigheden voor denitrificerende bacteriën bevorderen. Ook andere componenten van het voedselweb kunnen stikstof vastleggen (vissen, slakken e.d.).

Afbeelding 2.3. De natuurlijke verwijdering van stikstof in de Binnenschelde (in kg/jaar)



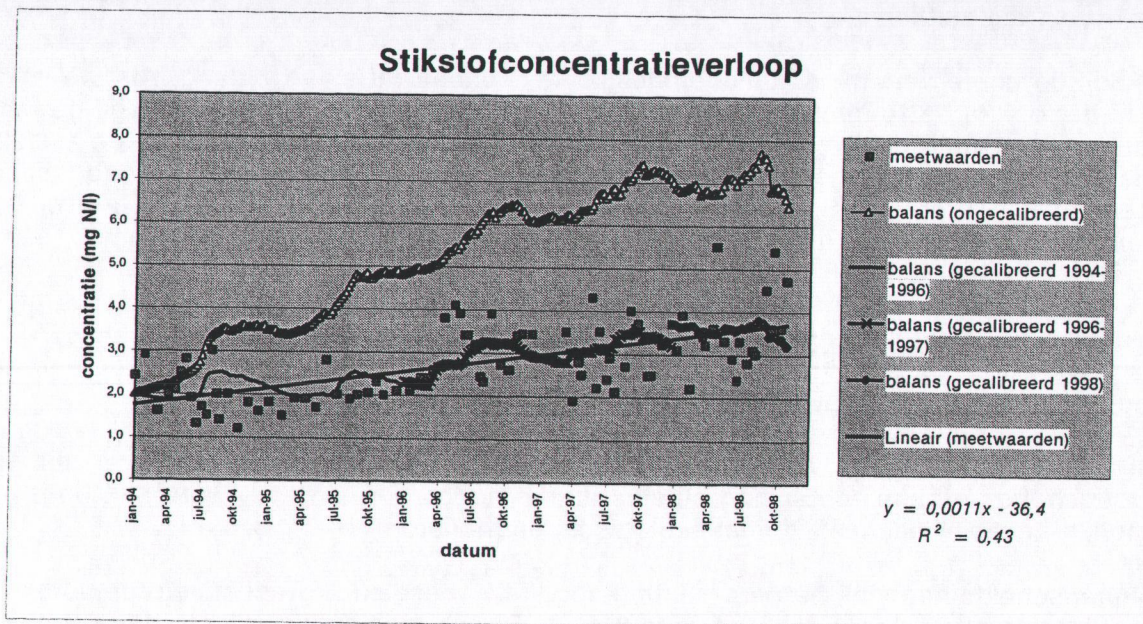
Zoals hierboven beschreven, is de verwijdering van stikstof uit het systeem complex en de calibratie van de stikstofbalans gebeurt dan ook op een empirische manier, waarbij de verschillen tussen berekende en gemeten waarden worden geminimaliseerd. Het blijkt dat de natuurlijke achtergrondverwijdering van stikstof in de jaren 1994 t/m 1998 gemiddelde ca. 4.200 kg per jaar is, waarbij de verwijdering afneemt van ca. 5.300 kg/jaar naar ca. 3.600 kg/jaar (**afbeelding 2.3.**). Met name in 1998 neemt de natuurlijke verwijdering van stikstof uit de Binnenschelde af, hetgeen kan samenhangen met de verslechterde plantengroei. De aanwezigheid van planten is gunstig voor de verwijdering van stikstof, omdat planten structuur aan de bodem geven die geschikt is als leefomgeving voor denitrificerende bacteriën en de stofwisseling van planten zorgt voor een afwisseling van zuurstof rijke en zuurstofarme omstandigheden die nodig is voor denitrificatie (Nijburg, 1998). Vanwege de in de loop der tijd afnemende stikstofverwijdering is in **afbeelding 2.4.** de calibratie gesplitst voor de perioden 1994-1996 (4.400 kg/jaar), 1996-1997 (4.290 kg/jaar) en 1998 (3.620 kg/jaar).

De natuurlijke stikstofverwijdering varieert van 20-30 kg/ha/jaar, hetgeen vrij laag is vergeleken met verwijderingen van 50-100 kg/ha/jaar voor het Wolderwijd en 200-250 kg/ha/jaar voor het Veluwemeer (zelfs voordat er grote hoeveelheden planten opkwamen). Een aanwijzing dat de relatief lage stikstofverwijdering in de Binnenschelde realistisch is, is dat ook in de tijd dat de Binnenschelde helder was en er veel planten waren, geen volledige verwijdering van stikstof uit het systeem optrad.

Voor het doorrekenen van de zoete variant gaan we uit van een natuurlijke stikstofverwijdering van 3.500 kg/jaar, een waarde die dicht bij de waarde voor 1998 ligt, maar iets lager is, zodat de natuurlijke verwijdering uit de Binnenschelde niet wordt overschat. Indien er weer waterplanten in de Binnenschelde zullen gaan groeien zal de stikstofverwijdering waar-

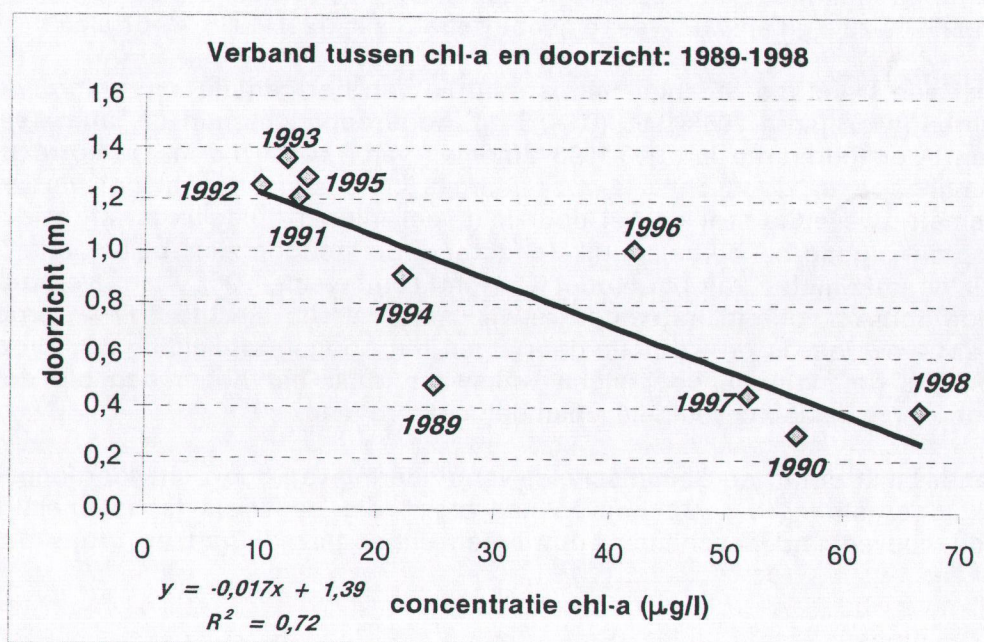
schijnlijk weer toenemen om de bovengenoemde redenen, maar daar wordt vooralsnog geen rekening mee gehouden.

Afbeelding 2.4. Het ongecalibreerde en gec calibreerde stikstofconcentratieverloop in de Binnenschelde



De gec calibreerde stikstofbalansen worden gebruikt als basis voor het dimensioneren van de zoete variant. Het uitgangspunt hierbij is dat een doorzicht van minimaal 1 meter moet worden gerealiseerd. Uit de 4^e eutrofiëringsevenquête (Portielje & Van der Molen, 1998) blijkt dat een dergelijk doorzicht niet kan worden bereikt bij chlorofyl-a-concentraties die groter zijn dan 100 µg/l. Meestal moet de chlorofyl-a-concentratie nog veel lager zijn, afhankelijk van de kenmerken van het betreffende water (achtergronduitdoving van het water, bodemgesteldheid, diepte enz.).

Afbeelding 2.5. Het verband tussen zomergemiddelde chlorofyl-a-concentratie en doorzicht in de Binnenschelde van 1989-1998



Uit gegevens van de Binnenschelde zelf blijkt dat om een doorzicht van meer dan 1 meter te bereiken de chlorofyl-concentratie maximaal 20 $\mu\text{g/l}$ mag zijn (zie **afbeelding 2.5.**). Op basis van de 4^e eutrofiëringssenquête betekent dit dat de concentratie totaal stikstof (N_{tot}) in de Binnenschelde maximaal 1 mg/l mag zijn (Portielje & van der Molen, 1998, **bijlage II**). De dimensionering van de zoete variant moet er dus voor zorgen dat de N_{tot} concentratie niet boven deze 1 mg/l uitkomt.

Ook voor de zoute variant is de uiteindelijke N_{tot} -concentratie van belang. Als we ervan uitgaan dat ook in de zoute variant een maximale chlorofylconcentratie van 20 $\mu\text{g/l}$ gewenst is, dan betekent dat een maximale N_{tot} concentratie van 0,82 mg/l volgens Boers e.a. (1993, **bijlage II**). Uit (beperkte) gegevens van het Waterschap Zeeuwse Eilanden (mondelinge mededeling F. Kalteren, WS Zeeuwse Eilanden) blijkt dat in het Goese Meer ook bij N_{tot} concentraties van ca. 1,5 mg/l lage chlorofylconcentraties (5-15 $\mu\text{g/l}$) voorkomen, veelal gepaard met bodemzicht (1,5 tot 1,8 m).

2.2. Ontwikkelingen in de Binnenschelde op het gebied van waterkwaliteit en ecologie

Het ecosysteem van de Binnenschelde is, sinds het ontstaan in 1987, voortdurend aan veranderingen onderhevig geweest en verre van stabiel.

Na de aanleg is het water van de Binnenschelde in ongeveer drie maanden verzoet. Het chloridegehalte is thans echter nog steeds relatief hoog voor een zoet water, nl. ongeveer 800 mg/l, hetgeen effect heeft op het ecologisch functioneren.

De Binnenschelde had vlak na de afsluiting een sterk wisselend totaal stikstofgehalte (N_{tot}) dat incidenteel kon oplopen tot 5 of zelfs 8 mg/l. De gemiddelde waarden in het zomerhalfjaar bedroegen in 1988 t/m 1990 3 tot ruim 3,5 mg/l. Van 1991 t/m 1995 daalde N_{tot} tot gemiddeld 2 tot 2,5 mg/l in het zomerhalfjaar. Vanaf 1996 is het stikstofgehalte weer aan het stijgen (zomerhalfjaargemiddelden: 1996: 3,3; 1997: 3,0; 1998: 3,6 mg/l) en bereikt nu incidenteel weer 5,5 mg/l.

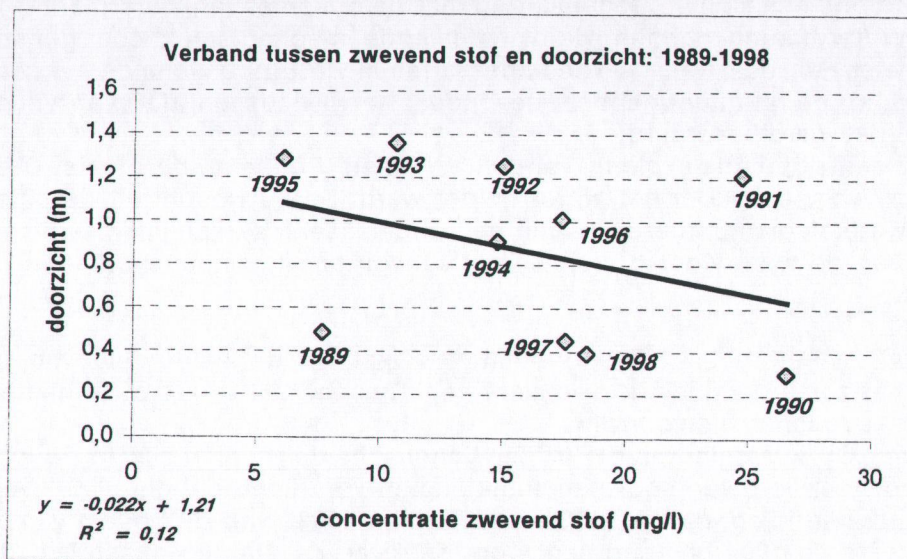
Een vergelijkbaar patroon wordt vertoond door de gehalten aan totaal-fosfaat (P_{tot}). Van 1988 tot 1990 bedroeg de zomerhalfjaargemiddelde waarde 0,33-0,45 mg/l. In de jaren 1991 t/m 1995 daalde P_{tot} tot gemiddeld 0,10-0,13 mg/l. Vanaf 1996 stijgt het fosfaatgehalte weer: 1996: 0,24; 1997: 0,20; 1998: 0,20 mg/l. Incidenteel worden waarden van 0,45 mg/l bereikt.

Het gehalte aan chlorofyl-a en dus het aandeel zwevende algen, volgt dezelfde trend als de nutriënten, d.w.z. hoge gehalten in 1988-1990: respectievelijk 120, 25 en 56 $\mu\text{g/l}$; lage gehalten in 1991-1995: 10-22 $\mu\text{g/l}$ en weer toenemende gehalten in 1996-1998: 42-67 $\mu\text{g/l}$.

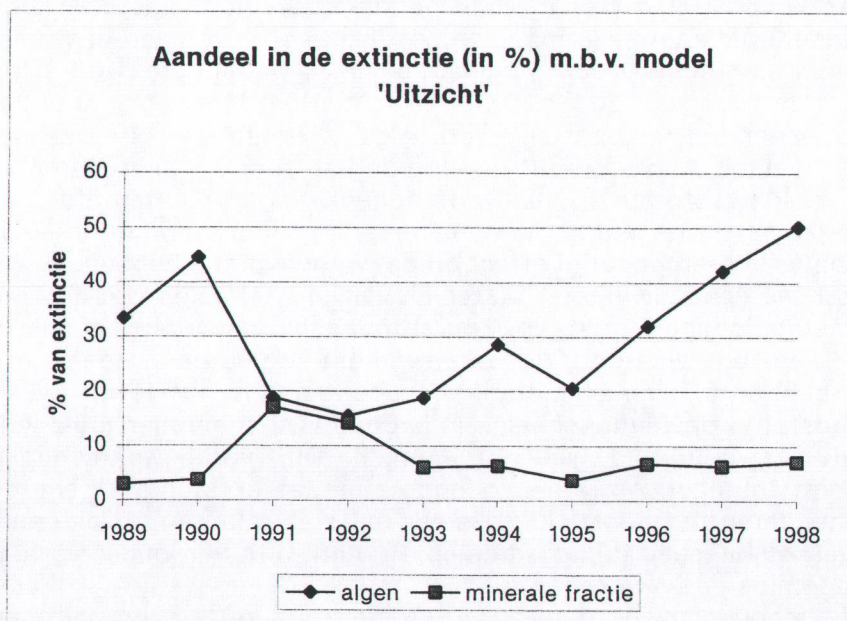
Het doorzicht volgt een trend die tegengesteld is aan die van het gehalte aan chlorofyl-a, met lage doorzichten in de jaren 1988-1990 (0,3-0,5 m), hoge doorzichten in de jaren 1991-1995 (0,9-1,4 m) en doorzichten die in 1996-1998 afnemen van 1,0 tot 0,4 m. De correlatie tussen chlorofyl-a-gehalte en doorzicht (zie **afbeelding 2.5.**) is sterk, terwijl het verband tussen de hoeveelheid zwevende stof en het doorzicht veel minder duidelijk is (**afbeelding 2.6.**). Dit duidt erop dat algengroei de belangrijkste factor is die het doorzicht beïnvloedt. Dit blijkt eveneens uit de uitkomsten van het model 'Uitzicht' (Buiteveld, 1990). Algen veroorzaken 15-50% van de lichtextinctie in het water, terwijl mineraal slib slechts 3-17% veroorzaakt. In ieder individueel jaar is de extinctie door algen het hoogst (**afbeelding 2.7.**). In de jaren 1991 en 1992 is de extinctie door algen weliswaar maar net hoger dan die door mineraal slib, maar toen was de hoeveelheid algen dan ook erg laag.

Uit het voorafgaande blijkt dat in de Binnenschelde vermindering van doorzicht voornamelijk wordt veroorzaakt door algengroei. De hoeveelheid algen die aanwezig is, is enerzijds afhankelijk van de hoeveelheid beschikbare nutriënten en anderzijds van de graas door watervlooien.

Afbeelding 2.6. Het verband tussen zomergemiddelde concentratie zwevend stof en doorzicht in de Binnenschelde van 1989-1998



Afbeelding 2.7. Het aandeel van algen en de minerale fractie in de vermindering van het doorzicht in de Binnenschelde van 1989-1998



Uit de water- en stoffenbalansen blijkt dat de totale hoeveelheid nutriënten in de Binnenschelde in de loop van de jaren is toegenomen. Er wordt minder stikstof via de waterstromen afgevoerd dan er via inlaat, neerslag en atmosferische depositie wordt ingelaten (zie **bijlage I**). De natuurlijke denitrificatie is waarschijnlijk niet groot genoeg om deze oplading te compenseren. Voor P geldt dat de bodem van de Binnenschelde, die een voormalige zeebodem is, veel P-verbindingen bevat welke nageleverd kunnen worden aan de waterkolom, waardoor de hoeveelheid P in de waterkolom kan toenemen.

De lagere concentraties van P_{tot} en N_{tot} in de jaren 1991-1995 vertegenwoordigen geen daling van de totale hoeveelheid voedingsstoffen in het systeem, maar een herverdeling van deze stoffen in het voedselweb en tussen de waterfase en de waterbodem. De lagere concentraties van P_{tot} en N_{tot} in de jaren 1991 tot 1995 waren waarschijnlijk het gevolg van het feit dat deze nutriënten niet meer in de vorm van algen aanwezig waren (de nutriënten in zwevende

algen worden immers meegenomen bij de bepaling van P_{tot} en N_{tot}). De volgende oorzaken zijn hiervoor aan te wijzen:

- het heldere water ontstond min of meer tegelijkertijd met de opkomst van waterplanten in de Binnenschelde. Waterplanten hebben via verschillende mechanismen een gunstig effect op de helderheid. Een deel van de voedingsstoffen in de Binnenschelde kan zich gedurende 1991-1995 in de planten hebben bevonden, terwijl tussen de planten de sedimentatie van deeltjes werd bevorderd;
- in 1990/1991 vond er een populatie-explosie van watervlooien (*Daphnia sp.*) plaats. Deze aten de meeste algen weg, waardoor het water helder werd. De nutriënten uit de algen werden deels in de watervlooien omgezet, terwijl een ander deel waarschijnlijk sedimenteerde via de feces van de watervlooien: beide fracties worden niet meegenomen in de bepaling van P_{tot} en N_{tot} .

De bovenstaande situatie heeft geen blijvend positief effect op de helderheid van de Binnenschelde gehad: het zomergemiddelde doorzicht begint vanaf 1996 weer af te nemen. De belangrijkste mogelijke redenen hiervoor zijn:

- waterplantensuccessie. De waterplanten die in de Binnenschelde groeien zijn in de loop der jaren voortdurend veranderd van soortsaanstelling en van dichtheid. In 1990 kwam het eerste Schedefonteinkruid op, dat in 1992 en 1993 bijna 100% van de bodem van de Binnenschelde overdekte. In 1994 bestond een groot deel van de planten naast Schedefonteinkruid uit Aarvederkruid en kranswieren. In 1995 waren er bijna alleen maar kranswieren en nam de totale bedekking van planten sterk toe. In 1996 en 1997 waren er vooral fonteinkruiden en Aarvederkruid, waarvan het laatste reeds vroeg in het seizoen afstierf. De bedekking van waterplanten was in deze periode sterk verminderd. In 1998 was er voornamelijk Aarvederkruid aanwezig, maar de bedekking was nog verder verminderd. De successie van waterplanten naar een dominantie van Aarvederkruid heeft effect op de nutriëntenverdeling in het voedselweb. Kranswieren nemen nutriënten op vanuit het water waardoor deze niet meer beschikbaar zijn voor algen. Hierdoor hebben ze een positief effect op de waterkwaliteit. Aarvederkruid (en nog andere soorten plantensoorten) daarentegen, neemt (ook) voedingsstoffen op vanuit de bodem. Als de planten afsterven kunnen deze nutriënten vrijkomen in de waterkolom. Aarvederkruid kan dus nutriënten uit de waterbodem mobiliseren en zo een negatief effect op de waterkwaliteit hebben. Verder kan Aarvederkruid door zelfoverschaduwing het afsterven van plantendelen veroorzaken, waardoor zuurstofloze omstandigheden ontstaan. Zuurstofloosheid bevordert de nalevering van nutriënten door de bodem, waardoor de waterkwaliteit nog verder afneemt. Het feit dat de dichtheid van planten aanvankelijk sterk is toegenomen is een teken dat de hoeveelheid beschikbaar fosfor in de Binnenschelde inderdaad is toegenomen (**bijlage I**). Thans is de hoeveelheid Aarvederkruid weer afgenomen. Dit wordt waarschijnlijk veroorzaakt doordat de nutriëntenconcentraties zo hoog zijn dat er sterke algengroei optreedt. Deze algen verminderen het doorzicht zo sterk dat waterplanten onvoldoende licht krijgen en niet of nauwelijks meer kunnen groeien. Er vindt dus een omslag plaats naar een troebel, algen-gedomineerd systeem;
- een verminderd aantal watervlooien. Watervlooien kunnen sterke algengroei vaak onderdrukken doordat ze grote hoeveelheden algen kunnen eten. Het belang van watervlooien voor het doorzicht blijkt o.a. uit de gegevens voor 1994. In dat jaar waren er nauwelijks watervlooien in de Binnenschelde en was het doorzicht minder dan in de direct daarop voorafgaande en volgende jaren. Volgens een studie van Bijkerk & Zwerver (1997) hangt het lage aantal watervlooien samen met de aanwezigheid van relatief veel oneetbare blauwalgen in de Binnenschelde. Dit blijkt ook uit het feit dat de watervlooienpiek in de jaren 1992 t/m 1996 nooit erg hoog (20 à 30 exemplaren per liter) werd en dat in 1990/1991, toen wel een grote watervlooienpiek plaatsvond, voornamelijk eetbare groenalgen in de Binnenschelde voorkwamen. Verder heeft de opkomst van de aasgarnaal *Neomysis integer*, die watervlooien eet, de lage aantallen watervlooien waarschijnlijk verder in de hand gewerkt (AquaTerra, 1998; Bijkerk, 1999; Witteveen+Bos, 1999).

De visbiomassa in de Binnenschelde is lange tijd laag geweest, maar neemt geleidelijk toe. In 1998 werd een visstand van ca. 90 kg/ha vastgesteld. De reden dat de visstand zich zo

langzaam opbouwt wordt betreft een gering voortplantingssucces. Het ligt in de lijn der verwachting dat het voortplantingssucces uiteindelijk zal toenemen en de visbiomassa zal stijgen tot een waarde die met de draagkracht van het water overeenkomt (ca. 250 - 600 kg/ha, afhankelijk van de productiviteit van de bodem).

2.3. Evaluatie

De Binnenschelde is een opladend, voedselrijk systeem dat zich (als er geen maatregelen worden genomen) waarschijnlijk zal stabiliseren als een troebel, door algen gedomineerd water. De 'heldere fase' van 1991-1995 was te danken aan een herverdeling van nutriënten in het voedselweb en tussen de waterfase en de waterbodem. De watervlooiënpiek in 1990/1991 en de vestiging van waterplanten hebben deze herverdeling waarschijnlijk veroorzaakt. Die situatie is echter niet stabiel gebleken en thans valt het systeem terug naar de troebele situatie.

De terugkeer van de Aasgarnaal wordt gezien als een belangrijke veroorzaker van de vertroebeling. Belangrijker wordt echter de interne eutrofiëring geacht, welke waarschijnlijk gestuurd wordt door waterplantensuccessie. Deze successie wordt mogelijk veroorzaakt door de voedselrijke voormalige zeebodem of de voortdurende oplading met voedingsstoffen.

Het is mogelijk dat de Aasgarnalen weer spontaan verdwijnen. Dit gebeurt vaker in licht-brakke systemen (Jeppesen *et al.*, 1994) en is ook gebeurd in 1990. Als dit optreedt en er is op dat moment nog geen goed ontwikkelde visstand aanwezig, dan is het mogelijk dat er weer een watervlooiënpiek optreedt en de Binnenschelde weer helder wordt. Deze situatie zal echter niet stabiel zijn. Voor een langdurig helder systeem is voortdurend ingrijpen nodig, hetzij via (ABB-)maatregelen gericht op het handhaven van de gewenste verdeling van nutriënten (bijv. waterplantensuccessie met een maaibeheer terugzetten), hetzij via brongegerichte maatregelen (voortdurend voedingsstoffen verwijderen of doorspoelen met voedselarm water).

3. OPLOSSINGSVARIANTEN

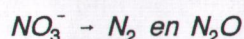
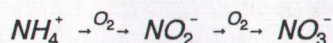
In het voortraject van dit project heeft het Hoogheemraadschap van West-Brabant besloten om het waterbeheer van de Binnenschelde te richten op het beperken van de hoeveelheid voor algen beschikbare stikstof. Hiertoe zijn twee oplossingsvarianten voorgesteld die in het kader van dit project zijn uitgewerkt, namelijk een zoete en een zoute. Tevens is voor de zoete variant een subvariant uitgewerkt waarbij de denitrificatie met behulp van methanoldosering wordt gereguleerd.

3.1. Zoete variant

Bij de zoete variant wordt gestreefd naar een N_{tot} concentratie van maximaal 1 mg/l, aangezien dan te verwachten valt dat de concentratie algen beperkt blijft en het doorzicht meer dan 1 meter zal bedragen (zie de uitwerking hiervan onder paragraaf 2.1.2: de stikstofbalans).

3.1.1. 'Natuurlijk' zuiveringsmoeras stikstofverwijdering

Bij de zoete variant wordt ervan uitgegaan dat voortdurend stikstof uit het ecosysteem wordt verwijderd met behulp van een zuiveringsmoeras (helofytenfilter). In een zuiveringsmoeras ontstaan gunstige omstandigheden voor bacteriën die organische stikstof omzetten in geoxideerde stikstof (nitriet en nitraat, de zogenaamde nitrificatie) en bacteriën die onder anaërobe omstandigheden deze verbindingen reduceren tot atmosferisch stikstof dat uit het ecosysteem ontsnapt (denitrificatie). Deze twee stappen zijn als volgt weer te geven (Voogd, 1996):



Er wordt van uitgegaan dat de verwijdering van stikstof volledig door nitrificatie/denitrificatie wordt bewerkstelligd en niet door opslag van stikstof in plantendelen die later afgevoerd moeten worden. Hoewel dit aspect zeker aan de verwijdering van stikstof kan bijdragen, is de effectiviteit ervan onzeker.

herkomst van het inlaatwater

Water dat voor peilbeheer wordt ingelaten vanuit het Zoommeer wordt door het moeras geleid waardoor het grootste deel van de nutriënten hieruit niet in de Binnenschelde terecht komt. Bovendien wordt het water dat zich reeds in de Binnenschelde bevindt door het moeras geleid, zodat ook dit wordt gezuiverd. Dit is van groot belang aangezien de stikstofbelasting van de Binnenschelde slechts deels door de aanvoer van Zoommeerwater wordt veroorzaakt en voor een belangrijk deel afhankelijk is van neerslag en droge depositie uit de atmosfeer.

De mogelijkheid bestaat om (naast Zoommeerwater) het eventuele overschot aan water uit de woonwijk Bergse Plaat te gebruiken om in de Binnenschelde in te laten. Er wordt namelijk verwacht dat dit water van betere kwaliteit is dan het Zoommeerwater. Uit metingen van het Hoogheemraadschap van West-Brabant blijkt dat dit inderdaad het geval is. Het water uit de Bergse Plaat heeft namelijk een N_{tot} -concentratie van 2,4 mg/l (tegenover gemiddeld 4,8 mg/l voor het Zoommeerwater). Dit is nog altijd hoger dan de streefwaarde van 1 mg/l, zodat ook dit water eerst door een zuiveringsmoeras zal moeten worden geleid, maar de totale hoeveelheid stikstof die uit dit water moet worden verwijderd is kleiner.

In de toekomst is het wellicht eveneens mogelijk om een eventueel wateroverschot uit de Augustapolder in de Binnenschelde in te laten. Deze polder zal namelijk aan de landbouw

worden onttrokken en het valt te verwachten dat de waterkwaliteit vergelijkbaar met die van de Bergse Plaat kan worden. Door het in te laten Zoommeerwater deels te vervangen door water uit de Bergse Plaat en de Augustapolder kan mogelijk met een minder vergaande verwijdering van stikstof voldoende waterkwaliteit in de Binnenschelde worden bereikt. In **bijlage VII** wordt nader aandacht aan deze optie besteed.

opbouw van een zuiveringsmoeras

Een zuiveringsmoeras moet bij voorkeur uit twee delen bestaan:

1. een nitrificatieveld dat periodiek wordt overstroomd en dat daardoor afwisselend nat en droog is. In dit veld treedt de nitrificatie op, waarbij gereduceerde stikstofverbindingen worden omgezet in geoxideerde verbindingen (met name nitriet en nitraat). Het droogzetten van het veld is essentieel voor de toegankelijkheid van zuurstof, waardoor de nitrificatie goed genoeg kan verlopen. Zwevend stof uit het inlaatwater zal neerslaan in het nitrificatieveld. Het is echter van belang dat het nitrificatieveld niet dichtslibt met zwevend stof uit het inlaatwater. Het gehalte aan zwevende stof bepaalt dan ook hoeveel water er maximaal per tijdseenheid, per oppervlakte-eenheid door het nitrificatieveld kan worden gevoerd. Deze maximale hydraulische belasting bepaalt dan ook de uiteindelijke dimensionering van het nitrificatieveld;
2. een denitrificatieveld dat voortdurend onder water staat. Dit veld moet voortdurend onder water staan om zuurstofloze (anaërobe) omstandigheden te waarborgen. Denitrificatie treedt namelijk op als bacteriën geen zuurstof, maar nitriet en nitraat als oxidant voor hun stofwisseling gebruiken, waarbij gasvormige stikstofmoleculen naar de atmosfeer ontsnappen. De denitrificatie is, behalve van de zuurstofloosheid, afhankelijk van de concentratie afbreekbaar organisch materiaal (BZV). In natuurlijke rietvelden is de BZV-productie per oppervlakte-eenheid veelal beperkend voor de hoeveelheid stikstof die kan worden omgezet. De dimensionering van het denitrificatieveld hangt dus af van de totale vracht stikstof die moet worden verwijderd en van de BZV-productie in het rietveld.

3.1.2. Zoete variant met methanoldosering

Voor de zoete variant met methanoldosering geldt in beginsel dezelfde opbouw als voor een 'natuurlijk' zuiveringsmoeras, d.w.z. dat er een nitrificatie- en een denitrificatieveld moeten zijn. Het nitrificatieveld is hetzelfde als bij het 'natuurlijke' moeras en wordt op basis van dezelfde factoren (hydraulische belasting) gedimensioneerd.

Het denitrificatieveld wijkt sterk af van het natuurlijke nitrificatieveld. In dit laatste is de BZV-productie namelijk beperkend voor de denitrificatiesnelheid. Door in de methanolvariant kunstmatig extra BZV, in de vorm van methanol, toe te voegen, wordt deze beperking opgeheven. De dimensionering van het methanol-denitrificatieveld is afhankelijk van de maximale toegestane hydraulische belasting. Aangezien bijna al het zwevende stof in het nitrificatieveld is verwijderd, kan de hydraulische belasting in het methanol-denitrificatieveld 4 à 5 keer zo hoog zijn als in het nitrificatieveld (ervaringsgetal: mededeling van P. Hermans, Witteveen+Bos).

3.2. Zoute variant

Bij de zoute variant wordt de Binnenschelde doorspoeld met Oosterscheldewater dat via een pijpleiding wordt aangevoerd. Het Oosterscheldewater heeft lage nutriëntenconcentraties, met name van stikstof. Aangezien de productiviteit van zoute ecosystemen meestal door stikstof beperkt wordt, wordt het verwacht dat als de Binnenschelde voldoende met Oosterscheldewater wordt doorspoeld er geen problemen met ongewenste algenbloei zullen optreden. Er wordt echter ook stikstof aangevoerd via neerslag en door droge atmosferische depositie.

Verder moet ervoor worden gezorgd dat de chlorideconcentratie in de Binnenschelde zo hoog wordt (en blijft) dat er geen overlast door zeesla en/of zeegras ontstaat. Zeesla en zeegras profiteren namelijk van lagere chlorideconcentraties (Witteveen+Bos/RIKZ, 1998). Doordat er zoete neerslag in de Binnenschelde valt, zullen de chlorideconcentraties hier lager zijn dan in de Oosterschelde, die een grote diepte heeft en waarin een voortdurende

verversing van water optreedt door getijdebewegingen. Om een te sterke daling van het chloridegehalte te voorkomen, moet de doorspoeling met zout Oosterscheldewater voldoende groot zijn.

De dimensionering van de doorspoeling is dan ook van de volgende factoren afhankelijk:

- de doorspoeling moet zo groot zijn dat de concentratie stikstof die wordt bereikt zo laag is dat er geen algenbloei zal optreden (uitwerking in paragraaf 4.1.3);
- de doorspoeling moet zo groot zijn dat de chlorideconcentraties in de Binnenschelde hoog genoeg blijven om overlast door zeesla en/of zeegras te voorkomen (uitwerking in paragraaf 4.1.3).

4. UITWERKING VAN DE VARIANTEN

4.1. Ecologische uitwerking

4.1.1. Zoete variant met natuurlijk zuiveringsmoeras dimensionering

De dimensionering van een zuiveringsmoeras vindt plaats in twee stappen:

1. eerst vindt een dimensionering plaats aan de hand van het water dat vanuit het Zoommeer wordt ingelaten;
2. vervolgens wordt gedimensioneerd op het Binnenschelde-water dat over het zuiveringsmoeras moet worden gerecirculeerd.

ad 1.

Nitrificatie is afhankelijk van de hoeveelheid zuurstof waaraan het te zuiveren water wordt blootgesteld. Daarom wordt gebruik gemaakt van een droog rietveld dat verticaal wordt doorsijpeld. De beperkende factor voor de hoeveelheid water die door het veld kan worden gevoerd is het zwevende stofgehalte van dat water. Als er namelijk veel stof in het water zit, dan zal het filter gaan verstopen als er te veel water doorheen wordt gevoerd. Het nitrificatieveld wordt daarom gedimensioneerd aan de hand van de toegestane hydraulische belasting. Volgens de KIWA-richtlijnen kan de belasting van het filter maximaal 8 gram zwevende stof/m²/dag zijn (VROM/KIWA, 1998). Dit betekent dat voor Zoommeerwater met een zwevende stofgehalte van gemiddeld 22 mg/l de maximale hydraulische belasting 365 liter/m²/dag is (mededelingen van P. Hermans: Witteveen+Bos en J. Verhoeven: Universiteit Utrecht).

Gemiddeld wordt er ca. 450.000 m³ Zoommeerwater per jaar ingelaten, maar het kan variëren van 0 tot 830.000 m³. Als we ervan uitgaan dat het filter is gedimensioneerd op de maximale inlaat, die gedurende 100 dagen wordt ingelaten, dan betekent dit dat het nitrificatieveld een oppervlakte van 2,3 ha zal moeten hebben.

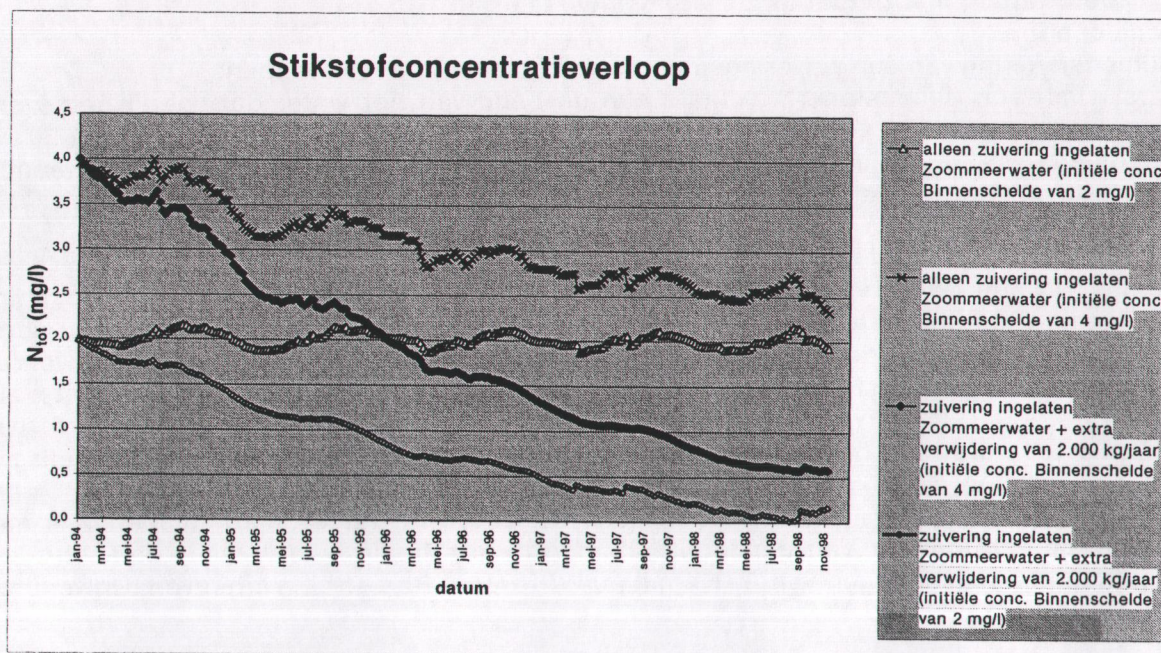
Het denitrificatieveld moet de concentratie N_{tot} van het ingelaten water omlaag brengen van gemiddeld 4,8 mg/l naar gemiddeld 1 mg/l. Dit betekent dat er in 100 dagen maximaal $830.000 \cdot (4,8 - 1) = 3.150$ kg N moet worden gedenitrificeerd, d.w.z. 31,5 kg per dag. De denitrificatiesnelheid van een natuurlijk rietveld bedraagt tussen de 0,2 en 0,5 g nitraat/m²/dag (Laber e.a., 1997), hetgeen resulteert in een benodigd oppervlak van 6,3 tot 15,7 ha (9,0 ha als wordt uitgegaan van een gemiddelde denitrificatiesnelheid van 0,35 g nitraat/m²/dag).

ad 2.

Het is niet voldoende om het grootste deel van de stikstof uit het Zoommeerwater te verwijderen, aangezien er tevens belasting vanuit neerslag (1.155-2.421 kg/jaar, gemiddeld 1.601 kg/jaar) en droge depositie (2.988-3.251 kg/jaar, gemiddeld 3.132 kg/jaar) plaatsvindt. In **afbeelding 4.1.** is weergegeven hoe de N-concentratie zich ontwikkelt als alleen het inlaatwater wordt gezuiverd (uitgaande van initiële concentraties van het Binnenscheldewater van 2 en 4 mg/l en van een natuurlijke achtergrondverwijdering van 3.500 kg/jaar) en als er een extra hoeveelheid van 2.000 kg/jaar wordt verwijderd door recirculatie van Binnenscheldewater over het helofytenfilter.

Recirculatie kan plaatsvinden gedurende 200 dagen van het jaar dat er geen Zoommeerwater wordt ingelaten. Gedurende die tijd moet de extra hoeveelheid van 2.000 kg stikstof worden verwijderd. Hoe lager de concentratie van het te recirculeren water, hoe meer water moet worden gerecirculeerd om aan die 2.000 kg te komen (2.000 kg stikstof zit in 50.000 m³ met een concentratie van 4 mg/l, maar ook in 200.000 m³ van 1 mg/l). Als we ervan uitgaan dat het water in de Binnenschelde nog maar een fractie boven de streefwaarde van 1 mg/l stikstof zit, dan betekent dit dat alle stikstof uit bijna 2.000.000 m³ Binnenscheldewater moet worden verwijderd. De nitrificatie verloopt naar alle waarschijnlijkheid zeer effectief.

Afbeelding 4.1. De effecten van zuivering van het Zoommeerwater (met of zonder recirculatie van het Binnenscheldewater) op de stikstofconcentratie in de Binnenschelde



maar niet voor 100%. Bij een (realistische) efficiëntie van 90%, betekent dat voor een verwijdering van 2.000 kg N/jaar maximaal 2.200.000 m³ Binnenscheldewater over het helofytenveld moet worden gerecirculeerd, d.w.z. 11.000 m³ per dag.

Bij een maximale hydraulische belasting van 365 liter/m²/dag betekent dit dat het benodigde oppervlak van het nitrificatieveld 3,0 ha wordt, hetgeen groter is dan op grond van alleen het inlaatwater is berekend (2,3 ha).

Voor het denitrificatieveld geldt eveneens dat er op jaarbasis 2.000 kg stikstof moet worden omgezet, d.w.z. 10 kg/dag. Bij een omzetting van 0,2 tot 0,5 g nitraat-stikstof/m²/dag betekent dit dat het denitrificatieveld een oppervlakte van 2 tot 5 ha moet hebben, hetgeen ruimschoots kleiner is dan de dimensionering op basis van het in te laten Zoommeerwater.

Er kan dan ook worden geconcludeerd dat voor de zoete variant met een natuurlijk zuiveringsmoeras een nitrificatieveld met een oppervlakte van 3 ha en een denitrificatieveld met een oppervlak van 6,3 tot 15,7 ha nodig is.

Het is naar alle waarschijnlijkheid verantwoord om het denitrificatieveld in de richting van de onderste marge te dimensioneren, omdat de dimensionering nu gebaseerd is op een extreem grote inlaat van Zoommeerwater (830.000 m³). Als er wordt gedimensioneerd op een gemiddelde inlaat van 450.000 m³, dan zijn de maten voor het denitrificatieveld 3,4 tot 8,5 ha. Als zich dan toch een extreem jaar voordoet, dan zal een dergelijk veld wellicht het inlaatwater niet voldoende van stikstof ontdoen. Het Binnenscheldewater wordt echter in de rest van het jaar, als er geen Zoommeerwater wordt ingelaten weer over het filter geleid, zodat additionele verwijdering van stikstof kan optreden.

De mogelijkheden om Zoommeerwater juist dan in te laten als de stikstofconcentratie ervan laag is, is beperkt. Weliswaar wisselt de stikstofconcentratie van het Zoommeerwater sterk, waarbij met name in de nazomer de concentraties laag zijn, maar helaas treden juist dan vaak algenbloeien op, waardoor de inlaat van Zoommeerwater ongewenst is. Bovendien wordt water ingelaten ten behoeve van de peilhandhaving en is er geen onafhankelijk inlaatbeheer mogelijk.

Als een deel van het Zoommeerwater wordt vervangen door water dat uit de Augustapolder afkomstig is en ervan wordt uitgegaan dat dit water dezelfde kwaliteit heeft als het water van de Bergse Plaat, dan is er een nitrificatieveld van 3 ha en een denitrificatieveld van 5,9 ha nodig (zie **bijlage VII**).

risico's, voor- en nadelen

Een van de grootste nadelen van een natuurlijk zuiveringsmoeras is de onzekerheid wat betreft de effectiviteit van de denitrificatie. Deze wordt beperkt door de productie van biologisch afbreekbaar koolstof (BZV) en is niet te controleren. Bovendien kan het enige jaren duren voor een helofytenfilter volledig operationeel is. Als het riet goed aanslaat, zal er echter direct (enige) zuivering optreden.

Het voordeel van een natuurlijk rietmoeras is de natuurlijke uitstraling. Voor bepaalde organismen kan een rietmoeras een goed biotoop zijn. Helaas kan het permanent natte denitrificatieveld niet als overwinteringsgebied voor vissen dienen, omdat het waterpeil van dit veld ca. 50 cm boven het niveau van de Binnenschelde moet uitkomen om de drainage niet te bemoeilijken (zie de technische uitwerking) en de bereikbaarheid voor vissen daardoor, zelfs met vistrappen een dergelijke constructie, te klein is. Het gebied zou in het voorjaar wel als paaigebied door vissen kunnen worden gebruikt.

Zoals blijkt uit **afbeelding 4.1**, duurt het een aantal jaren voor de gewenste stikstofconcentratie wordt bereikt. Het is daarom te overwegen de Binnenschelde grotendeels af te laten en via het zuiveringsmoeras weer vol te pompen, zodat de uitgangsconcentratie meteen laag is. Dit zou betekenen dat bij een debiet van 11.000 m³ per dag (zoals voor de recirculatie) en bij een gemiddeld neerslagoverschot van 1.127 m³ per dag, het ongeveer 7 à 8 maanden zou duren voor de Binnenschelde weer volledig is gevuld. Het is van belang de Binnenschelde niet geheel droog te zetten in verband met de aanwezige vissen. Droogzetten kan wel een middel zijn om aarvederkruid te bestrijden. Als de Binnenschelde in de winter (grotendeels) droog staat zal aarvederkruid afsterven (door vorst). Hierdoor kan de successie worden teruggezet en hebben o.a. kranswieren, die meer als pionierplanten optreden, een betere kans om op te komen. Kranswieren hebben, zoals in paragraaf 2.2 is beschreven, een gunstiger effect op de waterkwaliteit dan aarvederkruid.

Verder moeten de volgende ecologische risico's worden genoemd:

- een N_{tot}-concentratie van 1 mg/l is nog steeds vrij hoog. De productiviteit zal weliswaar veel lager zijn dan thans, maar bij deze concentratie is nog steeds een grote biomassa van waterplanten mogelijk. Het is daarom wellicht beter naar een lager N_{tot}-gehalte te streven (bijv. 0,5 mg/l). In deze omstandigheden is het extra belangrijk om ook naar de fosforconcentratie te kijken (zie het volgende punt);
- als alleen het stikstofspoor wordt gevolgd, dan is er een kans dat stikstofbindende blauwwieren opkomen. De relatief hoge fosforgehaltes van de Binnenschelde in combinatie met lage stikstofconcentraties werken dit in de hand. Door de Binnenschelde opnieuw te baggeren en de bagger, indien die daarvoor geschikt is, als fundament voor de rietmoerassen te gebruiken (onder het eigenlijke filter dat uit een zandpakket bestaat en daarvan afgescheiden door een folielaag), kan een deel van de fosforaflevering uit de bodem worden verminderd. Tevens is het mogelijk zuiveringsmoerassen ook voor het verwijderen van fosfaat te gebruiken (eventueel kan de fosfaatverwijdering nog bevorderd worden door het aanbrengen van ijzervijlsel of marmerkorrels in het denitrificatieveld);
- de aanwezigheid van een permanent nat rietmoeras kan voor overlast van muggen zorgen; door een goede visstand, die muggenlarven als voedsel gebruikt, kan dit echter beperkt worden.

4.1.2. Zoete variant met methanoldosering dimensionering

Voor deze variant geldt hetzelfde als voor de zoete variant met het natuurlijke zuiveringsmoeras voor wat betreft de dimensionering van het nitrificatieveld: er zal een oppervlakte van 3 ha nodig zijn.

De dimensionering van het denitrificatieveld wordt nu eveneens door de maximale hydraulische belasting bepaald, aangezien de beperking van de BZV-aanvoer weggenomen wordt door de toevoeging van methanol. De maximale hydraulische belasting is 4 à 5 keer hoger dan bij het nitrificatieveld, omdat het meeste zwevende stof reeds in het nitrificatieveld is verwijderd. Het denitrificatieveld kan dus 4 à 5 keer kleiner zijn dan het nitrificatieveld, d.w.z. 0,6 tot 0,75 ha.

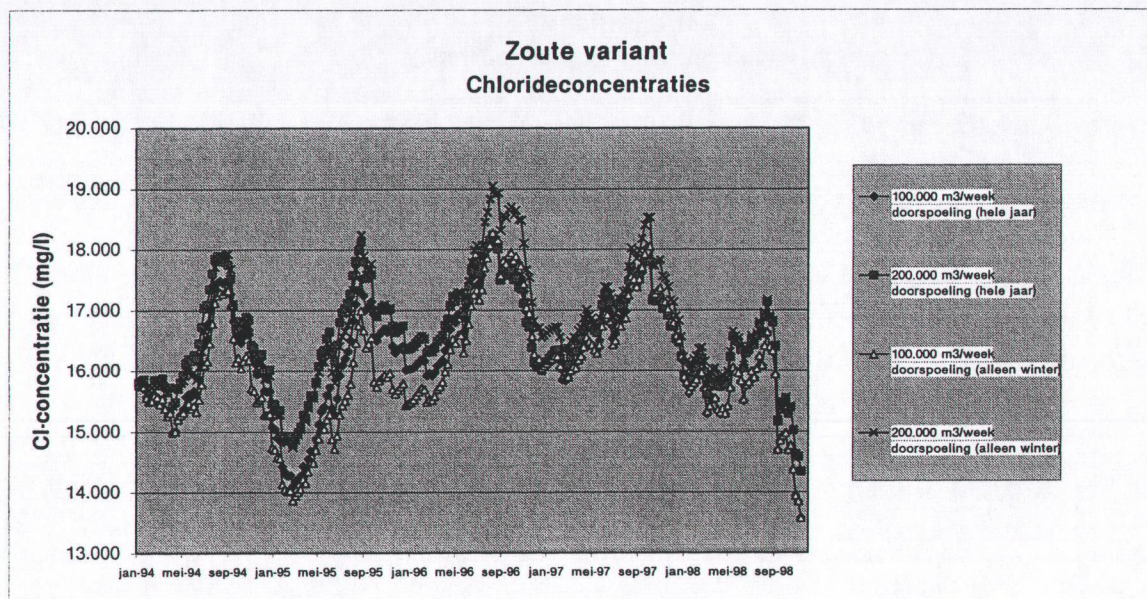
Om een bepaalde hoeveelheid nitraat te denitrificeren, is er ongeveer 4 maal zo veel methanol nodig als er nitraat aanwezig is. Echter, niet alle methanol zal ten bate van de denitrificatie komen. Er treedt verlies op door verdamping, onvolledige menging en gebruik door organismen die geen bijdrage leveren aan de denitrificatie. Het is daarom realistisch om van 8 kg methanol per kg om te zetten nitraat uit te gaan. Voor de periode dat er water vanuit het Zoommeer wordt ingelaten betekent dit dat er dagelijks $8 * 31,5 = 252$ kg methanol moet worden gedoseerd en gedurende de recirculatie $8 * 10 = 80$ kg per dag. Op jaarbasis betekent dat een methanoldosering van 41.200 kg methanol. De methanoldosering kan worden geoptimaliseerd als de kwaliteit van het effluent uit het denitrificatieveld wordt gemonitord.

risico's, voor- en nadelen

Het belangrijkste voordeel van methanoldosering is dat de onzekerheidsmarges wat betreft de denitrificatie kleiner worden. Het is bovendien mogelijk de dosering te optimaliseren als de kwaliteit van het effluent van het denitrificatieveld wordt gemonitord.

Een opslag van methanol en een doseerinstallatie zien er echter minder natuurlijk uit dan een zuiveringsmoeras, waardoor de inpasbaarheid in het landschap minder goed is. Verder is er het bezwaar dat methanol brandbaar is, waardoor de toepassing aan de geëigende, standaard veiligheidsvoorschriften moet voldoen.

Afbeelding 4.2. Het verloop van de chlorideconcentraties in de Binnenschelde bij verschillende doorspoelscenario's



4.1.3. Zoute variant dimensionering

Bij de zoute variant wordt de Binnenschelde doorspoeld met zout Oosterscheldewater. Twee aspecten spelen een rol bij de dimensionering van de hoeveelheid water die moet worden gerecirculeerd:

- de chlorideconcentratie die wordt bereikt;
- de stikstofconcentratie die wordt bereikt.

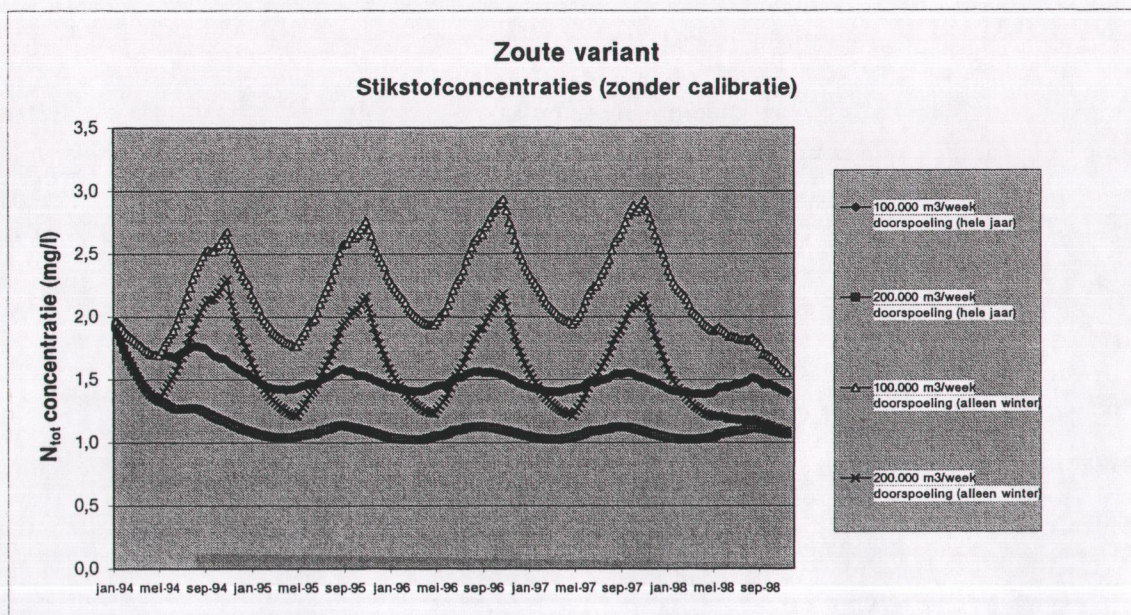
In **afbeelding 4.2.** is weergegeven hoe de chlorideconcentratie in de Binnenschelde varieert o.i.v. natuurlijke neerslagvariatie, uitgaande van een aanvangsconcentratie van 16.000 mg chloride per liter. Verschillende doorspoelscenario's zijn hier met elkaar vergeleken, nl:

- continue doorspoeling met een debiet van 100.000 m³ per week;
- continue doorspoeling met een debiet van 200.000 m³ per week;
- doorspoeling van november t/m april met 100.000 m³ per week;
- doorspoeling van november t/m april met 200.000 m³ per week.

In gemiddelde jaren blijft de chlorideconcentratie over het algemeen boven de 16.000 mg/l, behalve als er alleen 's winters 100.000 m³ Oosterschelde-water per week wordt ingepompt. In jaren met extreme regenval (zoals 1998) zal bij geen van de scenario's de chlorideconcentratie boven de 16.000 mg/l blijven. Als deze lage chlorideconcentraties zich slechts incidenteel voordoen valt echter niet te verwachten dat dit tot problemen zoals overmatige zeegras-ontwikkeling zal leiden.

Op basis van dezelfde scenario's is eveneens gekeken naar het verloop van de stikstofconcentraties (**afbeelding 4.3.**). Deze stikstofbalansen zijn niet gecalibreerd voor een natuurlijke verwijderingsterm, aangezien er voor zoute systemen geen waarden zijn gevonden. Het is te zien dat bij de scenario's waarin alleen in de winter water wordt ingepompt er pieken in de stikstofconcentraties optreden. Als er continu wordt gepompt, zal zich snel een evenwicht instellen dat bij een debiet van 100.000 m³ per week rond de 1,5 mg N_{tot}/l ligt en bij een debiet van 200.000 m³ per week rond de 1,0 mg N_{tot}/l.

Afbeelding 4.3. Het verloop van de stikstofconcentraties in de Binnenschelde bij verschillende doorspoelscenario's



Waarschijnlijk zijn beide stikstofconcentraties laag genoeg om geen problemen met algenbloeien op te leveren, hetgeen bleek uit de gegevens van Waterschap Zeeuwse Eilanden (zie paragraaf 2.1.2) over het Goese Meer (mondelinge mededeling F. Kalteren, WS Zeeuwse Eilanden). Bovendien treedt er in zoute, ondiepe wateren meestal een sterke verwijdering van stikstof op door vastlegging in het ecosysteem en denitrificatie (mondelinge mededeling C. Peeters, RIKZ). Het valt dan ook te verwachten dat de uiteindelijke stikstofconcentraties lager zullen zijn dan degene die in de balans zijn berekend. De pieken in de stikstofconcentraties die optreden bij de scenario's waarin alleen in de winter wordt gepompt kunnen tot ca. 3 mg/l oplopen. Het is te onzeker om erop te vertrouwen dat natuurlijke stikstofverwijdering de concentraties voldoende vermindert om geen problemen met algenbloeien te krijgen.

Het verdient dan ook de voorkeur om de Binnenschelde voortdurend met Oosterscheldewater te doorspoelen, waarbij een debiet van 100.000 m³/week voldoende wordt geacht.

Er is onderzocht in hoeverre zout effluent van lokale industrieën voor doorspoeling van de Binnenschelde zou kunnen worden gebruikt. Uit opgave van het Hoogheemraadschap van West-Brabant blijkt echter dat dit water teveel zware metalen bevat en derhalve niet geschikt is.

risico's, voor- en nadelen

Een zoute Binnenschelde kan vanuit het oogpunt van recreatie gewenst zijn. Het zoute Oosterscheldewater is schoon en bijvoorbeeld insectenoverlast zal in de omgeving van zout water niet aanwezig zijn. Een zoute Binnenschelde zou ook vanuit het oogpunt van de hengelsport interessant kunnen zijn.

Het nadeel van een zout meer als de Binnenschelde is dat het chloridegehalte door neerslag af kan nemen. Dit kan zoveel mogelijk in de hand worden gehouden door voldoende door te spoelen met zout Oosterscheldewater, maar het is niet geheel te voorkomen. Bij lagere chlorideconcentraties kunnen zeesla en zeegras een probleem vormen. Zeesla kan bij zeer wisselende chlorideconcentraties voorkomen, maar doet het vooral goed in brakker water (vooral als de chloridegehalten lager dan 10.000 mg/l zijn). Het voorkomen van zeesla wordt echter voornamelijk door nutriënten bepaald. Als de nutriëntenconcentratie laag is, dan zal zeesla, ook in brak water meestal niet tot problemen leiden. In het (brakke) Veerse Meer is

veel overlast door zeesla, maar daar is de nutriëntenconcentratie dan ook hoog (N_{tot} ca. 4 mg/l).

Zeegras komt niet op plaatsen voor waar de gemiddelde chloride-concentratie gedurende het jaar hoger dan 16 à 16,5 g/l is. In de Binnenschelde zal de concentratie hier echter geregeld onder komen, zodat zeegras in principe kan voorkomen. Het is niet waarschijnlijk dat zeegras voor problemen zal gaan zorgen, omdat:

- de dichtstbijzijnde zeegraspopulaties in de Oosterschelde vrij ver weg zijn en er dus vrij veel tijd overheen kan gaan voor er een levensvatbare zeegraspopulatie in de Binnenschelde kan opkomen;
- zeegras erg makkelijk is te verstoren. Als ergens zeegras opkomt, kan het eggen van de bodem afdoende zijn om verdere opkomst van de planten te voorkomen.

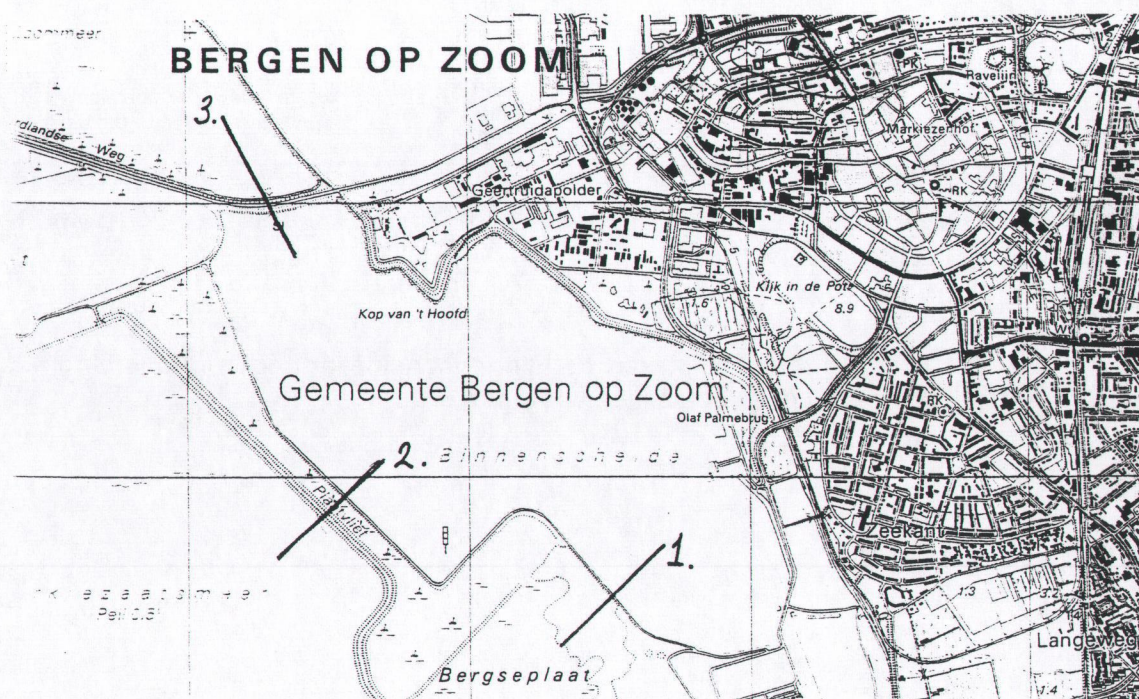
In zoute meren kunnen Japanse kruiskwallen voorkomen. Deze zijn hinderlijk voor zwimmers. Er zijn tot op heden geen maatregelen tegen deze kwallen bekend. Navraag bij de gemeente Goes leerde dat er bij het Goese Meer waarschuwborden zijn geplaatst dat de kwallen kunnen voorkomen. Overigens is het aantal klachten steeds beperkt gebleven.

zoute kwel

Een potentieel nadeel van de zoute variant is dat er zoute kwel vanuit de Binnenschelde naar de woonwijk Bergse Plaat, naar de Plaatvliet en naar het Zoommeer op kan treden. Deze kwel kan overlast veroorzaken, met name doordat bestaande beplantingen in de woonwijk schade kunnen ondervinden van brakke/zout kwel.

Bomen en struiken zijn in het algemeen slecht bestand tegen brak/zout grondwater. Als het brakke/zoute grondwater in de wortelzone van deze beplantingen komt zullen ze (op den duur) beschadigd raken of zelfs afsterven. Bomen (en struiken) wortelen op wisselende dieptes, o.a. afhankelijk van de soort, maar hun wortelzones zullen vaak dieper dan een meter reiken. Kruidachtige vegetaties (o.a. gazons) wortelen minder diep (tot ca. 20 cm) en zijn ook vaak minder gevoelig voor hogere chlorideconcentraties. Deze zijn dus ook minder kwetsbaar voor brak/zout grondwater.

Afbeelding 4.4. Positie van de trajecten waarvoor de zoute kwel is gemodelleerd



De hoeveelheid kwel naar de Bergse Plaat, het Zoommeer en het Markiezaatsmeer is gemodelleerd voor de huidige situatie en voor de situatie die ontstaat bij de aanleg van een zoute variant (trajecten waarvoor de situatie is berekend zijn te vinden in **afbeelding 4.4.**).

De hoeveelheid kwel is afhankelijk van de volgende parameters:

- de weerstand van de bodem (uitgedrukt als k: meter per dag);
- de afstand die het water door de bodem moet afleggen (hoe langer de afstand hoe kleiner de hoeveelheid kwel);
- het peilverschil tussen de Binnenschelde en het gebied waarnaar kwel optreedt (hoe groter het peilverschil, des te groter het drukverschil en daarmee de hoeveelheid kwel; zout water heeft een grotere dichtheid dan zoet water, wat tot gevolg heeft dat de druk die uitgeoefend wordt door zout water groter is dan die van zoet water);
- de lengte waarover kwel kan plaatsvinden (de dijlengte).

Op basis van deze uitgangspunten (de details van de achtergronden en de berekeningen zijn te vinden in **bijlage IV**) worden de hoeveelheden kwel berekend zoals aangegeven in **tabel 4.1.**

Tabel 4.1. Kwel vanuit de Binnenschelde in m³/dag per km dijk

transect		huidige situatie		situatie na verzouting	
		ondiepe kwel	diepe kwel	ondiepe kwel	diepe kwel
1	Binnenschelde-Bergse Plaat	617	11	698	11
2	Binnenschelde-Markiezaatsmeer	423	9	506	11
3	Binnenschelde-Zoommeer	650	14	735	16

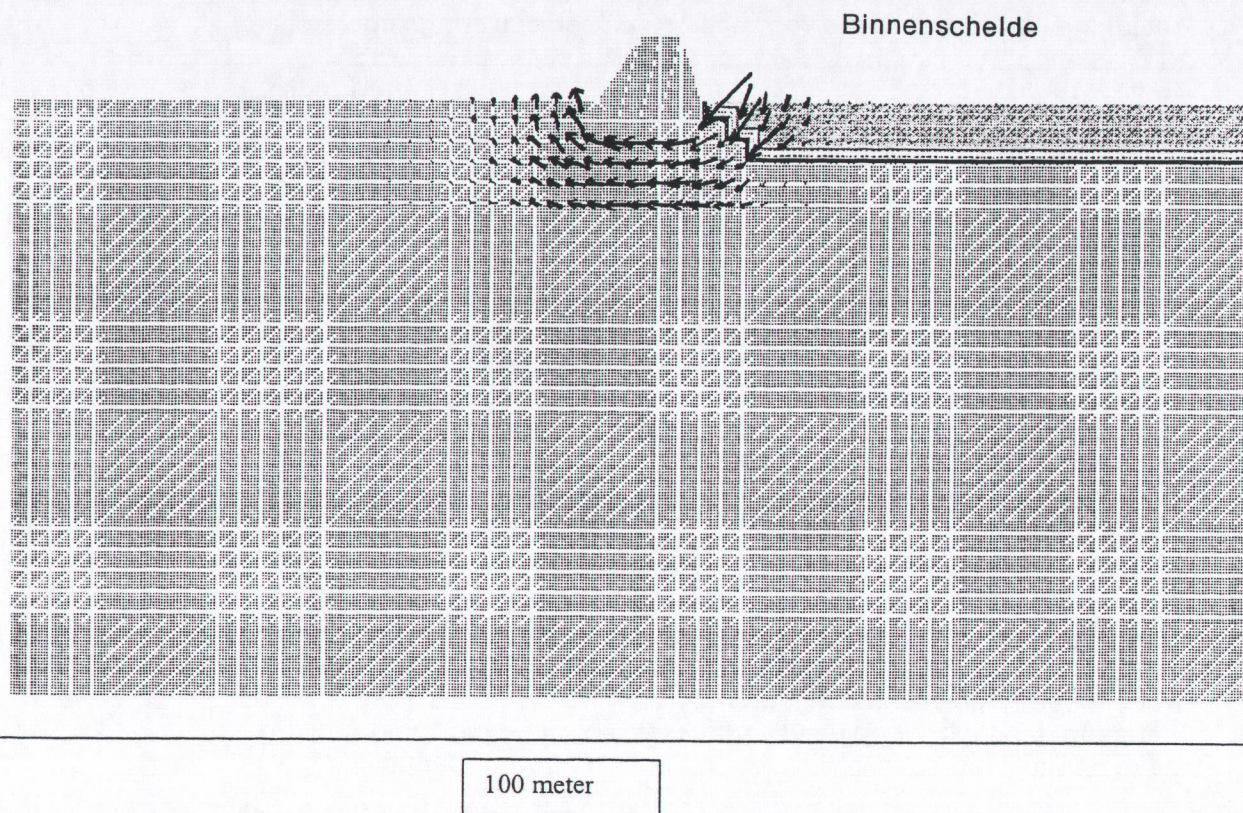
Als we ervan uitgaan dat zowel de diepe als de ondiepe kwel dezelfde samenstelling hebben als het Binnenscheldewater (ca. 17.000 mg/l chloride in de zoute variant), dan worden de chloridevrachten zoals aangegeven in **tabel 4.2.**

Tabel 4.2. Chloridevrachten bij de verschillende transecten na verzouting van de Binnenschelde

transect	lengte dijk (km)	kwel (m ³ /dag per km dijk)	totale kwel (m ³ /dag)	chloridevracht (kg/dag)
1. Binnenschelde-Bergse Plaat	1,7	709	1.205	20.490
2. Binnenschelde-Markiezaatsmeer	1,3	517	672	11.426
3. Binnenschelde-Zoommeer	0,6	751	451	7.660

De meeste kwel zal vlak achter de dijk van de Binnenschelde optreden (**afbeelding 4.5.**), zodat de grootste effecten zich daar ook zullen voordoen.

Afbeelding 4.5. Schematische weergave van de kwel vanuit de Binnenschelde; de lengte van de pijlen is een maat voor de hoeveelheid kwel per tijdseenheid



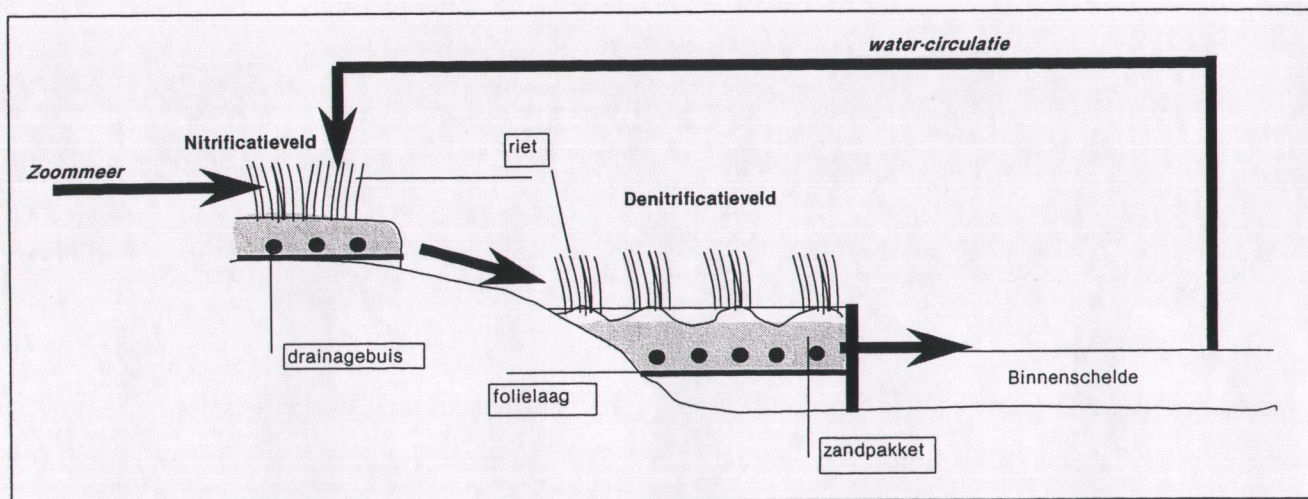
De hoeveelheden kwel zijn klein voor het grote Markiezaatsmeer en Zoommeer, zodat de kwel niet tot verziltingsproblemen zal leiden. Op de Bergse plaat kan de zoute kwel een negatief effect op de beplantingen hebben, met name op bomen die minder dan ca. 30 à 40 meter van de dijk staan. We gaan hier uit van een 'worst case scenario'. In de praktijk zullen de verziltingsproblemen waarschijnlijk niet ernstig zijn. Het kwelwater zal namelijk voornamelijk in de sloten van de Bergse Plaat terechtkomen, waardoor het grondwater minder zal worden beïnvloed. Uit ervaringen in Zeeland blijkt dat op veel plaatsen bomen geen enkele schade ondervinden zelfs als ze dicht bij brakke sloten staan (Waterschap Zeeuwse Eilanden, mondelinge mededeling van A. Fortuin).

Het moet wel worden opgemerkt dat de resultaten van de berekeningen indicatief zijn en voor een gemiddelde situatie en bodemopbouw gelden. Door lokale variaties in de bodemopbouw kunnen verschillen in de kwelhoeveelheden optreden. Om een gedetailleerder beeld van de kwelstromen te verkrijgen, zal de lokale bodemopbouw nader moeten worden bestudeerd en in groter detail moeten worden gemodelleerd.

4.2. Technische uitwerking

4.2.1. Zoete variant met natuurlijk zuiveringsmoeras

Afbeelding 4.6. Schematische voorstelling van een zuiveringsmoeras



Een schematische weergave van een zuiveringsmoeras met een nitrificatie- en een denitrificatieveld is gegeven in **afbeelding 4.6**. Helofytenfilters worden aangelegd volgens de specificaties van KIWA/VROM (1998). Dit houdt onder meer in dat:

- riet als helofytgewas wordt gebruikt;
- riet aangeplant wordt op een zandpakket van minimaal 1 meter dik;
- de onderkant van het zandpakket ondoorlatend wordt gemaakt d.m.v. afdekfolie.

Er wordt gekozen voor een systeem waar het water verticaal doorheen stroomt. Er wordt echter aangeraden niet te kiezen voor een systeem met infiltratieleidingen, maar voor een robuuster systeem, dat minder kans geeft op verstoppingen e.d. Een ontwerp waarbij het nitrificatieveld 4 maal per dag, gedurende twee uur wordt overstroomd, afgewisseld door perioden van vier uur waarin geen overstroming plaatsvindt levert genoeg zuurstof voor de nitrificatie. Het water wordt via conventionele drainagebuizen naar het, lager gelegen, denitrificatieveld geleid. Dit veld moet voortdurend nat zijn om zuurstofloze omstandigheden te garanderen. Het waterpeil van het natte helofytenveld moet ca. 0,5 m boven het waterpeil van de Binnenschelde liggen om de drainage te waarborgen. Hierdoor kan het zuiveringsmoeras niet tegelijkertijd als overwinteringsgebied voor vissen dienen (de toegankelijkheid is daarvoor te klein). Het zou onder bepaalde voorwaarden echter wel als paaigebied kunnen dienen. Het is dan ook aan te bevelen om te onderzoeken of het huidige paaigebied heringericht kan worden om als denitrificatieveld te dienen.

Voor zowel het nitrificatie- als het denitrificatieveld geldt dat het verdeeld moet zijn in verschillende bassins zodat de watertoevoer en -verdeling te sturen of in te regelen is.

Het zuiveringsmoeras kan het beste worden gesitueerd aan de noordzijde van de Binnenschelde, aan de grens met het Zoommeer. Op deze wijze kan het Zoommeerwater eenvoudig door het moeras worden geleid met behulp van het bestaande gemaal.

Voor een succesvolle stikstofverwijdering door recirculatie van Binnenscheldewater moet het water aangevoerd worden vanaf een punt dat zo ver mogelijk van het zuiveringsmoeras ligt. Het is een ervaringsfeit dat op deze manier goede menging kan worden bewerkstelligd. Dit vereist dat er een pijpleiding wordt aangelegd vanaf de zuidoostkant van de Binnenschelde naar het zuiveringsmoeras toe. Aan het begin van een dergelijke pijpleiding moet een gemaal komen met voldoende capaciteit om gedurende de 200 dagen dat er wordt gerecirculeerd, 10.000 m^3 per dag (116 l per seconde) te pompen. Het nitrificatieveld wordt slechts 4 maal 2 uur per dag belast (een derde van de tijd). Door het nitrificatieveld in drie segmenten

maal 2 uur per dag belast (een derde van de tijd). Door het nitrificatieveld in drie segmenten van elk een hectare te verdelen en elk segment beurtelings te belasten, wordt het gemaal optimaal benut. Bij een stroomsnelheid in de leiding van 1 m/s (economische snelheid), betekent een debiet van 116 l/s een vereiste diameter van de leiding met een diameter van 38 cm (in de praktijk 40 cm).

4.2.2. Zoete variant met methanoldosering

Voor de variant met methanoldosering geldt in beginsel hetzelfde als voor het natuurlijke zuiveringsmoeras. De wijze waarop het nitrificatie- en het denitrificatieveld worden aangelegd en de kunstwerken die nodig zijn voor de aanvoer van water zijn vergelijkbaar. De belangrijkste verschillen zijn:

- het denitrificatieveld is veel kleiner dan bij het natuurlijke zuiveringsmoeras;
- tussen het nitrificatieveld en het denitrificatieveld moet methanol worden toegevoegd met behulp van een doseerinstallatie.

De toediening van methanol vereist dat er mogelijkheden zijn om methanol aan te voeren. De beste locatie lijkt dan ook niet te ver van de Noordlandse weg te zijn. Tevens moeten de opslag en het doseersysteem aan de geëigende veiligheidseisen voldoen.

De toediening van methanol kan nauwkeurig worden geregeld en er zijn mogelijkheden voor optimalisatie door de stikstofconcentratie in het effluent van het denitrificatieveld te monitoren en af te zetten tegen de hoeveelheid toe te dienen methanol.

De gecontroleerde toediening van methanol verkleint de onzekerheden die blijven bestaan bij de denitrificatie in een natuurlijk rietmoeras (omdat de BZV-productie in een natuurlijk rietmoeras niet te controleren is).

4.2.3. Zoute variant

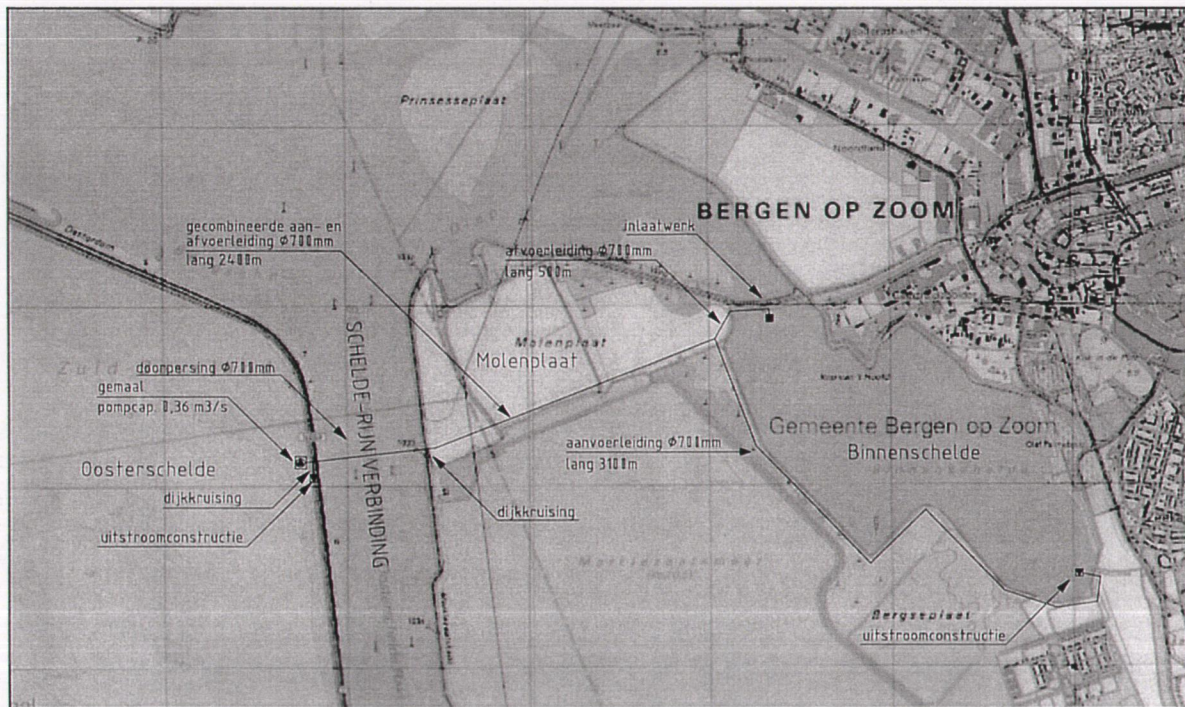
De zoute variant vereist dat de Binnenschelde met een debiet van 100.000 m³ per week met Oosterscheldewater wordt doorspoeld. Het is hierbij van belang dat het water in de Binnenschelde goed mengt. In- en uitlaat van water moeten dus gescheiden zijn in de tijd en/of de ruimte, zodat niet steeds hetzelfde water wordt rondgepompt (details van de technische uitwerking zijn te vinden in **bijlage IV**).

Voorgesteld wordt om de aan- en afvoer van water zoveel mogelijk door dezelfde pijpleiding plaats te laten vinden, waarbij bij vloed (waterstand in de Oosterschelde hoger dan NAP) water wordt ingelaten met behulp van een gemaal en bij eb (waterstand in de Oosterschelde lager dan NAP) water onder vrij verval wordt uitgelaten vanuit de Binnenschelde. In dit deel van de Oosterschelde is de waterstand gedurende ca. 11 uur boven NAP. Dit betekent dat gedurende die tijd de inlaat plaats moet vinden. Dit zou betekenen dat in het geval van de Binnenschelde het gemaal een capaciteit van 361 l/seconde moet hebben. Bij een economische stroomsnelheid van ca. 1 m/s in de leiding betekent dat een diameter van 68 cm (in de praktijk 70 cm). Er wordt gekozen voor een gemaal met een enkele pomp, aangezien de aanwezigheid van een reservepomp geen prioriteit heeft (als het gemaal enkele dagen niet werkt vanwege onderhoud en reparatie dan heeft dit nauwelijks gevolgen voor de waterkwaliteit).

Het tracé van de pijpleidingen is weergegeven in **afbeelding 4.7**. De aanvoer van Oosterscheldewater vindt plaats via een gemaal dat zich langs de Oesterdam bevindt. De pijpleiding wordt onder de Schelde-Rijnverbinding geperst (of eventueel met een speciale zinker aangelegd) en loopt langs de rand van de Plaatvliet en de Bergse Plaat naar een uitstroombouwconstructie aan de zuidoostzijde van de Binnenschelde.

De afvoer van water vindt bij voorkeur zo ver mogelijk van de inlaat plaats, zodat goede menging kan optreden. De locatie langs de Noordlandse weg, nabij het bestaande gemaal aan de noordwestzijde van de Binnenschelde lijkt het meest geschikt. De leiding vanuit de

Afbeelding 4.7. Het voorgestelde pijpleidingtracé en de kunstwerken voor de zoute variant



van afsluiters en een enkele aan/afvoerleiding is dat er maar één leiding onder de Schelde-Rijnverbinding hoeft te worden aangelegd. Dit werkt sterk kostenbesparend aangezien het oversteken van de Schelde-Rijnverbinding relatief erg kostbaar is. Dit wordt veroorzaakt doordat:

- de pijpleiding onder de Schelde-Rijnverbinding en de dijk moet worden doorgeperst, of er speciale zinkers moeten worden gebruikt, die op ankerdiepte moeten worden aangebracht;
- speciale, voor de locatie ontworpen en gefabriceerde buizen moeten worden gebruikt voor het passeren van zeedijken: deze buizen hebben een betonnen mantel en stalen kern en moeten onder de dijk door geperst worden. Er wordt vooralsnog niet van uitgegaan dat de leiding door het dijklichaam zal worden aangelegd (boven kerende hoogte).

maatregelen om overlast door zoute kwel te voorkomen

Aangezien er geen overlast van zoute kwel valt te verwachten in het Markiezaatsmeer en het Zoommeer, wordt hier alleen ingegaan op maatregelen ter voorkoming van overlast door zoute kwel in de Bergse Plaat. Hoewel het ernaar uitzielt dat de overlast in de praktijk niet groot zal zijn, kunnen, om zo veel mogelijk risico's uit te sluiten, toch maatregelen worden getroffen om de hoeveelheid zoute kwel te beperken. De volgende maatregelen zijn beschouwd:

- aanleggen van een sloot (2 meter diep) of drain juist achter de dijk om binnenkomend kwelwater af te voeren. De totale hoeveelheid kwel neemt dan wel toe, maar deze komt gecontroleerd in de sloot, of drain en kan weer over de dijk naar de Binnenschelde worden gezet. De hoeveelheid zoute kwel die dan in de wijk terecht komt is nihil;
- aanleggen van een kwelscherm tot in de eerste ondoorlatende laag onder de Binnenschelde (Hollandveen, ca. 5 meter diep) d.m.v. een bentonietlaag met een dikte van ca. 50 cm, of het aanleggen van een afschermfolie (dit is goedkoper, maar heeft een kortere levensduur);
- verlagen van het peil van de Binnenschelde tot NAP en het verdiepen van de Binnenschelde.

De effecten van de maatregelen zijn samengevat in **tabel 4.3**.

Tabel 4.3. Overzicht van de maatregelen tegen zoute kwel en hun effecten op de totale kwel (in m³/dag en de chloridevracht (kg/dag) naar de Bergse Plaat

maatregel	kwel (m ³ /km dijk/dag)	totale ondiepe en diepe kwel (m ³ /dag)	totale chloridevracht (kg/dag)
huidige situatie	628	1.068	854
zoute situatie	709	1.205	20.490
zout, met kwelsloot	825	1.403	23.843 ¹
zout, met kwelscherm	25	43	723
zout, met peilverlaging en uitdieping	19	32	549

Het aanleggen van een kwelsloot of drain is de meest kansrijke optie gezien de relatief lage kosten (vergeleken met de andere maatregelen) en de verwachte effectiviteit (zo is bij het Goese Meer eveneens een kwelsloot aangelegd; deze is zo effectief dat in een monitoringsprogramma geen verzilting was te meten: mondelinge mededeling van A. Fortuin, Waterschap Zeeuwse Eilanden). Ook voor de bovenstaande berekeningen geldt dat ze indicatief van aard zijn.

4.3. Aanlegkosten

Onderstaand worden de kosten geraamd met een marge van plus of min 25%. De kosten zijn grotendeels gebaseerd op gangbare standaardprijzen en ervaringsgetallen en zijn voornamelijk bedoeld om de verschillende varianten met elkaar te vergelijken. Optimalisaties van de ontwerpen kunnen de prijzen wellicht naar beneden bijstellen. Eventuele details van kostenramingen zijn in bijlagen vermeld. Alle kosten zijn inclusief uitvoeringskosten, algemene kosten en winst en risico, maar exclusief bijkomende kosten (zoals voorbereiding, planonvolledigheid, zakelijk recht/schadevergoeding) en BTW, tenzij anders vermeld.

4.3.1. Zoete variant met natuurlijk zuiveringsmoeras

Bij de kostenraming voor de zoete variant met een natuurlijk zuiveringsmoeras zijn de volgende uitgangspunten gehanteerd:

- helofytenfilters worden aangelegd volgens de specificaties van KIWA/VROM (1998);
- de oppervlakte van het nitrificatieveld is 3 ha;
- de oppervlakte van het denitrificatieveld is 9 ha;
- Zoommeerwater wordt bij het inlaten direct door het nitrificatieveld geleid;
- er wordt één gemaal aangelegd voor de inlaat van water uit het Zoommeer en één voor de recirculatie van Binnenscheldewater;
- de capaciteit van de gemalen is 116 l per seconde;
- de doorsnede van de recirculatieleiding is 40 cm.

Een globaal overzicht van de kosten is gegeven in **tabel 4.4**. Een gedetailleerdere uitwerking van de kosten is te vinden in **bijlage V**.

1. De chloridevracht die door de kwelsloot wordt opgevangen is weliswaar groter dan als er geen kwelsloot is, maar met een kwelsloot kan deze gecontroleerd worden afgevoerd, zodat de hoeveelheid kwel die de woonwijk bereikt nihil is.

Tabel 4.4. Overzicht van de kosten van de aanleg van de zoete variant met een natuurlijk zuiveringsmoeras (totalen zijn afgerond op f 250.000,-)

onderdeel	eenheid	eenheidsprijs (in f)	aantal	kosten (in f, exclusief BTW)
gemalen Zoommeer en Binnenschelde (recirculatie)	-	-	-	775.000,-
inlaatwerken	-	-	-	50.000,-
persleidingen (inlaat en recirculatie)	m	160,-	3.600	576.000,-
grond ophogen	m ³	20,-	180.000	3.600.000,-
folie	m ²	15,-	121.500	1.822.500,-
bemaling t.b.v. aanbrengen folie	-	-	-	200.000,-
helofytenbeplanting	ha	100.000,-	12	1.200.000,-
omringende dijk om nitrificatieveld	m	300,-	1.200	360.000,-
goten, putten, drainage, verdeelwerk	-	-	-	1.258.750,-
diversen	-	-	-	1.095.000,-
totaal (afgerond)				11.000.000,-
uitvoering, WR/AK (30%) (afgerond)				3.500.000,-
totaalraming (afgerond)				14.500.000,-

De aanlegkosten voor een zoete variant met een natuurlijk zuiveringsmoeras, dat gedimensioneerd is met de aanname dat een deel van het in te laten Zoommeerwater kan worden vervangen door water uit de Augustapolder komen op f 13.000.000,- exclusief omzetbelasting (zie **bijlage VII**).

4.3.2. Zoete variant met methanoldosering

Bij de kostenraming voor de zoete variant met methanoldosering zijn de volgende uitgangspunten gehanteerd:

- helofytenfilters worden aangelegd volgens de specificaties van KIWA/VROM (1998);
- de oppervlakte van het nitrificatieveld is 3 ha;
- de oppervlakte van het denitrificatieveld is 0,75 ha;
- Zoommeerwater wordt bij het inlaten direct door het nitrificatieveld geleid;
- er wordt één gemaal aangelegd voor de inlaat van water uit het Zoommeer en één voor de recirculatie van Binnenscheldewater;
- de capaciteit van het gemaal is 116 l per seconde;
- de doorsnede van de recirculatieleiding is 40 cm.

Een globaal overzicht van de kosten is gegeven in **tabel 4.5**. Een gedetailleerdere uitwerking van de kosten is te vinden in **bijlage V**.

Tabel 4.5. Overzicht van de kosten van de aanleg van de zoete variant met methanoldosering (totalen zijn afgerond op f 250.000,-)

onderdeel	eenheid	eenheidsprijs (in f)	aantal	kosten (in f, exclusief BTW)
gemalen Zoommeer en Binnenschelde (recirculatie)	-	-	-	775.000,-
inlaatwerken	-	-	-	50.000,-
persleidingen (inlaat en recirculatie)	m	160,-	3.600	576.000,-
grond ophogen	m ³	20,-	56.250	1.125.000,-
folie	m ²	15,-	37.500	562.500,-
bemaling t.b.v. aanbrengen folie	-	-	-	50.000,-
helofytenbeplanting	ha	100.000,-	3,75	375.000,-
omringende dijk om nitrificatieveld	m	300,-	350	105.000,-
goten, putten, drainage, verdeelwerk	-	-	-	1.020.750,-
methanoldoseringsinstallatie en opslag	-	-	-	600.000,-
diversen	-	-	-	1.095.000,-
totaal (afgerond)				6.000.000,-
uitvoering, WR/AK (30%) (afgerond)				2.000.000,-
totaalraming (afgerond)				8.000.000,-

4.3.3. Zoute variant

Bij de kostenraming voor de zoete variant met methanoldosering zijn de volgende uitgangspunten gehanteerd:

- er wordt één gemaal, met één pomp langs de Oesterdam aangelegd om Oosterscheldewater in te laten als het waterpeil in de Oosterschelde hoger dan NAP is (gedurende 11 uur);
- de capaciteit van het gemaal is 361 l per seconde;
- de afvoer van water vindt plaats onder vrij verval als het waterpeil in de Oosterschelde lager dan NAP is (gedurende 13 uur);
- de aan- en afvoer vindt zoveel mogelijk via één leiding plaats: deze leiding heeft een diameter van 70 cm;
- de aan/afvoerleiding wordt onder de Schelde-Rijnverbinding doorgeperst;
- er wordt een drain aangelegd langs de Plaatvliet en de Bergse Plaat om de eventuele negatieve effecten van zoute kwel tegen te gaan.

Een globaal overzicht van de kosten is gegeven in **tabel 4.6**. Een gedetailleerdere uitwerking van de kosten is te vinden in **bijlage IV**.

Tabel 4.6. Overzicht van de kosten van de aanleg van de zoute variant (totalen zijn afgerond op f 250.000,-)

onderdeel	eenheid	eenheidsprijs (in f)	aantal	kosten (in f, exclusief omzetbelasting)
doorspoelen				
gemaal incl. voorzieningen	stuks	2.500.000,-	1	2.500.000,-
doorpersen leiding onder Schelde-Rijnverbinding	m	3.200,-	600	1.920.000,-
dijkkruising	stuks	50.000,-	2	100.000,-
persleiding, diameter 700 mm, gewapend beton	m	575,-	5.500	3.162.500,-
inlaatwerken	stuks	50.000,-	1	50.000,-
uitlaatvoorzieningen	stuks	50.000,-	2	100.000,-
diversen	-	-	-	400.000,-
uitvoering, WR/AK	-	-	-	1.567.500,-
subtotaal doorspoelen zoute variant (afgerond)				10.000.000,-
kweldrain				
gemaal voor afvoer zoute kwel	stuks	500.000,-	1	500.000,-
drain, diameter 100 mm, incl. drainzand	m	14,-	1.000	14.000,-
drain, diameter 200 mm, incl. drainzand	m	28,-	2.100,-	58.800,-
drain doorspuitpunten	stuks	300,-	11	3.300,-
afwerken terrein	are	55,-	350	19.250,-
diversen	-	-	-	35.600,-
uitvoering, WR/AK	-	-	-	119.070,-
subtotaal kweldrain (afgerond)				750.000,-
totaalraming (afgerond)				10.750.000,-

4.4. Exploitatie-, onderhouds- en afschrijvingskosten

Voor de zoete variant met het natuurlijke zuiveringsmoeras (variant 1) en voor de zoute variant (variant 3) zijn de exploitatie-, onderhouds- en afschrijvingskosten berekend. Exploitatie- en onderhoudskosten zijn gebaseerd op standaard prijzen en op ervaringsgetallen van deskundigen binnen Witteveen+Bos.

De jaarlijkse onderhoudskosten worden meestal uitgedrukt als een percentage van de investeringskosten. Deze percentages zijn in de praktijk verschillend voor verschillende objecten, vandaar dat deze kunnen verschillen tussen de zoete en de zoute variant. Bovendien worden de onderhoudskosten bij de zoete variant berekend als percentage van de aanlegkosten exclusief bijkomende kosten, terwijl deze bij de zoute variant beter kunnen worden benaderd door een percentage te nemen van de totale aanlegkosten inclusief bijkomende kosten.

De afschrijvingskosten worden berekend door uit te gaan van:

- de totale stichtingskosten (aanlegkosten en bijkomende kosten);
- een afschrijvingsperiode van 30 jaar (d.w.z. 3,3% van de totale stichtingskosten per jaar). Hierbij moet wel rekening worden gehouden met het feit dat de afschrijvingstermijn van het elektromechanische deel van de installaties, alsmede van de kweldrain slechts 15 jaar is. Bij het berekenen van de afschrijving moeten de kosten van deze onderdelen dus twee maal worden meegenomen;
- een restwaarde van 0;

- een effectieve rente van 5%. Doordat de restwaarde 0 is en de rente wordt berekend over de gemiddelde boekwaarde van de installaties betekent dit dat de gemiddelde effectieve rente over 30 jaar $5\%/2 = 2,5\%$ is.

De jaarlijkse afschrijvingskosten worden dus berekend als $(3,3\% + 2,5\%)$ maal de totale stichtingskosten (d.w.z. inclusief bijkomende kosten en rekening houdend met het afschrijven van de elektromechanische delen en de kweldrain in 15 jaar). De details van de berekeningen van de jaarlijkse exploitatie-, onderhouds- en afschrijvingskosten kunnen worden gevonden in **bijlage VIII** (zoete variant) en **bijlage IX** (zoute variant). In **tabel 4.7.** worden de kosten samengevat.

Tabel 4.7. Overzicht van de jaarlijkse kosten van de zoete en zoute variant (in f, exclusief omzetbelasting)

→ corrigeren zie tabel 0.1

kosten (in f per jaar exclusief omzetbelasting)	variant 1 (zoete variant met natuurlijk zuiveringsmoeras)	variant 3 (zoute variant, inclusief drainageconstructie)
exploitatiekosten (o.a. energiekosten)	14.800,--	28.740,--
onderhoudskosten	121.670,--	108.780,--
afschrijving	1.173.250,--	974.280,--
totaal	1.228.000,-- (1.008.000,-- tot 1.613.000,--)	1.112.000,-- (842.000,-- tot 1.382.000,--)

→ 1.310.000,=

De afschrijvingskosten vormen het grootste deel van de jaarlijkse kosten. Aangezien deze sterk afhankelijk zijn van de aanlegkosten en deze laatste met een marge van $\pm 25\%$ zijn berekend, betekent dat, dat de jaarlijkse kosten alleen binnen aanzienlijke marges kunnen worden benaderd. Dit is in de tabel bij de totalen weergegeven.

5. INTEGRALE BEOORDELING EN KEUZE

5.1. Beoordelingscriteria

De integrale afweging van de varianten wordt gemaakt op basis van de volgende criteria:

- jaarlijkse kosten (exploitatie, onderhoud en afschrijving);
- effectiviteit van de variant (kans op helder water);
- eventuele negatieve neveneffecten;
- duurzaamheid, belevingswaarde en natuurpotentie.

De eerste twee criteria, die primair bepalend zijn voor het milieurendement van de beschouwde variant, worden hierbij twee maal zwaarder gewogen dan de andere (conform de wens van de opdrachtgever).

5.2. Integrale afweging

De integrale afweging is alleen gemaakt voor de zoete variant met het natuurlijke zuiveringsmoeras (variant 1) en voor de zoute variant (variant 3). De methanolvariant (variant 2) is op aanwijzing van de opdrachtgever niet in de integrale afweging betrokken. De reden hiervoor was de volgende: Na uitwerking van variant 2 bleken de jaarlijks benodigde hoeveelheden methanol (40 ton) en de vereiste opslag- en doseerinstallaties te leiden tot een, naar de mening van de opdrachtgever, te zeer industriële aanpak, die weliswaar een enigszins goedkopere (zoete) oplossing biedt, maar nauwelijks te verenigen is met de natuurlijke omgeving van de Binnenschelde.

De afweging wordt samengevat in **tabel 5.1**.

Tabel 5.1. Schema van de integrale afweging van de zoete variant 1 en de zoute variant 3

criterium	variant 1: zoet/natuurlijk zuiveringsmoeras	variant 3: zout
jaarlijkse kosten (exploitatie, onderhoud en afschrijving, in f exclusief omzetbelasting)	1.310.000,-- (1.008.000,-- tot 1.613.000,--)	1.112.000,-- (842.000,-- tot 1.382.000,--)
effectiviteit (kans op helder water)	niet gegarandeerd vanwege: - onzekerheid m.b.t. denitrificatie vanwege gebrek aan ervaring met grote helofytenvelden - mogelijk optreden van stikstofbindende algen	groot
negatieve neveneffecten	eventuele insectenoverlast	- resterende zoute kwel naar omgeving - eventueel kruiskwallen - eventuele opkomst van zee-sla/zeegras
duurzaamheid/belevingswaarde/natuurpotentie	- duurzamer dan andere alternatieven - belevingswaarde positief - past goed in overige natte natuur in de omgeving	- niet duurzaam - belevingswaarde positief - nieuwe zoute natuur, enigszins discontinu met directe omgeving

Hieronder worden de verschillende criteria voor de twee varianten kort besproken.

kosten

De jaarlijkse kosten zijn voor de zoute variant wat lager dan voor de zoete variant hoewel ze elkaar niet veel ontlopen en de betrouwbaarheidsintervallen elkaar overlappen. Met name de afschrijvingskosten zijn lager voor de zoute variant. De exploitatiekosten daarentegen vallen wat hoger uit.

effectiviteit

Effectiviteit wordt gedefinieerd als de kans dat jaarrond helder water wordt bereikt. Voor de zoute variant is deze kans groot. De berekende stikstofconcentratie die wordt bereikt is 1,5 mg/l (zie **afbeelding 4.3**). Hierbij wordt dan geen rekening gehouden met natuurlijke stikstofverwijdering, aangezien hier geen kwantitatieve waarden voor konden worden gevonden. Bij de zoete variant is wel rekening gehouden met een (realistische en gecali-breerde) natuurlijke denitrificatie.

Uit de praktijk blijkt dat stikstofverwijdering wel degelijk in brakke en zoute wateren op zal treden en dat een zoute Binnenschelde daarom een (veel) lagere stikstofconcentratie zal krijgen dan de berekende 1,5 mg/l. De zoute variant zit wat betreft de stikstofconcentratie en het bereiken van helder water aan de veilige kant. De effectiviteit van de zoute variant is daarom zekerder dan die van de zoete variant.

negatieve effecten op de omgeving

Bij de zoete variant is er kans dat er insectenoverlast optreedt. In de zoute variant kunnen kruiskwallen voorkomen en is er een (beperkt) gevaar van het opkomen van zeegras en/of zeesla. Bovendien zijn er eventuele negatieve gevolgen van resterende zoute kwel vanuit de Binnenschelde.

duurzaamheid/belevingswaarde en natuurpotentie

Geen van de varianten kan werkelijk duurzaam worden genoemd. Voor beide zijn kunstmatige voorzieningen en een voortdurende input van energie nodig. Bij de zoute variant moet voortdurend Oosterscheldewater worden doorgespoeld en bij de zoete variant moet gedurende een groot deel van het jaar water worden gerecirculeerd. Behalve deze recirculatie functioneert de zoete variant echter verder als een natuurlijk systeem, zodat de duurzaamheid wat positiever wordt ingeschat ten opzichte van de zoute variant.

Een ander aspect dat ertoe leidt dat de duurzaamheid van de zoete variant positief wordt ingeschat ten opzichte van de zoute variant is de gevoeligheid voor het stilvallen van de pompen. In de zoute variant leidt dit tot een snelle verzoeting en daarmee het geheel verdwijnen van het zoutwaterecosysteem. In de zoete variant leidt het stilzetten van de pompen niet snel tot drastische veranderingen.

De belevingswaarde is sterk afhankelijk van de waarnemer. In het algemeen kan echter worden gesteld dat zowel de zoete variant, als de zoute variant een 'natuurlijke' uitstraling zullen hebben en zodanig als positief worden beoordeeld.

De natuurpotentie van beide varianten is eveneens gunstig. De zoete variant past hierbij goed in de overige natte natuur in de omgeving van de Binnenschelde en het Markiezaatsmeer. De zoute variant is enigszins discontinu met de omgeving, maar een zout meer heeft eveneens gunstige natuurpotenties.

5.3. Conclusie

De bovenstaande criteria leiden tot de volgende totaalafweging (zie **tabel 5.1**):

- de zoete variant met natuurlijk zuiveringsmoeras, onderscheidt zich voornamelijk doordat deze relatief gunstig is voor wat betreft duurzaamheid;
- de zoute variant onderscheidt zich voornamelijk door zijn grote effectiviteit.

Op basis van de bovenstaande criteria en de weging van die criteria zoals die door de opdrachtgever is aangegeven is de zoute variant van de twee beschouwde varianten het gunstigst.

6. NADERE AANBEVELINGEN

Het wordt aanbevolen om:

- de dimensionering van de zoete variant nader te optimaliseren. De werkwijze die nu is gevolgd gaat uit van een in de tijd gescheiden inlaat vanuit het Zoommeer en recirculatie van Binnenscheldewater. een mogelijke integratie kan de efficiëntie ten goede komen;
- na te gaan hoe de pijpleidingtracés van zowel de zoete als de zoute variant zijn te optimaliseren met behoud van een zo goed mogelijke menging van het water;
- de mogelijkheden voor het behoud van de snoekenpaaiplaats na te gaan bij de zoute variant (bijvoorbeeld inzet ten dienste van Markiezaatsmeer of Zoommeer);
- nader te bepalen of afvang van zoute kwel daadwerkelijk noodzakelijk is;
- na te gaan hoe de watervoorziening voor de Bergse Plaat en het doorspoelen van de Plaatvliet moet plaatsvinden bij de zoute variant. Dit geldt niet alleen voor de watergangen, maar ook voor het overwinteringsgebied voor vissen (wellicht is een opvoergemaal nodig om het van water te voorzien);
- te blijven monitoren hoe de waterkwaliteit en het ecosysteem zich ontwikkelen (onafhankelijk van de uiteindelijke keuze voor een variant).

LITERATUUR

AquaTerra. 1998.

Resultaten van een bemonstering van het bestand aan aasgarnalen in de Binnenschelde in juli 1998. AquaTerra b.v.

Bijkerk, R. 1999.

Plankton en waterkwaliteit in de Binnenschelde, West-Brabant, 1998. Koeman & Bijkerk b.v., rapport 99-27.

Bijkerk, R. & Zwerver, S. 1997.

Plankton en waterkwaliteit in de Binnenschelde, West-Brabant, 1993-1996. Koeman & Bijkerk b.v., rapport 97-03.

Boers, P., Laane, W., van Liere, L., Peeters, C., Parma, S. & van der Does, J. 1993.

Eutrofiëring en beleid in Nederland, hoe verder? RIZA notitie 93.056X, DGW nota 93.007, RIVM rapport 732404002.

Buiteveld, H. 1990.

Uitzicht: model voor berekening van doorzicht en extinctie. Lelystad: DBW/RIZA-rapport 90-058.

Jeppesen, E., Søndergaard, M., Kanstrup, E., Petersen, B., Eriksen, R.B., Hammershøj, M., Mortensen, E., Jensen, J.P. & Have, A. 1994.

Does the impact of nutrients on the biological structure and function of brackish and freshwater lakes differ? *Hydrobiologia* 275/276: 15-30.

Laber, J., Perfler, R. & Haberl, R. 1997.

Two strategies for advanced nitrogen elimination in vertical flow constructed wetlands. *Water Science and Technology* 35: 71-77.

Manen, H.A. van. 1994.

Waterbalans van de Binnenschelde. Flevovericht nr. 368. Rijkswaterstaat Directie IJssel-meergebied. ISBN 90-369-1131-1.

Ministerie van Verkeer en Waterstaat. 1989.

Eutrofiëring. Water voor nu en later. Basisrapport derde Nota waterhuishouding.

Ministerie van Verkeer en Waterstaat. 1998.

Vierde Nota waterhuishouding. Regeringsbeslissing.

Nijburg, J. 1998.

Effects of emergent macrophytes on the dissimilatory nitrate reduction in sediments. Proefschrift Katholieke Universiteit Nijmegen. ISBN 90-9011152-2.

Somhorst, M.H.M. & Stolk, A.P. 1996.

Landelijk meetnet regenwatersamenstelling, meetresultaten 1994. Rijksinstituut voor volksgezondheid en milieu (RIVM). Bilthoven, rapport nr: 723101027.

Portielje, R. & van der Molen, D.T. 1997.

Trendanalyse eutrofiëringstoestand van de Nederlandse meren en plassen. Deelrapport I voor de Vierde Eutrofiëringsevenquête. RIZA rapport 97.060. Lelystad. ISBN: 9036951062.

Portielje, R. & van der Molen, D.T. 1998.

Relaties tussen eutrofiëringvariabelen en systeemkenmerken van de Nederlandse meren en plassen. Deelrapport II voor de Vierde Eutrofiëringsevenquête. RIZA rapport 98.007. Lelystad. ISBN: 9036951585.

Voogd, M. 1996.

Riet en oppervlaktewaterkwaliteit. Studie naar de mogelijkheden om met behulp van natuurlijke rietvegetaties de kwaliteit van oppervlaktewater te verbeteren. SBW Advies&Onderzoek, Wageningen.

VROM/KIWA 1998.

Handleiding helofytenfilters voor IBA-systemen. Directie DWL, IPC 630, afdeling DIA, Ministerie van VROM/Afdeling Betonbouw, KIWA. Den Haag, Rijswijk.

Witteveen+Bos/RIKZ. 1998.

Een verkenning van de haalbaarheid van een zoute Binnenschelde. Witteveen+Bos rapport nr. BoZ80.21.

Witteveen+Bos. 1990.

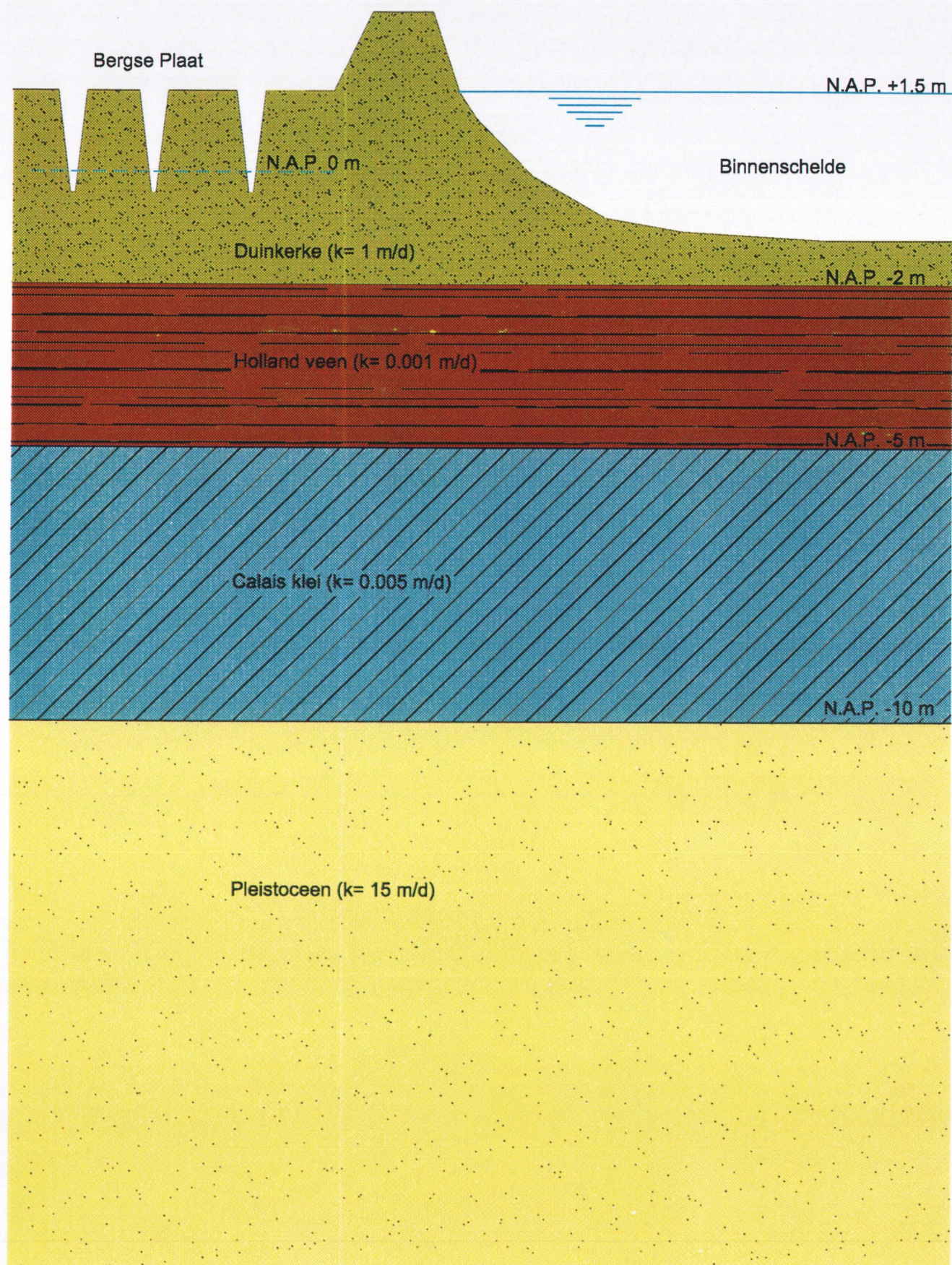
Integrale ecologische beoordeling van de Binnenschelde. Witteveen+Bos rapport nr. Boz80.22.

BIJLAGE I Uitgangspunten van de water- en stoffenbalansen

Tabel 5. Zoutvrachten bij verschillende transecten en bij de mitigerende maatregelen na verzouting van de Binnenschelde

situatie	lengte dijk (km)	kwel (m ³ /dag per km dijk)	totale kwel (m ³ /dag)	Zoutvracht (kg/dag)
Binnenschelde-Bergse Plaat	1,7	709	1.205	20.490
Binnenschelde-Markiezaatsmeer	1,3	517	672	11.426
Binnenschelde-Zoommeer	0,6	751	451	7.660
Bergse Plaat: kwelsloot	1,7	825	1.403	23.843
Bergse Plaat: kwelscherm	1,7	25	43	723
Bergse Plaat: verdieping Binnen- schelde en peilverlaging	1,7	19	32	549

Opgemerkt wordt dat de resultaten van de berekeningen indicatief zijn en voor een gemiddelde situatie en bodemopbouw. Door lokale afwijkingen in de bodemopbouw kunnen verschillen in de kwelhoeveelheden optreden. Vooral ter hoogte van een gevulde vrij recente geul van de Schelde zullen grotere hoeveelheden kwel kunnen optreden. Deze zijn met de huidige gegevens echter niet te achterhalen.



Raadgevende ingenieurs

Bos

Witteveen +

Deventer water
Almere infrastructuur
Breda milieu
Den Haag bouw
Maastricht

Schematische doorsnede

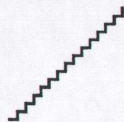
opdrachtgever : Hoogheemraadschap West-Brabant
projectnaam : Variantenstudie waterbeheer Binnenschelde
projectcode : Boz80.23

Get. : Hekman

Gez. : 

Dat. : 28-04-1999

BIJLAGE IV Nadere technische uitwerking en kostenraming van de zoute variant



onderwerp Binnenschelde Bergen op Zoom - doorspoelen met zout water
projectcode Boz80.23
aan Leo Nagelkerke
kopie G. Neuteboom, W. Maes

opgemaakt door Rijjan W. Bos
datum 99-05-20

1. SYSTEEMBESCHRIJVING

algemeen

Voor het verbeteren van de waterkwaliteit van de Binnenschelde nabij Bergen op Zoom wordt voorgesteld de Binnenschelde door te spoelen met zout water vanuit de Oosterschelde. Hiervoor zal een gecombineerde aan- en afvoerleiding vanaf de Oosterschelde aangelegd worden (zie afbeelding IV.1.).

Omdat het waterpeil van de Binnenschelde gemiddeld hoger ligt dan dat van de Oosterschelde wordt voor de aanvoer van zoutwater langs de Oesterdam, nabij kilometerpaal 6,4, een gemaal gebouwd. Vanuit dit gemaal wordt het zoute water via de aanvoerleiding verpompt naar een uitstroomconstructie aan de zuidoostzijde van de Binnenschelde. Aan de noordwestzijde van de Binnenschelde, nabij het bestaande gemaal aan de Noordlandse Weg, wordt een inlaatwerk gemaakt voor de afvoer van water uit de Binnenschelde. Het water stroomt onder vrij verval door de afvoerleiding terug naar de Oosterschelde.

Voor de aan- en afvoer van water wordt vanaf het gemaal langs de Oesterdam tot aan de Molenplaat slechts één leiding aangelegd. Het gemaal heeft een zodanige pompcapaciteit dat de per etmaal benodigde hoeveelheid water gedurende een gedeelte van de dag verpompt kan worden naar de Binnenschelde. Gedurende de periode dat er geen water verpompt wordt naar de Binnenschelde, wordt dit gedeelte van de leiding gebruikt voor de afvoer van het water vanuit de Binnenschelde naar de Oosterschelde.

Ter plaatse van de Molenplaat wordt de leiding gesplitst. Met behulp van afsluiters wordt het water respectievelijk richting de uitstroomconstructie bij de Binnenschelde verpompt of wordt het water vanaf het inlaatwerk richting de Oosterschelde afgevoerd.

inlaat- en afvoerregime

Het waterpeil in de Binnenschelde is ca. NAP +1,5 m.

De waterstand in de Oosterschelde is afhankelijk van het getij en varieert globaal tussen NAP +1,5 m en NAP -1,5 m; zie afbeelding IV.2.

Aangenomen is dat gedurende de periode dat de waterstand in de Oosterschelde lager is dan NAP, er geloosd wordt vanuit de Binnenschelde. Per etmaal kan dan circa 13 uur geloosd worden met een gemiddeld beschikbaar verval van $(+1,5) + (-0,75) = 2,25$ meter waterkolom (m.w.k.).

Bij een hogere waterstand wordt water vanuit de Oosterschelde verpompt naar de Binnenschelde. De inlaatperiode en de gemiddelde statische opvoerhoogte zijn dan respectievelijk 11 uur per etmaal en $(+1,5) - (+0,75) = 0,75$ m.w.k.

gemaal Oesterdam

Voor het verbeteren van de waterkwaliteit van de Binnenschelde moet ca. 100.000 m³ zout water per week, oftewel 14.285 m³ per etmaal (0,165 m³/sec) ingebracht worden. Deze hoeveelheid water moet in een periode van 11 uur verpompt worden. De totaal benodigde pompcapaciteit is daarom vastgesteld op 0,36 m³/s.

afvoerleiding Binnenschelde-Oosterschelde

De afvoerleiding voor water vanuit de Binnenschelde naar de Oosterschelde heeft een totale lengte van 2.900 m.

De hoeveelheid water dat per etmaal moet worden afgevoerd, is gelijk aan de hoeveelheid die vanuit de Oosterschelde de Binnenschelde ingebracht wordt, i.e. 14.285 m³ per etmaal. Het afvoeren moet binnen 13 uur gebeuren; het minimaal benodigde leidingdebiet is derhalve 0,30 m³/s.

Uitgaande van een betonnen leiding is de minimaal benodigde inwendige diameter 700 mm. De gemiddelde leidingsnelheid is dan 0,77 m/s.

aanvoerleiding Oosterschelde-Binnenschelde

De voor de aanvoer van zout water benodigde leiding vanaf de Oosterschelde naar de Binnenschelde heeft een totale lengte van ca. 5.500 m. Overeenkomstig de capaciteit van het gemaal dient voor de aanvoerleiding uitgegaan te worden van een leidingdebiet van 0,36 m³/s.

Voor de aanvoer van zout water wordt over een lengte van circa 2.400 m gebruik gemaakt van de hierboven beschreven afvoerleiding. Voor de aanvoerleiding is, evenals voor de afvoerleiding, gekozen voor een betonnen leiding met een inwendige diameter van 700 mm.

De gemiddelde manometrische opvoerhoogte ($H_{\text{man, gem}}$) en de leidingsnelheid zijn dan respectievelijk 7,75 m.w.k. en 0,93 m/s.

2. BESCHRIJVING DIVERSE ONDERDELEN

2.1. Gemaal en uitstroomconstructie Oesterdam

Voor het transporteren van het water vanuit de Oosterschelde naar de Binnenschelde wordt langs de Oesterdam, nabij kilometerpaal 6,4 een gemaal met een totaal geïnstalleerde pompcapaciteit van 0,36 m³/s en een $H_{\text{man, gemidd}}$ van 7,75 m.w.k. gebouwd.

Behoudens de pomp met de daarbij behorende technische installaties worden in het gemaal de volgende voorzieningen opgenomen:

- een bedieningspaneel ten behoeve van de elektrisch bedienbare afsluiters in de afsluiterput ter plaatse van de splitsing in de aan- en afvoerleiding nabij de Molenplaat;
- een bedieningspaneel ten behoeve van de elektrisch bedienbare afsluiters in de afsluiterput ter plaatse van de splitsing in de aan- en afvoerleiding nabij het gemaal.

2.2. Uitstroomconstructie Binnenschelde

Aan de zuidoostzijde van de Binnenschelde wordt een uitstroomconstructie aangelegd. Hiervoor wordt uitgegaan van een eenvoudige betonconstructie. Om ongewenste turbulentie ter plaatse van de instroming te voorkomen, wordt de instroomopening zodanig verbreed dat de stroomsnelheid van water wordt teruggebracht tot ca. 0,3 m/s.

2.3. Inlaatwerk Binnenschelde

Voor het afvoeren van het water vanuit de Binnenschelde naar de Oosterschelde wordt aan de noordwestzijde van de Binnenschelde, nabij het gemaal aan de Noordlandse Weg een inlaatwerk gemaakt. Het inlaatwerk bestaat uit een eenvoudige betonconstructie voorzien van de volgende voorzieningen:

- een duikschot om te voorkomen dat drijfafval in de afvoerleiding geraakt;
- een in hoogte verstelbare overstortrand zodat met name de bovenlaag van zoet water wordt afgevoerd naar de Oosterschelde. Tevens wordt hiermee voorkomen dat als gevolg van een stroming over de bodem bodemmateriaal opgewoeld en via de afvoerleiding afgevoerd wordt.

2.4. Transportleidingen

Het leidingensysteem voor zowel de aanvoer van zoutwater vanuit de Oosterschelde naar de Binnenschelde als voor de afvoer van water van de Binnenschelde terug naar de Oosterschelde is opgebouwd uit de navolgende leidinggedeelten:

- de gecombineerde aan- en afvoerleiding vanaf het gemaal tot aan de splitsing bij de Molenplaat;
- de aanvoerleiding vanaf de Molenplaat tot aan het uitstroomconstructie aan de zuidoostzijde van de Binnenschelde;
- de afvoerleiding vanaf het inlaatwerk aan de noord-westzijde van de Binnenschelde tot aan de splitsing bij de Molenplaat.

De gecombineerde aan- en afvoerleiding vanaf het gemaal tot aan de splitsing bij de Molenplaat heeft een inwendige diameter van 700 mm en een lengte van ca. 2.400 m, en is opgebouwd uit:

- een stalen of plaatstalen kern buis ten behoeve van de doorpersing ter plaatse van de kruising met zowel de dijken aan weerszijden en de Schelde-Rijnverbinding zelf. De doorpersing heeft een lengte van ca. 600 m;
- betonnen buis met rubberring verbinding: Vanaf de dijkskruising op de rechteroever van de Schelde-Rijnverbinding wordt de leiding uitgevoerd in betonnen buizen met rubberringverbinding; lengte ca. 1.800 m.

Voor de zowel de aanvoerleiding vanaf de Molenplaat tot aan de uitstroomconstructie als voor de afvoerleiding vanaf de inlaatconstructie tot aan de Molenplaat is gekozen voor een betonnen leiding met rubberringverbinding, met een inwendige diameter van 700 mm. Deze leidinggedeelten hebben een lengte van respectievelijk 3.100 m en 500 m.

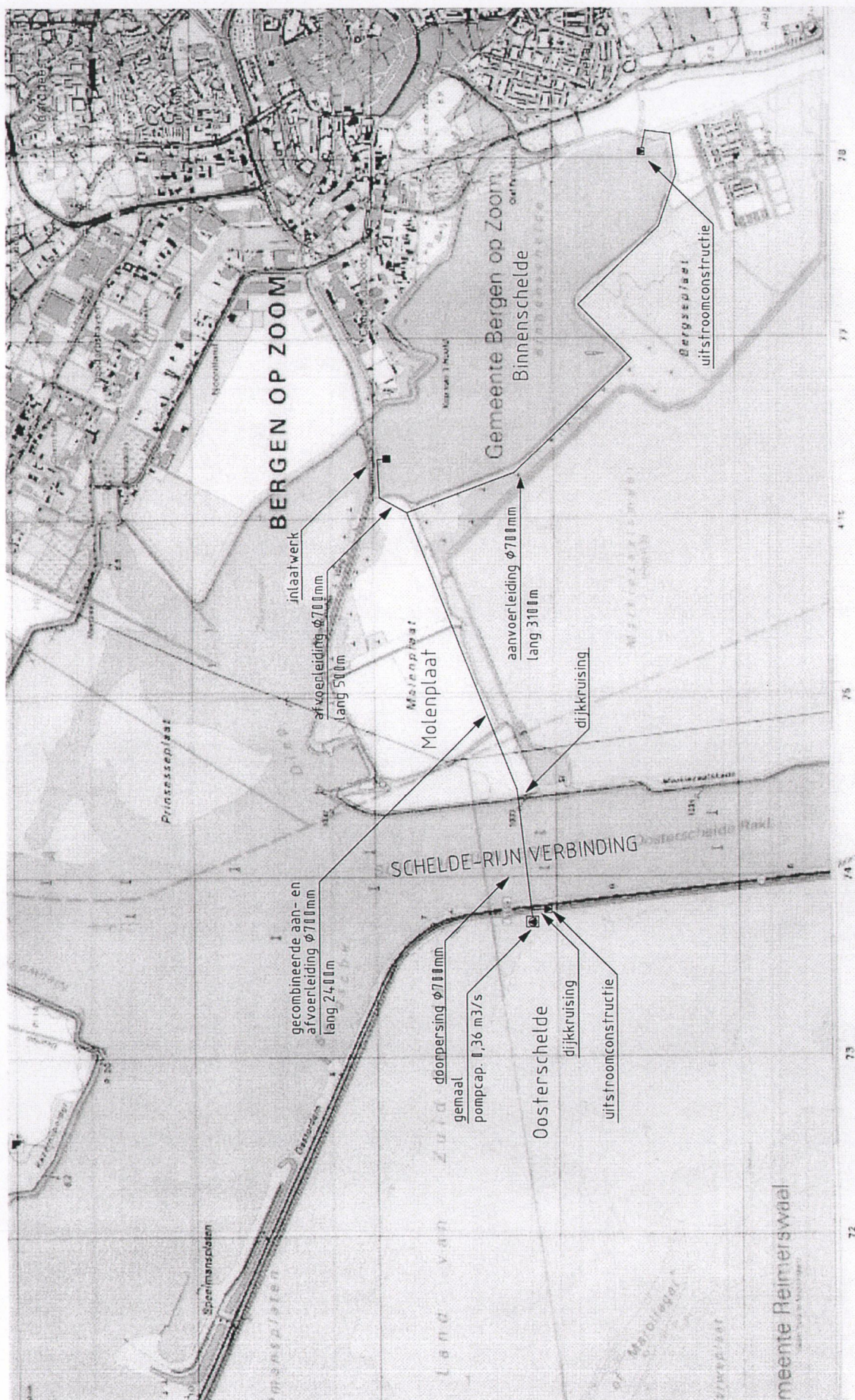
Om de leidinggedeelte tussen het gemaal en de splitsing bij de Molenplaat afwisselend te gebruiken voor de aanvoer van zout water uit de Oosterschelde en voor de afvoer van water uit de Binnenschelde, wordt zowel bij het gemaal als bij de Molenplaat een afsluiterconstructie geplaatst.

Met behulp van de afsluiterconstructie nabij het gemaal wordt het water respectievelijk richting de uitstroomconstructie bij de Binnenschelde verpompt of wordt het water vanaf het inlaatwerk richting de uitstroomconstructie bij de Oosterschelde afgevoerd.

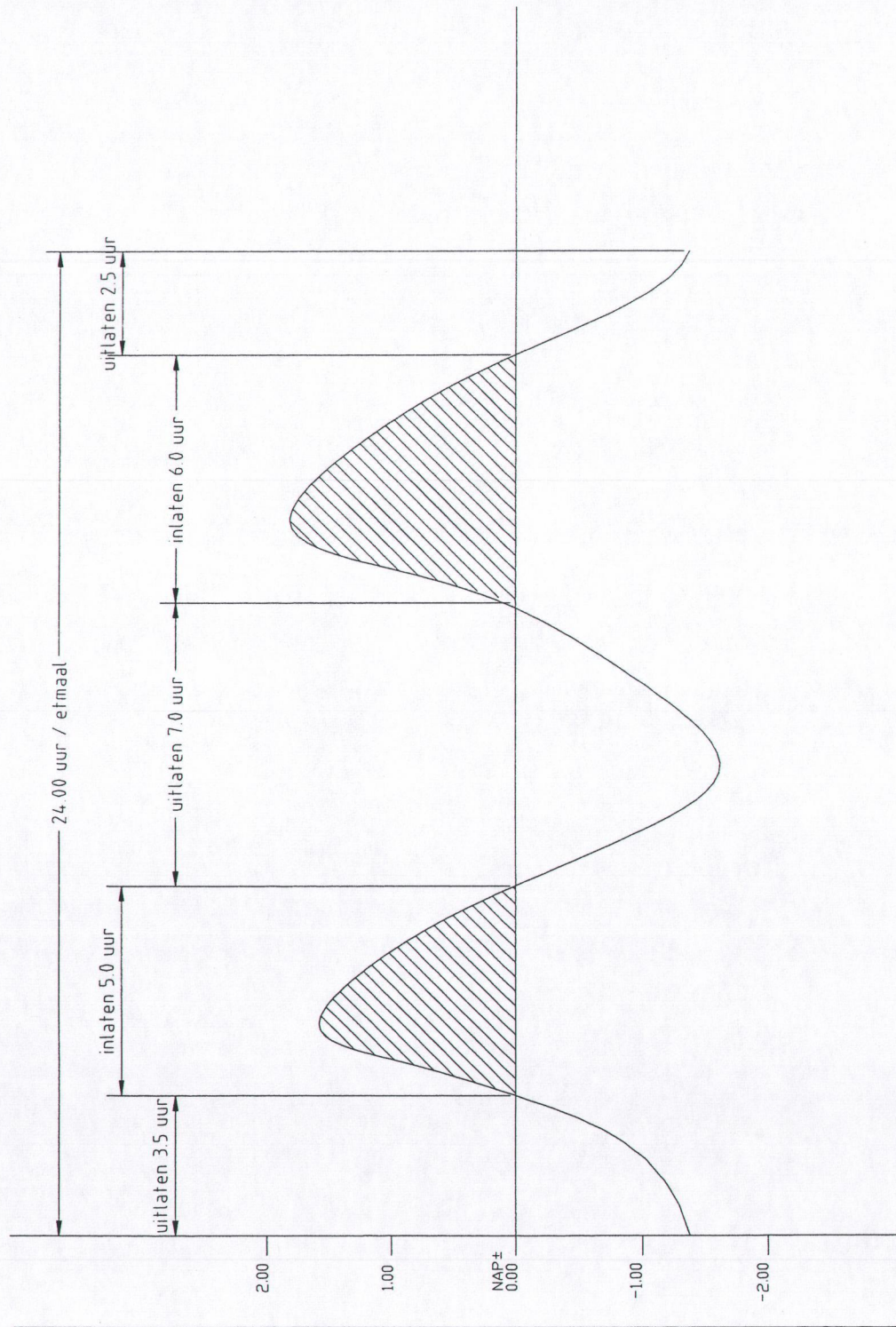
Ter plaatse van de Molenplaat wordt met behulp van afsluiters het water respectievelijk richting de uitstroomconstructie bij de Binnenschelde verpompt of wordt het water vanaf het inlaatwerk richting de Oosterschelde afgevoerd.

3. RAMING VAN DE KOSTEN

De kosten voor de aanleg van de leidingen met bijbehorend inlaat- en uitstroomwerken en de bouw van het gemaal worden geschat op ca. f 9,8 miljoen (exclusief omzetbelasting); zie bijlage I.



Afbeelding IV.1. Situatieschets



Afbeelding IV.2. Getijdenbewegingen

Calculatienr:

BESTEKS POST- NUMMER	OMSCHRIJVING	EEN- HEID	HOEEVEELHEID RESULTAATS- VERPLICHTING	PRIJS PER EENHEID IN GULDENS	TOTAAL BEDRAG IN GULDENS
1	Gemaal incl. bijkomende voorzieningen				
100010	Gemaal 0.36m3/sec	gld	2.500.000,00	N 1,00	2.500.000,00
2	Doorpersing onder Schelde-Rijnverbinding				
200010	Doorpersing ϕ 700 mm PSK-buis	m	600,00	N 3.200,00	1.920.000,00
200020	Voorzieningen duikkruising	st	2,00	N 50.000,00	100.000,00
3	Aan- en afvoerleidingen				
300010	Persleiding ϕ 700 mm gewapend beton	m	5.500,00	N 575,00	3.162.500,00
4	In- en uitlaatwerken				
400010	Inlaatwerken	st	1,00	N 50.000,00	50.000,00
400020	Uitlaatvoorzieningen	st	2,00	N 50.000,00	100.000,00
	SUBTOTAAL				7.832.500,00

kwelgebied voor water uit de Binnenschelde en het Markiezaatsmeer. De kwel komt stroomt vooral via een dunne laag holocene zanden van de Afzettingen van Duinkerke die tussen het ophoogzand en de kleilige (Afzettingen van Calais) en venige (Holland veen) afzettingen liggen. De ondiepe kwel wordt veroorzaakt door het verschil in oppervlaktewaterpeil van de Binnenschelde (NAP +1,5m), de Bergse Plaat (NAP 0 m) en het Markiezaatsmeer (NAP +0,5 m).

samenstelling van het grondwater

In dit deel van Nederland wordt de grondwaterstroming beïnvloed door het voorkomen van grote dichtheidsverschillen tussen zoet en zout grondwater. Het grondwater onder de Brabantse Wal dat in westelijke richting stroomt is zoet, maar er treedt verzilting op ten gevolge van menging met zout water uit de Oosterschelde. Het chloridegehalte van het water in de Oosterschelde is in het oostelijk deel circa 17 g/l.

modellering verzilting Binnenschelde

Er zijn 3 transecten gemodelleerd:

transect 1: over de Binnenschelde en de Bergse Plaat;

transect 2: over de Binnenschelde en het Markiezaatsmeer;

transect 3: over de Binnenschelde en het Zoommeer.

De transecten zijn opgebouwd zoals weergegeven in afbeelding 1.

De grondwaterstroming loodrecht op de dijken rondom de Binnenschelde wordt in deze transecten gesimuleerd. Er zijn in totaal 9 berekeningen uitgevoerd.

De eerst drie berekeningen hebben betrekking op de huidige situatie van de drie bovengenoemde transecten. De huidige oppervlaktewaterpeilen zoals aangegeven in tabel 2. zijn bij deze simulaties gebruikt.

Vervolgens is het oppervlaktewaterpeil van de Binnenschelde in het model verhoogd van NAP +1,5 naar NAP +1,7 m. Het oppervlaktewaterpeil van NAP +1,7 m is de zgn. zoetwaterstijghoogte die gelijk is aan de druk die zout water met een concentratie van 17 g/l en een peil van NAP +1,5 op zijn omgeving uitoefent. Met deze aanpassing zijn voor de drie genoemde transecten berekeningen uitgevoerd om de verandering in kwel te bepalen die op zal treden als gevolg van het toegenomen zoutgehalte. De overige oppervlaktewaterpeilen zijn gelijk gebleven (zie tabel 2.).

Tabel 2. Oppervlaktewaterpeilen van de drie transecten (m t.o.v. NAP)

	Binnenschelde	Bergse Plaat	Markiezaatsmeer	Zoommeer
huidige situatie	1,5	0	0,5	0
situatie na verzouting van de Binnenschelde	1,7*	0	0,5	0

* zoutwaterpeil van NAP +1,5 m komt overeen met een zoetwaterpeil van NAP +1,7 m.

Tenslotte zijn voor transect 1 nog 3 berekeningen uitgevoerd om het effect van mitigerende maatregelen te bepalen.

resultaten

Door middel van de berekeningen is de hoeveelheid ondiepe en diepe kwel die per lengte-eenheid onder en door de dijk stroomt bepaald. De resultaten worden gepresenteerd in tabel 3.

Tabel 3. Kwel vanuit de Binnenschelde in m³/dag per km dijk

Transect		huidige situatie		situatie na verzouting	
		ondiepe kwel	diepe kwel	ondiepe kwel	diepe kwel
1	Binnenschelde-Bergse Plaat	617	11	698	11
2	Binnenschelde-Markiezaatsmeer	423	9	506	11
3	Binnenschelde-Zoommeer	650	14	735	16

Daarnaast zijn voor transect 1 de ondiepe en diepe kwel bepaald bij toepassing van een aantal mitigerende maatregelen. De resultaten staan in tabel 4.

Tabel 4. Kwel in m³/dag per km dijk bij toepassing van mitigerende maatregelen voor transect 1

Transect		huidige situatie		situatie na verzouting	
		ondiepe kwel	diepe kwel	ondiepe kwel	diepe kwel
1	Binnenschelde-Bergse Plaat				
	toepassing kwelsloot	617	11	813	12
	toepassing kwelscherm	617	11	13	12
	bodemverlaging	617	11	7	12

worst case benadering

Bij de omrekening van de berekende kwelhoeveelheden naar zoutvracht is aangenomen dat het kwelwater dezelfde zoutconcentratie heeft als het water van de Binnenschelde (17 g/l). Voor de ondiepe kwel is dit een realistische aanname. Voor de diepe kwel is dit echter een overschatting, omdat de diepe kwel ook zoet water bevat. Dit is zeker van toepassing voor de situatie bij de Bergse Plaat waar ook kwel zal optreden uit de zoet waterbevattende dieper gelegen pakketten. Echter gezien het kleine aandeel van de diepe kwel in de totale kwel (< 5 %) is deze zoete invloed verwaarloosd, zodat gesproken kan worden van een worst case benadering.

In tabel 5. worden de zoutvrachten gegeven voor de verschillende transecten na verzouting van de Binnenschelde, op basis van een zoutconcentratie van de Binnenschelde van 17 g/l.

Uitgangspunten water- en stoffenbalansen

Oppervlakte

Binnenschelde (m2) 1.807.000

Waterhuishouding

dimensies	initieel	gemiddeld	minimum	maximum
diepte, berekend (m)	1,64	1,46	1,27	1,66
volume, berekend (m3)	2.958.524	2.638.227	2.303.620	2.996.006
peil, gemeten (m)	1,63	1,47	1,40	1,63

in (m3/jaar)

neerslag	-	1.451.552	1.047.337	2.195.285
aanvoer Zoommeer	-	442.271	0	829.800

uit (m3/jaar)

verdamping	-	1.040.096	984.815	1.089.982
doorspoelen Plaatvliet, benaderd	-	275.000	275.000	275.000
overige uitlaat	-	558.106	391.086	856.025
wegzijging, benaderd (0,15 mm/dag)	-	14.095	14.095	14.095

Waterkwaliteit: jaargemiddelde waarden

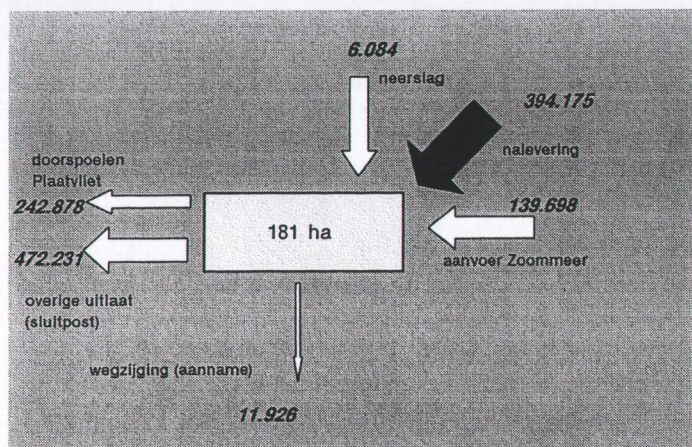
	Nkj (mg/l)	NH4-N (mg/l)	NO2-N (mg/l)	NO3-N (mg/l)	Ntot (mg/l)	Porth (mg/l)	Ptot (mg/l)	Chl-a (µg/l)	ZS (mg/l)	CI (mg/l)
Binnenschelde (1997)	2,88	0,39	0,016	0,15	3,0	0,032	0,21	58	23	834
Zoommeer (1989-1992)	1,28	0,12	0,048	3,45	4,78	-	0,15	-	22	315
Oosterschelde (1990-1998)	0,39	0,085	0,023	0,26	0,66	0,038	0,06	-	-	17.458
neerslag (landelijk gemiddelde, 1997)	-	-	-	-	1,10	-	0,02	-	-	4

Droge depositie Binnenschelde (gebaseerd op gegevens voor de gemeente Bergen op Zoom van RIVM)

jaar	NHx (kg/jaar)	Nox (kg/jaar)	Ntot (kg/jaar)	Ntot (kg/ha/jaar)
1990	2.330	1.338	3.668	20,3
1991	2.469	1.351	3.820	21,1
1992	1.907	1.374	3.281	18,2
1993	1.859	1.326	3.185	17,6
1994	1.703	1.548	3.251	18,0
1995	1.513	1.475	2.988	16,5
1996	1.746	1.495	3.241	17,9
1997	1.685	1.374	3.059	16,9
gemiddeld	1.901	1.410	3.312	18,3

Chloride (kg/jaar)

gemiddeld (1994-1998), uitgangskonzentratie is 800 mg/l

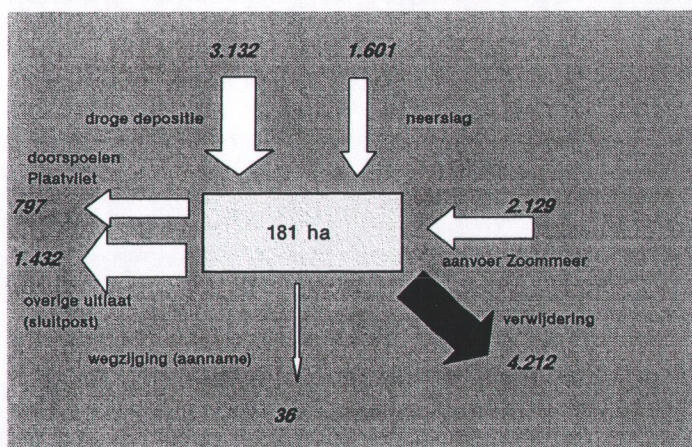


Chloride (kg/jaar)

	<i>aanvoer</i>		<i>afvoer</i>
Zoommeer	139.698	wegzijging	-11.926
neerslag	6.084	Plaatvliet	-242.878
droge dep.	394.175	overig	-472.231
nalevering			
totaal in	539.957	totaal uit	-727.035
		<i>totaal</i>	<i>-187.078</i>

Stikstof (kg/jaar)

gemiddeld (1994-1998), uitgangskonzentratie is 4 mg/l

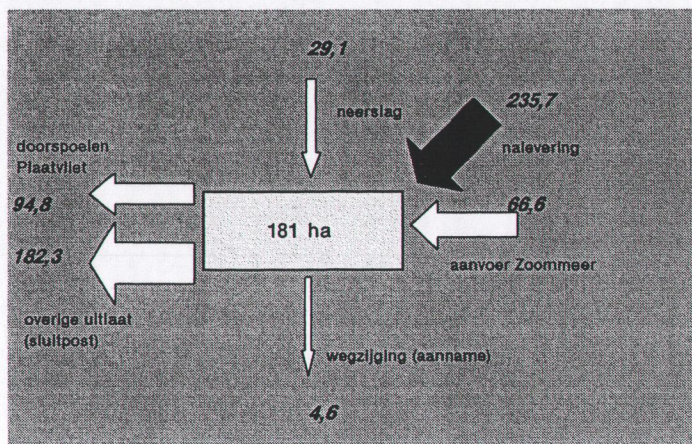


Stikstof (kg/jaar)

	<i>aanvoer</i>		<i>afvoer</i>
Zoommeer	2.129	wegzijging	-36
neerslag	1.601	Plaatvliet	-797
droge dep.	3.132	overig	-1.432
		verwijdering	-4.212
totaal in	6.862	totaal uit	-6.477
		<i>totaal</i>	<i>385</i>

Fosfor (kg/jaar)

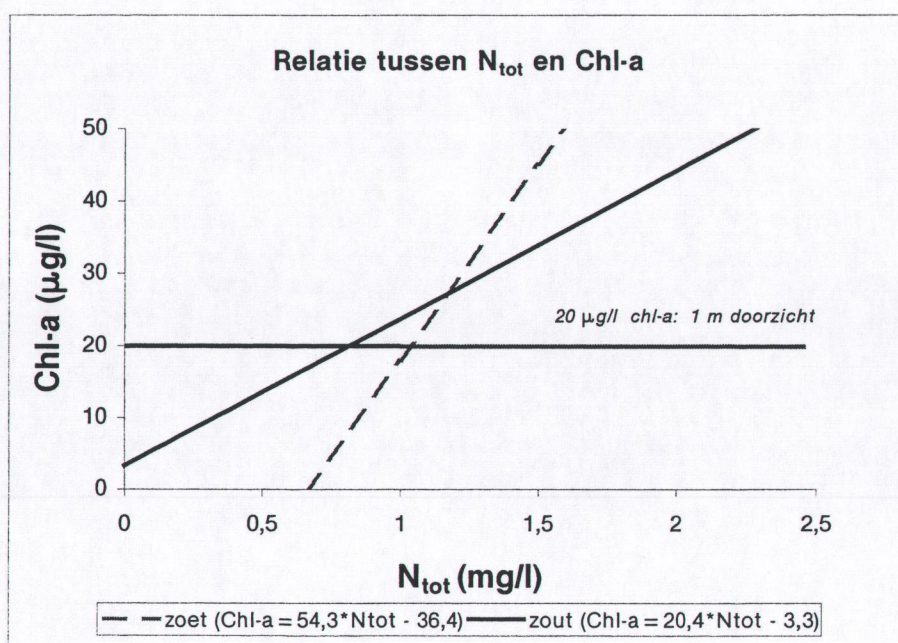
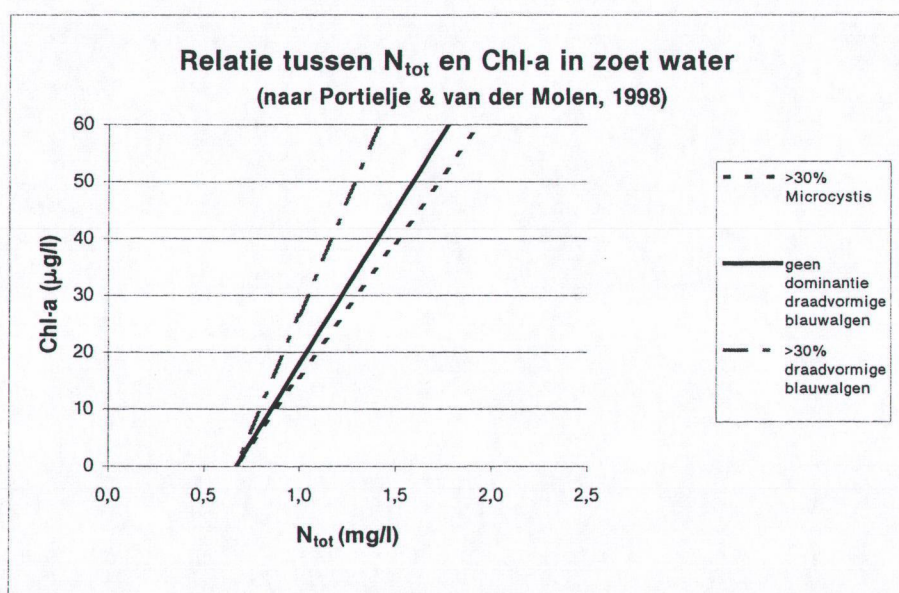
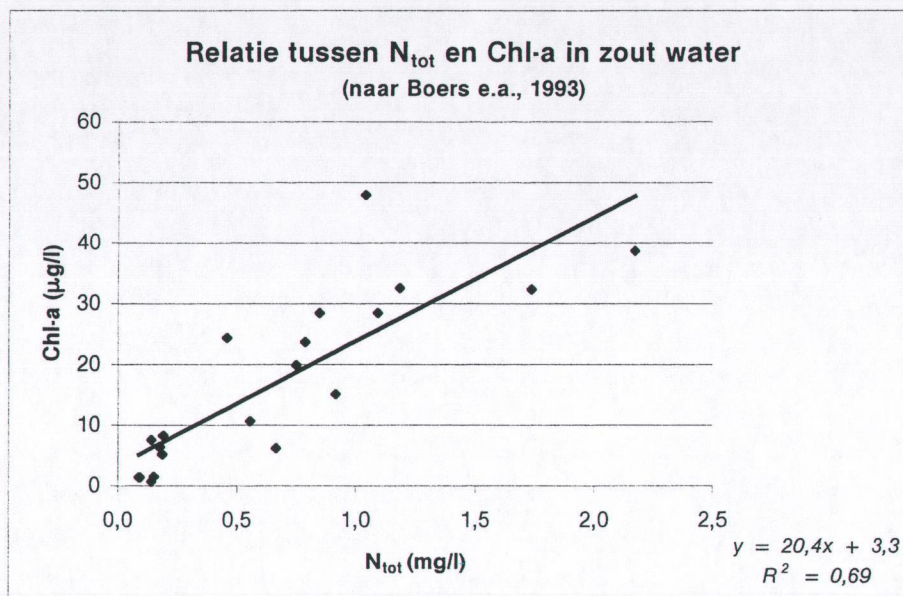
gemiddeld (1994-1998), uitgangskonzentratie is 0,20 mg/l



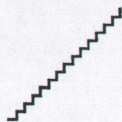
Fosfor (kg/jaar)

	<i>aanvoer</i>		<i>afvoer</i>
Zoommeer	66,6	wegzijging	-4,6
neerslag	29,1	Plaatvliet	-94,8
nalevering	235,7	overig	-182,3
totaal in	331,4	totaal uit	-281,7
		<i>totaal</i>	<i>49,7</i>

BIJLAGE II Verband tussen stikstofconcentraties en algengroei



BIJLAGE III Geohydrologische uitwerking van de effecten van zoute kwel vanuit een zoute Binnenschelde



onderwerp geohydrologische effecten verzouting Binnenschelde
projectcode Boz80.23
aan M. Klinge, L. Nagelkerke
kopie J. Spieksma

opgemaakt door C. Ooms
datum 99-05-04

inleiding

Het Hoogheemraadschap van West-Brabant onderzoekt de mogelijkheden om het water van de Binnenschelde te verzouten door inlaat van water uit de Oosterschelde. Tussen de Binnenschelde en het Markiezaatsmeer ligt tegenwoordig een woonwijk: de Bergse Plaat. Deze woonwijk is in de jaren '80 aangelegd op een opgespoten laag van zand. Verwacht wordt dat door de verzouting van de Binnenschelde het grondwater in de woonwijk zal verzilten. Dit kan gevolgen hebben voor de planten in tuinen en openbare groenvoorzieningen.

Om een indicatie te krijgen van het effect van de verzouting van de Binnenschelde, zijn drie indicatieve berekeningen uitgevoerd. De grondwaterstroming is gemodelleerd waarbij rekening is gehouden met de verschillen in dichtheid tussen zout en zoet grondwater. In deze notitie worden uitgangspunten, modelbouw en de resultaten van berekeningen gepresenteerd.

geologie en geohydrologie

Ter hoogte van Bergen op Zoom wordt op een diepte van circa NAP -160 m de Boomse Klei aangetroffen. Deze afzetting wordt gerekend tot de Formatie van Rupel. De Boomse Klei bestaat uit stugge soms zandige klei. De klei is afgezet in het midden van het Oligoceen en is van mariene oorsprong. Na de afzetting van de Boomse Klei trok de zee zich tijdelijk terug. Afzettingen uit het Boven-Oligoceen en Onder-Mioceen worden daarom niet aangetroffen.

Vanaf het Mioceen (Tertiair) neemt de invloed van de zee opnieuw toe, deze invloed blijft bestaan tot aan het begin van het Pleistoceen. Gedurende deze periode worden de Formaties van Breda, Oosterhout en Maassluis afgezet. De Formatie van Breda bestaat overwegend uit matig fijne, soms schelphoudende zanden. De top van deze Formatie wordt bij Bergen op Zoom op een diepte van circa NAP -120 m aangetroffen. Daarboven ligt de Formatie van Oosterhout die bestaat uit matig grove, schelphoudende zanden. De dikte van de Formatie van Oosterhout bij Bergen op Zoom bedraagt circa 30 m. De Formatie van Maassluis is de laatste formatie die in het Tertiair werd afgezet. De samenstelling varieert zeer sterk. Bij Bergen op Zoom bestaat zij deels uit een kleilaag van 5 tot 15 m dik (tot circa NAP -80 m). Daarboven volgen verder matig fijne tot matig grove zanden tot NAP -50 m.

Aan het begin van het Pleistoceen neemt de invloed van de zee af en worden fluviatiele sedimenten afgezet. Deze afzettingen worden gerekend tot de Formatie van Tegelen. Deze bestaat veelal uit middelfijne zanden met ingesloten leemlagen. Van west naar oost gaande neemt de dikte van de Formatie van Tegelen toe. Ten oosten van Bergen op Zoom bedraagt de dikte circa 60 m. Hier komt de Formatie van Tegelen aan de oppervlakte en maakt deel uit van de Brabantse Wal. Onder

de Binnenschelde en de Bergse Plaat is de Formatie dunner, de top wordt aangetroffen op circa NAP -15 m.

Vervolgens breekt een periode van ijsstijden aan. Tijdens de laatste fase van deze periode wordt in het gebied de Formatie van Twente afgezet. Deze Formatie bestaat vooral uit fijne (dek)zanden. De dikte varieert sterk: van 0 m waar de Formatie van Twente is opgeruimd in Holocene erosiegeulen, tot meer dan 20 m in oudere erosiegeulen. Ten oosten van Bergen op Zoom komt de Formatie van Twente aan de oppervlakte voor.

Na de laatste ijstijd neemt de invloed van de zee geleidelijk toe. Eerst worden in het gebied klei en fijne zanden afgezet die worden gerekend tot de afzettingen van Calais. Vervolgens treedt op grote schaal veenvorming op, hetgeen leidt tot een pakket Hollandveen van enkele meters dik. Daarboven wordt opnieuw klei afgezet die wordt gerekend tot de afzettingen van Duinkerke. Het bovenste deel van de afzetting van Duinkerke bestaat uit zand (circa 0,5 tot 1,5 m dik). Dit gehele mariene pakket wordt de Westlandformatie genoemd. De verschillen in samenstelling zijn zowel in horizontale als verticale richting groot. Door het voorkomen van zowel erosiegeulen als overstromingsgebieden zijn zowel zand als klei afgezet. Onder de Bergse Plaat komt een duidelijke voormalige erosiegeul voor die is opgevuld met fijne zanden.

Voor de aanleg van de Bergse Plaat is een 1 tot 3 m dikke zandlaag opgespoten, zodat het maaiveld op minimaal NAP +1,5 m werd gebracht. Het betreft grind- en leemarm zeer fijn zand.

geohydrologische schematisatie

Aan de hand van de beschrijving van de geologische opbouw (zie ook afbeelding 1.) is een geohydrologische schematisatie opgesteld. Deze wordt gepresenteerd in tabel 1.

Tabel 1. Geohydrologische schematisatie

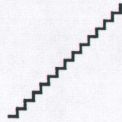
laag	naam	lithologische samenstelling	geologische formatie	Geohydrologische parameter	Bron waarde parameter
1	freatisch watervoerende pakket	fijn zand	antropogeen, afzettingen van Duinkerke	$kD = 3 \text{ m}^2/\text{dag}$	grondwaterkaart
2	deklaag	klei, veen, fijn zand	Westland	$c = 100 \text{ tot } 10.000 \text{ dagen}$	afgeleid uit lokale geologische situatie
3	eerste watervoerende pakket	fijne tot matig grove zanden	Twente, Tegelen, Maassluis	$kD = 1000$	Flevobericht Nr 351
4	eerste scheidende laag	klei	Maassluis	$c = 50 \text{ tot } 500 \text{ dagen}$	grondwaterkaart
5	tweede watervoerende pakket	fijne tot matig grove soms schelphoudende zanden	Oosterhout, Breda	$kD = 1000$	Flevobericht Nr. 351
6	geohydrologische basis	klei	Rupel (Boomse Klei)	n.v.t.	

grondwaterstroming

De regionale grondwaterstroming is vanaf de oostelijk gelegen Bra bantse Wal in westelijke richting. Het stijghoogteverschil bedraagt circa 4 m. Een deel van het grondwater kwelt reeds op in de Augustapolder, terwijl het overige grondwater via de ondergrond in de richting van de Oosterschelde stroomt. Op lokaal niveau spelen andere zaken ook een rol. Zo vormt de Bergse Plaat een

Calculatienr:

BESTEKS POST- NUMMER	OMSCHRIJVING	EEN- HEID	HOEEVEELHEID RESULTAATS- VERPLICHTING	PRIJS PER EENHEID IN GULDENS	TOTAAL BEDRAG IN GULDENS
	TRANSPORT SUBTOTAAL				7.832.500,00
91	Overige kosten				
918880	Overige eenmalige kosten f 400.000,00				
919990	TOTAAL EENMALIGE KOSTEN f 400.000,00	gld	400.000,00	N 1,00	400.000,00
929990	Uitvoeringskosten	gld	548.275,00	N 1,00	548.275,00
939990	Algemene kosten	gld	626.600,00	N 1,00	626.600,00
949990	Winst en risico	gld	392.625,00	N 1,00	392.625,00
	TOTAAL EXCLUSIEF BTW				9.800.000,00



onderwerp Binnenschelde Bergen op Zoom - afvang zoute kwel
projectcode Boz80.23
aan Leo Nagelkerke
kopie G. Neuteboom, W. Maes

opgemaakt door Bosr
datum 99-05-17

algemeen

Voor het verbeteren van de waterkwaliteit van de Binnenschelde nabij Bergen op Zoom wordt voorgesteld de Binnenschelde door te spoelen met zout water vanuit de Oosterschelde. Het water in de Binnenschelde zal hierdoor op termijn zout worden.

Omdat het waterpeil in de Binnenschelde hoger ligt dan dat in de aansluitende polder Bergseplaat, is er een kwelstroom vanuit de Binnenschelde richting de polder. Ten gevolge van het doorspoelen van de Binnenschelde met zout water, zal de nu 'zoete' kwel veranderen in een 'zoute' kwel.

Ter voorkoming van verzilting van de polder Bergseplaat dient deze 'zoute' kwel te worden afgevangen. Hiervoor wordt aan de binnenzijde (westzijde) van de polderdijk Binnenschelde/Bergseplaat een kwelsloot of drainageleiding aangebracht. Het in deze sloot of leiding opgevangen kwelwater wordt met behulp van een pompgemaal teruggepompt naar de Binnenschelde.

uitgangspunten

- kweldebiet: 1 m³/m' dijk/dag;
- waterpeil Binnenschelde: NAP +1,5 m;
- grondwaterpeil Bergseplaat: NAP;
- maaiveld Bergseplaat: NAP +1,5 m.

pompgemaal

Het in de kwelsloot of leiding afgevangen kwelwater wordt met behulp van een pompgemaal teruggepompt naar de Binnenschelde. Om de afmetingen van de kwelsloot/drainageleiding te beperken, wordt het gemaal halverwege de sloot/leiding geplaatst, aan de binnenzijde van de polderdijk. Het kwelwater wordt vanuit het gemaal via een afvoerleiding door de polderdijk en een eenvoudige uitstroomconstructie geloosd op de Binnenschelde; zie afbeelding 1.

De polderdijk tussen de Binnenschelde en de Bergseplaat heeft een lengte van ca. 3.100 m. De benodigde pompcapaciteit is daarom vastgesteld op 0,04 m³/s (3.100 m³/dag).

kwelsloot/drainageleiding

Om het kwelwater op te vangen, wordt over een lengte van 3100 m een kwelsloot of een drainageleiding aangelegd aan de binnenzijde (westzijde) van de polderdijk Binnenschelde/Bergseplaat.

kwelsloot

Het bodemniveau van de kwelsloot dient lager te liggen dan het polderpeil in de Bergseplaat. Het bodemniveau is daarom vastgesteld op NAP -0,5 m, i.e. een slootdiepte van ca. 2,0 m.

Omdat het door de kwelsloot af te voeren maximale kweldebiet relatief klein is, 0,02 m³/s indien het gemaal halverwege de kwelsloot geplaatst wordt, zijn de overige afmetingen van de kwelsloot vastgesteld op basis van praktische overwegingen: bodembreedte van 0,5 m en taluds van 1:2.

drainageleiding

De drainageleiding dient lager te liggen dan het polderpeil in de Bergesplaat; het aanlegniveau is daarom vastgesteld op NAP-0,5 m. De leiding wordt zonder verhang (horizontaal) aangelegd.

Voor onderhoud aan de drainageleiding worden om de 300 m doorspuitpunten aangebracht.

Het gemaal wordt halverwege de drainageleiding gebouwd, i.e. aan weerszijden van het gemaal ligt een leiding met een lengte van ca. 1.550 m. De diameter van de drainageleiding verloopt richting het gemaal; voor de eerste 500 m wordt een diameter kleiner dan 100 mm toegepast, voor het resterende gedeelte een diameter tussen de 100 en 200 mm. Rondom de drainageleiding wordt een zandkoffer van drainagezand aangebracht.

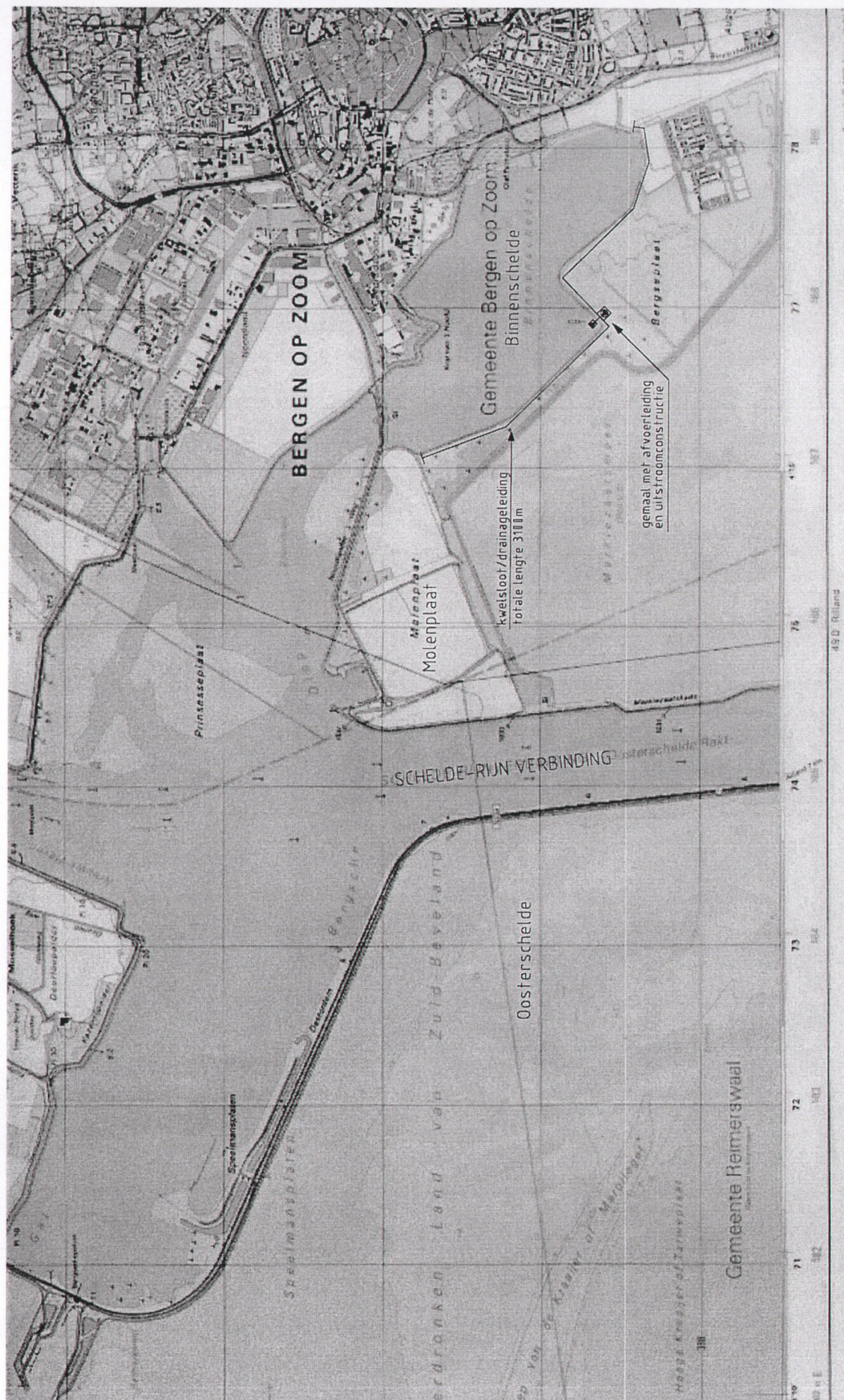
raming van de kosten

De ramingen voor de aanleg- en investeringskosten zijn gebaseerd op:

- geen kosten zijn opgenomen voor kruisingen met eventuele kabels, leidingen, wegen, etc.;
- de grond vrijkomend bij het ontgraven van de sloot hoeft niet te worden afgevoerd, maar kan over het terrein aansluitend aan de sloot (benodigde strookbreedte ca.100 m) verspreid worden;
- er zijn in de raming geen kosten opgenomen voor schadevergoedingen en/of het inzaaien voor genoemde strook van 100 m;
- de eventuele kosten van de aankoop van grond ten behoeve van de sloot inclusief schouwpad (totaal ca. 16 m breed) zijn niet in de raming opgenomen;
- de eventuele kosten voor het vestigen van een zakelijkrecht ten behoeve van de drainageleiding zijn niet in de raming opgenomen.

Uitgaande van bovenstaande uitgangspunten worden de kosten voor de aanleg geschat op:

- voor een kwelsloot met gemaal, afvoerleiding en uitstroomconstructie: ca. f 825.000,-- (exclusief omzetbelasting), zie bijlage 1;
- voor een drainageleiding met gemaal, afvoerleiding en uitstroomconstructie: ca. f 750.000,-- (exclusief omzetbelasting), zie bijlage 2.



Figuur 1 Overzicht kwelsloot/drainageleiding

Calculatienr:

BESTEKS POST- NUMMER	OMSCHRIJVING	EEN- HEID	HOEEVELHEID RESULTAATS- VERPLICHTING	PRIJS PER EENHEID IN GULDENS	TOTAAL BEDRAG IN GULDENS
1	Gemaal incl. bijkomende voorzieningen				
100010	Gemaal 0,04m3/sec	gld	500.000,00	N 1.00	500.000,00
2	Grondwerk kwesloot				
200010	Grond ontgraven uit kwesloot	m3	35.000,00	N 1.35	47.250,00
200020	Grond uit kwesloot verspreiden over terrein 100m - ca. 3100 are	m3	35.000,00	N 2.50	87.500,00
200030	inzaaien bermen / afwerken terrein - <i>werkstrook 100mm wordt niet ingezaaid</i>	are	400,00	N 55.00	22.000,00
	SUBTOTAAL				----- 656.750,00

Calculatienr:

BESTEKS POST- NUMMER	OMSCHRIJVING	EEN- HEID	HOEEELHEID RESULTAATS- VERPLICHTING	PRIJS PER EENHEID IN GULDENS	TOTAAL BEDRAG IN GULDENS
	TRANSPORT SUBTOTAAL				656.750.00
91	Overige kosten				
918880	Overige eenmalige kosten f 36.900.00				
919990	TOTAAL EENMALIGE KOSTEN f 36.900.00	gld	36.900.00	N 1.00	36.900.00
929990	Uitvoeringskosten	gld	45.972.50	N 1.00	45.972.50
939990	Algemene kosten	gld	52.540.00	N 1.00	52.540.00
949990	Winst en risico	gld	32.837.50	N 1.00	32.837.50
	TOTAAL EXCLUSIEF BTW				825.000.00

Calculatienr:

BESTEKS POST- NUMMER	OMSCHRIJVING	EEN- HEID	HOEEELHEID RESULTAATS- VERPLICHTING	PRIJS PER EENHEID IN GULDENS	TOTAAL BEDRAG IN GULDENS
1	Gemaal incl. bijkomende voorzieningen				
100010	Gemaal 0.04m3/sec	gld	500.000.00	N 1.00	500.000.00
2	Drainageleiding tbv kwelwater				
200010	Drain ϕ 100 mm incl. drainzand	m	1.000.00	N 14.00	14.000.00
200020	Drain ϕ 200 mm incl. drainzand	m	2.100.00	N 28.00	58.800.00
200030	Drain doorspuitpunten	st	11.00	N 300.00	3.300.00
200040	inzaaien bermen / afwerken terrein	are	350.00	N 55.00	19.250.00
	SUBTOTAAL				595.350.00

Calculatienr:

BESTEKS POST- NUMMER	OMSCHRIJVING	EEN- HEID	HOEEVEELHEID RESULTAATS- VERPLICHTING	PRIJS PER EENHEID IN GULDENS	TOTAAL BEDRAG IN GULDENS
	TRANSPORT SUBTOTAAL				595.350,00
91	Overige kosten				
918880	Overige eenmalige kosten f 35.583,60				
919990	TOTAAL EENMALIGE KOSTEN f ----- 35.583,60	gld	35.583,60	N 1,00	35.583,60
929990	Uitvoeringskosten	gld	41.674,50	N 1,00	41.674,50
939990	Algemene kosten	gld	47.628,00	N 1,00	47.628,00
949990	Winst en risico	gld	29.767,50	N 1,00	29.767,50
	TOTAAL EXCLUSIEF BTW				----- 750.003,60

BIJLAGE V Nadere kostenraming van de zoete varianten

	hoeveelheid	eenheid	prijs per eenheid		totaalprijs
droge helofytensysteem, 3 bedden van 1 hectare					
grond ophogen, zand 1,5m	45.000 m ³	fl	20,00	fl	900.000,00
folie, 1mm	30.000 m ²	fl	15,00	fl	450.000,00
hoofdgoot, prefab beton	150 elementen	fl	2.000,00	fl	300.000,00
verstelbare V-notch	300 elementen	fl	300,00	fl	90.000,00
dwarsgoot, grastegels beton	7.200 m ²	fl	35,00	fl	252.000,00
verdeelpuut	3 elementen	fl	5.000,00	fl	15.000,00
drainagebuizen, rond 100	9.600 m	fl	16,25	fl	156.000,00
verzamelbuis PVC rond 315	900 m	fl	110,00	fl	99.000,00
dijk om helofytensysteem	1.150 m	fl	45,00	fl	51.750,00
beplanting helofyten	3 ha.	fl	100.000,00	fl	300.000,00
diversen	-			fl	291.000,00
			subtotaal	fl	2.910.000,00

Natte helofytensysteem, 6 bedden van 1,5 hectare

aanvoersloot	250 m	-		fl	25.000,00
folie onder aanvoersloot	1500 m ²	fl	15,00	fl	22.500,00
omringende dijk	1.200 m	fl	300,00	fl	360.000,00
tussendijken	1.500 m	fl	60,00	fl	90.000,00
inlaatconstructie	6 elementen	fl	15.000,00	fl	90.000,00
uitlaatconstructie	6 elementen	fl	15.000,00	fl	90.000,00
bemaling t.b.v. aanbrengen folie	-			fl	200.000,00
grondlaag aanbrengen 1,5m	135.000 m ³	fl	20,00	fl	2.700.000,00
folie, 1mm	90.000 m ²	fl	15,00	fl	1.350.000,00
beplanting helofyten	9 ha.	fl	100.000,00	fl	900.000,00
diversen	-			fl	648.000,00
			subtotaal	fl	6.480.000,00

Gemaal Zoommeer

inlaatconstructie Zoommeer, niet mech. rooster	-			fl	25.000,00
gebouw gemaal	-			fl	175.000,00
pomp, Q = 460m ³ /h, h = 5m	2 stuks	fl	35.000,00	fl	70.000,00
E-voorziening, besturing	-			fl	100.000,00
PVC persleiding rond 400 + grondwerk	500 m	fl	160,00	fl	80.000,00
afsluiters, appendages	-			fl	25.000,00
diversen	-			fl	53.000,00
			subtotaal	fl	530.000,00

Gemaal Binnenschelde

inlaatconstructie Binnen-schelde, niet mech. rooster	-			fl	25.000,00
gebouw gemaal	-			fl	175.000,00
pomp, Q = 460m ³ /h, h = 9,5m	2 stuks	fl	40.000,00	fl	80.000,00
E-voorziening, besturing	-			fl	100.000,00
aansluiten nutsbedrijf	-			fl	25.000,00
PVC persleiding rond 400 + grondwerk	3.100 m	fl	160,00	fl	496.000,00
afsluiters, appendages	-			fl	25.000,00
diversen	-			fl	103.000,00
			subtotaal	fl	1.030.000,00

	totaal	fl	11.000.000,00
	Uitvoering WR/AK 30%	fl	3.500.000,00
	Totaal raming (afgerond):	fl	14.500.000,00

	hoeveelheid	eenheid	prijs per eenheid		totaalprijs
droge helofytensysteem, 3 bedden van 1 hectare					
grond ophogen, zand 1,5m	45.000	m3	fl	20,00	fl 900.000,00
folie, 1mm	30.000	m2	fl	15,00	fl 450.000,00
hoofdgoot, prefab beton	150	elementen	fl	2.000,00	fl 300.000,00
verstelbare V-notch	300	elementen	fl	300,00	fl 90.000,00
dwarsgoot, grastegels beton	7.200	m2	fl	35,00	fl 252.000,00
verdeelput	3	elementen	fl	5.000,00	fl 15.000,00
drainagebuizen, rond 100	9.600	m	fl	16,25	fl 156.000,00
verzamelbuis PVC rond 315	900	m	fl	110,00	fl 99.000,00
dijk om helofytensysteem	1.150	m	fl	45,00	fl 51.750,00
beplanting helofyten	3	ha.	fl	100.000,00	fl 300.000,00
diversen	-			fl	fl 291.000,00
				subtotaal	fl 2.910.000,00

methanoldoseringssysteem, incl. opslag (20 m³) en veiligheidsmaatregelen

werktuigbouwkundig deel	-	fl	250.000,00
elektrotechnisch deel	-	fl	150.000,00
civieltechnisch deel	-	fl	200.000,00
diversen	-	fl	67.000,00
		subtotaal	fl 670.000,00

Natte helofytensysteem, 1 bed 0,75 ha (methanol dosering)

omringende dijk	350	m	fl	300,00	fl 105.000,00
tussendijken	200	m	fl	60,00	fl 12.000,00
uitlaatconstructie	3	elementen	fl	15.000,00	fl 45.000,00
bemaling t.b.v. aanbrengen folie	-			fl	50.000,00
grondlaag aanbrengen 1,5m	11.250	m3	fl	20,00	fl 225.000,00
folie, 1mm	7.500	m2	fl	15,00	fl 112.500,00
beplanting helofyten	0,75	ha.	fl	100.000,00	fl 75.000,00
diversen	-			fl	70.000,00
				subtotaal (afgerond):	fl 700.000,00

Gemaal Zoommeer

inlaatconstructie Zoommeer, niet mech. rooster	-			fl	25.000,00
gebouw gemaal	-			fl	175.000,00
pomp, Q = 460m3/h, h = 5m	2	stuks	fl	35.000,00	fl 70.000,00
E-voorziening, besturing	-			fl	100.000,00
PVC persleiding rond 400 + grondwerk	500	m	fl	160,00	fl 80.000,00
afsluiters, appendages	-			fl	25.000,00
diversen	-			fl	53.000,00
				subtotaal (afgerond):	fl 530.000,00

Gemaal Binnenschelde

inlaatconstructie Binnen-schelde, niet mech. rooster	-			fl	25.000,00
gebouw gemaal	-			fl	175.000,00
pomp, Q = 460m3/h, h = 9,5m	2	stuks	fl	40.000,00	fl 80.000,00
E-voorziening, besturing	-			fl	100.000,00
aansluiten nutsbedrijf	-			fl	25.000,00
PVC persleiding rond 400 + grondwerk	3.100	m	fl	160,00	fl 496.000,00
afsluiters, appendages	-			fl	25.000,00
diversen	-			fl	103.000,00
				subtotaal (afgerond):	fl 1.030.000,00

totaal (afgerond)	fl	6.000.000,00
Uitvoering WR/AK 30%	fl	2.000.000,00
Totaal raming (afgerond):	fl	8.000.000,00

BIJLAGE VI Berekening van de stikstofconcentraties

Hieronder wordt aangegeven hoe de concentratie stikstof op tijdstip 't' is berekend m.b.v. gegevens op weekbasis. Tijdstip 't' is het tijdstip na het aflopen van de t^{de} week. De concentratie op tijdstip 't' kan worden uitgedrukt als:

formule (1)

$$[M]_t = \frac{I_t - A + ([M]_{t-1} \cdot V_{t-1})}{u_t + s_t + V_t}$$

waarin:

- [N]_t = concentratie stikstof op tijdstip 't' (mg/l = g/m³);
- I_t = totale hoeveelheid stikstof die de Binnenschelde is ingegaan in de week voorafgaand aan tijdstip 't' (de t^{de} week) (g);
- A = totale hoeveelheid stikstof die per week in de Binnenschelde wordt afgebroken (constante hoeveelheid) (g);
- V_t = het volume van de Binnenschelde op tijdstip 't' (m³);
- u_t = hoeveelheid water die de Binnenschelde is uitgegaan via uitlaat en wegzijging in de week voorafgaand aan tijdstip 't' (de t^{de} week) (m³);
- s_t = hoeveelheid water die de Binnenschelde is uitgegaan via doorspoelen van de Plaatvliet in de week voorafgaand aan tijdstip 't' (de t^{de} week) (m³).

Het volume van de Binnenschelde op tijdstip 't' (V_t) kan worden uitgedrukt als:

formule (2)

$$V_t = V_{t-1} + r_t + z_t - v_t - u_t - s_t$$

waarin:

- r_t = hoeveelheid water die de Binnenschelde is binnengekomen via neerslag in de week voorafgaand aan tijdstip 't' (de t^{de} week) (m³);
- v_t = hoeveelheid water die de Binnenschelde is uitgegaan via verdamping in de week voorafgaand aan tijdstip 't' (de t^{de} week) (m³);
- z_t = hoeveelheid water die de Binnenschelde is binnengekomen via inlaat vanuit het Zoommeer voorafgaand aan tijdstip 't' (de t^{de} week) (m³).

De substitutie van formule (2) in formule (1) resulteert in:

formule (3)

$$[M]_t = \frac{R_t + D_t + Z_t - A + ([M]_{t-1} \cdot V_{t-1})}{V_{t-1} + r_t + z_t - v_t}$$

waarin:

- R_t = hoeveelheid stikstof die via neerslag de Binnenschelde is binnengekomen in de week voorafgaand aan tijdstip 't' (de t^{de} week) (g);
- D_t = hoeveelheid stikstof die via droge atmosferische depositie de Binnenschelde is binnengekomen in de week voorafgaand aan tijdstip 't' (de t^{de} week) (g);
- Z_t = hoeveelheid stikstof die via ingelaten Zoommeerwater de Binnenschelde is binnengekomen in de week voorafgaand aan tijdstip 't' (de t^{de} week) (g).

BIJLAGE VII De effecten van wateraanvoer vanuit de Augustapolder

water
infrastructuur
milieu
bouw



Witteveen+Bos
postbus 3465
4800 DL Breda
telefoon 076 523 33 33
telefax 076 514 44 42

opdrachtgever Hoogheemraadschap van West-Brabant
projectcode Boz80.23
projectomschrijving variantenstudie waterbeheer Binnenschelde
onderwerp effecten van de inlaat van Augustapolderwater op de zoete variant
referentie/volnummer

aan	Hoogheemraadschap van West-Brabant	R. van Oers
	Gemeente Bergen op Zoom	T. Rutters
kopie	Rijkswaterstaat Directie Zeeland	W. Vonck
	Waterschap Het Scheldekwartier	P. van Kempen

opgemaakt dr. ir. L.A.J. Nagelkerke
datum 20 augustus 1999
bijlagen dimensionering en kostenberekening (3 pp.)

Voor het verbeteren van de waterkwaliteit van de Binnenschelde is een beheersvariant beschreven die bestaat uit een zuiveringsmoeras (variant 1 uit het concept-eindrapport d.d. 99-06-04).

Bij deze variant wordt ervan uitgegaan dat het water dat de Binnenschelde wordt ingelaten volledig afkomstig is uit het Zoommeer. In deze notitie wordt een subvariant beschreven waarbij een deel van het ingelaten water afkomstig is uit de Augustapolder die in de toekomst verstedelijkt zal worden. Er wordt daarbij van uitgegaan dat het water van dezelfde kwaliteit is als dat van de Berge Plaat.

De overige aannames zijn:

- het uitgangsjaar is 1996 (droog jaar);
- totaal wordt er 830.000 m³ water ingelaten, waarvan 394.380 m³ uit de Augustapolder;
- al het ingelaten water wordt gezuiverd tot een N_{tot}-concentratie van 1 mg/l;
- Zoommeerwater wordt gedurende maximaal 100 dagen ingelaten;
- Augustapolderwater wordt continu (indien beschikbaar) ingelaten;
- recirculatie vindt gedurende 200 dagen plaats;
- droge atmosferische depositie in de Binnenschelde was respectievelijk 3.251, 2.988 en 3.241 kg/jaar in 1994, 1995 en 1996;
- de initiële N_{tot}-concentratie van de Binnenschelde is 4 mg/l;
- de N_{tot}-concentratie moet op 31-12-96 hetzelfde zijn voor de varianten met en zonder de inlaat van Augustapolderwater (1,3 mg/l);
- er moet 1.750 kg N per jaar verwijderd worden door het Binnenscheldewater over het filter te recirculeren om tot de concentratie van 1,3 mg/l te komen. Als er 2.000 kg/jaar wordt verwijderd (zoals in de oorspronkelijke zoete variant), dan is de N_{tot}-concentratie op 31-12-96 lager, nl. 1,1 mg/l. De verwijdering van 1.750 kg i.p.v. 2.000 kg geeft de mogelijkheid het nitrificatieveld kleiner te maken (zie afbeelding);
- maximale hydraulische belasting van een helofytenfilter is 8 gram zwevende stof/m²/dag;
- gemiddelde denitrificatiesnelheid is 0,35 g N/m²/dag;
- nitrificatie-efficiëntie is 90%.

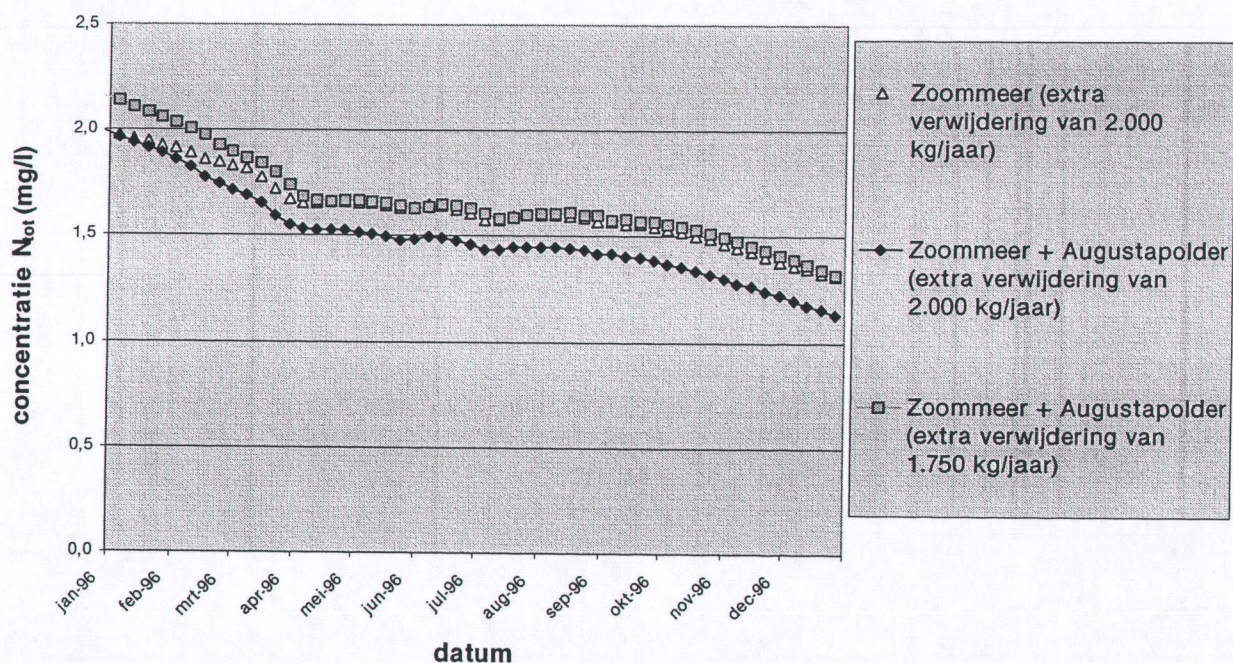
De dimensionering en kostenberekening zijn te vinden in de bijlagen. De uiteindelijke dimensionering wordt:

- nitrificatieveld van 3,0 ha;
- denitrificatieveld van 5,9 ha.

De volgende kosten worden geraamd:

- f 11.700.000,- exclusief omzetbelasting $\pm$ 25% zonder een extra gemaal bij de Augustapolder;
- f 13.000.000,- exclusief omzetbelasting $\pm$ 25% inclusief een extra gemaal bij de Augustapolder.

Stikstofconcentratieverloop



Dimensionering helofytenfilter met toevoer Augustapolderwater

uitgangspunten:

Het uitgangsjaar is 1996 (droog jaar)

Totaal wordt er 830.000 m³ water ingelaten, waarvan 394.380 m³ uit de Augustapolder

Al het ingelaten water wordt gezuiverd tot een N_{tot} concentratie van 1 mg/l

Zoommeerwater wordt gedurende maximaal 100 dagen ingelaten

Augustapolder water wordt continu (indien beschikbaar) ingelaten

Recirculatie vindt gedurende 200 dagen plaats

Droge atmosferische depositie in de Binnenschelde was respectievelijk 3251, 2988 en 3241 kg/jaar in 1994, 1995 en 1996

De initiële N_{tot} concentratie van de Binnenschelde is 4 mg/l

De N_{tot}-concentratie moet op 31-12-96 hetzelfde zijn voor de varianten met en zonder de inlaat van Augustapolderwater (1,3 mg/l)

Maximale hydraulische belasting van een helofytenfilter is 8 gram zwevende stof/m²/dag

Gemiddelde denitrificatiesnelheid is 0,35 g N/m²/dag

Nitrificatie-efficiëntie is 90%

Er moet 1.750 kg N per jaar verwijderd worden door het Binnenscheldewater over het filter te recirculeren

<i>waterkwaliteit:</i>	N_{tot}	zwevend stof
	mg/l	mg/l
directe neerslag	1,10	-
Zoommeer	4,78	22
Binnenschelde (initieel)	4,00	23
Augustapolder	2,41	5

potentiële inlaat vanuit Augustapolder in 1996:

maand	inlaat (m³)
jan	50.400
feb	84.000
mrt	88.200
apr	21.000
mei	29.400
jun	0
jul	4.200
aug	12.600
sep	8.400
okt	25.200
nov	12.180
dec	58.800

dimensionering:

stap 1: dimensionering aan de hand van in te laten water uit Zoommeer en Augustapolder

Nitrificatieveld (droog):

Augustapolder:	maximale inlaat per maand (m ³ /maand):	88.200
	maximale inlaat per dag (m ³ /dag):	2.845
	maximale belasting met zwevend stof (g/m ² /dag):	8
	gehalte zwevend stof (mg/l):	5
	maximale hydraulische belasting (l/m ² /dag):	1.600
	benodigd oppervlak (ha):	0,2

Zoommeer:	maximale inlaat per dag (m ³ /dag):	4.356
	maximale belasting met zwevend stof (g/m ² /dag):	8
	gehalte zwevend stof (mg/l):	22
	maximale hydraulische belasting (l/m ² /dag):	364
	benodigd oppervlak (ha):	1,2

totaal oppervlak nitrificatieveld stap 1 (ha): **1,4**

Denitrificatieveld (nat):

Augustapolder:	maximale inlaat per dag (m ³ /dag):	2.845
	concentratie N _{tot} (mg/l):	2,41
	dagelijkse verwijdering (kg N/dag):	4,0
	gemiddelde denitrificatiesnelheid (g N/m ² /dag):	0,35
	benodigd oppervlak (ha):	1,1

Zoommeer:	maximale inlaat per dag (m ³ /dag):	4.356
	concentratie N _{tot} (mg/l):	4,78
	dagelijkse verwijdering (kg N/dag):	16,5
	gemiddelde denitrificatiesnelheid (g N/m ² /dag):	0,35
	benodigd oppervlak (ha):	4,7

totaal oppervlak denitrificatieveld stap 1 (ha): **5,9**

stap 2: dimensionering aan de hand van te recirculeren Binnenscheldewater

Nitrificatieveld (droog):

Binnenschelde:	jaarlijks door recirculatie te verwijderen stikstof (kg N/jaar)	1.750
	nitrificatie-efficiëntie (%):	90
	hoeveelheid te recirculeren water (m ³ /jaar)	1.944.444
	maximale inlaat per dag (m ³ /dag):	9.722
	maximale belasting met zwevend stof (g/m ² /dag):	8
	gehalte zwevend stof (mg/l):	23
	maximale hydraulische belasting (l/m ² /dag):	348
	benodigd oppervlak (ha):	2,8
	oppervlak voor simultane nitrificatie Augustapolderwater (ha):	0,2
	benodigd oppervlak (ha):	0,2

totaal oppervlak nitrificatieveld stap 2 (ha): **3,0**

Denitrificatieveld (nat):

Zoommeer:	jaarlijkse extra verwijdering aan stikstof (kg/jaar):	1.750
	dagelijkse verwijdering bij 200 dagen recirculatie (kg N/dag):	8,75
	gemiddelde denitrificatiesnelheid (g N/m ² /dag):	0,35
	benodigd oppervlak (ha):	2,5

totaal oppervlak denitrificatieveld stap 2 (ha): **2,5**

stap 1 + 2: Integratie (maxima van beide stappen vormt de uiteindelijke dimensionering)

Nitrificatieveld (ha):	3,0
Denitrificatieveld (ha):	5,9

Helofytensysteem Binnenschelde

Zoete alternatief met inlaat Augustapolderwater

	hoeveelheid	eenheid	prijs per eenheid		totaalprijs
droge helofytensysteem, 3 bedden van 1 hectare					
grond ophogen, zand 1,5m	45.000	m ³	fl 20,00	fl	900.000,00
folie, 1mm	30.000	m ²	fl 15,00	fl	450.000,00
hoofdgoot, prefab beton	150	elementen	fl 2.000,00	fl	300.000,00
verstelbare V-notch	300	elementen	fl 300,00	fl	90.000,00
dwaarsgoot, grastegels beton	7.200	m ²	fl 35,00	fl	252.000,00
verdeelpuut	3	elementen	fl 5.000,00	fl	15.000,00
drainagebuizen, rond 100	9.600	m	fl 16,25	fl	156.000,00
verzamelbuis PVC rond 315	900	m	fl 110,00	fl	99.000,00
dijk om helofytensysteem	1.150	m	fl 45,00	fl	51.750,00
beplanting helofyten	3	ha.	fl 100.000,00	fl	300.000,00
diversen	-			fl	291.000,00
			subtotaal	fl	2.910.000,00
Natte helofytensysteem, 5 bedden van 1 en 1 bed van 0,9 hectare					
aanvoersloot	250	m	-	fl	25.000,00
folie onder aanvoersloot	1500	m ²	fl 15,00	fl	22.500,00
omringende dijk	1.000	m	fl 300,00	fl	300.000,00
tussendijken	1.100	m	fl 60,00	fl	66.000,00
inlaatconstructie	6	elementen	fl 15.000,00	fl	90.000,00
uitlaatconstructie	6	elementen	fl 15.000,00	fl	90.000,00
bemaling t.b.v. aanbrengen folie	-			fl	200.000,00
grondlaag aanbrengen 1,5m	88.500	m ³	fl 20,00	fl	1.770.000,00
folie, 1mm	59.000	m ²	fl 15,00	fl	885.000,00
beplanting helofyten	5,9	ha.	fl 100.000,00	fl	590.000,00
diversen	-			fl	449.000,00
			subtotaal	fl	4.490.000,00
Gemaal Zoommeer					
inlaatconstructie Zoommeer, niet mech.					
rooster	-			fl	25.000,00
gebouw gemaal	-			fl	175.000,00
pomp, Q = 460m ³ /h, h = 5m	2	stuks	fl 35.000,00	fl	70.000,00
E-voorziening, besturing	-			fl	100.000,00
PVC persleiding rond 400 + grondwerk	500	m	fl 160,00	fl	80.000,00
afsluiters, appendages	-			fl	25.000,00
diversen	-			fl	53.000,00
			subtotaal	fl	530.000,00
Gemaal Binnenschelde					
inlaatconstructie Binnen-schelde, niet mech. rooster	-			fl	25.000,00
gebouw gemaal	-			fl	175.000,00
pomp, Q = 460m ³ /h, h = 9,5m	2	stuks	fl 40.000,00	fl	80.000,00
E-voorziening, besturing	-			fl	100.000,00
aansluiten nutsbedrijf	-			fl	25.000,00
PVC persleiding rond 400 + grondwerk	3.100	m	fl 160,00	fl	496.000,00
afsluiters, appendages	-			fl	25.000,00
diversen	-			fl	103.000,00
			subtotaal	fl	1.030.000,00
Gemaal Augustapolder					
er wordt vanuit gegaan dat dit gemaal dezelfde specificaties en kosten met zich meebrengt als een gemaal voor de Binnenschelde	-			fl	1.030.000,00
			subtotaal	fl	1.030.000,00
			totaal	fl	10.000.000,00
			Uitvoering WR/AK 30%	fl	3.000.000,00
			Totaal raming (afgerond):	fl	13.000.000,00

BIJLAGE VIII Jaarlijkse kosten van de zoete variant

Jaarlijkse kosten van de zoete variant

De uitgangspunten voor de berekening van de jaarlijkse kosten zijn te vinden in het hierna volgende overzicht. Verder zijn de volgende uitgangspunten van belang:

gemaal Zoommeer

debiet = 460 m³/uur

opvoerhoogte = 5 m

bij 450.000 m³ per jaar: 41 dagen

benodigd vermogen: (dichtheid water * valversnelling * debiet * opvoerhoogte)/rendement = 1000 * 9,81 * 0,18 * 5/0,6 = 10.464 Watt.

energieverbruik: vermogen * draaiuren = 10.464 * 41 * 24 = 10.300 kWh.

gemaal Binnenschelde

debiet = 460 m³/uur

opvoerhoogte = 9,5 m

bij 2.200.000 m³ per jaar: 200 dagen

benodigd vermogen: (dichtheid water * valversnelling * debiet * opvoerhoogte) / rendement = 1000 * 9,81 * 0,18 * 9,5/0,6 = 19.882 Watt.

energieverbruik: vermogen * draaiuren = 19.882 * 200 * 24 = 95.424 kWh.

maaien

1 maal per drie jaar riet maaien: kosten per maaibeurt ca. f 30.000,-- (schatting)

afvoeren/verwerken riet

oogst: 12 ha * 20 kg/m²

40.000 kg per vrachtwagen à f 2.000,--

12 ha * 20 kg/m² * 10.000 m²/40.000 kg/vrachtwagen * f 2.000,--/vrachtwagen/3 jaar = f 40.000,--/jaar.

herstel/onderhoud dijken

2 maal per jaar 2 man gedurende 3 weken herstelwerkzaamheden: ca. f 15.000,--

doorspoelen drains

2 maal per jaar 2 man gedurende 2 weken: ca. f 10.000,--

grondherstel

eggen van de bovenste laag: ca. f 10.000,-- (schatting).

onderhoudskosten civieltechnisch, werktuigbouwkundig en elektrotechnische

Kosten zijn afgeleid op basis van percentages van bouwkosten. Dit in afwijking van bijlage IX waar de kosten zijn afgeleid op basis van percentages van de stichtingskosten. Beide benaderingen zijn gebaseerd op ervaringscijfers en leiden tot even betrouwbare kostenramingen.

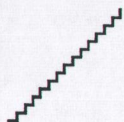
Exploitatie-, onderhouds- en afschrijvingskosten

Zoete variant (variant 1)

		bijk:		berekende bouwkosten - 25%		berekende bouwkosten + 25%	
1. exploitatiekosten				kosten/jaar (fl)	kosten/jaar (fl)	kosten/jaar (fl)	
	verbruik/jaar (kWh)		eenheidsprijs (fl/kWh)				
gemaal Zoommeer	10300		0,14	1.442,00	fl	1.442,00	fl 1.442,00
gemaal Binnenschelde	95424		0,14	13.359,36	fl	13.359,36	fl 13.359,36
subtotaal 1:				14.800,00	fl	14.800,00	fl 14.800,00
2. onderhoudskosten				kosten/jaar (fl)	kosten/jaar (fl)	kosten/jaar (fl)	
helofytensysteem							
maaien (1x per 3 jaar)				10.000,00	fl	10.000,00	fl 10.000,00
afvoeren/verwerken riet				40.000,00	fl	40.000,00	fl 40.000,00
herstel/onderhoud dijken				15.000,00	fl	15.000,00	fl 15.000,00
doorspoelen drains				10.000,00	fl	10.000,00	fl 10.000,00
grondherstel droge helofyten				10.000,00	fl	10.000,00	fl 10.000,00
onderhoudskosten civieltechnisch, werktuigbouwkundig en elektrotechnisch							
	% van bouwkosten (excl. uitvoering/WRI/AK)		bouwkosten (excl. uitvoering/WRI/AK)	kosten/jaar (fl)	kosten/jaar (fl)	kosten/jaar (fl)	
pompen	4		150.000,00	6.000,00	fl	4.500,00	fl 7.500,00
roosters	4		50.000,00	2.000,00	fl	1.500,00	fl 2.500,00
gebouwen gemalen	0,5		350.000,00	1.750,00	fl	1.312,50	fl 2.187,50
leidingwerk	0,5		881.000,00	4.405,00	fl	3.303,75	fl 5.506,25
verdeelgoten, inlaat/uitlaat	0,5		862.000,00	4.310,00	fl	3.232,50	fl 5.387,50
elektrotechnisch	4		155.000,00	6.200,00	fl	4.650,00	fl 7.750,00
civieltechnisch helofytensysteem (doorvoerpunten drains door folie)				12.000,00	fl	9.000,00	fl 15.000,00
subtotaal 2:				121.670,00	fl	112.498,75	fl 130.831,25
3. afschrijving							
	% van stichtingskosten						
afschrijving over 30 jaar	3,3			667.879,08	fl	500.909,31	fl 834.848,85
rente (5% per jaar met restwaarde 0)	2,5			505.969,00	fl	379.476,75	fl 632.461,25
subtotaal 3:				1.173.850,00	fl	880.390,00	fl 1.467.310,00
				fl 1.310.000,00	fl	1.008.000,00	fl 1.613.000,00

Bijlage IX Jaarlijkse kosten van de zoute variant

water
infrastructuur
milieu
bouw



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

onderwerp Binnenschelde Bergen op Zoom: exploitatie-, onderhouds- en afschrijvingskosten
zoute variant
projectcode Boz80.23
aan Leo Nagelkerke
kopie R. Bos, G. Neuteboom, W. Maes
opgemaakt door F. Roest
Datum 99-07-13

algemeen

In deze notitie zal een benadering worden gegeven van de exploitatie- onderhouds- en afschrijvingskosten van de in voorgaande notities¹ beschreven doorspoelconstructie (zoute variant). Het betreft in dit geval een doorspoelconstructie voor de verbetering van de waterkwaliteit in de Binnenschelde, gecombineerd met een drainageleiding ter voorkoming van verzilting van de Bergseplaat en het Markiezaatsmeer.

Voor de bepaling van de levensduur moet onderscheid gemaakt worden tussen twee vormen van levensduur:

- de **technische levensduur** is de op constructieve overwegingen gebaseerde periode waarin de constructie verwacht wordt aan de vooraf gestelde voorwaarden te voldoen. De technische levensduur eindigt wanneer de constructie een -volgens de huidige normen- onaanvaardbare kans op bezwijken vertoont;
- de **functionele levensduur** is de periode waarin een constructie aan zijn functionele doel voldoet. Veranderende gebruikseisen bepalen het einde van de functionele levensduur. Bij de berekening van de afschrijving is uitgegaan van de geschatte functionele levensduur.

Bij de bepaling van het onderhoud wordt de mogelijkheid tot variabel onderhoud buiten beschouwing gelaten. Er wordt alleen gekeken naar de vaste onderhoudskosten. Dit onderhoud beïnvloedt de grootte van de levensduur niet.

Bij de berekening van de exploitatie kosten is binnen het kader van deze notitie alleen het onderscheid tussen het elektriciteitsverbruik en de overige verbruikskosten relevant.

onderhoud en afschrijving

Zowel voor de doorspoelconstructie als voor de drainageconstructie is bij de bepaling van de onderhoudsprognose en levensduur onderscheid gemaakt tussen de volgende onderdelen van de constructies:

- de leiding/drain;
- het gemaal en de uitstroomconstructies;
- het elektromechanische deel van het gemaal.

¹ Zie ook bijlage V

doorspoelconstructie (alle kosten in f exclusief omzetbelasting)			
	leiding	gemaal	elektromech. Deel
aanlegkosten	5.182.500,--	1.150.000,--	1.500.000,--
uitvoering, W/R, algemene kosten en bijkomende kosten	3.253.700,--	722.000,--	941.800,--
totale stichtingskosten (S)	8.436.200,--	1.872.000,--	2.441.800,--
onderhoudsprognose	0,005*S fl/jr	0,0025*S fl/jr	0,02*S fl/jr
technische levensduur	60 jr	80 jr	15 jr
functionele levensduur	30 jr	30 jr	30 jr

drainageconstructie (alle kosten in f exclusief omzetbelasting)			
	drain	gemaal	elektromech. Deel
aanlegkosten	93.350,--	200.000,--	300.000,--
uitvoering, W/R, algemene kosten en bijkomende kosten	50.400,--	105.700,--	158.550,--
totale stichtingskosten (S)	145.750,--	305.700,--	458.550,--
onderhoudsprognose	2.500,-- fl/jr	0,0025*S fl/jr	0,02*S fl/jr
technische levensduur	15 jr	80 jr	15 jr
functionele levensduur	30 jr	30 jr	30 jr

Het totaal af te schrijven bedrag is verdeeld over levensduur van dertig jaar met de methode van afschrijving volgens een vast percentage van de aanschafprijs. De rente wordt berekend over de gemiddelde boekwaarde tijdens de levensduur.

Rekenend met een effectieve rente van 5 % en restwaarden van nul, levert dit de volgende totalen op:

Jaarlijks onderhoud:	doorspoelconstructie	=	f 95.700,-- per jaar
	drainageconstructie	=	f 12.400,-- per jaar
Jaarlijkse afschrijving:	doorspoelconstructie	=	f 886.200,-- per jaar
	drainageconstructie	=	f 88.300,-- per jaar

exploitatie

Basisgegevens doorspoelconstructie:

- eenheidsprijs kWh = f 0,14;
- waterverplaatsing /jaar = 5.200.000 m³;
- manometrische opvoerhoogte = 7,75 m;
- debiet = 0,36 m³/s.

Basisgegevens drainageconstructie:

- eenheidsprijs kWh = f 0,14;
- waterverplaatsing /jaar = 1.130.000 m³;
- manometrische opvoerhoogte = 4,00 m;
- debiet = 0,04 m³/s.

Het elektriciteitsverbruik is afhankelijk van de energie die nodig is voor het oppompen van het water en van het rendement van de pomp en de elektromotor.

Voor de doorspoelconstructie is dat als volgt uitgewerkt:

$$\text{vermogen motor} = \frac{H_m \cdot G \cdot Q \cdot \rho}{R_p \cdot R_m} = \frac{7,75 \cdot 9,81 \cdot 0,36 \cdot 1000}{0,7 \cdot 0,85} = 46 \text{ kW};$$

H_m = manometrische opvoerhoogte (m);

G = gravitatie (m/s²);

Q = debiet (m³/s);

ρ = soortelijke massa (kg/m³);

R_p = rendement pomp (-);

R_m = Rendement motor (-).

$$\text{Totaal aantal draaiuren per jaar} = \frac{5.200.000}{3.600 \cdot 0,36} = 4012 \text{ h/jr.}$$

Totale verbruik per jaar = 4012 * 46,00 = 184.600 kWh per jaar.

Bovenstaand verbruik vermenigvuldigd met de eenheidsprijs van verbruik levert de exploitatiekosten voor elektriciteit per jaar:

doorspoelconstructie: f 26.000,- per jaar

drainageconstructie: f 2.900,- per jaar

Exploitatie-, onderhouds- en afschrijvingskosten Zoute variant (variant 3)

	verbruik/jaar (kWh)	eenheidsprijs (fl/kWh)	bij: berekende stichtingskosten		berekende stichtingskosten - 25%		berekende stichtingskosten + 25%	
			kosten/jaar (fl)	fl	kosten/jaar (fl)	fl	kosten/jaar (fl)	fl
doorspoelconstructie	184.567	fl	25.839,41	0,14	25.839,41	fl	25.839,41	fl
drainageconstructie	20.701	fl	2.898,12	0,14	2.898,12	fl	2.898,12	fl
subtotaal 1:			28.740,00		28.740,00	fl	28.740,00	fl

	% van stichtingskosten	kosten/jaar (fl)		kosten/jaar (fl)	
		fl	fl	fl	fl
leiding doorspoelconstructie	0,5	42.181,20	fl	31.635,90	fl
leiding drainageconstructie	-	2.500,00	fl	2.500,00	fl
gemaal doorspoelconstructie	0,25	4.680,03	fl	3.510,02	fl
gemaal drainageconstructie	0,25	813,93	fl	610,44	fl
elektromechanisch deel					
doorspoelconstructie	2	48.835,00	fl	36.626,25	fl
elektromechanisch deel					
drainageconstructie	2	9.767,00	fl	7.325,25	fl
subtotaal 2:		108.780,00	fl	82.210,00	fl

	% van stichtingskosten	kosten/jaar (fl)		kosten/jaar (fl)	
		fl	fl	fl	fl
afschrijving over 30 jaar	3,3	554.332,02	fl	415.749,02	fl
rente (5% per jaar met restwaarde 0	2,5	419.948,50	fl	314.961,38	fl
subtotaal 3:		974.280,00	fl	730.710,00	fl

fl 1.112.000,00 fl 842.000,00 fl 1.382.000,00