32/446(411) 2e ex

Effecten van de sanering van gasbronnen in Noord-Holland benoorden het IJ op de nutriënten- en chloridebelasting van het oppervlaktewater

J.W.J. van der Gaast
J.M.P.M. Peerboom

BIBLIOTHEEK
STARINGGEBOUW

Rapport 411

DLO-Staring Centrum, Wageningen, 1996

17 JAN. 1997

Isn 931826 x

REFERAAT

Gaast, J.W.J. van der en J.M.P.M. Peerboom, 1996. *Effecten van de sanering van gasbronnen in Noord-Holland benoorden het IJ op de nutriënten- en chloridebelasting van het oppervlaktewater.* Wageningen, DLO-Staring Centrum. Rapport 411. 108 blz.; 16 fig.; 19 tab.; 24 ref.; 10 aanh.

In de Beemster is via een modelstudie onderzocht welke gevolgen het saneren van gasbronnen heeft voor de kwel. Bovendien zijn voor het oppervlaktewater stoffenbalansen opgesteld voor stikstof, fosfaat en chloride. Het afdichten van alle gasbronnen in de Beemster blijkt het grootste effect te hebben op de emissie van fosfaat, namelijk een vermindering met 40%. De emissie van stikstof en chloride wordt met respectievelijk 20% en 25% verminderd. Naar aanleiding van de aanbevelingen van het onderzoek is een vervolgonderzoek opgezet om de uitkomsten van het onderzoek te kunnen vertalen naar andere polders in Noord-Holland benoorden het IJ.

Trefwoorden: milieubescherming, modelstudie, waterkwaliteit.

ISSN 0927-4499

©1996 DLO-Staring Centrum, Instituut voor Onderzoek van het Landelijk Gebied (SC-DLO)
Postbus 125, 6700 AC Wageningen.
Tel.: (0317) 474200; fax: (0317) 424812; e-mail: postkamer@sc.dlo.nl

Niets uit deze uitgave mag worden verveelvoudigd en/of openbaar gemaakt door middel van druk, fotokopie, microfilm of op welke andere wijze ook zonder voorafgaande schriftelijke toestemming van DLO-Staring Centrum.

DLO-Staring Centrum aanvaardt geen aansprakelijkheid voor eventuele schade voortvloeiend uit het gebruik van de resultaten van dit onderzoek of de toepassing van de adviezen.

Project 4220 [RAP411.HM/08-96]

Inhoud

	blz.
Woord vooraf	7
Samenvatting	9
1 Inleiding	11
1.1 Projectkader	11
1.2 Leeswijzer	12
2 Geologie	13
2.1 Pleistoceen	13
2.2 Holoceen	15
3 Geohydrologie	17
4 Modellering	21
4.1 Modelopzet	21
4.2 Modellering en modeluitkomsten	25
4.3 Gevoeligheidsanalyse	29
5 Balansen	31
5.1 Berekeningsmethode	31
5.2 Waterbalans	31
5.3 Chloride en nutriëntenbalansen	33
5.3.1 Chloridebalans	33
5.3.2 Fosforbalans	35
5.3.3 Stikstofbalans	38
6 Effecten van het saneren van gasbronnen	41
6.1 Effecten in de Beemster	41
6.2 Effecten buiten de Beemster	42
7 Conclusies en aanbevelingen naar aanleiding van het onderzoek in de Beemster	45
8 Aanvullend onderzoek	47
8.1 Modellering van Noord-Holland benoorden het IJ	47
8.1.1 Modelopzet	47
8.1.2 Modellering en modeluitkomsten	47
8.1.3 Gevoeligheden van het model op de weerstand van het afdekkende pakket	51
8.2 Balansen Wieringermeer	52
8.2.1 Waterbalans	52
8.2.2 Stoffenbalansen Wieringermeer	54
8.2.3 Effecten van het saneren van gasbronnen in de Wieringermeer	57

8.3 Waterkwaliteit 58
8.3.1 Grondwaterkwaliteit 58
8.3.2 Kwaliteit gasbron- en oppervlaktewater 59

9 Conclusies van het gehele onderzoek 61

Literatuur 63

Aanhangsels

1 Geohydrologische modelparameters voor de Beemster 65
2 Modeluitkomsten Beemster 71
3 Foutvoortplanting 75
4 Fosfaatadsorptie van gesynthetiseerde ijzerhydroxiden 77
5 Gegevens Noord-Holland benoorden het IJ 79
6 Geohydrologische modelparameters voor Noord-Holland benoorden het IJ 83
7 Modeluitkomsten voor Noord-Holland benoorden het IJ 89
8 Waterbalansen voor de Wieringermeer 95
9 Grondwaterkwaliteitsgegevens van het veldonderzoek 99
10 Gasbronwaterkwaliteitsgegevens van het veldonderzoek 105

Woord vooraf

In opdracht van het Hoogheemraadschap van Uitwaterende Sluizen in Hollands Noorderkwartier is door DLO-Staring Centrum in 1995 en 1996 een onderzoek uitgevoerd naar de effecten van het saneren van gasbronnen op de oppervlaktewaterkwaliteit in Noord-Holland.

Het onderzoek is toegespitst op de Beemster. Aan de hand van een eenvoudig geo-hydrologisch modelstudie en water- en stoffenbalansen zijn de effecten van gasbronsaneringen binnen deze polder vastgesteld. Op basis van de uitkomsten van de Beemster is getracht uitspraken te doen over de overige polders met gasbronnen binnen het beheersgebied. Aangezien de studie in de Beemster en de extrapolatie naar andere polders nog veel vragen opriep, heeft het Hoogheemraadschap opdracht gegeven voor een vervolgstudie waarin het modelgebied is uitgebreid naar het hele beheersgebied. Bovendien zijn aanvullende water- en stoffenbalansen opgesteld van de Wieringermeer. en zijn kwel en gasbronmonsters geanalyseerd voor drie polders.

Projectleider van het onderzoek was ir. J.M.P.M. Peerboom. Het onderzoek is uitgevoerd door drs. ing. J.W.J. van der Gaast. Ir. J.H.A.M. Steenvoorden heeft een bijdrage geleverd in de vorm van advisering omtrent de nutriëntenbalans. Het veldonderzoek is verricht door J.G. te Beest. Het onderzoek is vanuit het Hoogheemraadschap van Uitwaterende Sluizen in Hollands Noorderkwartier begeleid door ing. T. Boogaard en ing. R van der Werf.

Samenvatting

In opdracht van het Hoogheemraadschap van Uitwaterende Sluizen in Hollands Noorderkwartier is door DLO-Staring Centrum een onderzoek uitgevoerd naar de effecten van het saneren van gasbronnen op de kwaliteit van het oppervlaktewater in het beheersgebied van het Hoogheemraadschap. Om deze effecten te kunnen bepalen is gebruik gemaakt van een eenvoudig hydrologisch model, en zijn balansen opgesteld voor chloride, stikstof en fosfaat. Het onderzoek is in eerste instantie voornamelijk gericht op de Beemster omdat in deze polder het overgrote deel van de nog in werking zijnde gasbronnen gelegen zijn, en om de modellering en het opstellen van balansen te vereenvoudigen. Naar aanleiding van het onderzoek in de Beemster is een aanvullend onderzoek gedaan om de uitkomsten van het onderzoek beter te kunnen extrapoleren naar andere polders in Noord-Holland benoorden het IJ.

Het modelgebied omvat de Beemster met omringende polders. Met de modelberekeningen is een inschatting gemaakt van de gevolgen van de sanering van gasbronnen op de natuurlijke kwel naar het oppervlaktewater. Uit de berekeningen komt naar voren dat sanering van de gasbronnen binnen de Beemster leidt tot toename van de natuurlijke kwel in de Beemster met 13 mm j^{-1}, hetgeen overeenkomt met ongeveer 15% van de oorspronkelijke wateropbrengst van de gasbronnen. Voor het totale modelgebied bedraagt de toename van de natuurlijke kwel ongeveer 30% van het gesaneerde brondebiet. De kwel neemt voornamelijk toe in de laag gelegen polders rond de Beemster waar de weerstand van het afdekkende pakket geringer is dan elders.

Om inzicht te verkrijgen in de gevoeligheid van het model voor de gebruikte geohydrologische parameters, is een gevoeligheidsanalyse uitgevoerd. Hieruit blijkt dat de weerstand (c-waarde) van het afdekkende pakket de grootste invloed heeft op de modeluitkomsten. Ook bij een grote verandering van de weerstandswaarde van het afdekkende pakket blijkt echter dat een aanzienlijk deel van het grondwater niet in het oppervlaktewater terecht komt indien de gasbronnen worden gesloten.

Aan de hand van balansberekeningen is gekeken naar de bijdrage van de gasbronnen aan de emissie naar het oppervlaktewater. In eerste instantie is een waterbalans opgesteld om het opstellen van een chloride-, fosfaat- en stikstofbalans mogelijk te maken. Daarnaast is voor iedere balans een foutenanalyse uitgevoerd om inzicht te krijgen in de betrouwbaarheid. De gasbronnen blijken de grootste emissiebron te zijn in de fosfaatbalans (37-52%).

Koppeling van de model- en de balansberekeningen maakt het mogelijk de effecten van de sanering van gasbronnen te kwantificeren. De emissie van chloride, fosfaat en stikstof op het oppervlaktewater kan worden teruggedrongen met respectievelijk 25%, 40% en 20%. Deze percentages kunnen echter niet direct vertaald worden in een evenredige kwaliteitsverbetering van het oppervlaktewater. Vooral bij fosfaat bepalen chemische evenwichten de mate waarin fosfaat wordt gebonden. In het gasbronwater is veel ijzer aanwezig dat het fosfaatprobleem gedeeltelijk oplost doordat ijzerhydroxiden fosfaat kunnen binden. Dit proces is afhankelijk van evenwichtsreacties. Zonder

aanvullend onderzoek is moeilijk te voorspellen wat de exacte verbetering van de kwaliteit van het oppervlaktewater zal zijn.

In gebieden buiten de Beemster is de geohydrologische situatie vergelijkbaar met de Beemster. Het effect van het afdichten van gasbronnen zal daarom voornamelijk afhangen van het aantal gasbronnen in een polder. De Wieringermeer en de Etersheimerbraak vormen hierop een uitzondering. De geohydrologische situatie en de waterkwaliteit is hier verschillend van die van de Beemster. Aanvullend onderzoek was noodzakelijk om een gedegen uitspraak te kunnen doen omtrent het kwantitatieve effect van gasbronsaneringen per polder.

Naar aanleiding van de conclusies en aanbevelingen is een aanvullend onderzoek uitgevoerd. Binnen het vervolgonderzoek is voornamelijk gekeken naar de effecten van gasbronsanering in de Wieringermeer, en de waterkwaliteit van kwelwater. Aan de hand van een hydrologisch model voor geheel Noord-Holland benoorden het IJ zijn de effecten van het sluiten van gasbronnen berekend. In de Wieringermeer zal bij algehele sluiting van de gasbronnen ongeveer 55% van het gesaneerde gasbronwater in de vorm van extra natuurlijke kwel in het oppervlaktewater terechtkomen. Dit hoge percentage wordt veroorzaakt door de zeer lage hydraulische weerstand van een gedeelte van het afdekkende pakket in de Wieringermeer. Indien gekeken wordt naar alle kwelgebieden in Noord-Holland benoorden het IJ komt ruim 60% van het gesaneerde gasbronwater van de gasbronnen in de Wieringermeer terug in de vorm van extra natuurlijke kwel, indien alle gasbronnen gesloten worden.

Aan de hand van balansberekeningen van de Wieringermeer en de modelberekeningen is het effect van gasbronsanering op de emissie van chloride, fosfaat en stikstof berekend. Het sluiten van gasbronnen heeft voor de desbereffende stoffen respectievelijk -1,7%, 2,8% en 0,4% afname van de totale emissie tot gevolg. Voor chloride betekend sanering van gasbronnen dus een toename van de chlorideemissie op het oppervlaktewater. Deze toename is te verklaren uit de zeer hoge zoutconcentraties van het kwelwater in de Wieringermeer. De reductie van de hoeveelheid gasbronwater wordt ruimschoots teniet gedaan door het terugkomen van een geringere hoeveelheid kwel, met een hoog zoutgehalte. Door het geringe aandeel van gasbronwater op de stoffenbalansen is de reductie van fosfaat- en stikstofemissie eveneens gering.

Om meer inzicht te verkrijgen omtrent de waterkwaliteit is een veldonderzoek uitgevoerd in de Beemster, de Wieringermeer en de Etersheimerbraak. Bij het veldonderzoek zijn watermonsters genomen van het kwelwater, enkele gasbronnen en het oppervlaktewater. De concentraties van chloride, fosfaat en nitraat van het kwelwater blijken over het algemeen sterk te variëren in de bemonsterde polders. Bij de monstername van enkele gasbronnen en het oppervlaktewater is naar voren gekomen dat ijzer, indien in voldoende mate aanwezig, een gedeelte van het fosfaat dat in het gasbronwater aanwezig is kan binden.

1 Inleiding

1.1 Projectkader

Het Hoogheemraadschap van Uitwaterende Sluizen in Holland Noorderkwartier is in haar beheersgebied verantwoordelijk voor de kwaliteit van het oppervlaktewater inclusief de waterbodem. Ter verbetering van de oppervlaktewaterkwaliteit is een plan ontwikkeld om de lozing van grondwater dat rijk is aan nutriënten op het oppervlaktewater te verminderen. In het kader hiervan is besloten de gasbronnen in het beheersgebied te saneren. Dit onderzoek is uitgevoerd om de effecten van de sanering van gasbronnen vast te stellen.

Het uitgangspunt van het onderzoek kan worden omschreven in twee kernhypothesen:

- Het saneren van gasbronnen zal tot gevolg hebben dat totaal gezien minder water in en rond de Beemster vanuit het grondwater in het oppervlaktewater terecht komt.
- De gasbronnen leveren een beduidende bijdrage aan de emissie van milieubelastende stoffen naar het oppervlaktewater in de Beemster.

Het onderzoek is opgedeeld in de volgende twee gedeelten:

1 Een modelstudie om kwantitatieve hydrologische aspecten te onderzoeken.
Hierbij is het onderzoek voornamelijk toegespitst op de Beemster om het modelgebied te beperken. Voor het onderzoek is een model opgezet dat de Beemster en de omringende polders bevat. De gasbronnen in de Beemster zijn als onttrekkingen in het model opgenomen, waardoor aan de hand van de waterbalansuitkomsten uit de modelberekeningen kon worden bepaald wat het effect is van het saneren van gasbronnen op de toename van de natuurlijke kwel. Om inzicht te krijgen in de gevoeligheid van de in het model ingevoerde hydrologische parameters is een gevoeligheidsanalyse uitgevoerd.

2 Het opzetten van balansen.
Om inzicht te krijgen in de bijdrage van de gasbronnen aan de emissie van stoffen naar het oppervlaktewater zijn balansen opgesteld voor een relatief droog en een relatief nat jaar. Het betreft balansen voor water, chloride, fosfaat en stikstof. De waterbalans is gebruikt voor het opstellen van de stoffenbalansen. Om inzicht in de betrouwbaarheid van de balansen te verkrijgen is eveneens een foutenanalyse uitgevoerd voor iedere balans.

De gegevens ten aanzien van de waterkwantiteit en de kwaliteitsgegevens zijn gecombineerd om het effect van het saneren van gasbronnen vast te kunnen stellen.

Naar aanleiding van het onderzoek in de Beemster en de conclusies en aanbevelingen is een vervolgonderzoek uitgevoerd. Bij het vervolgonderzoek is dieper ingegaan op enkele vragen die voortgekomen zijn uit het onderzoek. Voor het vervolgonderzoek is voor bijna het gehele beheersgebied van het Hoogheemraadschap een geo-hydrologisch model opgezet. Voor de Wieringermeer is een vergelijkbaar onderzoek als voor de

Beemster uitgevoerd. Daarnaast is een veldonderzoek uitgevoerd naar de waterkwaliteit van kwelwater in de Beemster, Wieringermeer en Etersheimerbraak.

1.2 Leeswijzer

In het navolgende wordt allereerst in hoofdstuk 2 de geologie van het gebied besproken. Het al dan niet voorkomen van geologisch te onderscheiden lagen is in hoofdstuk 3 vertaald naar de geohydrologische opbouw van het gebied, die van groot belang is voor de modellering die in het daaropvolgende hoofdstuk wordt besproken. De beschrijving van de modellering is onderverdeeld in de modelopzet, de eigenlijke modellering en modeluitkomsten en de gevoeligheidsanalyse. In hoofdstuk 5 worden de balansen gepresenteerd. De koppeling tussen de modelberekeningen en de balansuitkomsten worden in hoofdstuk 6 besproken. In hoofdstuk 7 staan de conclusies van het onderzoek en enkele aanbevelingen voor aanvullend onderzoek. Op enkele conclusies en aanbevelingen wordt in hoofdstuk 8 verder ingegaan. In dit hoofdstuk is het vervolgonderzoek beschreven aan de hand van een onderverdeling waarin achtereenvolgens de modellering van Noord-Holland benoorden het IJ, Balansen van de Wieringermeer en de waterkwaliteit aan bod komen. In het laatste hoofdstuk staan de conclusies en aanbevelingen, waarin ook het vervolgonderzoek is meegenomen.

2 Geologie

2.1 Pleistoceen

Bijna geheel Nederland behoorde gedurende het Tertiair en het daaropvolgende Kwartair tot het randgebied van het dalingsbekken van de Noordzee. Hierdoor zijn tijdens het Tertiair in Noord-Holland voornamelijk marine fijnkorrelige sedimenten afgezet. De Formatie van Oosterhout die in het jongste gedeelte van het Tertiair, het Laat-Plioceen, is afgezet, is hier het meest van belang omdat deze schelphoudende kleien de hydrologische basis vormen (Pomper, 1979; Westerhoff et al., 1987).

In het Vroeg-Pleistoceen verplaatste de kustlijn zich naar het westen waardoor geleidelijk meer kustnabije afzettingen zijn gevormd. Dit is de boven de Formatie van Oosterhout gelegen Formatie van Maassluis welke van Praetiglien en Tiglien ouderdom is (figuur 1). Deze marine afzetting is begonnen als ondiep marien en verloopt tot een deltaïsche afzetting naar boven toe. De afzetting bestaat hierdoor uit zandige kalkhoudende kleien en slibhoudende fijne zanden. Door de verdergaande westwaartse beweging van de kustlijn zijn gedurende de resterende tijd van het Vroeg-Pleistoceen continentale afzettingen gevormd. Dit zijn de afzettingen die behoren tot de Formatie van Harderwijk en Enschede. Het zijn rivierafzettingen die door de oostelijke rivieren zijn afgezet. Dit zijn de rivieren die afkomstig zijn uit Noord-Duitsland, het Baltische gebied en Polen. De Formatie van Harderwijk is opgebouwd uit kalkloze, grove, grindhoudende zanden welke grijswit tot wit van kleur zijn. Het onderste deel van de formatie bestaat uit een wat geringere korrelgrootte met kleiinschakelingen. Vermoedelijk is dit deel afgezet door meanderende rivieren die gedurende het tweede deel van het Tiglien voor konden komen gezien de gematigde klimaatomstandigheden (Westerhof et al., 1987). De boven de Formatie van Harderwijk gelegen Formatie van Enschede bestaat eveneens uit grove tot zeer grove zanden. Sterke wisselingen in korrelgrootte zijn karakteristiek voor deze afzetting.

Gedurende het Cromerien, Elstrien, Holsteinien en Vroeg-Salien zijn de Formaties van Urk en Sterksel afgezet. Dit pakket is grotendeels opgebouwd uit kalkrijke, matig grove tot grove grindhoudende zanden. Lokaal kunnen enkele fijnzandige inschakelingen voorkomen. De formaties zijn eveneens continentaal van aard, maar zijn in tegenstelling tot de twee eerder genoemde formaties afgezet door de Rijn en de Maas.

In het Laat-Saalien is er in Nederland landijsbedekking geweest. De hiermee samenhangende afzettingen worden gerekend tot de Formatie van Drente, welke complex van aard is. Tot de formatie behoren grondmorene, lacustroglaciale afzettingen en fluvioglaciale afzettingen. De grondmorene bestaan uit een mengsel van zand, leem en stenen in wisselende percentages. Lacustroglaciale afzettingen zijn voornamelijk gevormd in smeltwatermeren. Deze afzettingen kunnen hierdoor zowel klei als zand bevatten. De fluvioglaciale afzettingen zijn gevormd door stromend smeltwater. Hierdoor bestaan deze afzettingen doorgaans uit kalkhoudend, matig grof tot matig fijn zand.

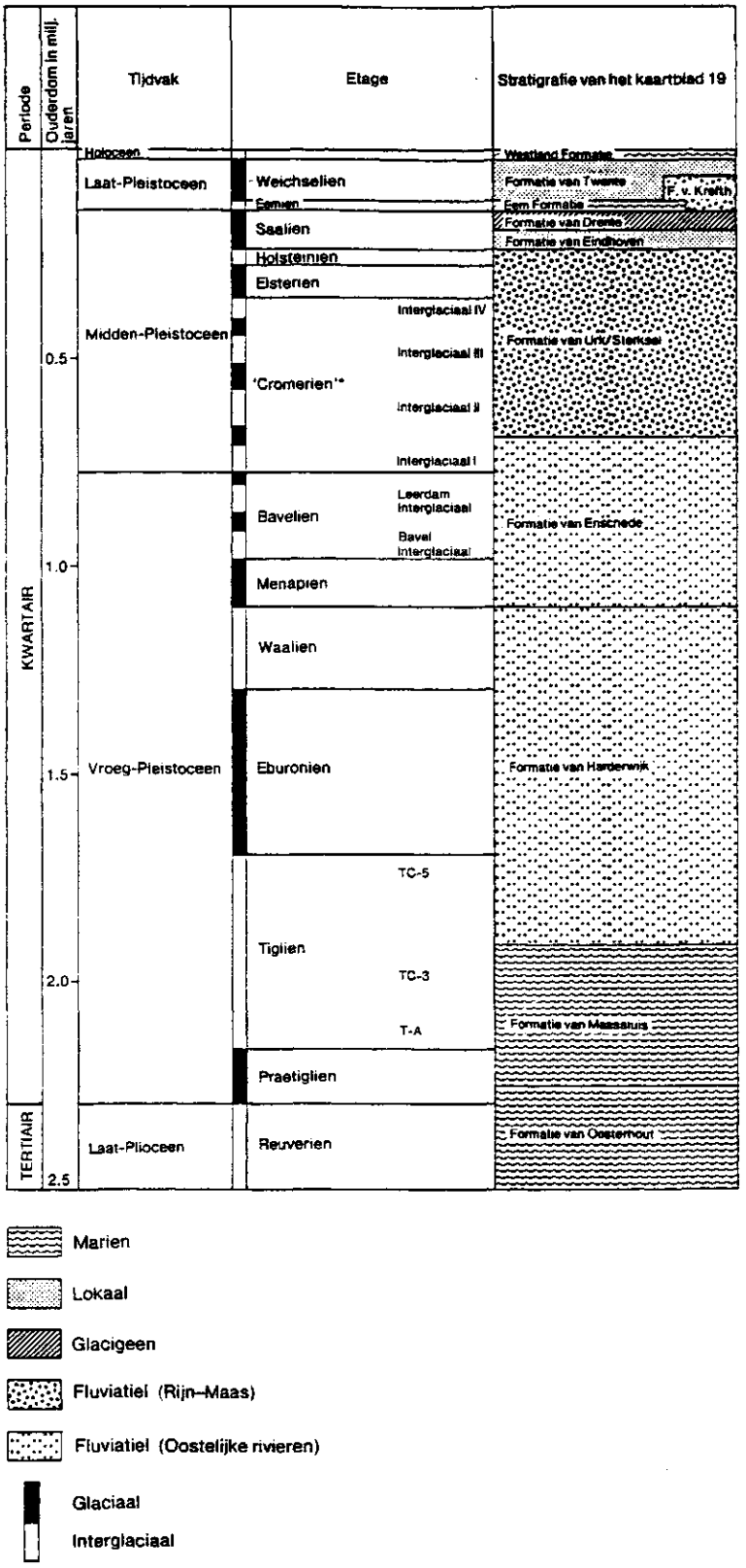


Fig. 1 Stratigrafische tabel van de kwartaire afzettingen in het gebied van de Beemster (Westerhoff et al., 1987)

Na de afsmelting van het landijs werden door de stijging van het zeeniveau wederom marine sedimenten afgezet tijdens het Eemien. Deze marine afzettingen behoren tot de Eem Formatie en bestaan uit schelphoudende zanden met lokale tussenschakelingen van klei. De zanden zijn over het algemeen matig tot zeer grof en kalkrijk. De kleilagen kunnen plaatselijk zeer dik zijn en liggen in de meeste gevallen direct op de Formatie van Drente.

Gedurende de ijstijd uit het Weichselien zijn tijdens periglaciale omstandigheden eolische zanden in het gebied afgezet. Dit dekzand is een goed gesorteerd fijn zand dat soms leemhoudend is. Naast de dekzanden behoren ook de fluvioperiglaciale afzettingen tot de Formatie van Twente. Vaak betreft het hier omgewerkte afzettingen van de Eem Formatie waardoor ze in de meeste gevallen tot de Eem Formatie worden gerekend.

2.2 Holoceen

Gedurende het Holoceen is in West-Nederland de Westland Formatie afgezet. De formatie bestaat uit een grote verscheidenheid aan lithologische eenheden die variëren van grof zand tot zware klei en veen. Alle tijdens het Holoceen gevormde marine-, kust-, lagunaire-, estuariene- en perimariene afzettingen worden gerekend tot de Westland Formatie (Westerhof et al., 1987).

De holocene afzettingen die in het gebied van de Beemster voorkomen zijn het basisveen, welke indien aanwezig de ondergrens van de Westland Formatie begrenst, en de afzettingen van Calais die bestaan uit klastische sedimenten uit lagunaire, estruariene en waddenmilieus die ouder zijn dan 3750 BP.

Het basisveen is een dunne veenlaag die in de meeste gevallen direct op de zandige ondergrond van de Formatie van Twente is afgezet en dateert uit het Preaboreaal en het Boreaal. Het basisveen gaat geleidelijk over in de kleiige laag van Velsen die behoort tot de afzettingen van Calais I. De laag van Velsen is afgezet in het Vroeg-Atlanticum en bestaat uit matig zware tot zware klei. In het Laat-Atlanticum wordt West-Nederland gekenmerkt door een kustzone die bestaat uit zandige platen die doorsneden zijn met geulen. Deze geulen hebben op veel plaatsen de eerder genoemde laag van Velsen en het Basisveen geërodeerd. Hierdoor komt de in het Laat-Atlanticum gevormde Beemster-afzetting op veel plaatsen in het gebied van de Beemster direct op de Pleistocene afzettingen voor (RGD, 1979a). De Beemster-afzettingen worden gerekend tot de afzettingen van Calais II-IV. Een sterk wisselende lithologische samenstelling die varieert van matig grof zand tot zware klei is kenmerkend voor deze afzetting. Over het algemeen worden de afzettingen naar boven toe fijnkorreliger, matig grove kleiarme zanden gaan naar boven toe over in kleihoudende zanden die op hun beurt over gaan in zware blauwgrijze klei aan de top. De Beemster-afzettingen zijn op grond van lithologische kenmerken onder te verdelen in twee eenheden:

- Zanden van Stompetoren: fijne tot matig grove (100-300 µm) zanden die plaatselijk sterk kleihoudend kunnen zijn.

- Beemster Klei: matig zware tot zware klei die over het algemeen het bovenste deelvan de Beemster afzettingen vormt.

De zanden van Stompetoren zijn sterk kalkhoudend en bevatten veel gruis van marine schelpen en zeeëgelstekels. De kleihoudende zeer fijne delen van deze zanden bevatten over het algemeen lutum. Ook komen er vaak inschakelingen van kleilaagjes in voor. De geulen die tijdens het Laat-Atlanticum tussen de zandplaten voorkwamen zijn in een later stadium vaak opgevuld met deze zanden van Stompetoren. Het onderste deel van deze geulopvullingen bestaat vaak uit een kleihoudende laag. Meestal is deze klei gelaagd met zand en schelpresten.

De Beemster klei bestaat uit een pakket lichte tot zware klei. De kleilaag is meestal gelaagd met fijn zand en silt, met uitzondering van het bovenste deel van de klei. In de meeste gevallen is er sprake van een toename van de fijne fractie naar boven toe. De Beemster klei gaat meestal via een met zand en klei gelaagd traject geleidelijk over in de er onder gelegen zanden van Stompetoren.

Jongere afzettingen die behoren tot de Westland Formatie komen in de Beemster niet voor en worden hierom niet besproken.

3 Geohydrologie

De hydrologische karakteristieken van een gebied worden in belangrijke mate bepaald door de afzettingen in de ondergrond (hoofdstuk 2) en hun lithologische samenstelling en ontstaanswijze. In de Beemster zijn tussen het afdekkende pakket en de hydrologische basis vier watervoerende pakketten te onderscheiden en kunnen drie scheidende lagen voorkomen (tabel 1).

Tabel 1 Schematische weergave van de stratigrafie en hydrogeologische indeling van de kwartaire afzettingen (naar Westerhoff et al., 1987)

Lithostratigrafie	*Chronologie*	*Milieu van afzetting*	*Textuur*	*Hydrologische Betekenis*
Westland Formatie	Holoceen	marien	kleirijk	afdekkend pakket *c* 5000-10000 dagen
Formatie van Twente	Weichselien	periglaciaal	fijn zand	
Formatie van Kreftenheye	Vroeg-Weichselien Laat-Saalien	fluviatiel	grof zand en grind	1e watervoeren pakket *kD* 100-1000 $m^2\ d^{-1}$
Eem Formatie	Eemien	marien	klei en zand	
Formatie van Drente	Saalien	glaciaal	(Kei)leem en grof zand	1e scheidende laag *c* 0-1000 dagen
Formatie van Urk/Sterksel	Holsteinien Elsterien Cromerien Menapien	fluviatiel	fijne en grove zanden	2e watervoerend pakket *kD* 2000-3000 $m^2\ d^{-1}$
Formatie van Enschede	Cromerien Menapien	fluviatiel	grof zand en grind, aan basis lokaal klei	---------- 2e scheidende laag *c* 0-1000 dagen
Formatie van Harderwijk	Waalien Eburonien Tiglien	fluviatiel	fijn en grof zand, onderin met kleilagen	3e watervoerend pakket *kD* 4000-10000 $m^2\ d^{-1}$ ---------- 3e scheidende laag *c* ? dagen
Formatie van Maasluis	Tiglien Praetglien	marien	bovenkant kleirijk, fijn zand en zandige klei	4e watervoerend pakket *kD* 600 $m^2\ d^{-1}$
Formatie van Oosterhout	Plioceen	marien	kleirijk	hydrologische basis

c = Hydraulische weerstand
kD = Doorlaatvermogen

Aan de bovenkant van het hydrologisch pakket bevindt zich het afdekkende pakket dat de waterbewegingen in de ondergrond en aan het maaiveld in meer of mindere mate van elkaar scheidt. In het gebied van de Beemster wordt dit afdekkend pakket gevormd door de holocene Westland Formatie, welke bestaat uit kleien, veen en slibhoudende zanden. Deze marine afzettingen geven een hoge weerstand die in de Beemster tussen de 5000 tot 10000 dagen ligt (Werkgroep Noord-Holland, 1982; Prov. gwp, 1986).

Het eerste watervoerend pakket bestaat uit materiaal van de Formaties van Twente, Kreftenheye en de Eem Formatie. De doorlatendheid van het eerste watervoerend pakket is over het algemeen niet hoog en varieert tussen de 200 en 1000 m^2 d^{-1} (Werkgroep Noord-Holland, 1982; Westerhoff et al., 1987). In het gebied van de Beemster wordt de eerste scheidende laag gevormd door de Formatie van Drente. De klei van de marine Eem-afzettingen is in de Beemster vrijwel geheel afwezig (RGD, 1979b). Op enkele plaatsen kan ook de Formatie van Drente ontbreken zodat in die gebieden de eerste scheidende laag in zijn geheel ontbreekt (Werkgroep Noord-Holland, 1982; Prov. gwp, 1986; RGD, 1987b). De *c*-waarde van de eerste scheidende laag kan hierdoor in de Beemster variëren van 0 tot 1000 dagen (Werkgroep Noord-Holland, 1982).

Het tweede watervoerende pakket wordt gevormd door de zandige afzettingen van de Formaties van Urk, Sterksel en Enschede. Ook fluvioglaciale zanden die behoren tot de Formatie van Drente, kunnen deel uitmaken van het tweede watervoerend pakket. De gemiddelde doorlatendheid wordt gesteld op ongeveer 20 m d^{-1}. Daarentegen kunnen ook doorlatendheden van 40 m d^{-1} voorkomen. Op grond van de gemiddelde doorlaatfactor zal het doorlaatvermogen (*kD*-waarde) van het tweede watervoerend pakket variëren van 1000 tot 3600 m^2 d^{-1} (Westerhoff et al., 1987). In het gebied van de Beemster ligt het doorlaatvermogen tussen de 2000-3000 m^2 d^{-1} (Werkgroep Noord-Holland, 1982). De tweede scheidende laag bestaat uit kleiige afzettingen die aan de basis van de Formatie van Enschede voor kunnen komen. Over het algemeen is de laterale verbreiding gering, in de Beemster bestaat hierom ook twijfel over de verbreiding van de tweede scheidende laag. In de boringen die door het toenmalige ICW zijn uitgevoerd in de Beemster is de kleiige afzetting van de Formatie van Enschede niet of nauwelijks aangetroffen. Gezien de geringe verbreiding en geringe dikte van deze klei pakketten is een *c*-waarde van 0-1000 aangehouden (Werkgroep Noord-Holland, 1982).

Het derde watervoerend pakket bestaat uit de Formatie van Harderwijk. Het bovenste jongste deel van de Formatie van Harderwijk bestaat uit grovere zanden die een hogere doorlatendheid hebben dan het er onder gelegen oude gedeelte van de Formatie van Harderwijk. De doorlaatfactoren variëren respectievelijk van omstreeks 100 tot 20-40 m d^{-1}. Als gevolg van de grote dikte (100-160 m) is het totale doorlaatvermogen zeer hoog, en kan variëren van 4000-10000 m^2 d^{-1} (Werkgroep Noord-Holland, 1982; Westerhoff et al., 1987). Aan de basis van de Formatie van Harderwijk kan een kleilaag voorkomen van Tiglien ouderdom die gerekend wordt tot de derde scheidende laag. Gezien het geringe aantal boringen en de onzekerheid over de verbreiding van deze kleilaag, kunnen geen uitspraken worden gedaan over de geohydrologische eigenschappen van deze laag.

Onder de Formatie van Harderwijk bevindt zich de Formatie van Maasluis. Deze formatie wordt gerekend tot het vierde watervoerend pakket dat met een doorlatendheid van 5 à 7 meter per dag en een dikte van ongeveer 100 meter, een doorlaatvermogen (*kD*-waarde) heeft van rond de 600 $m^2 d^{-1}$ (Pomper, 1979; Werkgroep Noord-Holland, 1982; Westerhof et al., 1987). Het hydrologisch profiel wordt aan de onderkant begrensd door de hydrologische basis van de Formatie van Oosterhout.

De regionale stroming van het grondwater in de diepere watervoerende pakketten is zodanig dat de Beemster ongeveer in het centrum van een kom ligt waarnaar het water toestroomd. Vanaf het IJselmeer, Markermeer en de zee is de stroming gericht naar de Beemster. Hier zijn dan ook de laagste stijghoogten te vinden (Werkgroep Noord-Holland, 1982).

4 Modellering

4.1 Modelopzet

Naar verwachting zal het afdichten van de gasbronnen in en rond de Beemster tot gevolg hebben dat de stijghoogten in de watervoerende pakketten zullen toenemen. De huidige situatie van de Beemster met de lage drukhoogten, hetgeen een komvormige toestroming van water tot gevolg heeft, zal hierdoor enigszins veranderen. Het toenemen van de drukhoogte zal de natuurlijke kwel in vertikale richting naar het freatische pakket doen toenemen. Daarnaast zal de toename van de drukhoogte de komvorm iets afvlakken waardoor het verhang dat in de stijghoogten aanwezig is zal afnemen (figuur 2).

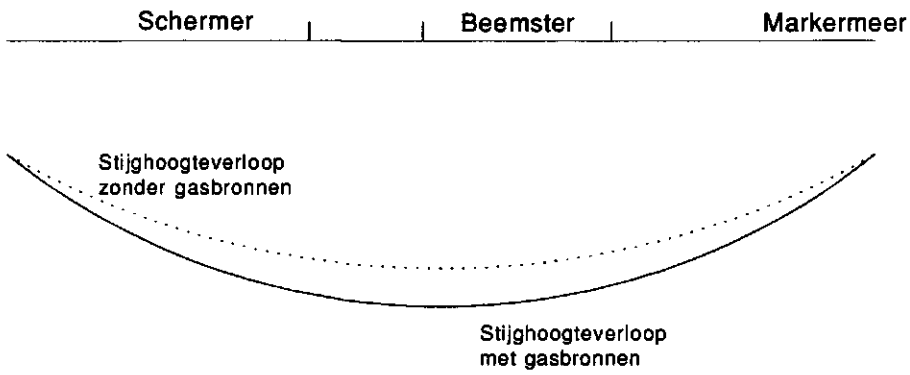


Fig. 2 Schematische weergave van het stijghoogteverloop in een dwarsdoorsnede

De gevolgen van een toename van de stijghoogten kunnen aan de hand van de wet van Darcy worden verklaard. Deze luidt als volgt:

$$Q = k\ i\ A \tag{1}$$

waarin:

Q : debiet ($m^3\ d^{-1}$)
k : doorlatendheid ($m\ d^{-1}$)
i : hydraulisch verhang (-)
A : oppervlakte (m^2)

Bij een afname van het stijghoogteverschil zal het hydraulisch verhang (i) afnemen. Volgens de wet van Darcy zal hierdoor ook de stroming afnemen, waardoor uiteindelijk de natuurlijke kwel wel zal vermeerderen als gevolg van een grotere drukhoogte en gelijk blijvende freatische grondwaterstand, maar de toename van de kwel zal altijd minder zijn dan de huidige gasbron onttrekkingen doordat minder toestroming plaats zal vinden.

Door de sluiting van gasbronnen in het verleden zijn de stijghoogten in de watervoerende pakketten gestegen. In een onderzoek van Rijkswaterstaat naar het geohydrologisch meetnet in het Noord-Hollandse randgebied van de Markerwaard in de periode 1948-1986 is reeds een verhoging van de stijghoogten waargenomen. Het sluiten van gasbronnen wordt als verklaring gezien voor de toename van de stijghoogten (Van Manen, 1990). Indien gekeken wordt naar de periode 1980-1995 is eveneens een toename in de stijghoogten waar te nemen voor peilbuizen op verschillende diepten (figuur 3). In figuur 4 is het voortschrijdend gemiddelde over een jaar en het aantal gasbronnen per jaar weergegeven. In deze figuur is duidelijk te zien dat er een verband bestaat tussen het aantal gasbronnen en de stijghoogte in het watervoerende paket. De afname van het aantal gasbronnen is na 1977 veroorzaakt door een heffing naar zoutgehalte. In 1991 zijn plannen geïntroduceerd om gasbronnen te heffen aan de hand van het aantal geloosde vervuilingseenheden. Hierdoor is het aantal gasbronnen na 1991 sterk gedaald. Dit tijdstip komt ongeveer overeen met een toename van de stijghoogte in het watervoerend pakket.

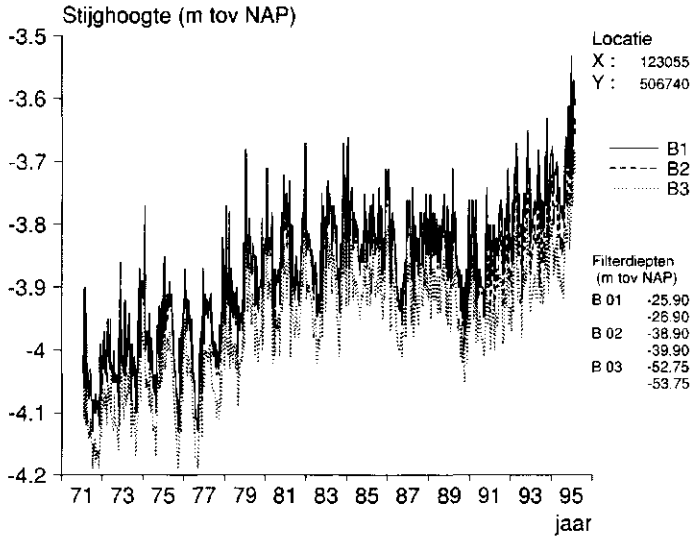


Fig. 3 Stijghoogteverloop voor een willekeurig meetpunt in de Beemster

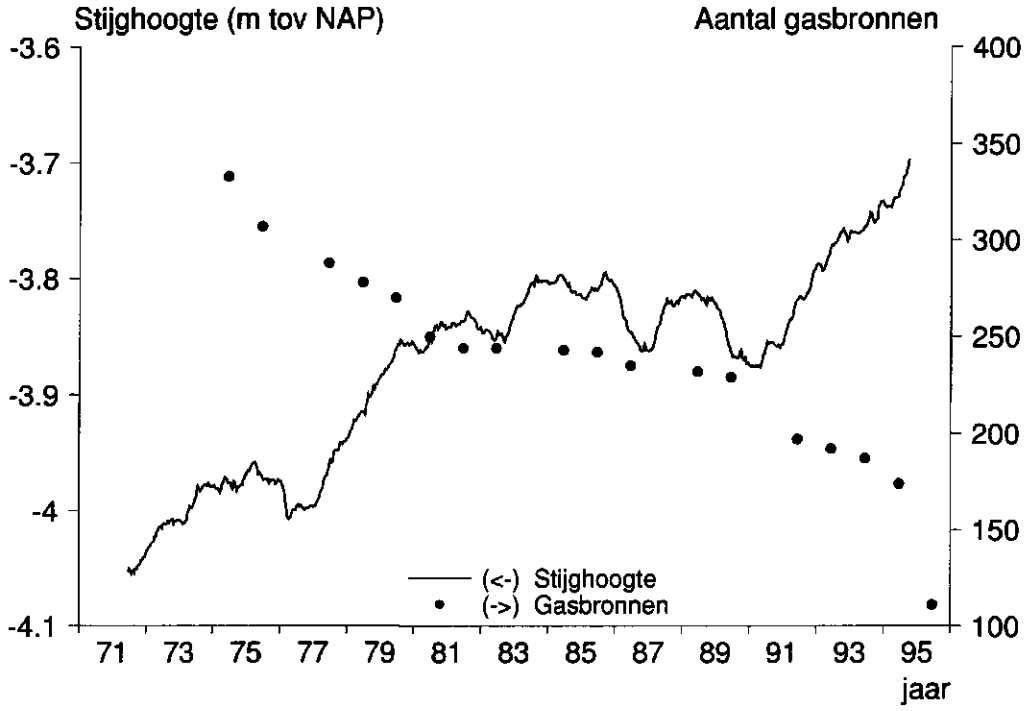


Fig. 4 Voortschrijdend gemiddelde over 365 dagen (buis 19GP0207) en het aantal gasbronnen in de Beemster

Om deze redenering te onderbouwen en om inzicht te verkrijgen in de kwantiteit van grondwaterstromingen als gevolg van het afdichten van gasbronnen in de Beemster is een model opgezet. Voor het modelleren is gebruik gemaakt van het programma Microfem (Hemker en Van Elburg, 1990). Bij de modelopzet en de berekeningen is alleen gekeken naar de gasbronnen in de Beemster om randeffecten zoveel mogelijk te elimineren. Het modelgebied omvat de Beemster en haar omringende polders (figuur 5). Aan de oostkant van het modelgebied wordt de rand gevormd door het Markermeer. Bij de modellering is om praktische redenen geen rekening gehouden met de verschillende zoutconcentraties in het grondwater. Tevens is gebruik gemaakt van het superpositiebeginsel.

Het modelonderzoek kan worden geformuleerd aan de hand van de volgende hypothese:

> *Het saneren van gasbronnen zal tot gevolg hebben dat totaal gezien minder water in en rond de Beemster vanuit het grondwater in het oppervlaktewater terecht komt, dan in de situatie met gasbronnen.*

Geohydrologisch is het model opgebouwd uit 4 hydrologische pakketten die ieder bestaan uit een weerstandbiedende laag met een daaronder gelegen watervoerend pakket. De hydrologische basis wordt gevormd door de Formatie van Oosterhout. In tabel 1 zijn de desbetreffende geohydrologische lagen weergegeven. Voor iedere polder zijn andere waarden voor de geohydrologische parameters ingevoerd (aanhangsel 1). De waarde voor de weerstand van de vierde scheidende laag, met als waarde 100 dagen,

is voor het gehele modelgebied gelijk genomen. Het doorlaatvermogen van het vierde watervoerend pakket is eveneens over het modelgebied constant verondersteld. Voor deze waarde is 600 m^2 d^{-1} gebruikt (Werkgroep Noord-Holland, 1982).

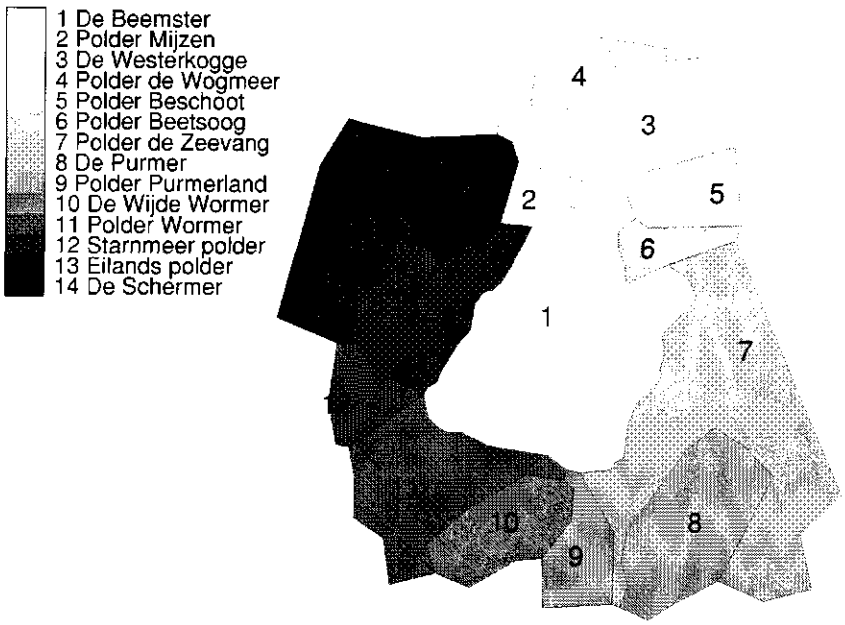


Fig. 5 Deelgebieden van het modelgebied

De waarden voor het doorlaatvermogen van het tweede en derde watervoerend pakket zijn als functies in het model ingevoerd (aanhangsel 1). Voor de bepaling van de functies zijn contourlijnen voor het doorlaatvermogen gebruikt (bron: Werkgroep Noord-Holland, 1982). Met behulp van de 'Trend Surface' methode is een relatie vastgesteld tussen de ligging van iso-punten en het doorlaatvermogen van de desbetreffende laag. Met behulp van het programma Femgrid is het netwerk vervaardigd (figuur 6).

De modelberekeningen zijn indicatief van aard en geven hierdoor de orde van grootte aan van de gevolgen van het afdichten van de gasbronnen. Bij de modelberekeningen is verondersteld dat de gebruikte geohydrologische parameters voldoende bekend zijn. Calibratie van het model is hierom minder noodzakelijk maar bleek ook niet mogelijk gezien de dichtheidsverschillen van water als gevolg van verschillende zoutconcentraties. Deze dichtheidsverschillen kunnen niet eenvoudig in het model Microfem meegenomen worden, maar zijn wel van groot belang bij bepalingen van de horizontale en verticale grondwaterstroming indien de hydrologische situatie wordt gesimuleerd. Voor het doel van het onderzoek, waarbij gekeken is naar de effecten van het saneren van de gasbronnen, zijn deze dichtheidsverschillen echter niet van belang omdat bij de modellering gebruik is gemaakt van het superpositie beginsel. Hierdoor kunnen alleen de gevolgen van het al dan niet aanwezig zijn van gasbronnen doorgerekend worden. De met het model berekende stijghoogteverschillen kunnen gesuperponeerd worden op de werkelijke situatie.

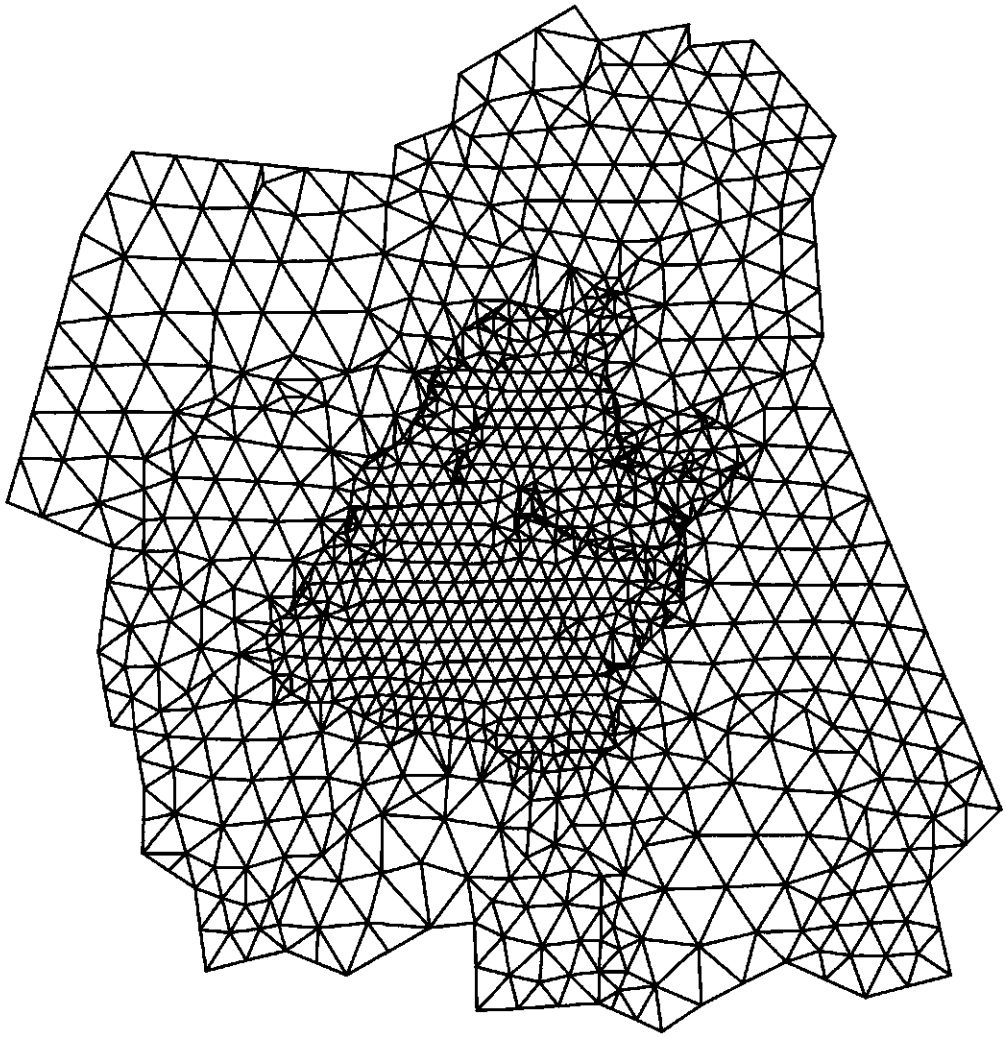


Fig. 6 Netwerk van het modelgebied rondom de Beemster

Om meer inzicht te verkrijgen in de nauwkeurigheid van het model is wel een gevoeligheidsanalyse uitgevoerd. Hierdoor is calibratie van het model eveneens minder noodzakelijk omdat een indicatie wordt gegeven voor de betrouwbaarheid van het model voor de verschillende hydrologische parameters.

4.2 Modellering en modeluitkomsten

Voor de modellering van het gebied is primair gekeken naar de effecten van de gasbronnen in de Beemster. Alvorens te modelleren zijn vanwege het superpositie beginsel alle stijghoogten in de vier watervoerende pakketten op nul gesteld. Voor de randen van het gebied is uitgegaan van vaste stijghoogten die eveneens nul bedragen. De gasbrononttrekkingen zijn allen geplaatst in het eerste watervoerende pakket dat

zich van ongeveer 20 tot 50 m beneden maaiveld bevindt. In totaal zijn 195 gasbronnen gemodelleerd. Voor de locatie van de gasbronnen is uitgegaan van de werkelijke locaties. Voor de onttrekking van de gasbronnen is echter de gemiddelde onttrekking genomen, welke is toegekend aan alle gasbronnen. Voor de onttrekking per gasbron is 90 m^3 dag^{-1} genomen. Dit komt overeen met een totale onttrekking van 17550 m^3 dag^{-1} in de Beemster. Omgeslagen over het oppervlak bedraagt deze onttrekking 0,24 mm dag^{-1}. Deze onttrekkingshoeveelheid komt overeen met de onttrekking die rond 1980 plaatsvond (Werkgroep Noord-Holland, 1982). Aangezien voor deze periode ook gedetailleerde waterbalansgegevens en natuurlijke kwel-/wegzijgingsgegevens bekend zijn, is voor het doorrekenen van de situatie deze periode gekozen. De modeluitkomsten kunnen zodoende gemakkelijk worden vergeleken met de zojuist genoemde gegevens.

Door uit te gaan van een nul situatie (die overeenkomt met het op nul stellen van de alle stijghoogten en alle fluxen) met onttrekkingen geeft het model, na stationair doorrekenen, uitkomsten die overeenkomen met de effecten van de gasbron onttrekkingen.

In aanhangsel 2 zijn de verhogingen van de grondwaterstand als gevolg van het saneren van gasbronnen weergegeven. In de figuren is duidelijk te zien dat in het eerste watervoerende pakket de meeste verhoging plaatsvindt. Dit is ook te verwachten omdat de gasbronnen alle gesitueerd zijn in het eerste watervoerende pakket. Het doorlaatvermogen van het eerste watervoerende pakket speelt hierbij echter ook een grote rol. Het geringe doorlaatvermogen zorgt ervoor dat in het eerste watervoerende pakket een veel groter verhang van de stijghoogten kan ontstaan dan in de eronder gelegen watervoerende pakketten, die een veel groter doorlaatvermogen hebben. Hierdoor zijn ook de verhogingen in de dieper gelegen watervoerende pakketten gering. Indien de gasbronnen gesloten worden, zullen de berekende verhogingen tot uiting komen als verhoging van de actuele stijghoogten. In geval van sluiting kunnen deze waarden dan ook gesuperponeerd worden op de al aanwezige stijghoogten.

Uit de waterbalans kan geconcludeerd worden wat de toename van de kwel, op plaatsen waar kwel aanwezig is, zal zijn indien de gasbronnen gesloten worden. In die gebieden waar momenteel wegzijging plaatsvindt zal de wegzijging afnemen (figuur 7).

In figuur 7 is duidelijk te zien dat in de Beemster de grootste veranderingen optreden. Ook is te concluderen dat de veranderingen in de waterbalans, als gevolg van het afdichten van gasbronnen in de Beemster, afnemen naarmate de deelgebieden verder van de Beemster verwijderd zijn. Er zijn echter enkele uitzonderingen waar te nemen. Deze uitzonderingen komen tot stand door verschillen in de hydrologische weerstand van het afdekkende pakket (figuur 8). Gebieden met een lagere weerstand vertonen een grotere verandering.

In tabel 2 zijn de effecten van de gasbronnen op de waterbalansen van de Beemster en het gehele gebied weergegeven voor de desbetreffende aquifers. In de tabel is duidelijk te zien dat het grootste deel van het water, dat onttrokken wordt aan het eerste watervoerende pakket, afkomstig is uit het tweede en derde watervoerende pakket. Dit valt te verklaren aan de hand van het doorlaatvermogen van de desbetreffende pakketten. Het doorlaatvermogen van het tweede en derde watervoerende pakket is veel hoger dan dat van het eerste watervoerende pakket, waardoor deze twee pakketten veel meer water kunnen leveren.

Fig. 7 Toename in de kwel cq afname in wegzijging ten gevolge van het afsluiten van de bronnen binnen de Beemster (mm dag^{-1})

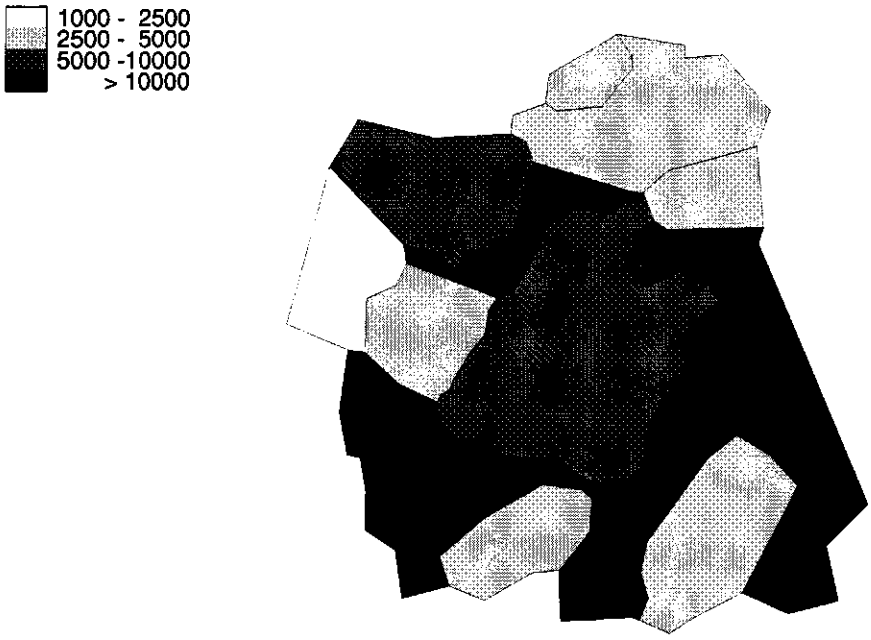


Fig. 8 Weerstand (c in dagen) van het afdekkende pakket

Tabel 2 Toe en afstroming (Q) voor de beemster en het modelgebied voor de desbetreffende aquifers.

	Beemster		Modelgebied	
	(m^3 d^{-1})	(mm d^{-1})	(m^3 d^{-1})	(mm d^{-1})
Eerste watervoerend pakket	-2385	-0,036	-4792	-0,013
Tweede watervoerend pakket	11084	0,166	12271	0,033
Derde watervoerend pakket	6677	0,100	9158	0,025
Vierde watervoerend pakket	289	0,004	259	0,001

Daarnaast is de weerstand van de scheidende lagen tussen de watervoerende pakketten gering waardoor er ook relatief gemakkelijk water van het tweede en derde watervoerende pakket naar het eerste watervoerende pakket stroomt. De weerstand van het afdekkende pakket is namelijk hoog ten opzichte van de scheidende lagen.

De verandering van de waterbalans voor het totale gebied bedraagt ca. 4800 m^3 dag^{-1}. Dit komt overeen met de hoeveelheid water die na afdichting van de gasbronnen als extra natuurlijke kwel naar boven zal stromen door de deklaag. Ten opzichte van het totale gasbrondebiet van 17550 m^3 dag^{-1} in het model komt dit overeen met 27%. Indien het brondebiet verandert blijft het percentage van 27 ongeveer gelijk. Veranderingen in het brondebiet met een factor vier geven een verandering in het percentage van maximaal 5%. Het afdichten van de bronnen zal derhalve tot gevolg hebben dat ongeveer 27% van het totale brondebiet via een natuurlijke weg in het modelgebied zal komen. Deze natuurlijke weg is op te splitsen in twee delen. Enerzijds zal de natuurlijke kwel toenemen in gebieden waar momenteel kwel plaatsvindt. Gedurende de zomer zal de diffuse kwel niet in het oppervlaktewater terecht komen maar direct door gewassen worden opgenomen en verdampen. Alleen lokaal zal in de zomerperiode kwel in het oppervlaktewater terechtkomen als gevolg van zwakke plekken in het afdekkende pakket. Hierdoor vindt een nog hogere reductie van de emissie plaats. Anderzijds zal in de gebieden waar momenteel wegzijging plaatsvindt de wegzijging afnemen als gevolg van de toenemende drukhoogte in het eerste watervoerend pakket na afdichting van de gasbronnen. De afname van de wegzijging betekent wel een toename van de af te voeren hoeveelheid drainagewater. Dit extra af te voeren water is echter wel van een betere kwaliteit dan het gasbronwater.

De toename van de kwel zal voornamelijk plaatsvinden op plaatsen waar het afdekkende pakket relatief zwak is. Dit zijn voornamelijk de plaatsen waar nu ook de meeste kwel optreedt en de plaatsen waar natuurlijke bronnen voorkomen. Indien veel zwakke plekken op één locatie in het afdekkende pakket voorkomen zal de toename van de kwel hier hoger kunnen uitvallen dan de berekeningen weergeven doordat een toename van de drukhoogte extra effect heeft op plaatsen waar de weerstand van het afdekkende pakket lager is. Gemiddeld genomen zal de toename van de kwel ongeveer overeenkomen met de berekeningen doordat bij de berekeningen gebruik is gemaakt van de samengestelde weerstand.

De kwaliteit van dit extra af te voeren kwelwater is moeilijk te bepalen omdat er geen gegevens bekend zijn over de kwaliteit van het kwelwater. De hoeveelheid stikstof in het kwelwater zal waarschijnlijk lager zijn dan in het bronwater. Door de lange verblijftijd van het water in het afdekkende pakket kan omzetting van stikstof

plaatsvinden waardoor het stikstofgehalte afneemt. Het voorkomen van veenlagen in het afdekkende pakket kan het stikstofgehalte echter weer doen toenemen. Het stikstofgehalte in het kwelwater zal dus mede afhankelijk zijn van het voorkomen en het gedrag van veenlagen. De hoeveelheid fosfor zal normaal gesproken ook afnemen door een lange verblijftijd in een kleilaag. Klei kan veel fosfaat binden. In het gebied rond de Beemster is de kleilaag van het afdekkende pakket echter een marine afzetting waarin van nature al veel fosfaat voorkomt. Hierdoor is het moeilijk vast te stellen of het fosfaatgehalte toe of afneemt.

4.3 Gevoeligheidsanalyse

Om inzicht te krijgen in de betrouwbaarheid van de modeluitkomsten is een gevoeligheidsanalyse uitgevoerd. Bij de gevoeligheidsanalyse is bekeken in hoeverre de gebruikte hydrologische parameters invloed hebben op de modeluitkomsten. De gevoeligheidsanalyse is uitgevoerd voor de waterbalans van het totale gebied en de waterbalans van de Beemster.

Voor de gevoeligheidsanalyse zijn alle geohydrologische parameters vermenigvuldigd en gedeeld door de factoren 1,25, 1,5 en 2. In figuur 9 en 10 zijn de belangrijkste uitkomsten weergegeven.

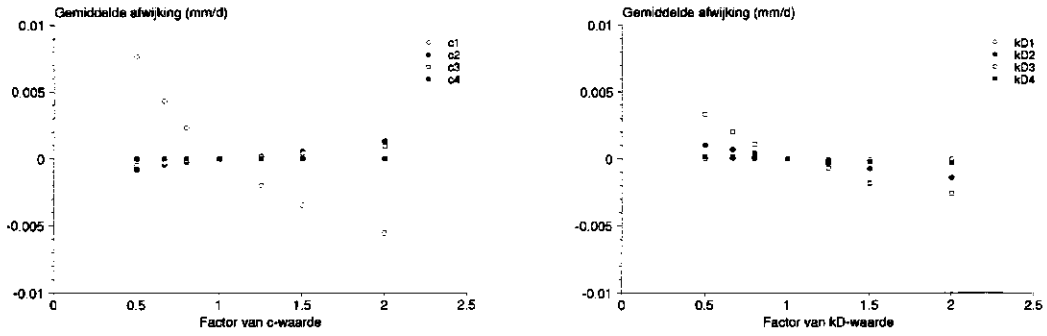


Fig. 9 Gevoeligheid van de geohydrologische parameters op de waterbalans van het gehele modelgebied

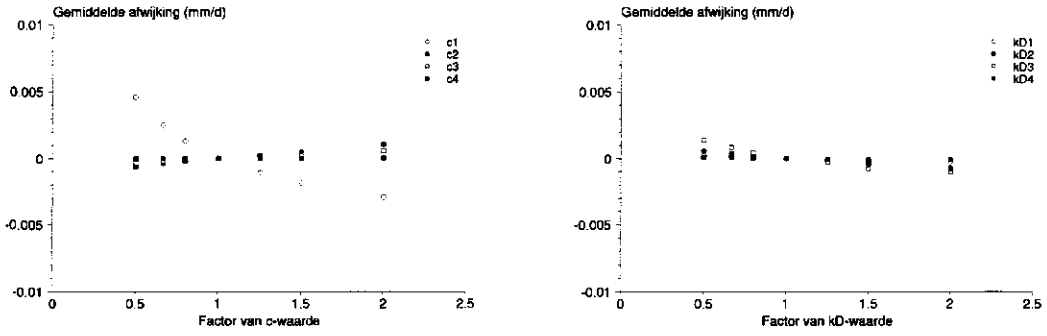


Fig. 10 Gevoeligheid van de geohydrologische parameters op de waterbalans van de Beemster

In deze figuren is de vermenigvuldigingsfactor uitgezet tegen de verandering in de waterbalans in de top van het hydrologische systeem. Dit komt overeen met de in paragraaf 4.2 berekende toename van de natuurlijke kwel. Uit de figuren blijkt dat het doorlaatvermogen (figuur 9, 10 rechts) zeer weinig invloed heeft op de modeluitkomsten. Het doorlaatvermogen van het tweede watervoerende pakket (derde modelpakket = *kD*3) heeft nog de grootste invloed op de waterbalansen. Een verandering van de *kD*-waarde met een factor 2 geeft echter nog maar een verandering van maximaal 0,003 mm dag^{-1} op de waterbalans. In de figuren is eveneens te zien dat de weerstand van het afdekkende pakket (*c*1) de grootste invloed heeft op de modeluitkomsten van de waterbalansen (figuur 9, 10 links). Bij halvering van de weerstand van het afdekkende pakket wordt het grootste verschil voor de modeluitkomsten verkregen. Voor het totale modelgebied heeft een halvering van de weerstand van het afdekkende pakket een verandering van de waterbalans van 0,0075 mm dag^{-1} tot gevolg. Voor de waterbalans van de Beemster geeft dezelfde verandering van de weerstand van het afdekkende pakket een verhoging in de waterbalans van ongeveer 0,0045 mm dag^{-1}.

Als uitgegaan wordt van de modelberekeningen waarbij een extra natuurlijke kwel van 0,013 en 0,036 mm dag^{-1} voor respectievelijk het gehele modelgebied en de Beemster is berekend (zie paragraaf 4.2), kan gesteld worden dat de *c*-waarde van het afdekkende pakket de grootste invloed heeft op het gehele modelgebied. Indien bijvoorbeeld uitgegaan wordt van een halvering van de weerstand, wordt deze waterbalansterm voor het gehele modelgebied verhoogd met meer dan 50%. Indien uitgegaan wordt van deze verhoging van de natuurlijke kwel bij sanering van de gasbronnen komt ongeveer 44% van het gesaneerde gasbronwater als extra natuurlijke kwel in het oppervlaktewater terecht in plaats van de 27%, waarbij het model is opgesteld conform het Noord-Holland onderzoek (Werkgroep Noord-Holland, 1982). Hieruit blijkt dat kleine onnauwkeurigheden in de gebruikte geohydrologische parameters geen grote veranderingen in de uitkomsten van het model tot gevolg zullen hebben. Bij de gevoeligheidsanalyse zijn de veranderingen van de geohydrologische parameters doorgevoerd door over het gehele modelgebied de parameters (*c* en *kD*) te verhogen of te verlagen. In de praktijk zullen eventuele inschattingsfouten van hydrologische parameters echter niet voor een geheel modelgebied opgaan.

5 Balansen

5.1 Berekeningsmethode

Voor de jaren 1991 en 1994 zijn water- en stoffenbalansen opgesteld voor de Beemster. Dit zijn twee jaren met de meest recente gegevens van waterkwantiteit en -kwaliteit van de gasbronnen. De waterkwaliteit gegevens zijn afkomstig van het Hoogheemraadschap van Uitwaterende Sluizen in Hollands Noorderkwartier. De waterkwantiteit gegevens zijn afkomstig van het Waterschap de Waterlanden, het Hoogheemraadschap en het KNMI. Bij de berekening van de waterbalans is de ingelaten hoeveelheid water als restpost beschouwd omdat gegevens hierover ontbreken. Bij de balansberekening wordt hierdoor een extra fout geïntroduceerd. Om de betrouwbaarheid van de balansberekeningen weer te kunnen geven is naast het opstellen van de balansen een foutenanalyse uitgevoerd door rekening te houden met de foutvoortplanting bij berekeningen (aanhangsel 3). Om deze berekeningen uit te kunnen voeren is voor iedere post in de balans een procentuele fout geschat.

De inlaat van de waterbalans is als restpost berekend met behulp van de volgende formule:

$$I = N + K + Qg + Qi - ETref - Quit \qquad (2)$$

waarin:

I : inlaat (mm j^{-1})
N : neerslag (mm j^{-1})
K : kwel (mm j^{-1})
Qg : gasbron (mm j^{-1})
Qi : industrie (mm j^{-1})
$ETref$: referentie gewasverdamping volgens Makkink (mm j^{-1})
$Quit$: uitgemalen (mm j^{-1})

Voor de berekening van de stoffenbalansen is het debiet vermenigvuldigd met de concentratie van de stof om de vrachten te berekenen. De berekening van de fouten is weergegeven in aanhangsel 3.

5.2 Waterbalans

Voor de Beemster is een waterbalans opgesteld voor de jaren 1991 en 1994. De waterbalans is opgesteld om berekeningen van de nutriëntenbalans mogelijk te maken. Voor de neerslag is uitgegaan van het gemiddelde van de KNMI-stations West-Beemster en Purmerend. Voor de verdamping zijn de gegevens van de referentie-gewasverdamping volgens Makkink van het station De Kooy aanghouden. De verdampingsgegevens zijn voor het percentage open water gecorrigeerd met de openwaterverdamping.

De polder de Beemster wordt bemalen door twee gemalen die beide op de Beemster Ringvaart afwateren. In het oosten is dit het gemaal Jacobus Bouman en in het westen gemaal Wouter Sluis. De maandelijkse afvoergegevens van de gemalen zijn afkomstig van het Waterschap de Waterlanden. De inlaat van water vindt plaats op 16 inlaatpunten die verspreid rondom de polder aanwezig zijn. De overige waterbalansposten zijn de kwel, welke op 0.088 mm per dag is gesteld (Werkgroep Noord-Holland, 1982), en het gasbrondebiet, waarvan de gegevens van het Hoogheemraadschap van Uitwaterende Sluizen in Hollands Noorderkwartier afkomstig zijn. In tabel 3 en figuur 11 worden de waterbalansen voor de jaren 1991 en 1994 weergegeven. Bij de waterbalans is de hoeveelheid ingelaten water door het ontbreken van gegevens als restpost berekend.

De neerslag is bij de eerdergenoemde KNMI-stations gemeten met de standaard regenmeteropstelling. Hierbij wordt gemiddeld over het jaar een systematische afwijking van -5% gemaakt t.g.v. windinvloeden (Warmerdam, 1981). Voor de waterbalans is daarom een correctie van +5% uitgevoerd voor de neerslag.

Tabel 3 Waterbalans van de Beemster voor 1991 en 1994 (in mm j^{-1} en percentage)

	1991				1994			
	debiet *Q*		fout		debiet *Q*		fout	
	(mm j^{-1})	(%)	(mm j^{-1})	(%)	(mm j^{-1})	(%)	(mm j^{-1})	(%)
IN								
Neerslag	692	71	± 35	± 5	1143	84	± 57	± 5
Kwel	32	3	± 16	± 50	32	2	± 16	± 50
Gasbronnen	76	8	± 15	± 20	66	5	± 7	± 10
Industrie	2	0	± 0	± 10	2	0	± 0	± 10
Inlaat (rest)	178	18	± 81	± 46	113	9	± 114	± 100
Totaal	980	100			1356	100		
UIT								
Uitgemalen	404	41	± 40	± 10	771	57	± 77	± 10
Verdamping	576	59	± 58	± 10	585	43	± 59	± 10
Totaal	980	100			1356	100		

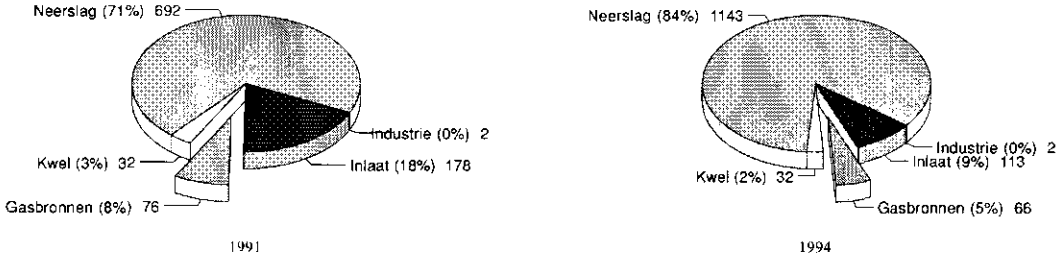


Fig. 11 Waterbalans van de Beemster voor 1991 en 1994 (mm en percentage)

Voor iedere waterbalanspost zijn tevens de verwachte fouten weergegeven. Voor de bekende balansposten zijn de procentuele afwijkingen geschat. De procentuele fout van het gasbrondebiet is verschillend voor beide balansjaren. In 1991 is het gasbrondebiet minder nauwkeurig bemeten waardoor de procentuele fout op 20% is gesteld. De fout is in 1994 op 10% gesteld omdat het debiet nauwkeuriger is gemeten. De restpost in de balans is de ingelaten hoeveelheid water (tabel 3). Voornamelijk in 1994 is de procentuele fout van de ingelaten hoeveelheid water zeer hoog. Dit komt door de geringe hoeveelheid ingelaten water ten opzichte van de totale waterbalans.

5.3 Chloride en nutriëntenbalansen

De stoffenbalansen zijn opgezet voor chloride, totaal-fosfaat en totaal-stikstof. Hierbij is gebruikgemaakt van de waterbalans om de totale vracht te kunnen berekenen.

5.3.1 Chloridebalans

In tabel 4 en 5 zijn respectievelijk de chloride balans voor 1991 en 1994 weergegeven. De bijdrage aan de balans is voor de neerslag op 11,5 mg l^{-1} gesteld (Werkgroep Herziening Cultuurtechnisch Vademecum, 1988; KNMI/RIVM, 1980-1989). Voor de concentraties van de kwel en het industriële afvalwater zijn de gemiddelde waarden aangehouden die bij de gasbronnen zijn gemeten. Hierbij is aangenomen dat de waterkwaliteit van de kwel en de gasbronnen gelijk is. De bijdrage van de gasbronnen is bepaald door voor iedere bron afzonderlijk het gasbrondebiet te vermenigvuldigen met de chlorideconcentratie.

Door het grote aantal inlaatpunten (16) en het ontbreken van debietgegevens van deze punten is de gemiddelde chlorideconcentratie van het boezemwater genomen als concentratie van het inlaatwater. Bij de uitspoeling is alleen rekening gehouden met de uitspoeling van chloride uit meststoffen welke tussen de 20 en de 30 kg ha^{-1} j^{-1} bedraagt (Werkgroep Noord-Holland, 1982; Steenvoorden, 1979). Voor de balansberekening is hierom de gemiddelde chlorideconcentratie voor de uitspoeling aangepast, zodat de uitspoeling rond de 25 kg ha^{-1} j^{-1} bedraagt.

Voor de bepaling van de concentratie van de uitgemalen hoeveelheid chloride is gebruik gemaakt van twee oppervlaktewatermeetpunten die dicht bij de gemalen gelegen zijn. Voor het gemaal Wouter Sluis is dit meetpunt 540017 en voor gemaal Jacobus Bouman is dit meetpunt 540016. Bij de berekening van de chloridevracht is de maandelijkse afvoer vermenigvuldigd met de maandconcentratie om een zo nauwkeurig mogelijke bepaling mogelijk te maken.

Door de grote onzekerheid in de ingelaten hoeveelheid water en het niet geringe aandeel van het inlaatwater op de nutriëntenbalans is de fout in de restantpost zeer groot. De fout in de restantpost is voor 1991 zelfs boven de 100%. Dit betekent dat de restantpost

die hier als sluitpost is gebruikt net zo goed aan de andere kant van de balans had kunnen liggen of 0 had kunnen zijn.

Tabel 4 Chloridebalans van de Beemster voor 1991

	Debiet (m^3 ha^{-1} j^{-1})	Fout (%)	Cl (mg l^{-1})	Fout (%)	Cl (kg ha^{-1} j^{-1})	Aandeel (%)	Fout (kg ha^{-1} j^{-1})	Fout (%)
IN								
Neerslag	6916	± 5	11.5	± 10	80	8	± 9	± 11
Kwel	321	± 50	391.8	± 25	126	13	± 70	± 56
Gasbronnen	763	± 20	338.4	± 25	258	26	± 83	± 32
Industrie	17	± 10	391.8	± 15	7	1	± 1	± 18
Inlaat	1777	± 46	221.0	± 10	393	40	± 184	± 47
Uitspoeling	1154	± 58	20.0	± 25	23	2	± 15	± 63
Huishoudelijk				± 15	2	0	± 0	± 7
Restant					92	10	± 246	± 266
Totaal					981	100		
UIT								
Uitgemalen								
Wouter Sluis	3236	± 10	259.6	± 10	840	86	± 119	± 14
Jacobus B.	797	± 10	177.2	± 10	141	14	± 20	± 14
Restant								
Totaal					981	100		

Tabel 5 Chloridebalans van de Beemster voor 1994

	Debiet (m^3 ha^{-1} j^{-1})	Fout (%)	Cl (mg l^{-1})	Fout (%)	Cl (kg ha^{-1} j^{-1})	Aandeel (%)	Fout (kg ha^{-1} j^{-1})	Fout (%)
IN								
Neerslag	11427	± 5	11.5	± 10	131	12	± 15	± 11
Kwel	321	± 50	356.8	± 25	115	10	± 64	± 56
Gasbronnen	663	± 10	322.9	± 25	214	20	± 58	± 27
Industrie	17	± 10	322.9	± 15	6	1	± 1	± 18
Inlaat	1134	±100	149.7	± 10	170	16	± 171	± 101
Uitspoeling	5570	± 15	5.0	± 25	28	3	± 8	± 29
Huishoudelijk				± 15	2	0	± 0	± 7
Restant					429	39	± 230	± 54
Totaal					1095	100		
UIT								
Uitgemalen								
Wouter Sluis	5933	± 10	146.6	± 10	870	79	± 123	± 14
Jacobus B.	1774	± 10	126.9	± 10	225	21	± 32	± 14
Restant								
Totaal					1095	100		

In 1994 is de fout van de restantpost eveneens zeer groot maar bedraagt de procentuele fout 54%. De standaardafwijking bedraagt 230. Bij 95% betrouwbaarheid bedraagt het interval voor de fout van de restantpost over 1994 429 ± 451 (= 1,96 Standaardafwijking).

In het geval dat de hoeveelheid inlaatwater wel bekend zou zijn en een fout van 15% voor de inlaat wordt aangenomen zou de fout op de restantpost voor 1991 192% bedragen en voor 1994 37% bedragen. Omdat de fout in de restantpost in 1991 veel groter is dan 100%, kan gesteld worden dat het niet sluiten van de chloridebalans voor 1991 nog niet hoeft te betekenen dat de waterbalans niet klopt. Daarentegen geeft de chloridebalans ook geen zekerheid omtrent de waterbalans. Voor 1994 moet geconcludeerd worden dat de waterbalans, of de chlorideconcentraties, te onnauwkeurig zijn, waardoor de balans niet kloppend te krijgen is. Hierdoor moeten voornamelijk de gegevens van de nutriëntenbalansen over 1994 met voorzichtigheid geïnterpreteerd worden.

Opvallend in de chloridebalans is de toch nog hoge chloridebelasting op het oppervlaktewater in 1994 terwijl de bijdrage van de inlaat, gasbronnen en de kwel zijn afgenomen (figuur 12). De bijdrage van de inlaat is voornamelijk gedaald door de geringere hoeveelheid ingelaten water als gevolg van de veel grotere hoeveelheid neerslag gedurende 1994. Hiernaast is ook de chlorideconcentratie van het inlaatwater veel minder dan in 1991. Ook de belasting op het oppervlaktewater door de gasbronnen is verminderd. Enerzijds is dit veroorzaakt door een geringe afname van het aantal bronnen en daarmee het debiet en anderzijds is de chlorideconcentratie in 1994 gemiddeld genomen iets lager. Het aandeel van de gasbronnen op chloridebalans is echter één van de grootste en varieert van 26% in 1991 tot 20% in 1994.

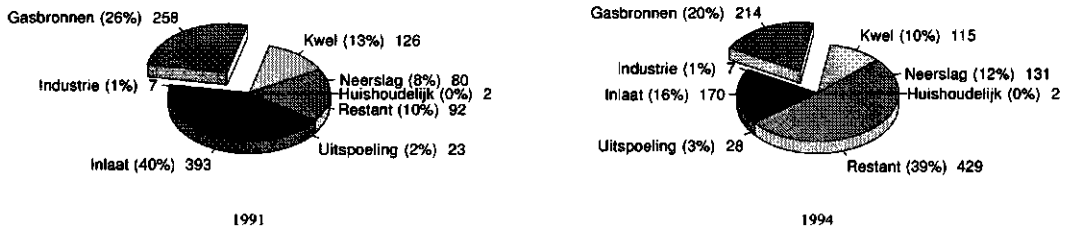


Fig. 12 Chloridebalans van de Beemster voor 1991 en 1994 (kg ha^{-1} j^{-1} en percentage)

5.3.2 Fosforbalans

Van de fosforbalans is een aanzienlijk deel afkomstig uit het grondwater (tabel 6 en 7). De gasbronnen leveren het grootste aandeel met 52% in 1991 en 37% in 1994 (figuur 13). De fosforbalans is opgesteld voor totaal-fosfaat. De concentratiegegevens van het oppervlakte- en het gasbronwater zijn afkomstig van het Hoogheemraadschap van

Uitwaterende Sluizen in Hollands Noorderkwartier. De analyses zijn uitgevoerd in niet-gefiltreerd water. Voor het kwelwater is een relatief hoge onnauwkeurigheid aangenomen voor de concentratie. De oorzaak hiervan is het ontbreken van gegevens over de concentratie van het kwelwater. Het vermogen van klei om fosfor te binden zou de concentratie doen afnemen. Hier tegenover staat dat zeeklei als afzetting al een hoge concentratie fosfor bezit. Hierdoor zou kwelwater dat de klei passeert fosfor op kunnen nemen. Voor het kwelwater is daarom dezelfde concentratie aangenomen als voor de gemiddelde concentratie van het gasbronwater. De gasbronconcentratie is berekend uit de metingen in het gasbronwater rekening houdend met het debiet per gasbron.

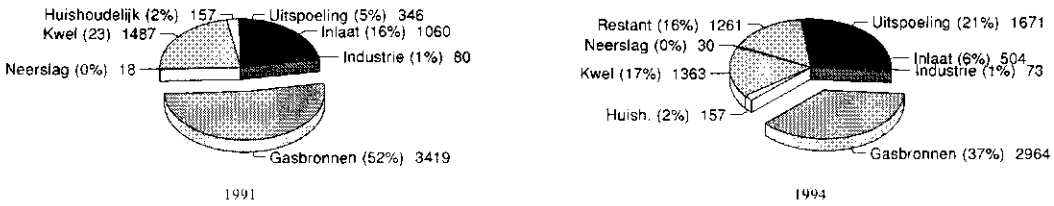


Fig. 13 Fosforbalans van de Beemster voor 1991 en 1994 (g ha^{-1} jaar^{-1} en percentage)

Tabel 6 Fosforbalans van de Beemster voor 1991

	Debiet (m^3 ha^{-1} j^{-1})	Fout (%)	P (mg l^{-1})	Fout (%)	P (kg ha^{-1} j^{-1})	Aandeel (%)	Fout (kg ha^{-1} j^{-1})	Fout (%)
IN								
Neerslag	263	± 5	0.1	± 10	18	0	± 2	± 11
Kwel	321	± 50	4.6	± 25	1487	23	± 831	± 56
Gasbronnen	763	± 20	4.5	± 25	3419	52	± 1095	± 32
Industrie	17	± 10	4.6	± 15	80	1	± 10	± 7
Inlaat	1777	± 46	0.6	± 15	1060	16	± 511	± 48
Uitspoeling	1154	± 58	0.3	± 25	346	5	± 219	± 63
Huishoudelijk				± 15	157	2	± 14	± 18
Totaal					6567	100		
UIT								
Uitgemalen								
Wouter Sluis	3236	± 10	1.2	± 15	3799	58	± 570	± 15
Jacobus B.	797	± 10	2.1	± 15	1707	26	± 256	± 15
Restant					1061	16	± 1609	± 152
Totaal					6567	100		

Tabel 7 Fosforbalans van de Beemster voor 1994

	Debiet (m^3 ha^{-1} j^{-1})	Fout (%)	P (mg l^{-1})	Fout (%)	P (kg ha^{-1} j^{-1})	Aandeel (%)	Fout (kg ha^{-1} j^{-1})	Fout (%)
IN								
Neerslag	434	± 5	0.1	± 10	30	0	± 3	± 11
Kwel	321	± 50	4.2	± 25	1363	17	± 762	± 56
Gasbronnen	663	± 10	4.5	± 25	2964	37	± 798	± 27
Industrie	17	± 10	4.2	± 15	73	1	± 13	± 18
Inlaat	1134	±100	0.4	± 15	504	6	± 511	± 101
Uitspoeling	5570	± 15	0.3	± 25	1671	21	± 485	± 29
Huishoudelijk				± 15	157	2	± 10	± 7
Restant					1261	16	±1602	± 127
Totaal					8023	100		
UIT								
Uitgemalen								
Wouter Sluis	5933	± 10	1.0	± 15	5709	71	± 856	± 15
Jacobus B.	1774	± 10	1.3	± 15	2314	29	± 347	± 15
Totaal					8023	100		

De concentratie van de inlaat is bepaald aan de hand van meetpunten in het boezemwater. Gezien de vele inlaatpunten (16), die verspreid om het gebied aanwezig zijn, is de gemiddelde concentratie van alle meetpunten vermenigvuldigd met de inlaat. De natuurlijke uitspoeling is gesteld op 0,3 mg l^{-1} (Werkgroep Herziening Cultuurtechnisch Vademecum, 1988). Voor de bijdrage van de neerslag is 0,1 mg l^{-1} aangehouden (Werkgroep Noord-Holland, 1982). Aangezien fosfaat in tegenstelling tot chloride betrokken is bij chemische, fysische en biologische processen in bodem en water, is voor de fosforbalans alleen gerekend met de neerslag die direct op het oppervlaktewater valt. Het percentage oppervlaktewater in de Beemster bedraagt 3,8%. De hoeveelheid fosfor in het huishoudelijk afvalwater is bepaald aan de hand van 1940 inwoner equivalenten waarvan het afvalwater niet op het riool geloosd wordt (Hoogheemraadschap van Uitwaterende Sluizen in Hollands Noorderkwartier, 1994). Per inwoner-equivalent is alleen rekening gehouden met de fosforbelasting uit urine en faeces. Voor deze belasting is per inwoner equivalent een waarde van 1,6 g dag^{-1} aangehouden (Werkgroep Noord-Holland, 1982).

De uitgemalen hoeveelheid fosfor is bepaald aan de hand van de twee oppervlaktewater meetpunten, waarbij de waterkwaliteit is gemeten, die zich het dichtst bij de twee gemalen bevinden. Voor het gemaal Wouter Sluis is dit meetpunt 540017 en voor gemaal Jacobus Bouman is dit meetpunt 540016. Bij de berekening van de fosforvracht is de maandelijkse afvoer vermenigvuldigd met de maandconcentratie om een zo nauwkeurig mogelijke bepaling mogelijk te maken.

Opvallend in de beide fosforbalansen is het voorkomen van de restpost in 1991 in de vorm van een tekort aan uitgaande hoeveelheid fosfor, terwijl in 1994 een tekort is aan de ingekomen hoeveelheid fosfor. Voor 1994 is de fout in de balans echter groot (1.96 x 127%). Dit betekent dat de restpost ook aan de andere kant van de balans zou kunnen voorkomen. Gedurende 1991 is een tekort aan uitgaande fosfor van ruim 1 kg ha^{-1} j^{-1} berekend. De meest plausibele verklaringen hiervoor zijn de opslag van fosfor in bodemslib dat voornamelijk kan plaatsvinden bij langzaam stromend water (Steenvoorden, 1984) en het vermogen van ijzer- en aluminium(hydr)oxiden om grote hoeveelheden fosfaat te binden (Schoumans, 1994).

Uit de fosforbalansen komt duidelijk naar voren dat in 1994 de uitspoeling veel hoger is dan in 1991. Aangezien voor fosfor de uitspoeling voornamelijk van natuurlijke aard is, is de fosforconcentratie van de uitspoeling in beide jaren hetzelfde. Daarom heeft het grotere neerslagoverschot in 1994 een hogere uitspoeling tot gevolg.

Het grote aandeel van de gasbronnen is voornamelijk een gevolg van de zeer hoge fosforconcentraties in het grondwater. De concentraties in het grondwater zijn vele malen hoger als de concentraties in het oppervlaktewater en de concentraties in de overige emissiebronnen.

5.3.3 Stikstofbalans

In tabel 8 en 9 is de stikstofbalans voor respectievelijk 1991 en 1994 weergegeven. De stikstofbalans is opgesteld voor totaal-stikstof dat bestaat uit nitraat (NO_3), nitriet (NO_2^-), Ammonium (NH_4^+) en organische stikstof. Ammonium en organische stikstof vormen samen Kjeldahl-N. De stikstofconcentraties voor het oppervlakte- en het gasbronwater zijn afkomstig van het Hoogheemraadschap van Uitwaterende Sluizen in Hollands Noorderkwartier. Voor de neerslag is een stikstofconcentratie van 3 mg l^{-1} aangehouden (Werkgroep Noord-Holland, 1982). De kwel en het industriële afvalwater hebben wederom de concentratie die overeenkomt met de gemiddelde concentratie van het gasbronwater. Voor de kwel mag worden verwacht dat de stikstofconcentratie, gedurende het verblijf van het kwelwater in de klei van de deklaag, zal afnemen. De oorzaak hiervan is de denitrificatie die onder anaërobe omstandigheden kan plaatsvinden. Hier tegenover staat dat het water ook aangerijkt kan worden met stikstof door het voorkomen van veen in de deklaag. Doordat de kwantificering van beide processen zeer moeilijk is, is voor het kwelwater de concentratie van het gasbronwater aangehouden. Voor de bepaling van de concentratie van de inlaat is wederom de concentratie van het boezemwater aangehouden. Hierbij is rekening gehouden met de gemiddeld lagere concentratie gedurende de zomermaanden als gevolg van denitrificatie door de waterbodem, in warme perioden (figuur 14). Voor de stikstofuitspoeling is een variatie aangehouden van 35 tot 45 kg ha^{-1} j^{-1} voor kleigrond onder grasland (Macduff et al., 1990; Bronswijk et al., 1995). Het grasland in de Beemster omvat ongeveer 60% van het totale gebied. De uitspoeling is samengesteld uit de natuurlijke uitspoeling en de uitspoeling als gevolg van bemesting. Door het grote neerslagoverschot in 1994 is de natuurlijke uitspoeling in 1994 hoger.

Tabel 8 Stikstofbalans van de Beemster voor 1991

	Debiet (m^3 ha^{-1} j^{-1})	Fout (%)	N (mg l^{-1})	Fout (%)	N (kg ha^{-1} j^{-1})	Aandeel (%)	Fout (kg ha^{-1} j^{-1})	Fout (%)
IN								
Neerslag	263	± 5	3.0	± 10	788	1	± 88	± 11
Kwel	321	± 50	21.4	± 25	6885	10	± 3849	± 56
Gasbronnen	763	± 20	21.8	± 25	16608	25	± 5317	± 32
Industrie	17	± 10	21.4	± 15	370	1	± 67	± 18
Inlaat	1777	± 46	4.1	± 15	7253	11	± 3498	± 48
Uitspoeling	1154	± 58	30.0	± 25	34624	51	± 21940	± 63
Huishoudelijk				± 15	994	1	± 66	± 7
Totaal					67523	100		
UIT								
Uitgemalen								
Wouter Sluis	3236	± 10	11.2	± 15	36193	54	± 5429	± 15
Jacobus B.	797	± 10	15.4	± 15	12242	18	± 1836	± 15
Restant					19088	28	± 23866	± 125
Totaal					67523	100		

Tabel 9 Stikstofbalans van de Beemster voor 1994

	Debiet (m^3 ha^{-1} j^{-1})	Fout (%)	N (mg l^{-1})	Fout (%)	N (kg ha^{-1} j^{-1})	Aandeel (%)	Fout (kg ha^{-1} j^{-1})	Fout (%)
IN								
Neerslag	434	± 5	3.0	± 10	1303	2	± 146	± 11
Kwel	321	± 50	20.1	± 25	6450	9	± 3606	± 56
Gasbronnen	663	± 10	21.5	± 25	14234	19	± 3833	± 27
Industrie	17	± 10	20.1	± 15	348	0	± 63	± 18
Inlaat	1134	±100	4.8	± 15	5398	7	± 5473	± 101
Uitspoeling	5570	± 15	8.0	± 25	44564	61	± 12921	± 29
Huishoudelijk				± 15	994	1	± 66	± 7
Totaal					73290	100		
UIT								
Uitgemalen								
Wouter Sluis	5933	± 10	7.6	± 15	45089	62	± 6763	± 15
Jacobus B.	1774	± 10	10.2	± 15	18093	25	± 2714	± 15
Restant					10109	14	± 16665	± 165
Totaal					73290	100		

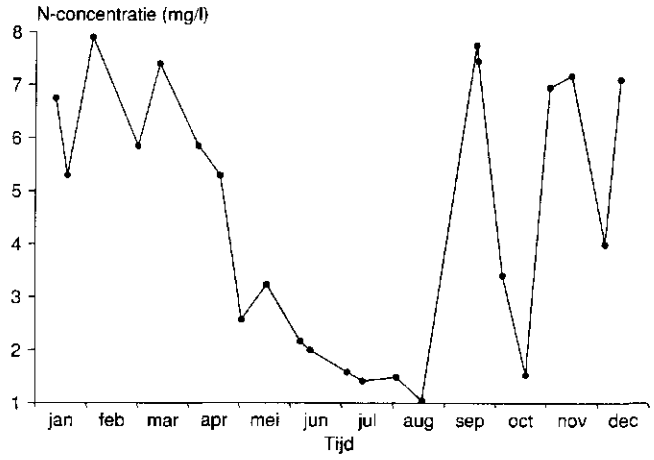


Fig. 14 Verloop van de stikstofconcentratie gedurende 1994 voor meetpunt 104401 in het boezemwater van de Beemster

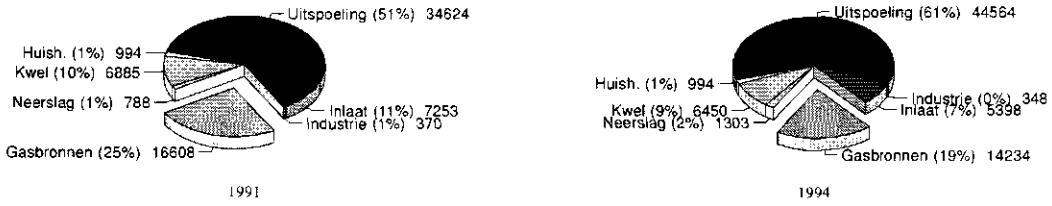


Fig. 15 Stikstofbalans van de Beemster voor 1991 en 1994 (g ha^{-1} j^{-1} en percentage)

De totale uitgemalen hoeveelheid stikstof is bepaald door de stikstofconcentratie op de twee eerdergenoemde meetpunten te vermenigvuldigen met de debieten voor de desbetreffende gemalen per maand.

De uitspoeling van stikstof vormt de grootste bijdrage aan de balans (figuur 15). De onzekerheid omtrent de uitspoeling is echter ook zeer hoog aangezien weinig onderzoek is gedaan naar de concentraties en de hoeveelheid uitspoeling van stikstof op zeekleigronden. De restpost ligt in beide jaren aan de uitgaande kant van de balans. Dit verlies aan stikstof is te verklaren uit denitrificatie door de waterbodem, vervluchtiging van ammoniak en vastlegging in afgestorven biologisch materiaal (waterplanten, algen, enz). De mate waarin denitrificatie kan plaatsvinden is afhankelijk van de aanwezigheid van oxideerbare verbindingen en de temperatuur van het water. Onder gunstige omstandigheden kunnen nog hogere waarden voor denitrificatie gevonden worden dan de waarden die in deze balans bepaald zijn (Steenvoorden, 1984). In polderwater met een vaak hoog ammoniumgehalte kan NH_3-vervluchtiging plaatsvinden. Een hoge pH-waarde en een hoge temperatuur versterken de vervluchtiging. Accumulatie van stikstof kan ook plaatsvinden in bodemslib waar adsorptie van ammonium kan plaatsvinden.

6 Effecten van het saneren van gasbronnen

6.1 Effecten in de Beemster

Voor de bepaling van de effecten van de gasbronnen wordt gebruik gemaakt van zowel de modelberekeningen als de balansberekeningen. Uit de modelberekeningen kan geconcludeerd worden dat het afdichten van de gasbronnen tot gevolg heeft dat de natuurlijke kwel toeneemt met ca. 27% van het gasbrondebiet voor het gehele modelgebied. Voor de Beemster is de toename van de natuurlijke kwel ca. 14% van het gasbrondebiet. Als aangenomen wordt dat de hoeveelheid ingelaten water onveranderd blijft kan met behulp van deze gegevens de nutriëntenbalans doorgerekend worden.

Voor het doorrekenen van de nutriëntenbalansen zijn de debieten van de gasbronnen, de kwel en de gemalen veranderd. De afname in het gasbrondebiet heeft als gevolg dat 14% van de afname bij de natuurlijke kwel is opgeteld. Bij gelijkblijvende inlaat heeft dit eveneens tot gevolg dat de uitgemalen hoeveelheid water wordt verminderd met 86% van de afname van het brondebiet. In tabel 10 is voor twee scenario's de afname van de totale input van chloride, fosfor en stikstof weergegeven. De beide scenario's zijn het totaal afdichten van de gasbronnen en het halveren van de gasbrondebieten.

Tabel 10 Effecten van de afname van het gasbrondebiet op de belasting van het oppervlaktewater met chloride, fosfaat en stikstof

	Totale belasting ($g\ ha^{-1}\ j^{-1}$)	Belasting zonder gasbronnen ($g\ ha^{-1}\ j^{-1}$)	Afname (%)	Belasting met de helft van het gasbrondebiet ($g\ ha^{-1}\ j^{-1}$)	Afname (%)
1991					
chloride	889700	671100	24	779900	12
fosfaat	6567	3794	42	5098	22
stikstof	67523	53139	21	60331	11
1994					
chloride	666000	484000	27	575000	14
fosfaat	6762	4180	38	5471	19
stikstof	73290	60868	17	67079	9

De berekening waarbij de helft van het gasbrondebiet gesaneerd is, komt niet geheel overeen met de sanering van de helft van de gasbronnen, aangezien bij sluiting van de helft van de gasbronnen het debiet van de andere helft zal toenemen door een toename van de drukhoogte van het grondwater.
Het saneren van gasbronnen heeft het grootste effect op de fosforbalans. Bij algehele sanering wordt tussen de 42% en de 38% van de totale emissie in de Beemster teruggedrongen. Dit is voornamelijk te wijten aan het grote aandeel van de gasbronnen op de fosforbalans, dat veroorzaakt wordt door de hoge fosforconcentratie in het grondwater uit de marine afzettingen. Indien aangenomen wordt dat de binding van fosfaat aan ijzer- en aluminium(hydr)oxiden gelijk blijft wordt de concentratie van het uitgemalen water met het zelfde percentage verminderd. Ten aanzien van de ijzer- en

aluminiumconcentraties ontbreken echter de gegevens om nauwkeurig vast te kunnen stellen hoeveel ijzer en aluminium aanwezig is in het grondwater en hoeveel in het oppervlaktewater. De ijzerconcentratie in het grondwater kan ook sterk verschillen van plaats tot plaats. In de Beemster zijn concentraties gevonden die kunnen variëren van 0,3 tot 20 mg l^{-1} Fe (Rees Vellinga en Witt, 1981). Het meest frequent zijn concentraties tussen de 5 en de 10 mg l^{-1} Fe gevonden.

In aanhangsel 4 zijn enkele berekeningen met betrekking tot de fosfaatadsorptie door gesynthetiseerde ijzerhydroxiden gedaan. Uit de berekeningen komt naar voren dat de ijzerconcentratie van groot belang is voor het adsorptievermogen. Indien uitgegaan wordt van een gemiddelde ijzerconcentratie van het gasbronwater van 10 mg l^{-1} Fe kan, indien alle processen volledig zouden plaatsvinden, 4,2 mg l^{-1} P worden gebonden. In werkelijkheid is de effectiviteit van de adsorptie echter minder dan 100%. De exacte waarde van de effectiviteit zou proefondervindelijk bepaald moeten worden. Zoals eerder gesteld is de ijzerconcentratie van groot belang voor het adsorptieproces. Bij lozing van het gasbronwater op het oppervlaktewater zal door menging de ijzerconcentratie sterk teruglopen waardoor veel minder fosfaat gebonden kan worden. Door het adsorptieproces zal het effect van het saneren van de gasbronnen op de kwaliteit van het uitgemalen water wel enigszins minder zijn dan de 42% tot 38% P-concentratievermindering. Gegevens omtrent de ijzerconcentratie van het oppervlaktewater zijn echter niet voor handen, waardoor geen exactere uitspraken kunnen worden gedaan. Een bijkomend aspect van de adsorptie van fosfaat is de omkeerbaarheid van het proces. Hierdoor kan het gevormde ijzerfosfaat in een later stadium fosfaat leveren aan het oppervlaktewater indien het ijzerfosfaat in het systeem blijft.

De input van chloride voor de totale emissie vermindert ongeveer met 25% indien alle gasbronnen gesaneerd worden. Aangezien chloride een inerte stof is zal de concentratie van het uitgemalen water eveneens met ongeveer 25% verminderen.

Op de stikstofbalans heeft de sanering van gasbronnen het minste effect. Hier varieert het effect van 17% tot 21%. Het effect op de kwaliteit van het uitgemalen water is ongeveer hetzelfde, alleen de hoeveelheid denitrificatie kan enigszins veranderen.

6.2 Effecten buiten de Beemster

Om de effecten van de sanering van gasbronnen te kunnen bepalen is het onderzoek primair gericht op de Beemster. Hierdoor kon het modelgebied beperkt blijven en was het mogelijk balansstudies uit te voeren. Het afdichten van gasbronnen in polders rondom de Beemster zal eveneens tot gevolg hebben dat minder grondwater in het oppervlaktewater tot afvoer komt. De hoeveelheid water die in de vorm van extra natuurlijke kwel in het oppervlaktewater terecht komt is afhankelijk van de weerstand van het afdekkende pakket. Over het algemeen is de weerstand van de laag gelegen polders rondom de Beemster lager dan in de Beemster waardoor het effect van de sanering iets minder zal zijn. Uit de gevoeligheidsanalyse is naar voren gekomen dat de weerstand van het afdekkende pakket veel invloed heeft op de natuurlijke kwel. Ook is uit de gevoeligheidsanalyse naar voren gekomen dat bij verlaging van de weerstand

van het afdekkende pakket nog altijd een aanzienlijk deel van het gesaneerde gasbronwater niet in het oppervlaktewater terecht komt in de vorm van extra natuurlijke kwel. Voor de laag gelegen polders geldt wel dat net als in de Beemster de kwel zal toenemen op al bestaande zwakke plekken in het afdekkende pakket. De overige geohydrologische factoren die bepaald worden door de geologie zijn in de omringende polders vergelijkbaar met de situatie in de Beemster. Daarnaast is uit de gevoeligheidsanalyse gebleken dat kleine verschillen in doorlatendheden en weerstanden van geohydrologisch te onderscheiden lagen nauwelijks effect hebben op de kwel.

Uit de balansen van de Beemster kan geconcludeerd worden dat de gasbronnen vooral een grote bijdrage hebben in de fosforbalans. De bijdrage van de gasbronnen aan de verschillende balansen wordt mede bepaald door het aantal gasbronnen in een polder. Aan de hand van aanhangsel 5 kan geschat worden wat het effect is van het saneren van gasbronnen. Indien de weerstand van het afdekkende pakket laag is zoals bijvoorbeeld in de Wieringermeer, is de natuurlijke kwel zeer hoog. Het aandeel van de kwel op de stoffenbalansen is hier dan ook zeer hoog. Voor chloride, fosfor en stikstof zijn de percentages respectievelijk 86%, 72%, en 58% (Werkgroep Noord-Holland, 1982). Het toch niet geringe aantal gasbronnen rond 1978 van 93 in de Wieringermeer, heeft daarentegen maar een aandeel op de stoffenbalansen van 15%, 5% en 3% voor respectievelijk chloride, fosfor en stikstof. Het chloridegehalte van de gas- en koelbronnen is in de Wieringermeer zelfs lager dan het chloridegehalte van het polderwater (Toussaint en Boogaard, 1978). Door de lage weerstand van het afdekkende pakket zal bij sanering van de gasbronnen de natuurlijke kwel toenemen. Het effect van de sanering zal hierdoor gering zijn. Voor chloride kan zelfs verwacht worden dat de chlorideconcentratie van het oppervlaktewater zal stijgen doordat in het kwelwater meer chloride aanwezig is.

In de Purmer waar het aantal gasbronnen geringer is dan in de Wieringermeer, maar waar de weerstand van het afdekkende pakket groter is, hebben de gasbronnen een groter aandeel op de stoffenbalansen. Het aandeel van de gasbronnen voor chloride, fosfor en stikstof is hier respectievelijk 25%, 8% en 9% (Werkgroep Noord-Holland, 1982). Sanering van de gasbronnen zal in de Purmer wel meer effect hebben dan in de Wieringermeer. Het effect zal echter minder zijn dan in de Beemster omdat de weerstand van het afdekkend pakket en het aantal gasbronnen geringer is dan in de Beemster.

Door de verschillende situatie per polder is het zonder verdergaand onderzoek per polder moeilijk de effecten te kwantificeren. De binnen het onderzoek bekeken stofconcentraties van de gasbronnen kunnen van plaats tot plaats sterk verschillen maar zijn in alle polders over het algemeen hoog. De normdoelstellingen voor het oppervlaktewater van 200 mg l^{-1} Cl, 0.15 mg l^{-1} P en 2.2 mg l^{-1} N (Derde Nota waterhuishouding, 1989) wordt bij het geloosde gasbronwater, met uitzondering van de chlorideconcentratie, echter niet gehaald.

Sanering van gasbronnen zal in en rond de Beemster leiden tot verbetering van de oppervlaktewaterkwaliteit. Indien alleen een gedeelte van de gasbronnen gesaneerd wordt mag verwacht worden dat de bronnen die blijven bestaan een hogere afvoer zullen hebben. De mate van de toenemende afvoer is mede afhankelijk van de afstand tot gesaneerde bronnen. Gedeeltelijke sanering zal hierdoor minder effect kunnen hebben dan verwacht.

7 Conclusies en aanbevelingen naar aanleiding van het onderzoek in de Beemster

Het saneren van gasbronnen heeft tot gevolg dat minder chloride- en nutriëntenrijk grondwater in het oppervlaktewater terecht zal komen. Dit is bepaald met modelberekeningen, waarbij voornamelijk naar de Beemster is gekeken. Het saneren van gasbronnen heeft tot gevolg dat de natuurlijke kwel zal toenemen. In de Beemster neemt de natuurlijke kwel ongeveer toe met 15% van het gesaneerde brondebiet. Het afdichten van gasbronnen binnen de Beemster heeft ook gevolgen voor de kwel buiten de Beemster. Hierdoor neemt de natuurlijke kwel voor het totale modelgebied ongeveer toe met 30% van het gesaneerde brondebiet. De grootste kwelvermeerdering zal plaatsvinden in de laag gelegen polders, waar de weerstand van het afdekkende pakket het geringst is. Ook op plaatsen waar zwakke plekken in de deklaag aanwezig zijn zal de kwel extra verhoogd worden.

Aan de hand van balansberekeningen voor 1991 en 1994 is gekeken naar het aandeel van de gasbronnen op de emissie van chloride, fosfor en stikstof. Door het aantal gasbronnen en de gemiddeld hoge concentraties van deze stoffen hebben de gasbronnen een groot aandeel in de emissie. Voor chloride, fosfor en stikstof bedraagt het aandeel in de emissie respectievelijk ongeveer 23%, 42% en 22%. Op de waterbalans hebben de gasbronnen daarentegen maar een aandeel van ongeveer 6%.

Bij algehele sluiting van de gasbronnen wordt de emissie van chloride, fosfaat en stikstof met respectievelijk ongeveer 25%, 40% en 20% teruggedrongen. Hierbij is uitgegaan van een onveranderde inlaathoeveelheid en een toename van de natuurlijke kwel als gevolg van het afdichten van de gasbronnen. De afname van de emissie is echter niet in alle gevallen hetzelfde als de verbetering van de oppervlaktewaterkwaliteit. Vooral bij de belasting van het oppervlaktewater met fosfaat zijn processen van belang waarbij fosfaat gebonden kan worden. Een hoog ijzergehalte dat in het grondwater aanwezig is, kan een gedeelte van het fosfaat adsorberen. Toch is het ijzergehalte waarschijnlijk niet voldoende om al het fosfaat te binden. Om exact vast te kunnen stellen hoeveel fosfaat geadsorbeerd wordt, zouden monsters van grond- en oppervlaktewater genomen moeten worden, waarna in een laboratorium bepaald kan worden wat de effectieve adsorptie is van fosfaat.

De effecten van de sanering van gasbronnen rondom de Beemster zullen enigszins minder zijn dan in de Beemster. De voornaamste reden hiervoor is de lagere weerstand van het afdekkende pakket in de laag gelegen polders waar gasbronnen aanwezig zijn, waardoor de natuurlijke kwel sterker zal toenemen. Het aantal gasbronnen in de overige polders is veelal kleiner, waardoor de belasting op het oppervlaktewater geringer is. Voor enkele polders zoals onder andere de Wieringermeer is de chlorideconcentratie van de gasbronnen lager dan de chlorideconcentratie van het oppervlaktewater. Om de effecten van het saneren van gasbronnen per polder te kunnen kwantificeren is aanvullend onderzoek vereist (hoofdstuk 8).

8 Aanvullend onderzoek

8.1 Modellering van Noord-Holland benoorden het IJ

8.1.1 Modelopzet

Bij de modelberekeningen van Noord-Holland benoorden het IJ is eveneens uitgegaan van de geohydrologische gegevens welke in het 'Noord-Holland rapport' zijn gepubliceerd (aanhangsel 6). Alvorens de gegevens konden worden ingevoerd zijn de kaarten met de desbetreffende geohydrologische parameters gedigitaliseerd. In aanhangsel 6 zijn de gebruikte invoerparameters weergegeven. De gasbronnen zijn door de grotere schaal van het model niet expliciet in het model ingevoerd. Voor de wateropbrengst van de gasbronnen is uitgegaan van Toussaint en Boogaard (1978). Deze onttrekkingshoeveelheden zijn diffuus over een gedeelte van de polder of de gehele polder ingevoerd.

8.1.2 Modellering en modeluitkomsten

Voor de belangrijkste polders waar gasbronnen aanwezig zijn is het kwantitatieve effect van de sanering van gasbronnen op de kwel berekend (aanhangsel 7 en tabel 11).

Bij de berekeningen is uitgegaan van algehele sluiting van de gasbronnen in het onderzoeksgebied. Het effect van het saneren van de gasbronnen op de toename van de kwel is voor de volgende twee gebieden berekend:
- De desbetreffende polder
- Alle kwelgebieden in Noord-Holland benoorden het IJ, inclusief de desbetreffende polder.

De overige gebieden waar momenteel wegzijging plaatsvindt zijn buiten beschouwing gelaten omdat verminderde wegzijging minder van belang is voor de effecten van gasbronsanering. In tabel 11 is te zien dat voornamelijk in de Wieringermeer veel extra kwel zal optreden als gevolg van gasbronsanering. Indien alle gasbronnen in Noord-Holland gesloten worden zal ongeveer 52% van de hoeveelheid gesaneerd gasbronwater in de vorm van extra kwel in het oppervlaktewater terecht komen.

Voor de Beemster zijn de berekeningen van de toename van de kwel ten opzichte van de modelberekeningen van de Beemster, welke in hoofdstuk 4 besproken zijn, iets hoger. Dit verschil kan verklaard worden aan de hand van de volgende oorzaken:
- In hoofdstuk 4 is de toename van de kwel of afname van de wegzijging voor het gehele Beemster-modelgebied berekend. In de hier besproken vervolgberekeningen is het modelgebied (Noord-Holland-model) veel groter en is alleen de toename van de kwel berekend in alle kwelpolders in Noord-Holland benoorden het IJ. Bij berekening van de toename van de kwel en afname van de wegzijging voor het gehele Noord-Holland model komt 59% van de hoeveelheid gesaneerde gasbronwater terug. Dit percentage is op een vergelijkbaar manier verkregen als de berekeningen

in het Beemster-onderzoek. Het modelgebied van Noord-Holland benoorden het IJ is echter wel veel groter dan het Beemster-model.

- Bij de aanvullende berekeningen zijn de gasbronnen niet expliciet gemodelleerd maar is de onttrekking diffuus over de gehele polder of een gedeelte van een polder verspreid. Door de schaalvergroting van het model is het niet mogelijk om de gasbronnen expliciet in het model in te voeren. De grotere opzet van het model gaat namelijk gepaard met een toename van het invloedsoppervlak per model-knooppunt. De korte afstand tussen de gasbronnen maakt het daarom niet mogelijk om de gasbronnen afzonderlijk in het model op te nemen.
- Bij de eerste berekeningen (hoofdstuk 4) is de geohydrologie nauwkeuriger gemodelleerd. Door de schaalvergroting en de modelomvang zijn relatief kleine gaten die voor kunnen komen in de eerste scheidende laag niet in het model voor het vervolgonderzoek opgenomen.

Tabel 11 Kwelverandering (m^3 d^{-1}) als gevolg van de sluiting van alle gasbronnen

Polder	*Q* Gasbron	Polder		Kwelgebied	
	(m^3 d^{-1})	(m^3 d^{-1})	(%)	(m^3 d^{-1})	(%)
Anna Paulowna	440	84	19	130	30
Belmermeer	749	57	8	118	16
Beschoot	4270	586	14	1590	37
Broekermeer	899	99	11	170	19
Beemster	18788	3764	20	8251	44
Etersheimerbraak	260	45	17	48	18
Groet- en Waardp	336	20	6	74	22
Heerhugowaard	811	136	17	299	37
Monnikenmeer	8	0	5	1	13
Noordeindermeer	641	79	12	191	30
Noordmeerpolder	524	43	8	105	20
Purmer	1276	346	27	422	33
Schermer	2098	369	18	903	43
Starnmeer	350	41	12	63	18
Baarsdorpermeer	5336	461	9	2737	51
Westerkogge	5142	1174	23	2236	43
Wieringermeer	9480	5163	54	5867	62
Wieringerwaard	1892	146	8	548	29
Wogmeer	1206	80	7	376	31
Wijde Wormer	910	222	24	283	31
Totaal	55414		28669		52

Mede door het grotere modelgebied is de toename van de kwel als gevolg van het saneren van gasbronnen in de Beemster voor de kwelpolders in Noord-Holland benoorden het IJ, hoger. Ongeveer 44% van het gesaneerde gasbronwater zal in de vorm van extra kwel in het oppervlaktewater terechtkomen. In de Beemster zal van de 44% voor het hele gebied ongeveer 20% als extra kwel in het oppervlaktewater terechtkomen.

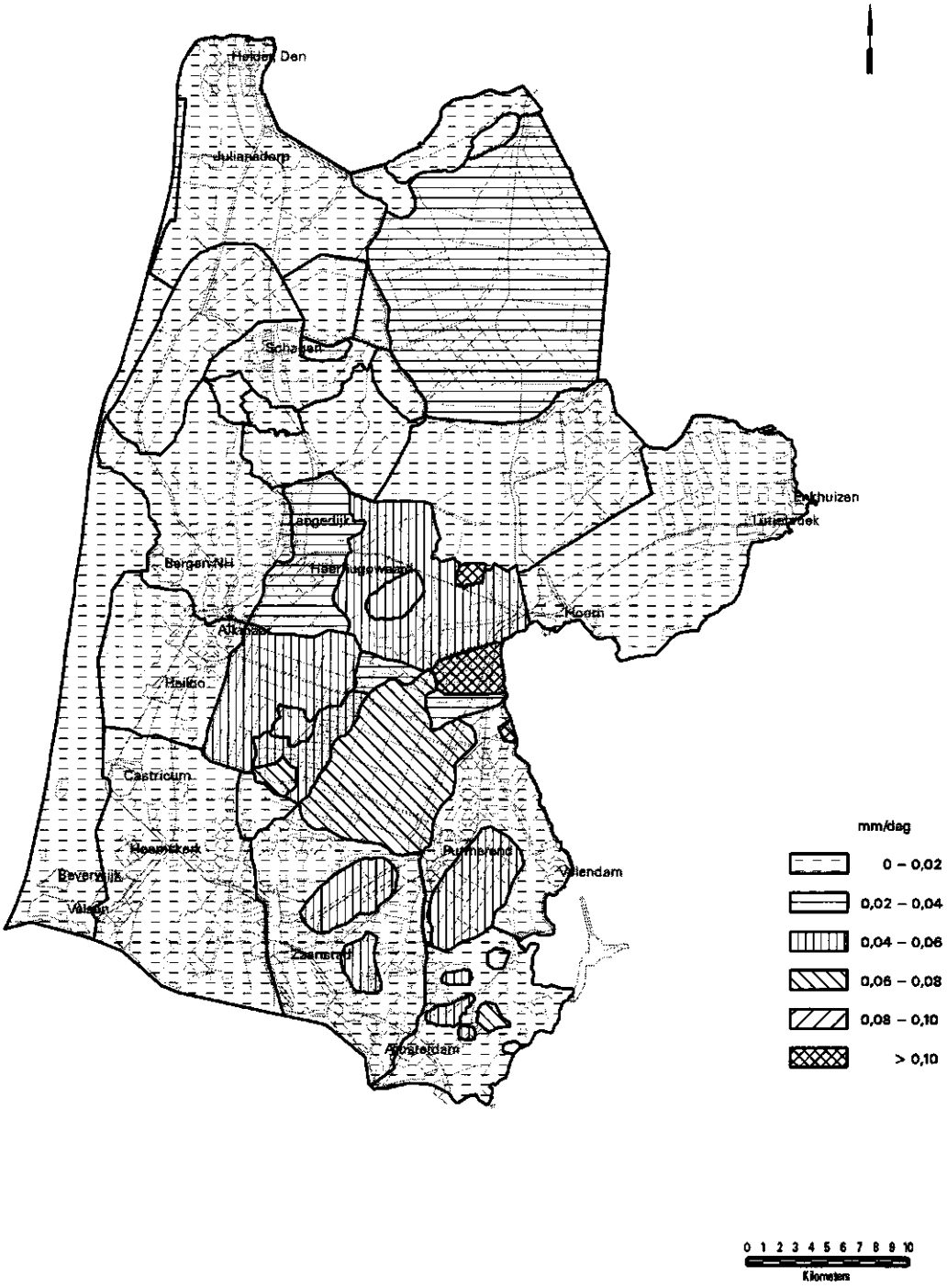


Fig. 16 Toename kwel cq. wegzijging in Noord-Holland benoorden het IJ als gevolg van algehele gasbronsanering

Indien niet in alle polders de gasbronnen gesloten worden zullen de effecten van de sanering geringer zijn (figuur 16). De toename van de stijghoogte in het eerste watervoerende pakket, als gevolg van gasbronsaneringen in een polder, zal tot gevolg hebben dat de de gasbronnen in een nabij gelegen polder harder gaan stromen. Om deze toename van het gasbrondebiet te kunnen modelleren is het grondwaterstromingsmodel

aangepast. Het model is aangepast door voor iedere polder een nieuwe samengestelde weerstand te berekenen. Hierdoor wordt de bestaande (niet gesaneerde) gasbronnen gemodelleerd als extra 'gaten' in de deklaag (lagere weerstand), waardoorheen extra kwel omhoog zal komen bij een hogere grondwaterpotentiaal. Deze laatste hoeveelheid kwel is equivalent met de toename van het gasbrondebiet. Bij deze berekening is gebruik gemaakt van de volgende formule:

$$c_n = \frac{c_0}{1 + (q_g / q_k)} \qquad (3)$$

waarin:

c_n : nieuw berekende samengestelde weerstand van het afdekkende pakket (dagen)
c_0 : weerstand van het afdekkende pakket (Noord-Holland rapport) (dagen)
q_g : gasbrondebiet (mm dag^{-1})
q_k : kwel (mm dag^{-1})

Invoer van de met deze formule berekende samengestelde weerstand geeft de gezamelijke toename van kwel en gasbronbebiet als uitvoer (tabel 12).

Tabel 12 Berekening van de vervangende weerstand van het afdekkend pakket (C-waarden)

Polder	Oppervl.	*dH*	*C0*	Kwel		Gasbron	*Cnieuw*
	(m^2)	(m)	(dagen)	(mm d^{-1})	(m^3 d^{-1})	(m^3 d^{-1})	(dagen)
Anna Paulowna	20 053 998	1,25	7500	0.17	3342	484	6552
Belmermeer	1 327 050	2,05	7500	0.27	363	787	2366
Beschoot	9 715 674	0,50	3750	0.13	1295	3298	1058
Broekermeer	3 100 552	2,12	7500	0.28	876	1032	3444
Beemster	75 859 032	0,65	7500	0.09	6574	17545	2044
Etersheimerbraak	424 019	3,00	600	5.00	2120	276	531
Groet- en Waardp	15 141 738	0,75	12500	0.06	909	336	9125
Heerhugowaard	5 918 289	1,12	7500	0.15	884	943	3628
Monnikenmeer	1 331 903	2,15	12500	0.17	229	8	12058
Noordeindermeer	2 235 051	1,25	7500	0.17	373	602	2867
Noordmeerpolder	1 754 769	1,65	7500	0.22	386	602	2929
Purmer	28 919 612	1,10	3750	0.29	8483	1225	3277
Schermer	21 879 608	1,00	7500	0.13	2917	1980	4468
Starnmeer	8 183 419	0,80	12500	0.06	524	266	8286
Baarsdorpermeer	2 337 649	0,95	3750	0.25	592	4793	412
Westerkogge	27 971 960	0,60	3750	0.16	4476	5340	1710
Wieringermeer	115 337 336	1,00	2500	0.40	46135	9059	2090
Wieringerwaard	19 399 956	1,05	12500	0.08	1630	1779	5976
Wogmeer	7 361 193	0,55	7500	0.07	540	1122	2437
Wijde Wormer	16 518 258	1,00	3750	0.27	4405	1753	2682

Voor het berekenen van de effecten van de sanering van gasbronnen voor één polder is met uitzondering van de polder waar de gasbronnen gesloten zijn de nieuwe *c*-waarde ingevoerd. Binnen de desbetreffende polder is het effect nagenoeg gelijk of iets neemt af als gevolg van de lagere weerstand van het afdekkende pakket in nabij gelegen polders (tebel 13). Indien gekeken wordt naar de effecten in het gehele kwelgebied in Noord-Holland benoorden het IJ zijn de effecten zoals verwacht groter door het voorkomen van gasbronnen in omringende polders, wat gemodelleerd is in de vorm van een geringere weerstand van het afdekkende pakket. De verschillen lopen echter maximaal op tot 8%.

Tabel 13 Kwelverandering (m^3 d^{-1}) als gevolg van de sluiting van gasbronnen per polder afzonderlijk

Polder	Q Gasbron	Polder		Kwelgebied	
	(m^3 d^{-1})	(m^3 d^{-1})	(%)	(m^3 d^{-1})	(%)
Anna Paulowna	440	84	19	135	31
Belmermeer	749	56	7	141	19
Beschoot	4270	546	13	1691	40
Broekermeer	899	97	11	210	23
Beemster	18788	3669	20	8936	48
Etersheimerbraak	260	45	17	51	20
Groet- en Waardp	336	18	5	85	25
Heerhugowaard	811	74	9	328	40
Monnikenmeer	8	0.4	5	1.1	14
Noordeindermeer	641	79	12	225	35
Noordmeerpolder	524	42	8	125	24
Purmer	1276	343	27	482	38
Schermer	2098	244	12	1074	51
Starnmeer	350	41	12	72	21
Baarsdorpermeer	5336	449	8	2664	50
Westerkogge	5142	973	19	2398	47
Wieringermeer	9480	5528	58	6442	68
Wieringerwaard	1892	127	7	590	31
Wogmeer	1206	80	7	473	39
Wijde Wormer	910	219	24	328	36

8.1.3 Gevoeligheden van het model op de weerstand van het afdekkende pakket

Voor enkele belangrijke polders is nagegaan in hoeverre de uitkomsten gevoelig zijn voor de weerstand van het afdekkende pakket. Bij deze berekeningen is de *c*-waarde van het afdekkende pakket verlaagd met een factor 2 en een factor 4. In tabel 14 zijn de uitkomsten weergegeven.

Tabel 14 Gevoeligheden van het model voor enkele modeluitkomsten

Polder	Factor van de *c*-waarde	Polder (m^3 d^{-1})	Kwelgebied (m^3 d^{-1})	Polder (%)	Kwelgebied (%)
Beemster	½	6108	9774	33	52
Beemster	¼	8852	11488	47	61
Etersheimerbraak	½	64	66	25	25
Etersheimerbraak	¼	81	83	31	32
Wieringermeer	½	6425	7066	68	75
Wieringermeer	¼	7345	7781	77	82

Voor de Beemster geeft een verandering van de weerstand met een factor ¼ voornamelijk in de polder een hogere kweltoename indien de gasbronnen gesloten zouden worden. Bij deze berekeningen moet echter opgemerkt worden dat verlaging van de weerstand van het afdekkende pakket een verhoging van de natuurlijke kwel tot gevolg heeft.

De mate van de verandering van de natuurlijke kwel is af te leiden uit de volgende formule:

$$q = \frac{\Delta h}{c}$$

waarin:

q : kwel (mm d^{-1})
Δh : stijghoogteverschil (mm)
c : weerstand (dagen)

Uit deze formule kan geconcludeerd worden dat door verlaging van de weerstand van het afdekkende pakket met een factor ¼, de natuurlijke kwel wordt verhoogd met een factor 4. Dit betekent dat de huidige kwel in de polder ongeveer 128 mm j^{-1} zou bedragen. Door deze zeer hoge kwel zou gezien de waterbalans in hoofdstuk 5 nagenoeg geen water worden ingelaten in de Beemster, hetgeen irreëel is.

De berekeningen voor de Etersheimerbraak-polder geven weinig verschil te zien tussen de toename van de kwel in de polder en de toename van de kwel in de kwelgebieden in Noord-Holland benoorden het IJ. Dit geringe verschil wordt veroorzaakt door het geringe brondebiet en de ligging van de Etersheimerbraak. Deze polder is gelegen als een klein kwelgebied omgeven door een groot wegzijgingsgebied. Hierdoor zal als gevolg van het afsluiten van gasbronnen in het omringende gebied voornamelijk verminderde wegzijging plaatsvinden. De berekening waarbij de weerstand van het afdekkende pakket is verlaagd met een factor ¼ geeft voor de Etersheimerbraak een zeer hoge natuurlijke kwel van 20 mm d^{-1}. De gevolgen voor het saneren van gasbronnen blijven echter relatief gering. De toename van de kwel als gevolg van het afdichten van gasbronnen bij een c-waarde van 150 dagen voor het afdekkende pakket bedraagt ruim 30%.

Voor de Wieringermeer betekent een verlaging van de weerstand van het afdekkende pakket eveneens een toename van de natuurlijke kwel. Door het hoge percentage gasbronwater dat in de vorm van extra natuurlijke kwel in het oppervlaktewater terecht zal komen, heeft verlaging van de weerstand van het afdekkende pakket relatief gezien minder effect. De toename van de kwel in alle kwelpolders in Noord-Holland benoorden het IJ, als gevolg van gasbronsanering, gaat van ongeveer 60% naar ongeveer 80% indien de weerstand van het afdekkende pakket wordt verlaagd met een factor ¼.

8.2 Balansen Wieringermeer

8.2.1 Waterbalans

Voor de Wieringermeer is voor de periode 1-4-1993 t/m 31-3-1994 de waterbalans opgesteld met behulp van de volgende formule:

$$K = N + Qg + Qrwzi + Qs + Qh + I - ETref - Quit$$

waarin:

K : kwel (mm j^{-1})
N : neerslag (mm j^{-1})
Qg : gasbronnen (mm j^{-1})
Qrwzi : effluent van Rioolwaterzuiveringsinstallaties (mm j^{-1})
Qs : schutsluizen (mm j^{-1})
Qh : hevels (mm j^{-1})
I : inlaat (mm j^{-1})
ETref : referentie gewasverdamping volgens Makkink (mm j^{-1})
Quit : uitgemalen (mm j^{-1})

De waterbalans voor de Wieringermeer (tabel 15) is opgesteld aan de hand van gegevens van het Hoogheemraadschap van Uitwaterende Sluizen in Hollands Noorderkwartier. De neerslag is bepaald aan de hand van de volgende neerslagstations van het waterschap: Medemblik, Wieringerwerf, Den Oever en de haven op de Oude Zeug. Met behulp van Thiesen-polygonen is de invloedssfeer per neerslagstation bepaald zodat gebruik gemaakt kon worden van een gewogen gemiddelde voor de bepaling van de neerslaghoeveelheid. De debietgegevens van de gasbronnen en de rioolwaterzuiveringsinstallaties zijn afkomstig van het Hoogheemraadschap. In de Wieringermeer bevinden zich vier schutsluizen. In totaal is via de schutsluizen in 1993 ongeveer 5,02 10^6 m^3 water in de polder gestroomd. Deze hoeveelheid is representatief gesteld voor de balansperiode. Gedurende de zomer wordt door verschillende boeren gebruik gemaakt van hevels voor wateraanvoer vanuit het IJselmeer of de boezem. In totaal bedraagt de wateraanvoer door middel van hevels ongeveer 2,8 10^6 m^3. Wateraanvoer vindt in de zomer eveneens plaats bij drie inlaatduikers. Deze drie duikers voorzien 1743 ha van water gedurende ca. 90 dagen per jaar. Uitgaande van een aanvoernorm van 0.36 l s^{-1} ha^{-1} bedraagt de totale hoeveelheid ingelaten water ongeveer 4,6 10^6 m^3 j^{-1}.

In de Wieringermeer is in tegenstelling tot de Beemster de inlaat wel gemeten. De kwel in de Wieringermeer kon hierdoor in de vorm van restpost bepaald worden. De berekende kwel bedraagt 359 mm j^{-1} (tabel 15). Dit komt overeen met 0,98 mm kwel per dag. Door deze grote hoeveelheid kwel is de procentuele fout gering en bedraagt ongeveer 21%. Indien de kwel per bemalingsafdeling wordt bepaald, zoals weergegeven in aanhangsel 8, zijn grote verschillen in de berekende kwel waar te nemen. De berekende kwel per afdeling varieert van -0,22 tot 2,27 mm d^{-1}. De berekende negatieve kwel (wegzijging) voor afdeling 2 in de Wieringermeer is niet mogelijk, en wordt vermoedelijk veroorzaakt door verbindingen tussen de afdelingen welke niet bekend zijn. De berekende kwel van bijna 359 mm j^{-1} voor het totale gebied komt ongeveer overeen met de in het Noord-Holland rapport berekende kwel van 422 mm j^{-1}, aan de hand van de waterbalans, en 271 mm j^{-1} aan de hand van de grondwaterbalans (Werkgroep Noord-Holland, 1982).

Tabel 15 Waterbalans van de Wieringermeer over de periode april 1993 t/m maart 1994

	Debiet			Fout	
	(m^3 j^{-1})	(mm j^{-1})	(%)	(%)	(mm j^{-1})
IN					
Neerslag	180 577 000	905,1	67	5	45,3
Gasbronnen	2 754 000	13,8	1	20	2,8
RWZI	1 261 000	6,3	0	10	0,6
Schutsluis					
Haukesluis	552 000	2,8	0	25	0,7
Strontelersl.	319 000	1,6	0	25	0,4
Overlekersl.	1 364 000	6,8	1	25	1,7
Westfriesesl.	2 784 000	14,0	1	25	3,5
Hevels	2 850 000	14,3	1	30	4,3
Inlaat					
De Haukes	1 341 000	6,7	0	20	1,3
De Ulkesluis	600 000	3,0	0	20	0,6
Nieuwesluis	2 686 000	13,5	1	20	2,7
Andere afd.	0	0,0	0	30	0,0
Kwel (rest)	71 650 129	359,1	27	21,3	76,3
Totaal	268 738 129	1347,1	100		
UIT					
Uitgemalen					
Leemans I	22 838 901	114,5	8	10	11,4
Leemans II	40 100 349	201,0	15	10	20,1
Lely I	37 733 603	189,1	14	10	18,9
Lely II	52 005 528	260,7	19	10	26,1
Lely III	27 679 748	138,7	10	10	13,9
Verdamping	88 380 000	443,0	33	10	44,3
Andere afd.	0	0,0	0	30	0,0
Totaal	268 738 129	1347,1	100		

8.2.2 Stoffenbalansen Wieringermeer

De kwel heeft verreweg het grootste aandeel (98%) op de balans (tabel 16). De grote kwelhoeveelheid en de hoge zoutconcentraties van het kwelwater liggen hieraan ten gronslag. De restpost in de balans bedraagd 549 kg ha^{-1} j^{-1}. Deze hoge restpost heeft echter maar een aandeel van 2% op de chloridebalans.

Tabel 16 Chloridebalans van de Wieringermeer over de periode april 1993 t/m maart 1994

	Debiet	Fout	Cl	Fout	Cl		Fout	
	(m^3 ha^{-1} j^{-1})	(%)	(mg l^{-1})	(%)	(kg ha^{-1} j^{-1})	(%)	(kg ha^{-1} j^{-1})	(%)
In:								
Neerslag	9051	5,0	11,5	10	104	0	10	10
Gasbronnen	138	20,0	654,7	25	90	0	26	29
RWZI	63	10,0	287,7	10	18	0	3	19
Schutsluis								
Haukesluis	28	25,0	489,8	10	14	0	12	91
Strontelersl.	16	25,0	632,0	10	10	0	16	157
Overlekersl.	68	25,0	151,5	10	10	0	4	38
Westfriesesl.	140	25,0	263,5	10	37	0	8	21
Hevels	143	30,0	188,5	10	27	0	6	23
Inlaat								
De Haukes	67	20,0	489,9	10	33	0	10	31
De Ulkesluis	30	20,0	368,5	10	11	0	7	67
Nieuwesluis	135	20,0	656,2	10	88	0	16	18
Andere afd.	0	0,0	0,0	15	0	0	0	0
Kwel	3591	21,3	6000,0	25	21549	98	5389	25
Uitspoeling	4621	13,7	5,0	25	23	0	6	25
Riooloverstort					0	0	0	0
Restant					0	0	0	0
Totaal	18092				22015	100		
Uit:								
Uitgemalen								
Leemans I	1145	10,0	1114,5	10	1276	6	12810	
Leemans II	2010	10,0	3688,0	10	7413	34	742	10
Lely I	1891	10,0	2688,5	10	5085	23	509	10
Lely II	2607	10,0	2610,5	10	6805	31	681	10
Lely III	1387	10,0	639,1	10	887	4	89	10
Andere afd.	0	0,0	0,0	15	0	0	0	0
Restant					549	2	5508	1003
Totaal	9041				22015	100		

Bij de fosforbalans heeft de kwel eveneens verreweg het grootste aandeel (tabel 17). De bijdrage van de kwel bedraagt 77%. Naast de kwel heeft de uitspoeling een hoge bijdrage aan de fosforbalans. De restpost van 31% geeft aan dat meer fosfaat het gebied in komt dan uit gaat. De meest plausibele verklaring hiervoor is de opslag van fosfor in bodemslib (hoofdstuk 5).

Tabel 17 Fosforbalans van de Wieringermeer voor de periode april 1993 t/m maart 1994

	Debiet	Fout	P	Fout	P		Fout	
	(m^3 ha^{-1} j^{-1})	(%)	(mg l^{-1})	(%)	(g ha^{-1} j^{-1})	(%)	(g ha^{-1} j^{-1})	(%)
In:								
Neerslag	9051,5	5,0	0,0	10	19	0	2	10
Gasbronnen	138,0	20,0	1,5	25	203	3	59	29
RWZI	63,2	10,0	1,6	10	103	1	19	19
Schutsluis								
Haukesluis	27,7	25,0	0,3	15	9	0	9	92
Strontelersl.	16,0	25,0	0,2	15	3	0	5	157
Overlekersl.	68,4	25,0	0,1	15	9	0	3	40
Westfriesesl.	139,5	25,0	0,6	15	82	1	19	23
Hevels	142,9	30,0	0,2	15	31	0	8	26
Inlaat								
De Haukes	67,2	20,0	0,3	15	23	0	8	33
De Ulkesluis	30,1	20,0	0,5	15	14	0	10	68
Nieuwesluis	134,6	20,0	0,4	15	49	1	10	21
Andere afd.	0,0	0,0	0,0	15	0	0	0	0
Kwel	3591,5	21,3	1,5	25	5514	77	1379	25
Uitspoeling	4621,4	13,7	0,2	25	1078	15	270	25
Riooloverstort				25	46	1	11	25
Restant					0	0	0	0
Totaal	18092,0				7182	100		
Uit:								
Uitgemalen								
Leemans I	1144,8	10,0	0,4	15	497	7	75	15
Leemans II	2010,0	10,0	0,3	15	659	9	99	15
Lely I	1891,4	10,0	0,9	15	1715	24	257	15
Lely II	2606,8	10,0	0,5	15	1213	17	182	15
Lely III	1387,5	10,0	0,6	15	873	12	131	15
Andere afd.	0,0	0,0	0,0	15	0	0	0	0
Restant					2224	31	1453	65
Totaal	9040,5				7182	100		

In tabel 18 is de stikstofbalans weergegeven. In de tabel is te zien dat de uitspoeling van stikstofverbindingen het grootste aandeel van de emissie van stikstof in de Wieringermeer heeft. Naast de uitspoeling heeft ook de kwel een hoge bijdrage aan de emissie van stikstof. De restpost van de balans ligt aan de uitgaande kant. Zoals besproken in hoofdstuk 5 kan de restpost verklaard worden door verlies van stikstof door denitrificatie door de waterbodem, vervluchtiging van ammoniak en vastlegging in afgestorven biologisch materiaal.

Tabel 18 Stikstofbalans van de Wieringermeer voor de periode april 1993 t/m maart 1994

	Debiet	Fout	N	Fout	N		Fout	
	(m^3 ha^{-1} j^{-1})	(%)	(mg l^{-1})	(%)	(g ha^{-1} j^{-1})	(%)	(g ha^{-1} j^{-1})	(%)
In:								
Neerslag	9051,5	5,0	0,3	10	2328	3	233	10
Gasbronnen	138,0	20,0	6,4	25	890	1	257	29
RWZI	63,2	10,0	11,1	10	702	1	131	19
Schutsluis								
Haukesluis	27,7	25,0	3,1	15	87	0	80	92
Strontelersl.	16,0	25,0	4,2	15	67	0	104	157
Overlekersl.	68,4	25,0	3,6	15	249	0	99	40
Westfriesesl.	139,5	25,0	3,8	15	535	1	125	23
Hevels	142,9	30,0	3,5	15	497	1	128	26
Inlaat								
De Haukes	67,2	20,0	3,1	15	211	0	70	33
De Ulkesluis	30,1	20,0	3,6	15	107	0	73	68
Nieuwesluis	134,6	20,0	3,8	15	508	1	107	21
Kwel	3591,5	21,3	7,5	25	26900	39	6727	25
Uitspoeling	4621,4	13,7	7,6	25	35000	51	8751	25
Riooloverstort				25	163	0	41	25
Restant					0	0	0	0
Totaal	18092,0				68245	100		
Uit:								
Uitgemalen								
Leemans I	1144,8	10,0	5,4	15	6177	9	928	15
Leemans II	2010,0	10,0	5,4	15	10774	16	1617	15
Lely I	1891,4	10,0	5,3	15	10068	15	1511	15
Lely II	2606,8	10,0	4,7	15	12286	18	1843	15
Lely III	1387,5	10,0	4,6	15	6347	9	953	15
Restant					22593	33	11494	51
Totaal	9040,5				68245	100		

8.2.3 Effecten van het saneren van gasbronnen in de Wieringermeer

Voor de bepaling van de effecten van het saneren van gasbronnen is gebruik gemaakt van de modelberekeningen en de balansen. Het afdichten van de gasbronnen heeft tot gevolg dat in de Wieringermeer de kwel zal toenemen met 54% van het gasbrondebiet. Voor het doorrekenen van de effecten zijn de debieten van de gasbronnen, de kwel en de uitgemalen hoeveelheid water aangepast, evenals in hoofdstuk 6. De afname van het gasbrondebiet heeft tot gevolg dat de kwel toeneemt met 54% van het gasbrondebiet. Uitgaande van een onveranderde inlaat neemt de uitgemalen hoeveelheid water af met 46% van het gesaneerde gasbronwater.

In tabel 19 is het effect van de gasbronsanering in de Wieringermeer op de emissie van chloride, fosfaat en stikstof weergegeven. Hierbij is uitgegaan van algehele gasbronsanering. Uit de tabel kan geconcludeerd worden dat het saneren van gasbronnen

in de Wieringermeer weinig effect heeft op de emissie van de desbetreffende stoffen. Bij chloride is zelfs een verhoging van de emissie waar te nemen. De vermindering van de hoeveelheid water bij gasbronsanering wordt teniet gedaan door de toename van de kwel. De toename van de kwel is welliswaar gering, maar de zeer hoge zoutconcentraties in de kwel veroorzaken een verhoging van de chlorideconcentratie in het oppervlaktewater.

Tabel 19 Afname van de emissie als gevolg van het saneren van gasbronnen op de belasting van het oppervlaktewater met chloride, fosfaat en stikstof in de Wieringermeer

	Totale belasting ($g\ ha^{-1}\ j^{-1}$)	Belasting zonder gasbronnen ($g\ ha^{-1}\ j^{-1}$)	Afname (%)
chloride	22 015 000	22 388 000	-1,7
fosfaat	7 182	7 098	1,2
stikstof	68 245	67 934	0,5

8.3 Waterkwaliteit

Om meer inzicht te verkrijgen omtrent de waterkwaliteit zijn in de periode maart-april 1996 watermonsters genomen. Bij het veldonderzoek zijn monsters genomen van het kwelwater, enkele gasbronnen en het oppervlaktewater.

8.3.1 Grondwaterkwaliteit

De kwelmonster zsijn genomen met behulp van een monstername-apparaat dat bestaat uit een plastic buis waarin zich een koperen leiding bevindt. Deze leiding is verbonden met een keramische cup die onderaan de plastic buis is bevestigd. Bij de monstername wordt de keramische cup in de slootbodem gestoken. Met behulp van onderdruk wordt kwelwater in een flesje gezogen. Na het plaatsen van het monsternameapparaat is de apparatuur doorgespoeld met kwelwater alvorens de kwelmonsters genomen werden. De kwelmonsters zijn in duplo genomen waarbij monsterflesjes van 200 ml gevuld werden met kwelwater.

De monstername heeft in duplo plaats gevonden in de volgende drie polders: Beemster, Wieringermeer en de Etersheimerbraak. In deze polders zijn respectievelijk op 17, 19 en 3 plaatsen monsters genomen. In aanhangsel 9 zijn de monsterlocaties en de analyseresultaten weergegeven. De analyseresultaten zijn weergegeven in gemiddelde waarde per locatie, waarbij de analyse en de monstername in tweevoud heeft plaatsgevonden.

De chloride concentratie in de Beemster varieert van 76 tot 1631 mg l^{-1}. De hoge concentraties komen voornamelijk in het oostelijke deel van de Beemster voor, nabij de boezem. Het ijzergehalte varieert van <0,1 tot 17 mg l^{-1}. Over het algemeen is de ijzerconcentratie laag. De hoge uitschieters komen evenals de hoge chloridegehaltes voor in het oostelijke deel van de Beemster. Bij de fosfaatconcentratie komt minder variatie

voor. De fosfaatconcentratie varieert van 0.37 tot 7,8 mg l^{-1}, met een gemiddelde van ongeveer 4 mg l^{-1}. De stikstofconcentraties variëren van 3,3 tot 48 mg l^{-1}, met een gemiddelde van ongeveer 25 mg l^{-1}. De gemeten concentratie voor het kwelwater komen ongeveer overeen met de gebruikte waarden in de stoffenbalans. Hierdoor geven de metingen geen aanleiding om de stoffenbalansen bij te stellen. De gebruikte aannamen bij het opstellen van de stoffenbalansen met de daarmee samenhangende onzekerheden zijn voldoende geweest om de balansen correct op te stellen.

In de Wieringermeer zijn vooral voor chloride veel hogere concentraties gevonden. De chlorideconcentraties in de Wieringermeer variëren van 70 tot bijna 10000 mg l^{-1}. De hoge concentraties zijn voornamelijk gevonden in gebieden met hoge kwel. Het ijzergehalte van het kwelwater is over het algemeen laag. Hiervoor geldt echter ook dat de hoge ijzerconcentraties tot ongeveer 65 mg l^{-1} voorkomen in gebieden met een hoge kwelintensiteit. Bij de fosfaatconcentratie komen de hoge concentratie juist voor op plaatsen waar weinig natuurlijke kwel aanwezig is. In deze gebieden komen concentraties tot 7,9 mg l^{-1} voor terwijl de concentratie in gebieden met een hoge kwelintensiteit ongeveer 0,4 mg l^{-1} is. De concentraties voor stikstof variëren van 1 tot 35 mg l^{-1}, en variëren sterk over het gehele gebied.

Aan de monsters in de Etersheimerbraak is goed te zien dat voornamelijk chloride-, fosfaat-, en ijzerconcentraties sterk kunnen variëren op kleine afstand.

8.3.2 Kwaliteit gasbron- en oppervlaktewater

In de Beemster, Wieringermeer en Etersheimerbraak zijn naast de kwelmonsters ook monsters genomen van enkele gasbronnen en slootwater. De monsterlocaties en de meetwaarden zijn weergegeven in aanhangsel 10. In de tabellen zijn eveneens de gemiddelde analyseresultaten weergegeven per locatie, waarbij het gemiddelde is bepaald over de monsteranalyses in tweevoud.

Aan de hand van de analyseresultaten van de gasbronmonsters is een duidelijk verschil te zien in de concentraties van de geanalyseerde stoffen per polder. De chlorideconcentratie kan sterk variëren, maar is in de Wieringermeer over het algemeen hoger dan in de Beemster. Voor fosfaat en stikstof is te zien dat de hoge concentraties in de Beemster en de Etersheimerbraak voorkomen. Ten aanzien van ijzer, werden de hoge concentraties in de Wieringermeer en de Etersheimerbraak gevonden.

Naast de monstername van de gasbronnen is zijn ook monsters van het slootwater en mengmonsters geanalyseerd. Op een locatie in de Wieringermeer zijn monsters genomen van het oppervlaktewater op verschillende afstanden van een gasbron. In de tabel in aanhangsel 10 is duidelijk te zien dat de concentraties voor fosfaat, stikstof en ijzer afnemen naarmate een watermonster verder van de gasbron verwijderd is. Voornamelijk in de Wieringermeer is deze afnemende trend waar te nemen. Aangezien het gasbronwater zich met het slootwater, dat lagere stofconcentraties heeft, vermengd is afname van de stofconcentraties te verwachten. Om te bepalen in hoeverre deze afname in concentratie te verklaren is uit de menging van water met verschillende

stofconcentraties zijn mengmonsters genomen. De analyseresultaten zijn weergegeven in aanhangsel 10. Bij menging van slootwater met gasbronwater wordt de stofconcentratie ongeveer bepaald door de mengverhouding. Als kanttekening bij deze resultaten moet echter opgemerkt worden dat de laboratoriumcondities kunnen verschillen van de condities in de werkelijkheid. Hierbij valt voornamelijk te denken aan de invloed van licht, temperatuur en zuurstof op chemische reacties.

De fosfaatconcentratie in de sloot neemt echter af tot een concentratie-waarde die lager is dan de concentratie van het slootwater. Deze vergaande afname van de fosfaatconcentratie is niet alleen toe te schrijven aan de menging van water in de sloot, maar wordt ook veroorzaakt door de binding van fosfaat aan ijzer. Door de ligging van de gasbron, nabij een beginpunt van een sloot vindt in deze droge periode waarin de monsters genomen zijn, bijna geen menging plaats tussen het gasbronwater en het in de sloot aanwezige water. De chlorideconcentratie blijft namelijk zeer hoog ten opzichte van de chlorideconcentratie in het slootwater voor het uitstroompunt van de bron. De afname van de fosfaatconcentratie is hierdoor voornamelijk toe te schrijven aan de bindig van fosfaat aan ijzer(hydr)oxiden. Door de hoge ijzerconcentratie ten opzichte van de fosfaatconcentratie voor het gasbronwater in deze bron, is de binding van het grootste deel van het fosfaat mogelijk (Hetterschijt et al., 1994; Schouwmans, 1994).

9 Conclusies van het gehele onderzoek

Als gevolg van het afdichten van gasbronnen zal de stijghoogte in het eerste watervoerende pakket toenemen. Door de toename van de druk zal extra natuurlijke kwel in het oppervlaktewater terechtkomen. Indien in geheel Noord-Holland benoorden het IJ de gasbronnen gesaneerd worden zal ruim 50% van het gesaneerde gasbronwater in de vorm van natuurlijke kwel in het oppervlaktewater tot afvoer komen. Door de lage weerstand van het afdekkende pakket in de Wieringermeer zal in de Wieringermeer relatief gezien het grootste aandeel van het gesaneerde gasbronwater in de vorm van extra natuurlijke kwel in de polder terechtkomen.

Indien niet alle gasbronnen in het gebied gesloten worden is het effect van het saneren geringer. Dit wordt veroorzaakt doordat gasbronnen harder gaan stromen als gevolg van gasbronsanering in een nabij gelegen polder.

In de Wieringermeer heeft sanering van gasbronnen op de emissie van chloride, fosfaat en nitraat weinig effect. De afname van de emissie in de Wieringermeer is voor deze stoffen respectievelijk -1,7, 1,2 en 0,5 %. Het chloridegehalte van het oppervlaktewater zal zelfs iets toenemen. Deze toename wordt veroorzaakt door de hoge chlorideconcentraties van het kwelwater. Het geringe effect van gasbronsanering in de Wieringermeer wordt naast de lage hydraulische weerstand van het afdekkende pakket, die voornamelijk wordt veroorzaakt door het lage aandeel van de gasbronnen op de stoffenbalansen.

De effecten van het saneren van gasbronnen kan sterk variëren tussen de polders. Deze variatie wordt door een aantal factoren, zoals de weerstand van het afdekkende pakket en de stofconcentraties van gasbron- en kwelwater, veroorzaakt. Het aandeel van de gasbronnen op de stoffenbalans in een polder is echter verreweg de meest bepalende factor op het effect van het saneren van gasbronnen. Indien in een polder maar weinig gasbronnen voorkomen zal het aandeel op de emissie van opgeloste stoffen en daarmee ook het effect van saneren van gasbronnen gering zijn. De bepaling van de effecten zijn namelijk schaal afhankelijk. Voor geheel Nederland dragen de gasbronnen immers bijna niets bij aan de emissie van fosfaat en stikstof. In de Beemster, waar naar verhouding veel gasbronnen voorkomen, is de emissie van deze stoffen echter veel hoger. Plaatselijk gezien kunnen de gasbronnen een aanzienlijk deel van de emissie van fosfaat en nitraat veroorzaken.

Literatuur

Bronswijk, J.J.B., W. Hamminga en K. Oostindie, 1995. 'Nitraatuitspoeling uit kleigronden en consequenties voor oppervlaktewaterkwaliteit'. *H2O* 28, 4: 104-106.

Burrough, P.A., 1986. *Principles of geographical information systems for land resources assessment.* Oxford, Clarendon press.

Derde Nota Waterhuishouding, 1989. *Water voor nu en later.* 's-Gravenhage, SDU Uitgeverij. (Tweede Kamer der Staten-Generaal, 21250, nrs. 1-2).

Hemker, C.J. en H. van Elburg, 1990. *Micro-Fem user's manual, MicroComputer Multilayer Steady State Finite Element GroundWater Modeling.* Version 2.0. Amsterdam.

Hetterschijt, R.A.A., J. Griffioen, J.W.A. Foppen en E.A. Buijs, 1994. *Hydrochemie van fosfaat bij kwel van grondwater in polders. Deelrapport III, Hydrochemische processen rondom vier slootbodems in laag-Nederland.* Delft, TNO Grondwater en Geo-Energie, rapportnr GG-R-95-69(A).

Hillen, R., 1991. *Geohydrologische atlas IJselmeergebied.* Lelystad.

Hoogheemraadschap van Uitwaterende Sluizen in Hollands Noorderkwartier, 1994. *Kwaliteit van water, bodem en oevers in het Waterschap de Waterlanden.* Edam.

KNMI/RIVM, 1980-1988. *Chemische samenstelling van de neerslag over Nederland.* jaarrapport. De Bilt/Bilthoven.

Macduff, J.H., J.H.A.M. Steenvoorden, D. Scholefield and S.P. Cuttle., 1990. 'Nitrate leaching losses from grazed grassland'. *Soil-Grassland-Animal Relationships.* 2: 18-24.

Manen, H.A. van, 1990. *Geohydrologisch meetnet Noord-Hollandse randgebied van de Markerwaard; periode 1948 - 1986.* Lelystad, Ministerie van Verkeer en Waterstaat, Rijkswaterstaat, directie Flevoland, nr 1990 - 22.

Parratt, L.G., 1961. *Probability and experimental errors in science.* New York, John Wiley & sons, inc.

Provinciaal Grondwater plan, 1986. *Provinciaal grondwaterplan van Noord-Holland.* Haarlem, Provincie Noord-Holland.

RGD, 1979a. *Geologie van de provincie Noord-Holland.* Haarlem, Rijks Geologische Dienst, Rapport no. O.P. 7106.

RGD, 1979b. *Samenstelling en verbreiding holocene afdekpakket in Noord-Holland (ten noorden van het Noordzeekanaal.* Haarlem, Rijks Geologische Dienst, Rapport no. 5302.

Schoumans, O.F., 1994. *De gevolgen van fosfaatbemesting voor het milieu, Synopsis.* Gebundelde verslagen van de Nederlandse Vereniging voor Weide- en Voederbouw, nr. 35.

Warmerdam, P.M.M., 1981. 'De invloed van de wind op regenwaarnemingen; een vergelijkend regenmeteronderzoek'. *H2O* (14), 1: 16-20.

Werkgroep Herziening Cultuurtechnisch Vademecum, 1988. *Cultuurtechnisch Vademecum.* Utrecht, Cultuurtechnische vereniging.

Werkgroep Noord-Holland, 1982. *Kwantiteit en kwaliteit van grond - en oppervlaktewater in Noord-Holland benoorden het IJ.* Wageningen, Instituut voor Cultuurtechniek en Waterhuishouding, Werkgroep Noord-Holland. Regionale Studies 16.

Westerhoff, W.E., E.F.J. de Mulder en W. de Gans, 1987. *Toelichting bij de geologische kaartvan Nederland 1:50.000, Alkmaar West en Alkmaar Oost.* Haarlem, Rijks Geologische Dienst.

Niet-gepubliceerde bronnen

Pomper, A.B., 1979. *De geologische en geohydrologische opbouw van Noord-Holland benoorden het Noordzeekanaal.* Wageningen, Instituut voor Cultuurtechniek en Waterhuishouding, ICW-nota 1135.

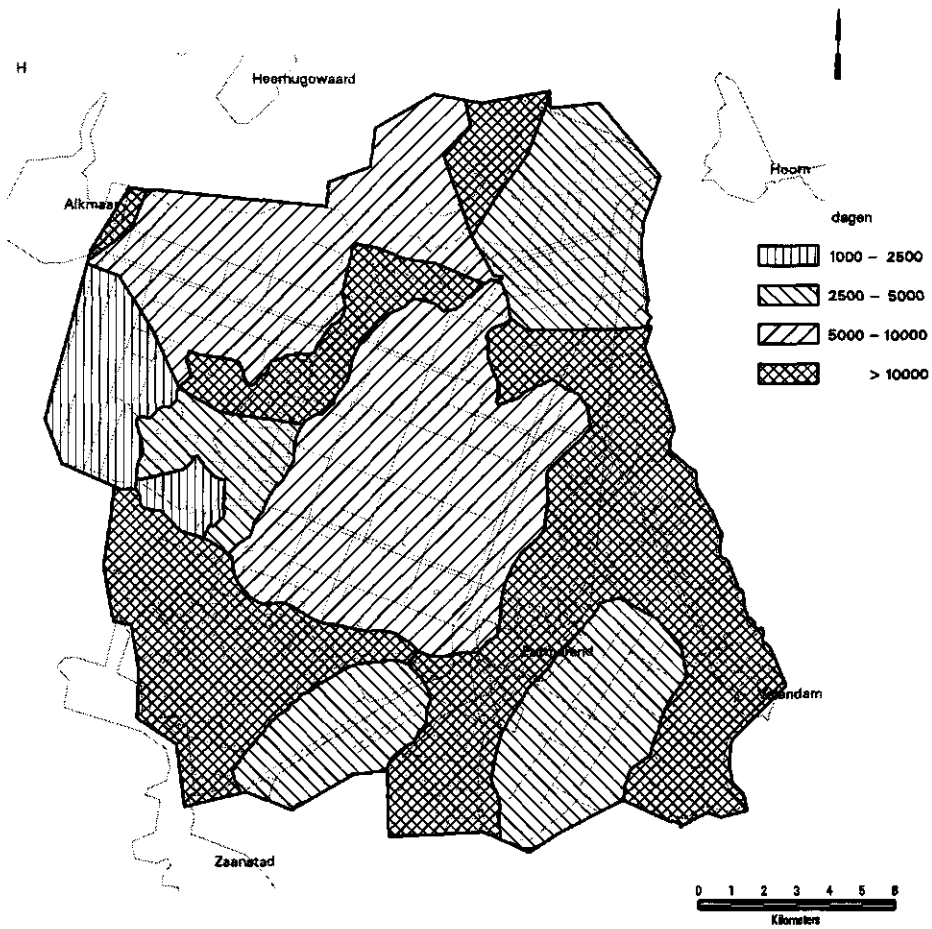
Rees Vellinga, E. van en H. Witt, 1981. *De chemische samenstelling van het grondwater in Holland Noorderkwartier.* Wageningen, Instituut voor Cultuurtechniek en Waterhuishouding, ICW-nota 1258.

Steenvoorden, J.H.A.M., 1979. *Water- en chloridebalans van de Schermerboezem.* Wageningen, Instituut voor Cultuurtechniek en Waterhuishouding, ICW-nota 967.

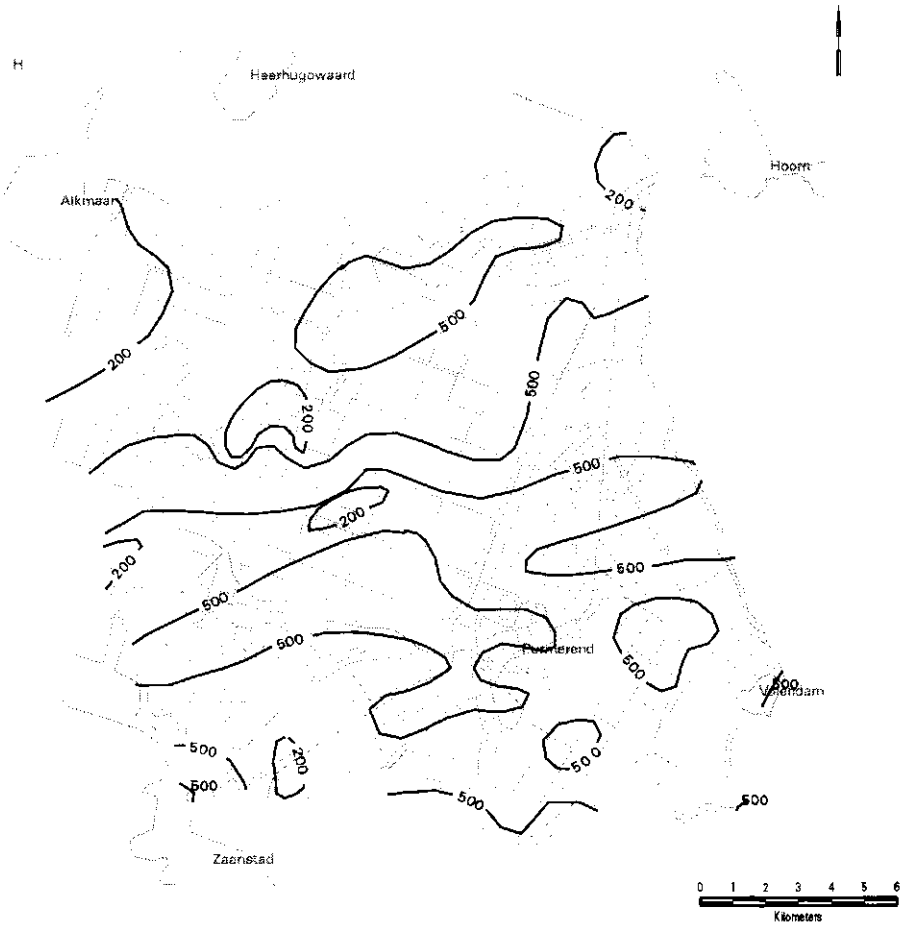
Steenvoorden, J.H.A.M., 1984. *Stikstof- en fosforbalansen van oppervlaktewater.* Wageningen, Instituut voor Cultuurtechniek en Waterhuishouding, ICW-nota 1556.

Toussaint, C.G. en T. Boogaard, 1978. *Chloride-, stikstof- en fosfaatbelasting van polderwater door gas- en koelbronnen.* Wageningen, Instituut voor Cultuurtechniek en Waterhuishouding, ICW-nota 1061.

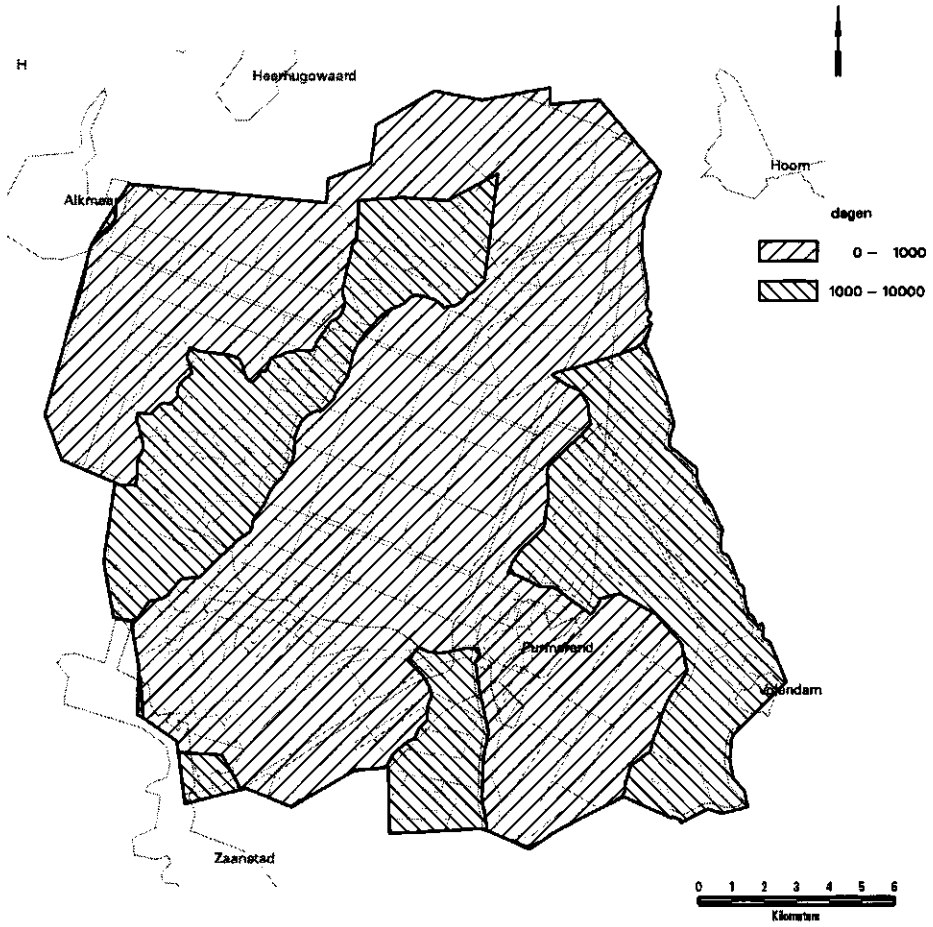
Aanhangsel 1 Geohydrologische modelparameters voor de Beemster



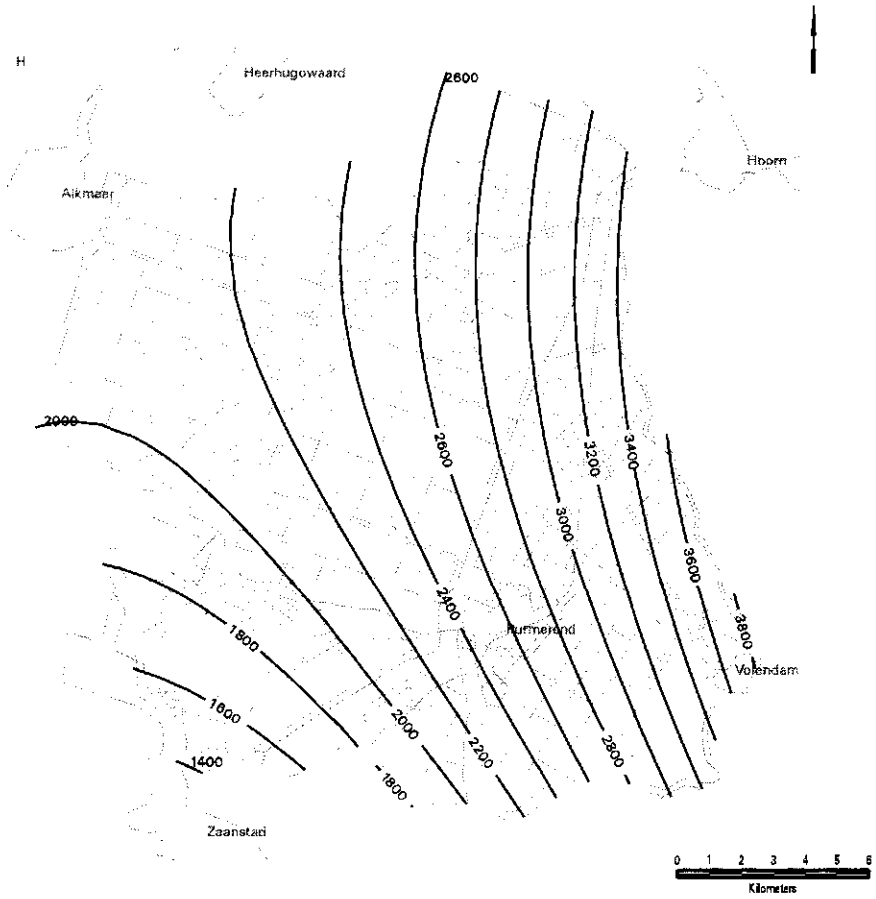
Weerstand (c in dagen) van het afdekkend pakket (Bron: Werkgroep Noord-Holland, 1982)



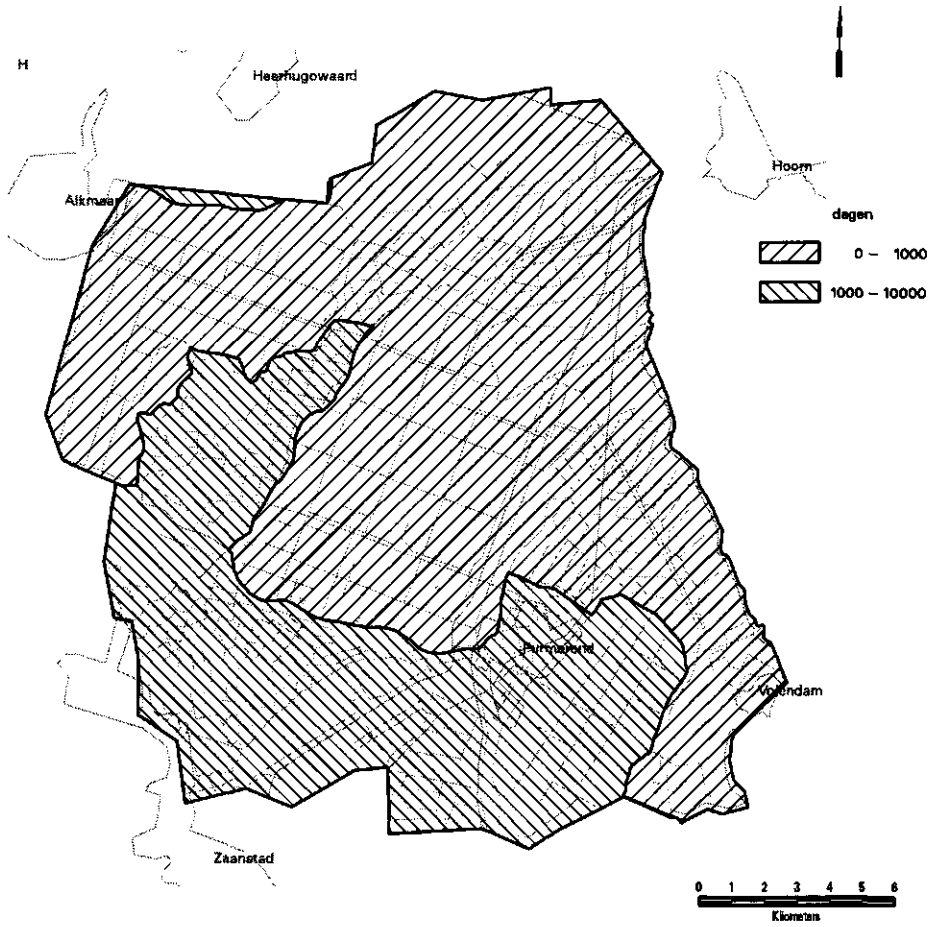
Doorlaatvermogen (kD in m^2/d) van het eerste watervoerend pakket (Bron: Werkgroep Noord-Holland, 1982)



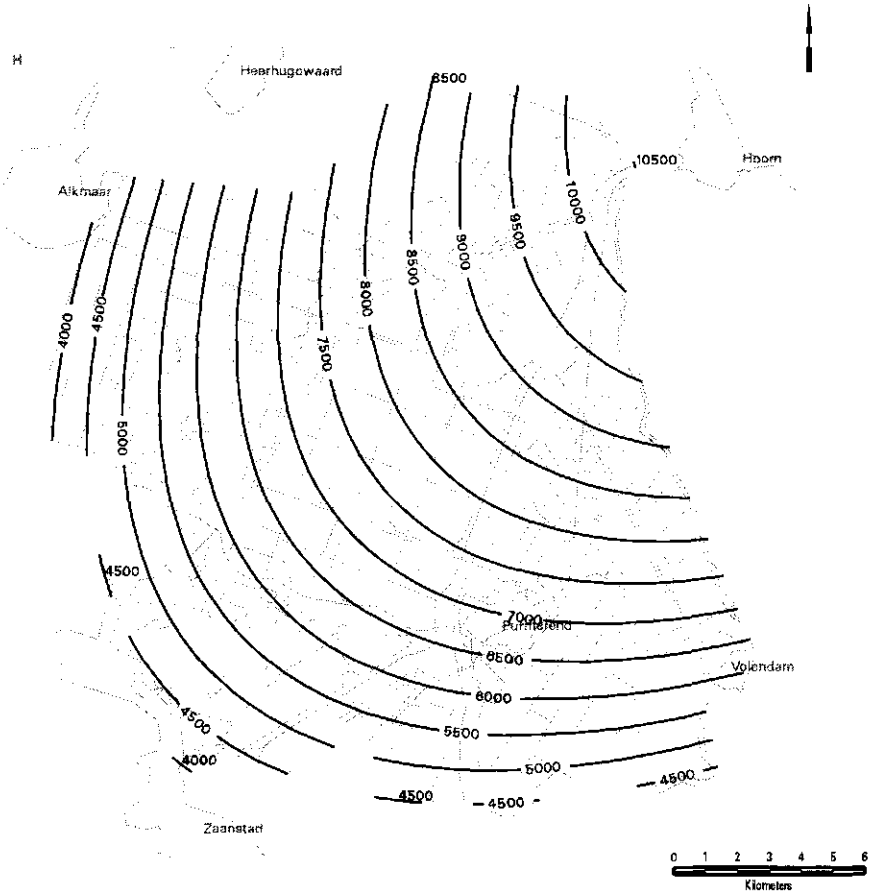
Weerstand (c in dagen) van de eerste scheidende laag (Bron: Werkgroep Noord-Holland, 1982)



Doorlaatvermogen (kD in m^2/d) van het tweede watervoerend pakket (Bron: Werkgroep Noord-Holland, 1982)



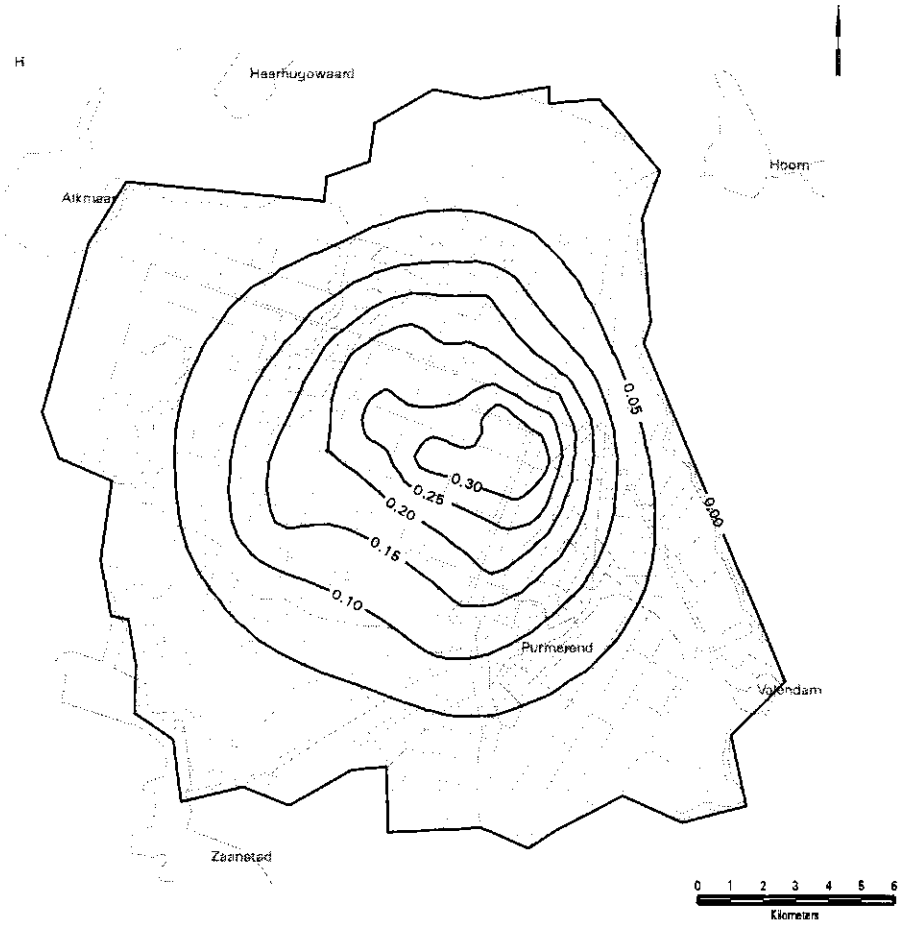
Weerstand (c in dagen) van de tweede scheidende laag (Bron: Werkgroep Noord-Holland, 1982)



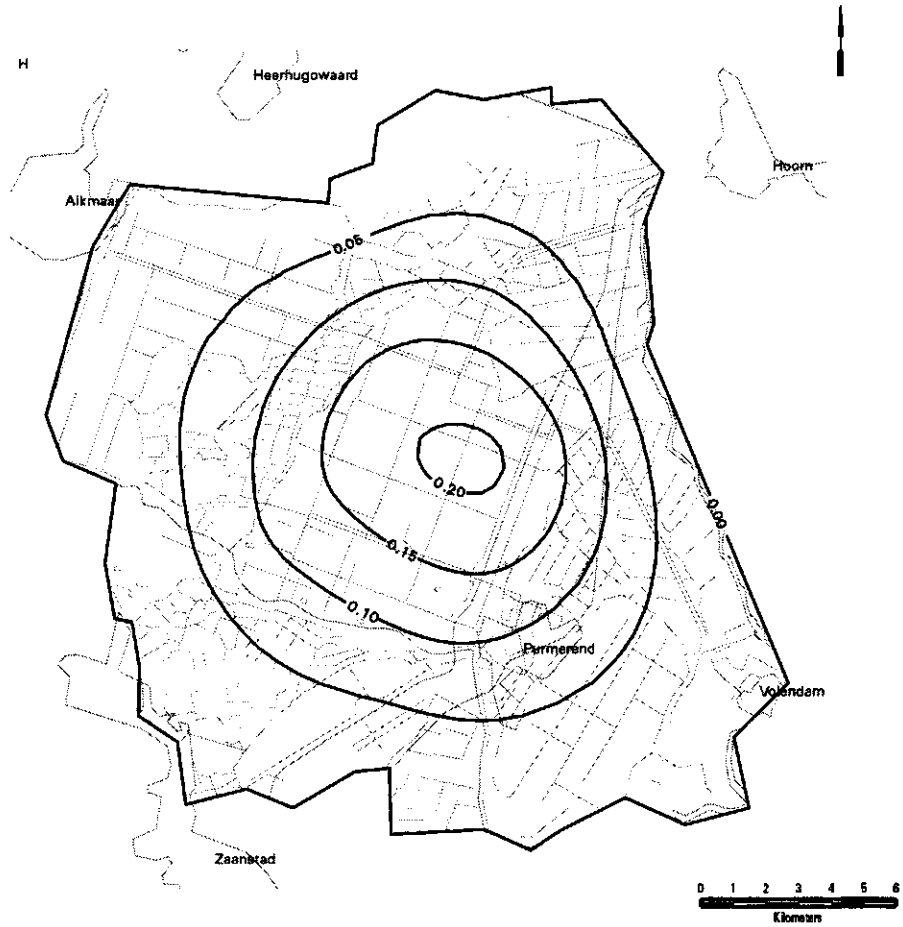
Doorlaatvermogen (kD in m^2/d) van het derde watervoerend pakket (Bron: Werkgroep Noord-Holland, 1982)

Aanhangsel 2 Modeluitkomsten Beemster

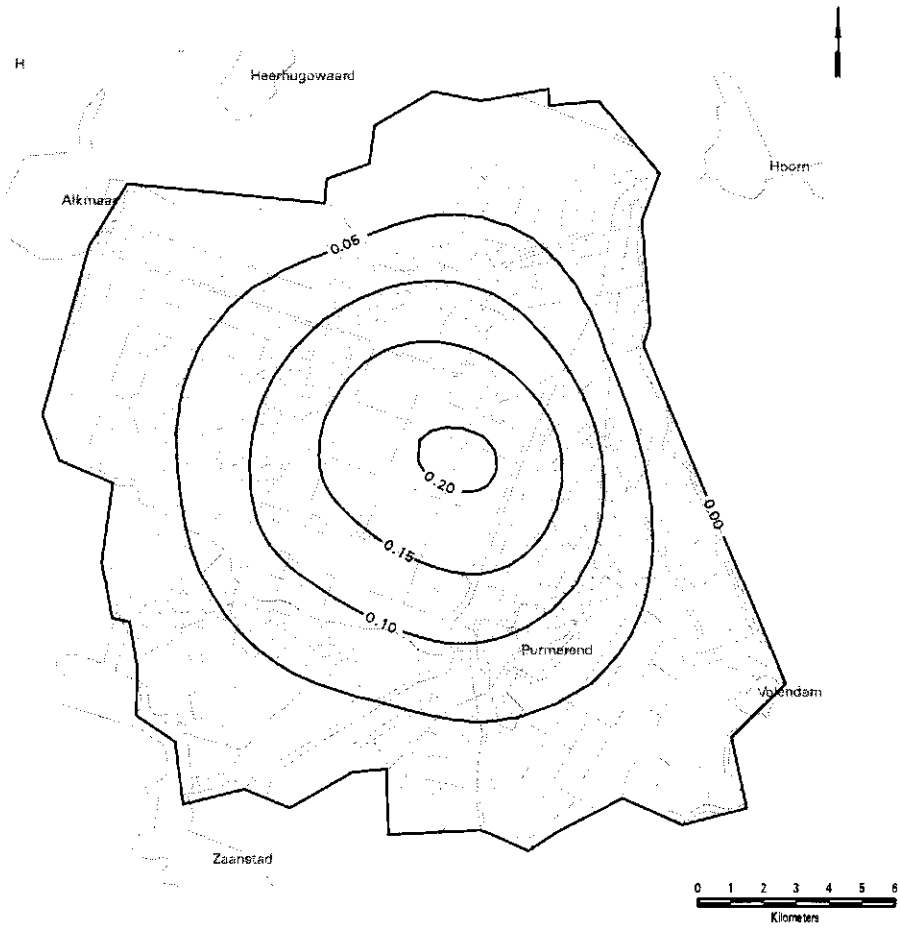
Verhoging (m) van de stijghoogte in het eerste watervoerend pakket als gevolg van gasbronsanering



Verhoging (m) van de stijghoogte in het tweede watervoerend pakket als gevolg van gasbronsanering



Verhoging (m) van de stijghoogte in het derde watervoerend pakket als gevolg van gasbronsanering



Verhoging (m) van de stijghoogte in het vierde watervoerend pakket als gevolg van gasbronsanering

Aanhangsel 3 Foutvoortplanting

Voor de foutvoortplanting bij onafhankelijke variabelen, en indien bij een berekening alleen gebruik wordt gemaakt van optellen en aftrekken, kan gebruik gemaakt worden van de volgende formule:

$$Sy = \sqrt{(Sx_1^2 + Sx_2^2 + ...)} \tag{6}$$

Waarin:
- Sy : Standaardafwijking in y (berekende variabele)
- Sx_1: Standaardafwijking van de x_1 variabele van de berekening
- Sx_2: Standaardafwijking van de x_2 variabele van de berekening
  (Parratt, 1961; Burrough, 1986)

De fractie van de standaardafwijking die in procenten kan worden weergegeven, kan berekend worden volgens:

$$Fractie\ Sy = Sy/y \tag{7}$$

Voor de berekening van de chloride- en nutriëntenbalansen zijn de vrachten door middel van een vermenigvuldiging. De fout per balanspost in deze balansen is berekend met behulp van de volgende formule, welke gebruikt kan worden voor de berekening van de foutvoortplanting bij vermenigvuldigingen en delingen van onafhankelijke variabelen:

$$Sy = \sqrt{(x_2^2 Sx_1^2 + x_1^2 Sx_2^2)} \tag{8}$$

Waarin:
- Sy : Standaardafwijking in y (berekende vracht)
- x_1 : Variabele x_1 van de vermenigvuldiging
- x_2 : Variabele x_2 van de vermenigvuldiging
- Sx_1: Standaardafwijking van de x_1 variabele van de vermenigvuldiging
- Sx_2: Standaardafwijking van de x_2 variabele van de vermenigvuldiging
  (Burrough, 1986)

Ook kan direct de procentuele fout berekend worden met behulp van de volgende formule:

$$Pu = \sqrt{Px^2 + Py^2} \tag{9}$$

Waarin:
- Pu : Procentuele afwijking in y
- Px_1: Procentuele afwijking van de x_1 variabele van de vermenigvuldiging
- Px_2: Procentuele afwijking van de x_2 variabele van de vermenigvuldiging

Met behulp van formule (1) kan wederom de fout van de restantpost berekend worden. Als kanttekening bij deze berekening moet gezegd worden dat bij de berekening van de foutvoortplanting van de nutriëntenbalans een iets te grote fout wordt berekend voor de restantpost. Dit is een gevolg van het niet onafhankelijk zijn van de ingelaten hoeveelheid water van de overige waterbalanstermen omdat deze al als restpost van de waterbalans is berekend. Hierom is ter indicatie eveneens een berekening uitgevoerd waarbij de fout van de inlaat is gesteld op 15%. Hierbij is verondersteld dat de inlaat geen restantpost is van de waterbalans, maar direct (hoewel onnauwkeurig) is gemeten.

Aanhangsel 4 Fosfaatadsorptie van gesynthetiseerde ijzerhydroxiden

Proces

$$Q = \frac{K\ c\ Q_m}{1 + K\ c}$$

Waarin:

Q : Geabsorbeerde hoeveelheid fosfaat (mg P per kg Fe)
K : Adsorptieconstante (l mg^{-1})
c : Fosfaatconcentratie (mg l^{-1})
Q_m: maximale geadsorbeerde hoeveelheid fosfaat (mg P per kg Fe)
(Schoumans, 1994)

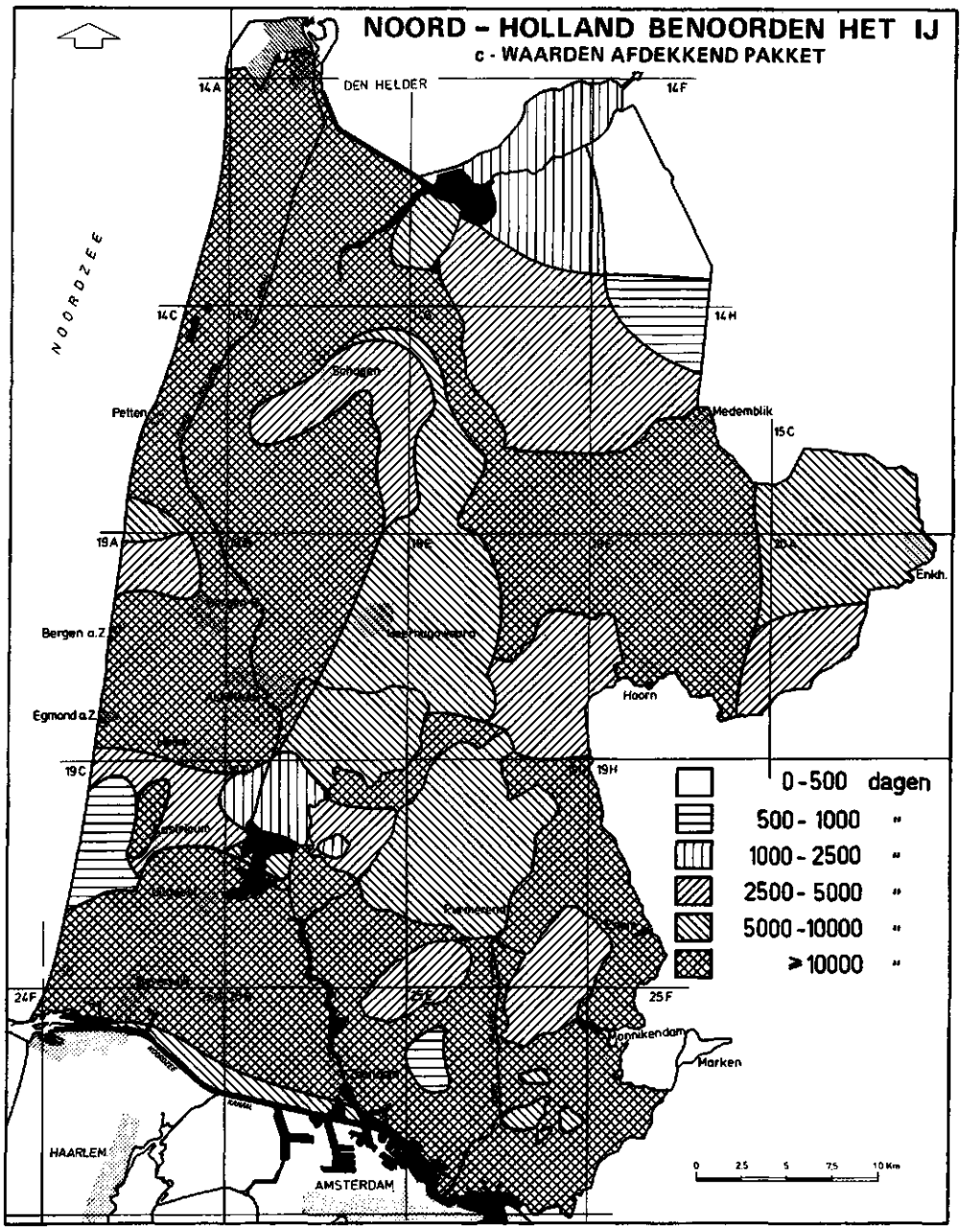
K_m = 15,8 l/mg
Q_m = 13743 mmol P/kg Fe (x 31) = 426033 mgr P per kg Fe

Bij een gasbronconcentratie van 4,5 mg l^{-1} P wordt Q: 420124 mg P per kg Fe

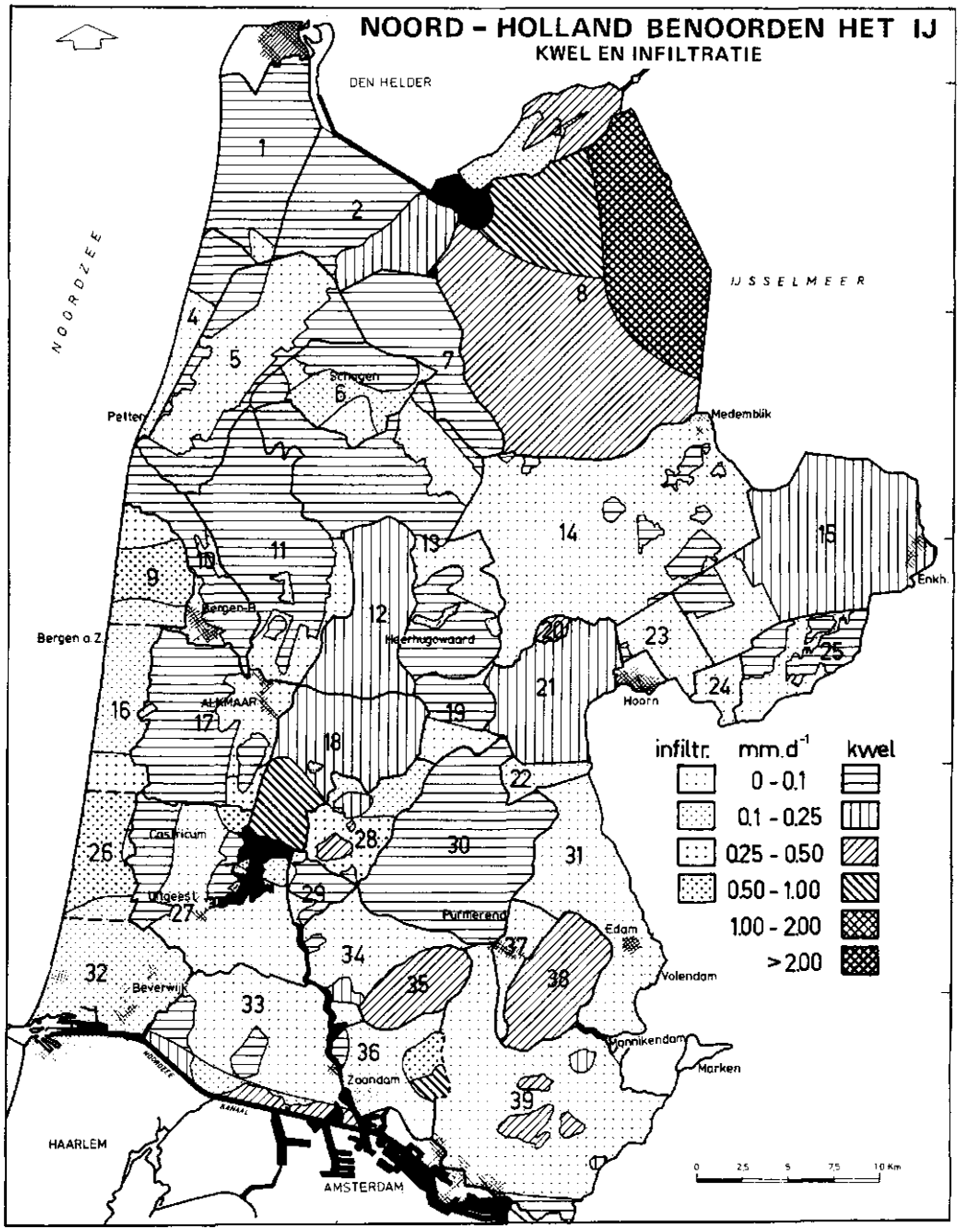
De maximale geabsorbeerde hoeveelheid fosfaat voor verschillende ijzerconcentraties wordt dan:
20 mg l^{-1} Fe = 0,00002 kg l^{-1} Fe ===> 8,4 mg l^{-1} P
10 mg l^{-1} Fe = 0,00001 kg l^{-1} Fe ===> 4,2 mg l^{-1} P
5 mg l^{-1} Fe = 0,000005 kg l^{-1} Fe ===> 2,1mg l^{-1} P

Bij deze berekening is uitgegaan van een totale omzetting van het ijzer in ijzerhydroxiden. In werkelijkheid zal geen volledige omzetting plaatsvinden. De effectiviteit van de adsorptie is ook geen 100%. Deze is mede afhankelijk van de pH. Door al deze aspecten is het niet eenvoudig een exacte uitspraak te doen over de binding van fosfaat aan gesynthetiseerd ijzerhydroxide.

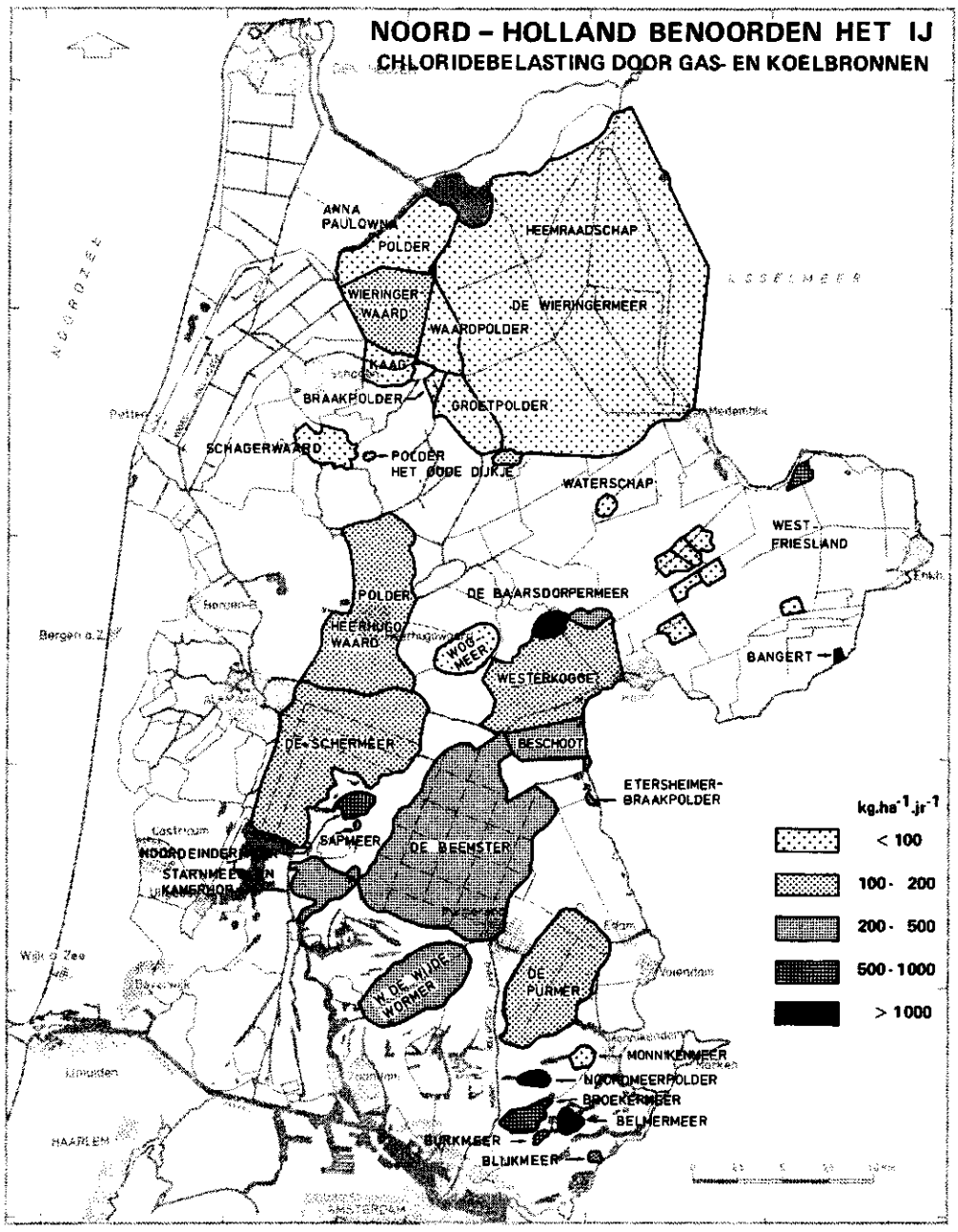
Aanhangsel 5 Gegevens Noord-Holland benoorden het IJ



Vertikale weerstand van het afdekkende pakket (Bron: Werkgroep Noord-Holland, 1982)

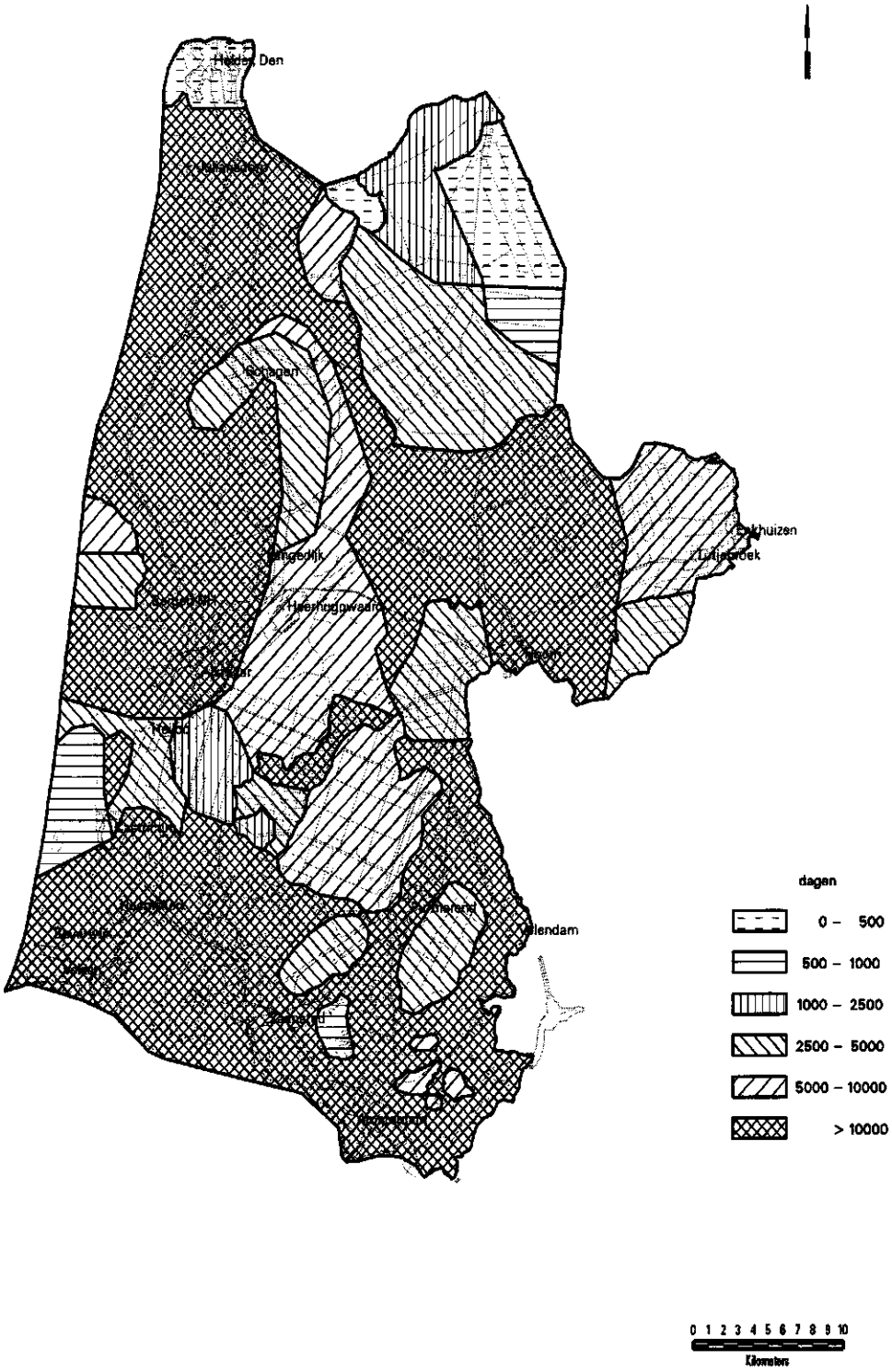


Kwel en infiltratie (Bron: Werkgroep Noord-Holland, 1982)



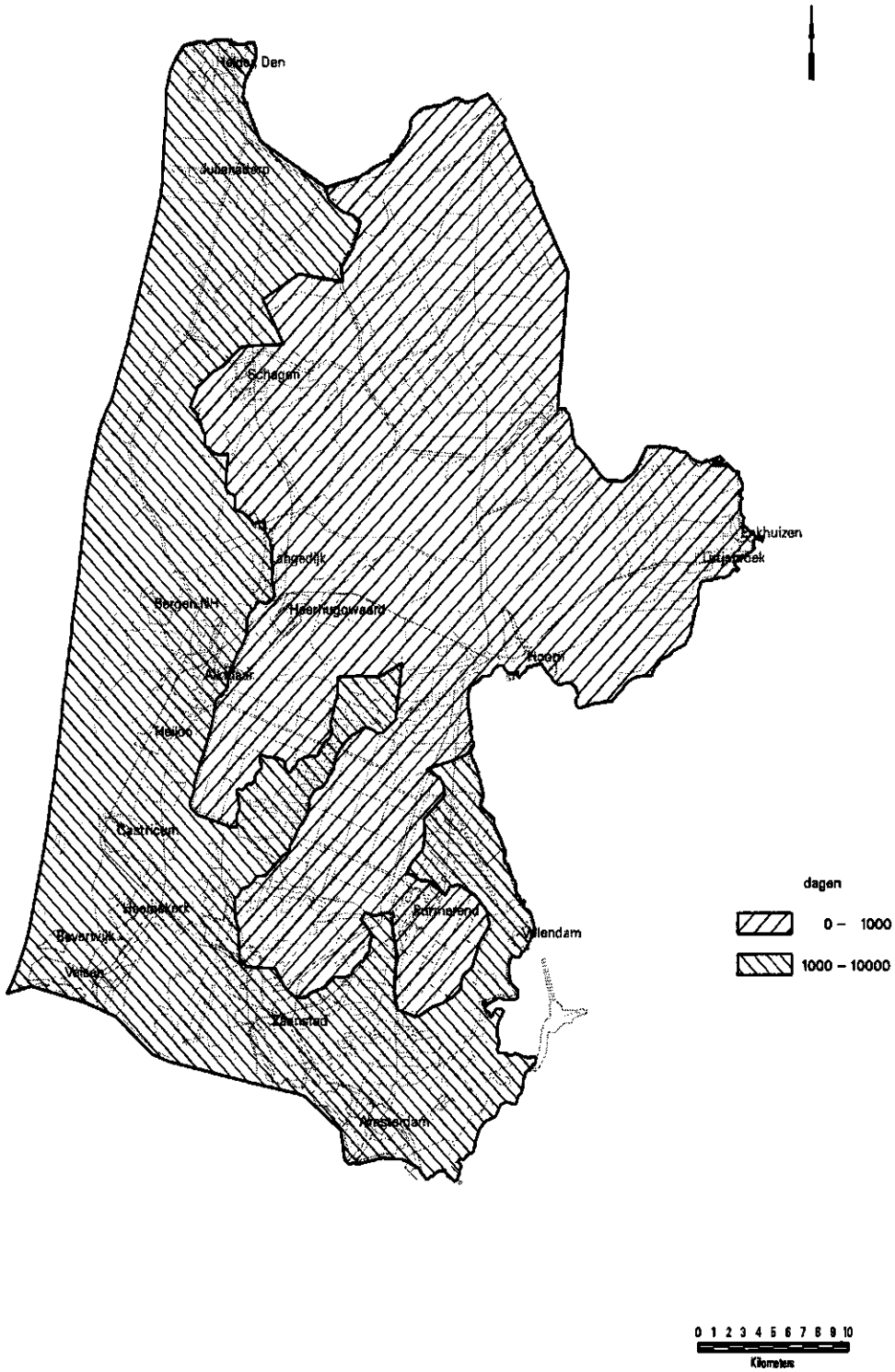
Chloridebelasting van het oppervlaktewater door gasbronnen en tot koelbronnen omgevormde gasbronnen in Noord-Holland benoorden het IJ (Bron: Werkgroep Noord-Holland, 1982)

Aanhangsel 6 Geohydrologische modelparameters voor Noord-Holland benoorden het IJ

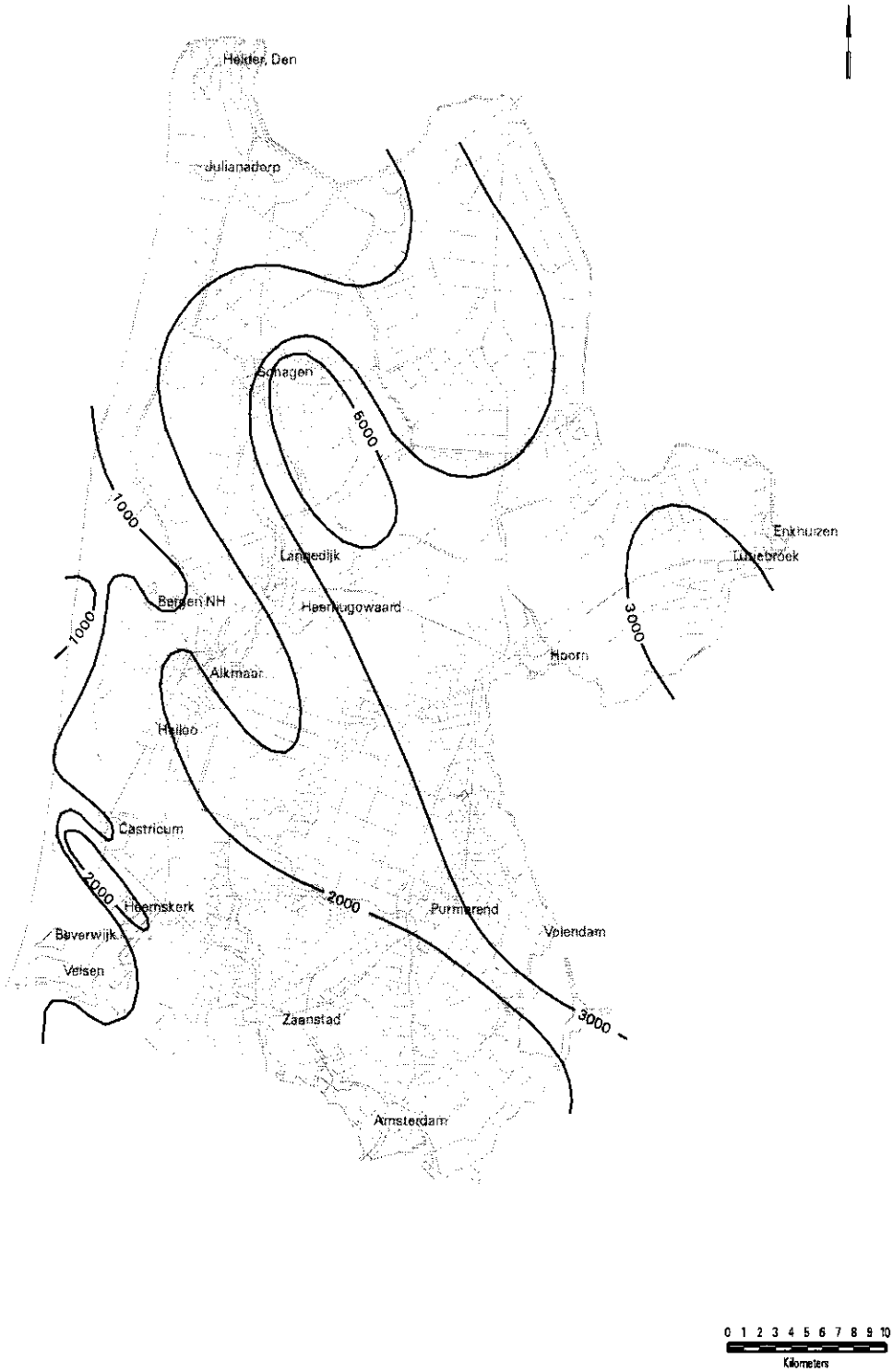


Weerstand (c in dagen) van het afdekkend pakket (Bron: Werkgroep Noord-Holland, 1982)

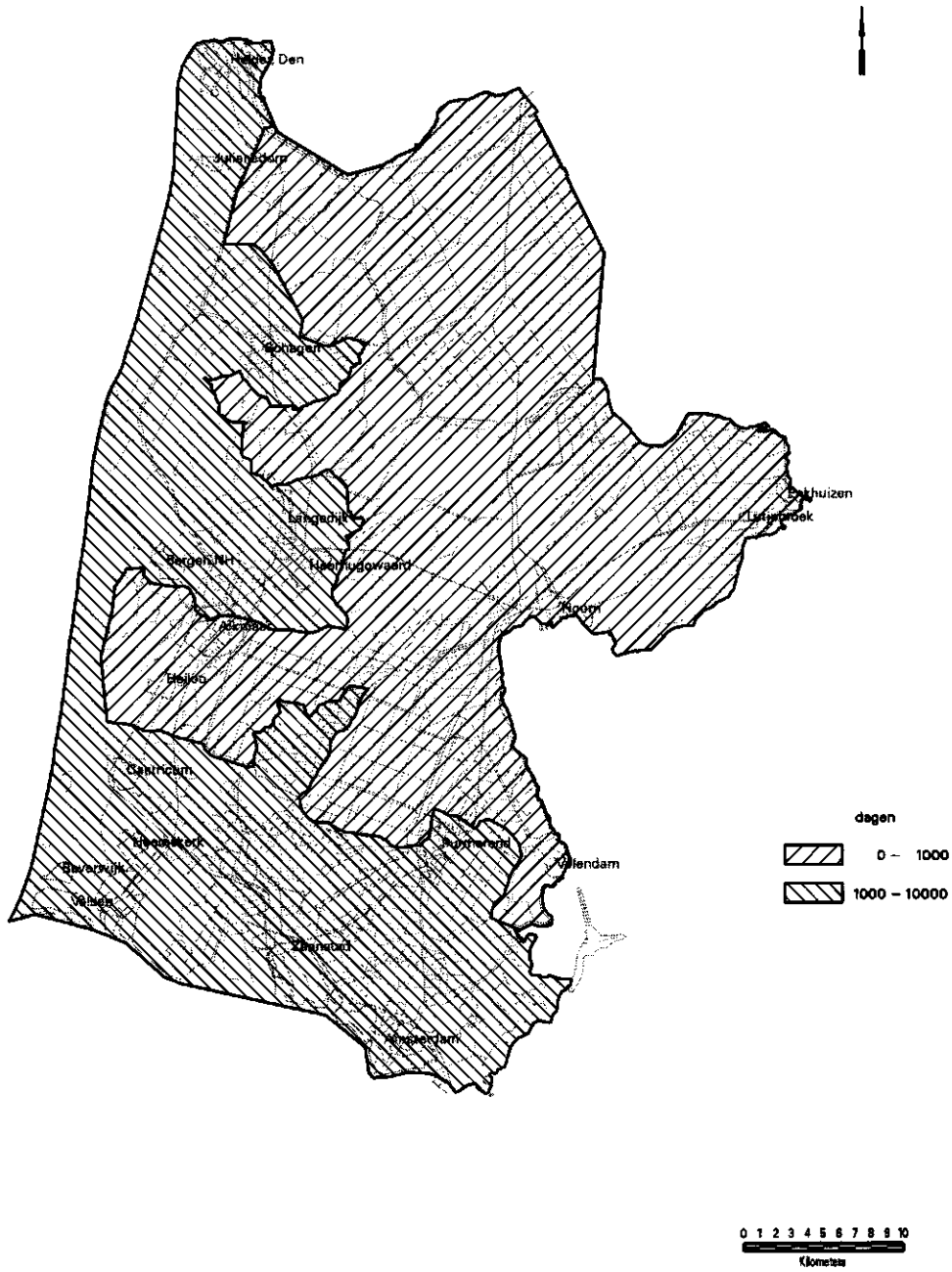
Doorlaatvermogen (kD in m^2/d) van het eerste watervoerend pakket (Bron: Werkgroep Noord-Holland, 1982)



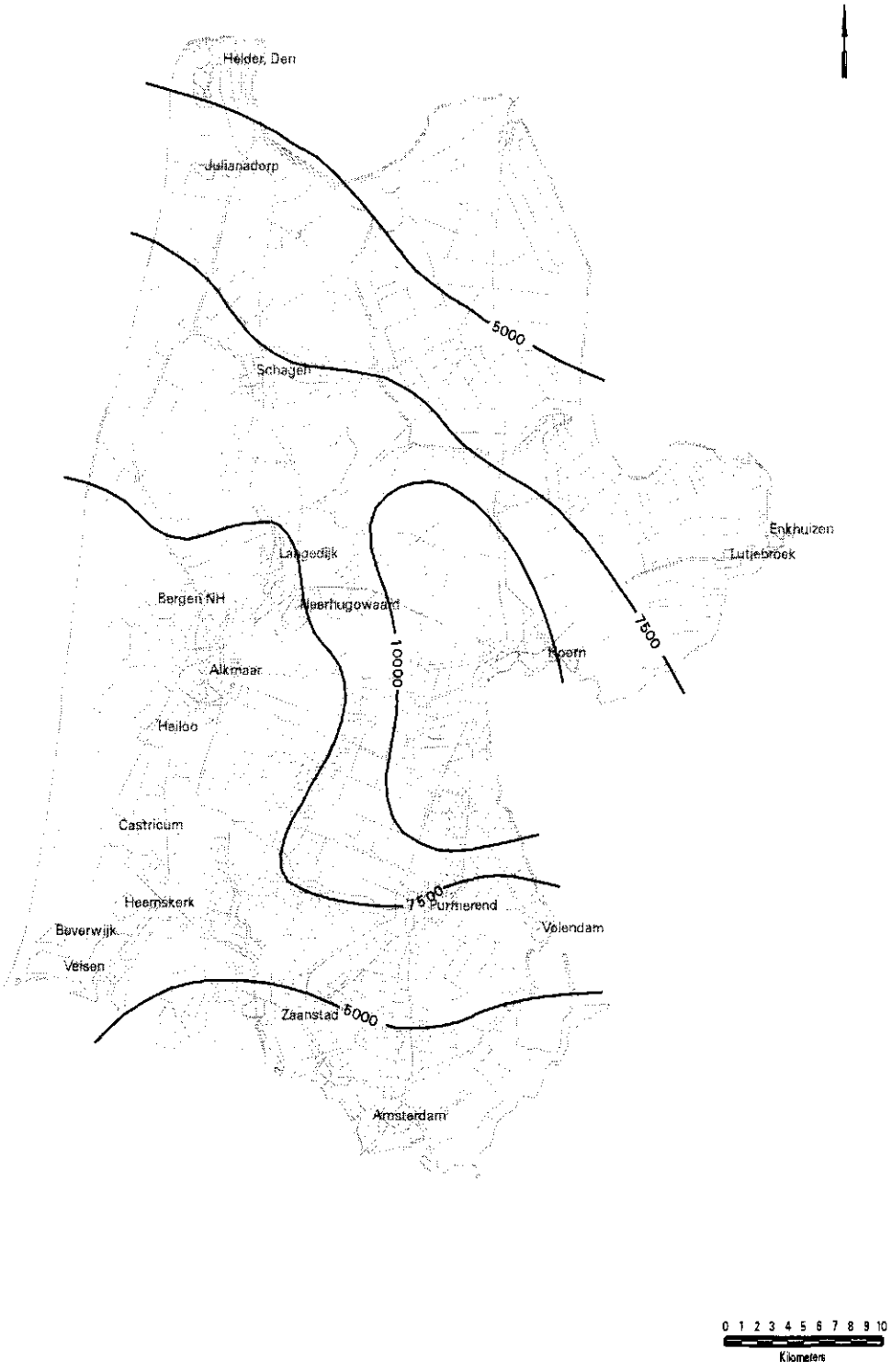
Weerstand (c in dagen) van de eerste scheidende laag (Bron: Werkgroep Noord-Holland, 1982)



Doorlaatvermogen (kD in m^2/d) van het tweede watervoerend pakket (Bron: Werkgroep Noord-Holland, 1982)

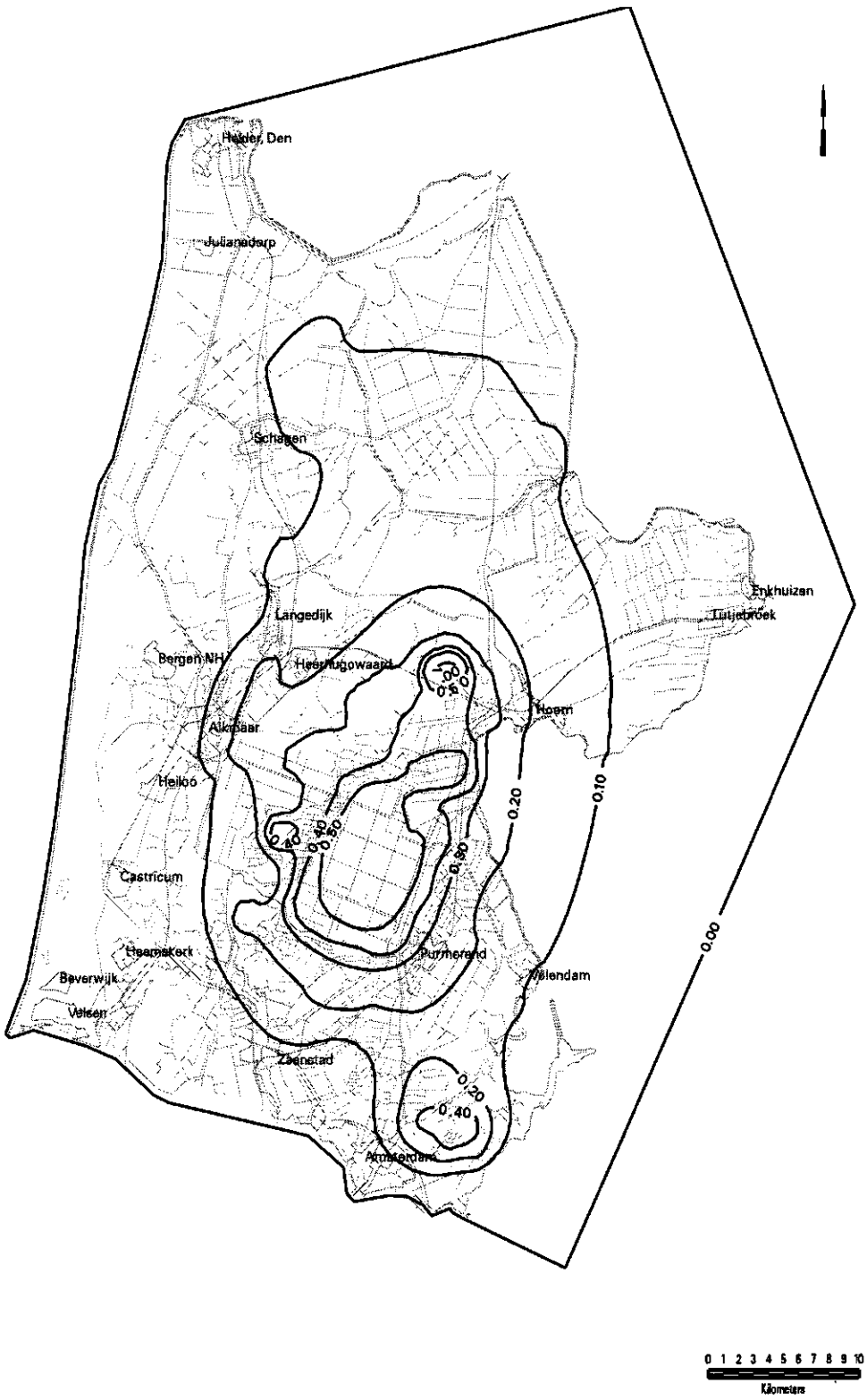


Weerstand (c in dagen) van de tweede scheidende laag (Bron: Werkgroep Noord-Holland, 1982)

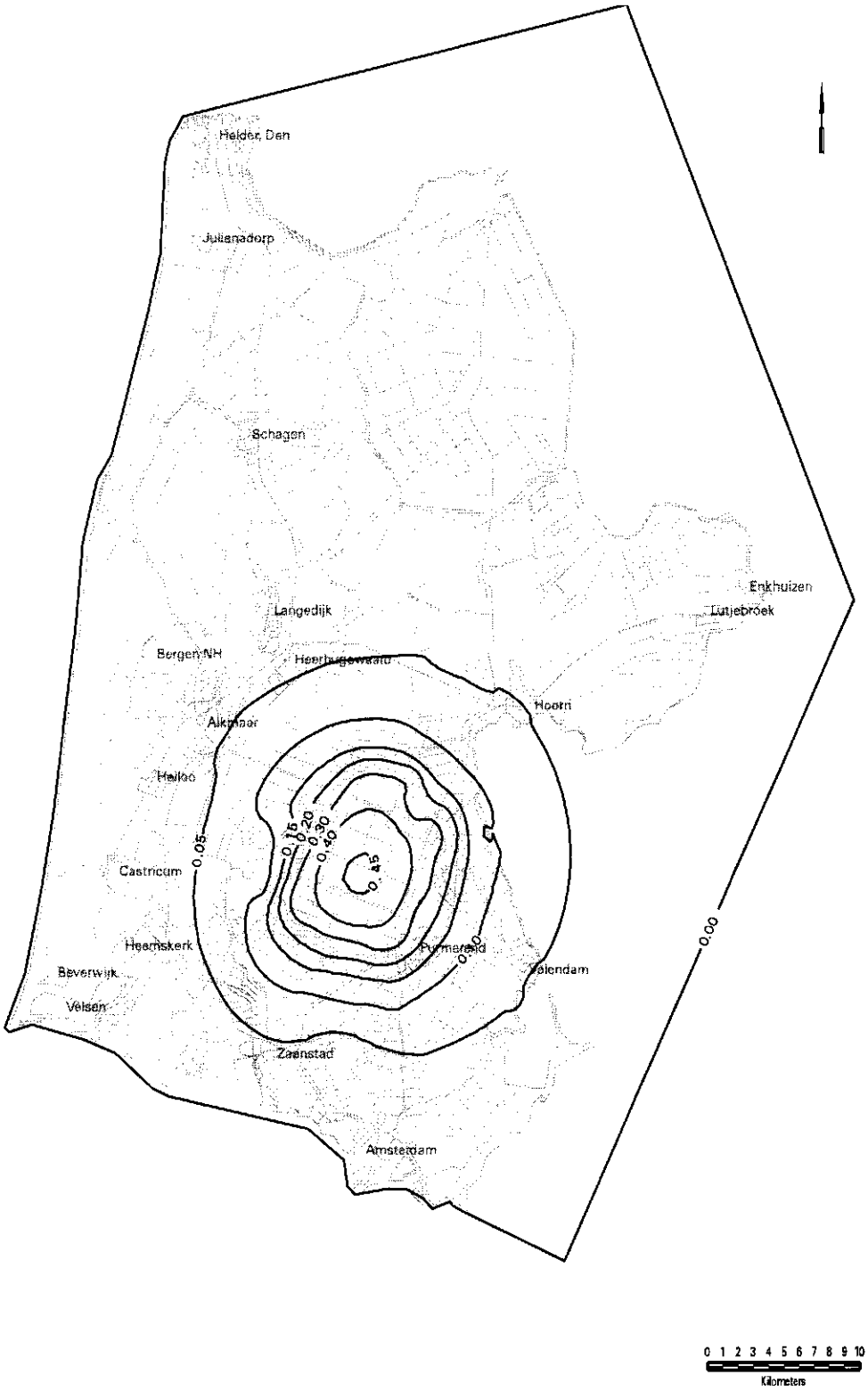


Doorlaatvermogen (kD in m^2/d) van het derde watervoerend pakket (Bron: Werkgroep Noord-Holland, 1982)

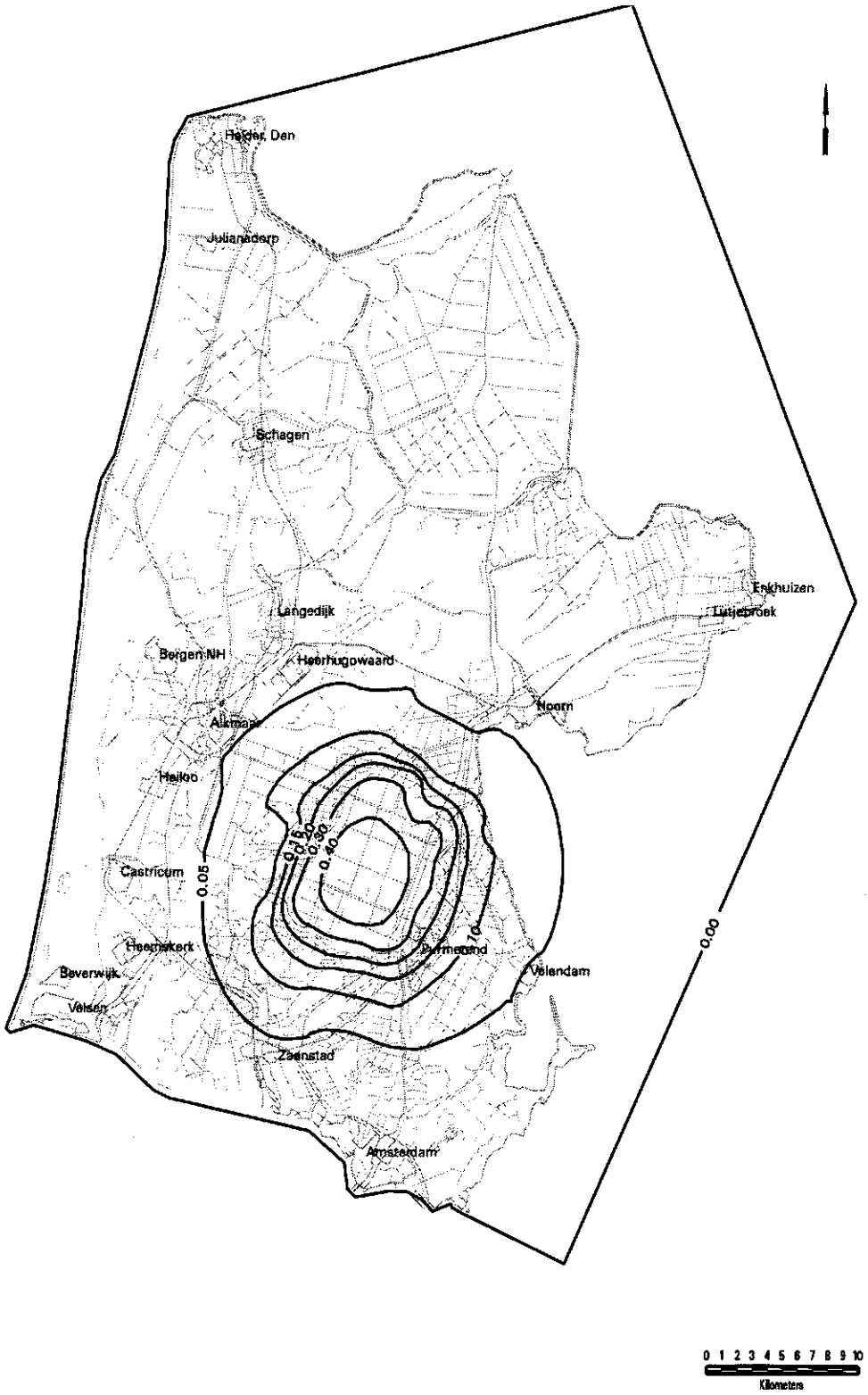
Aanhangsel 7 Modeluitkomsten voor Noord-Holland benoorden het IJ



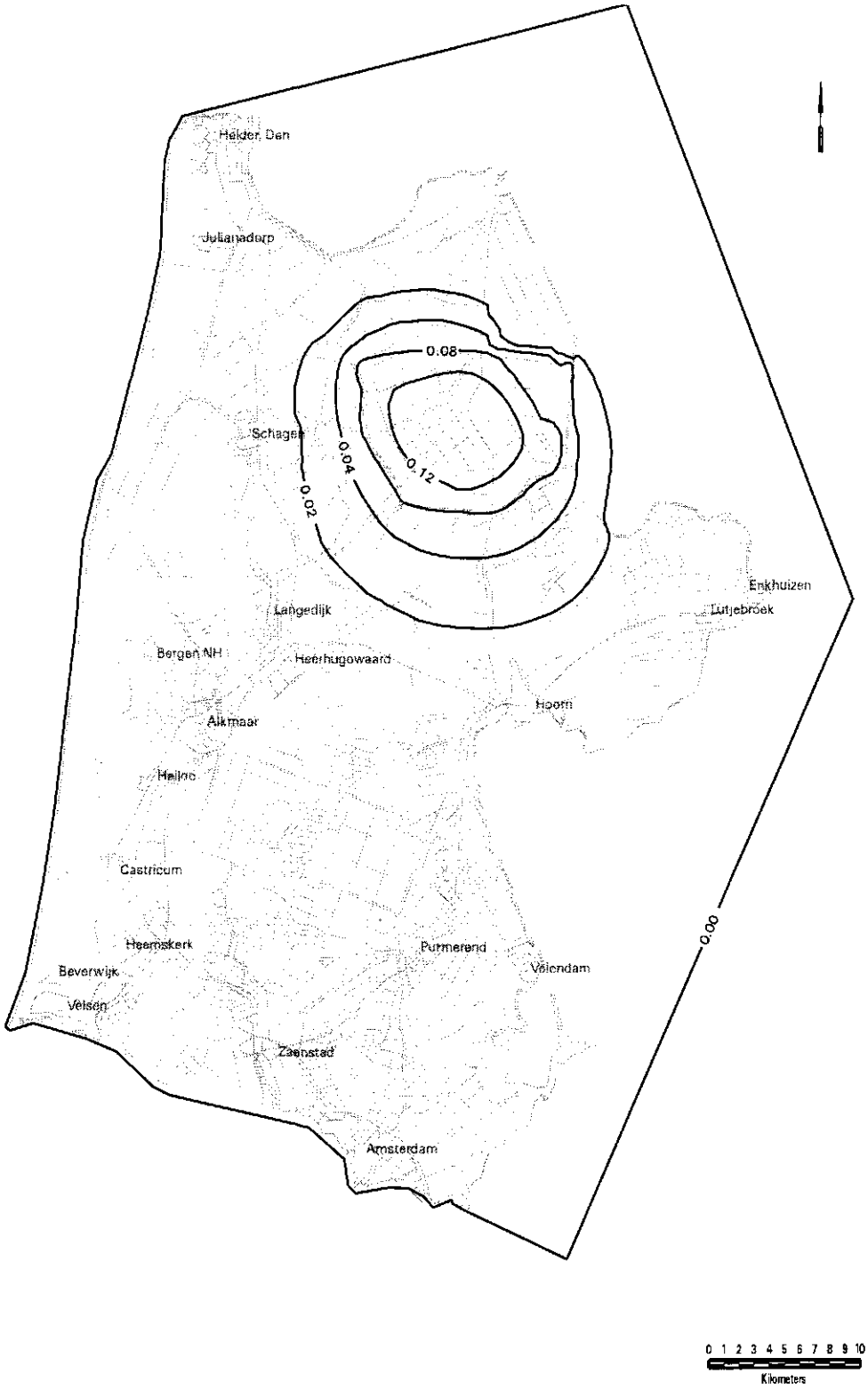
Verhoging (m) van de stijghoogte in het eerste watervoerend pakket als gevolg van gasbronsanering in Noord-Holland benoorden het IJ



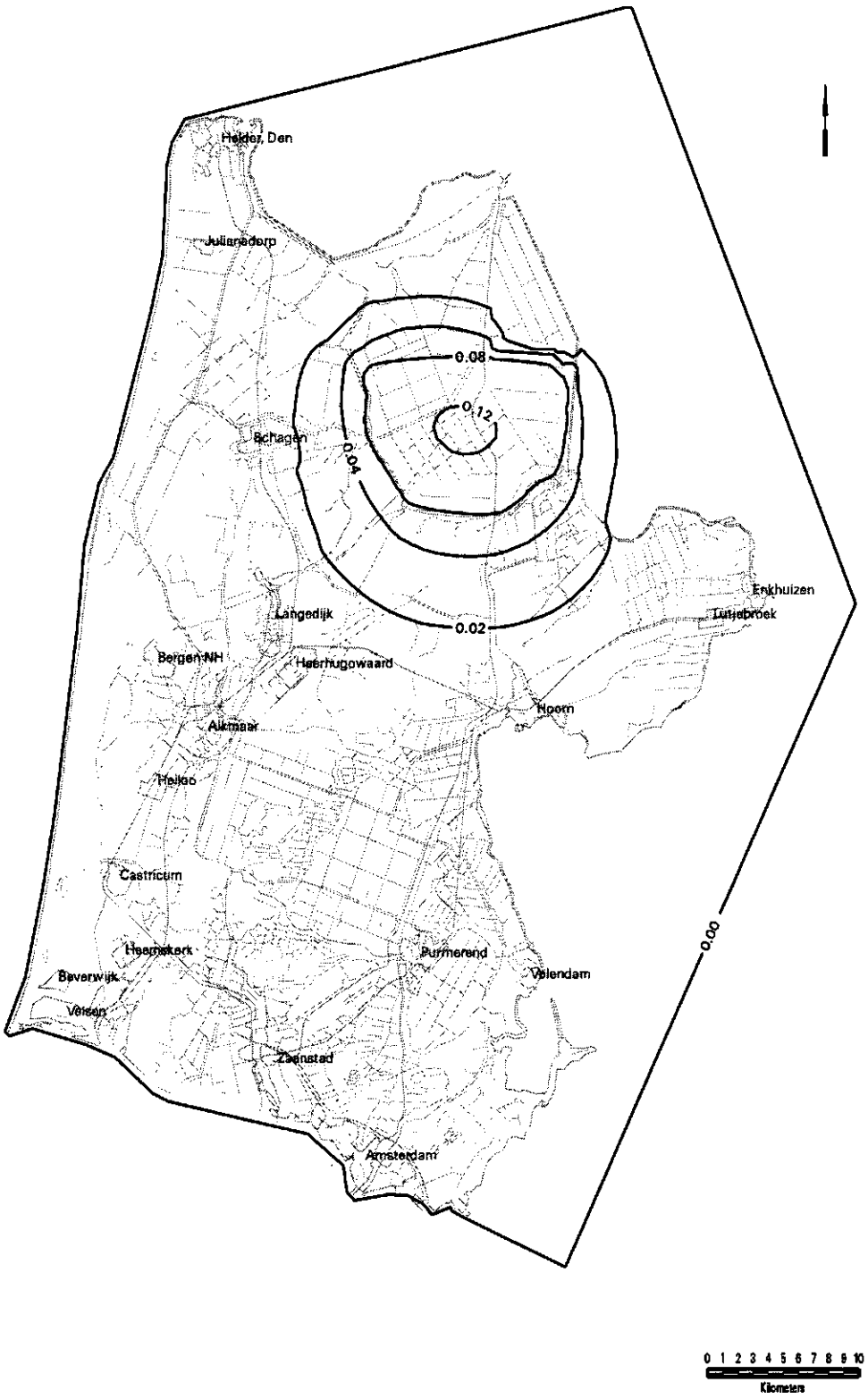
Verhoging (m) van de stijghoogte in het eerste watervoerend pakket voor de Beemster als gevolg van gasbronsanering in Noord-Holland benoorden het IJ



Verhoging (m) van de stijghoogte in het eerste watervoerend pakket voor de Beemster als gevolg van gasbronsanering in de Beemster



Verhoging (m) van de stijghoogte in het eerste watervoerend pakket voor de Wieringermeer als gevolg van gasbronsanering in Noord-Holland Benoorden het IJ



Verhoging (m) van de stijghoogte in het eerste watervoerend pakket van de Wieringermeer als gevolg van gasbronsanering in de Wieringermeer

Aanhangsel 8 Waterbalansen voor de Wieringermeer

Waterbalans Afdeling 1

	Debiet			Fout	
	(m^3 j^{-1})	(mm j^{-1})	(%)	(%)	(mm j^{-1})
IN:					
Neerslag	28 671 000	901,6	77	5	45,1
Gasbronnen	0	0,0	0	20	0,0
RWZI	0	0,0	0	10	0,0
Schutsluis					
Haukesluis	552 000	17,4	1	25	4,3
Strontelersl.	319 000	10,0	1	25	2,5
Overlekersl.	0	0,0	0	25	0,0
Westfriesesl.	0	0,0	0	25	0,0
Hevels	225 000	7,1	1	30	2,1
Inlaat					
De Haukes	1 341 000	42,2	4	20	8,4
De Ulkesluis	600 000	18,9	2	20	3,8
Nieuwesluis	2 686 000	84,5	7	20	16,9
Andere afd.	0	0,0	0	30	0,0
Kwel	2 627 901	82,6	7	118,4	97,9
(mm/d)	0,226407				
Totaal	37 021 901	1164,2	100		
Uit:					
Uitgemalen					
Leemans I	22 838 901	718,2	62	10	71,8
Leemans II	0	0,0	0	10	0,0
Lely I	0	0,0	0	10	0,0
Lely II	0	0,0	0	10	0,0
Lely III	0	0,0	0	10	0,0
Verdamping	14 183 000	446,0	38	10	44,6
Andere afd.	0	0,0	0	30	0,0
Totaal	37 021 901	1164,2	100		

Waterbalans Afdeling 2

	Debiet			Fout	
	(m^3 j^{-1})	(mm j^{-1})	(%)	(%)	(mm j^{-1})
IN:					
Neerslag	59 113 000	928,3	99	5	46,4
Gasbronnen	1 381 000	21,7	2	20	4,3
RWZI	0	0,0	0	10	0,0
Schutsluis					
Haukesluis	0	0,0	0	25	0,0
Strontelersl.	0	0,0	0	25	0,0
Overlekersl.	1 364 000	21,4	2	25	5,4
Westfriesesl.	2 784 000	43,7	5	25	10,9
Hevels	525 000	8,2	1	30	2,5
Inlaat					
De Haukes	0	0,0	0	20	0,0
De Ulkesluis	0	0,0	0	20	0,0
Nieuwesluis	0	0,0	0	20	0,0
Andere afd.	0	0,0	0	30	0,0
Kwel	-5 223 052	-82,0	-9	-98,9	81,1
(mm/d)	-0,22471				
Totaal	59 943 948	941,3	100		
Uit:					
Uitgemalen					
Leemans I	0	0,0	0	10	0,0
Leemans II	0	0,0	0	10	0,0
Lely I	0	0,0	0	10	0,0
Lely II	0	0,0	0	10	0,0
Lely III	27 679 748	434,7	46	10	43,5
Verdamping	27 637 000	434,0	46	10	43,4
Andere afd.	4 627 200	72,7	8	30	21,8
Totaal	59 943 948	941,3	100		

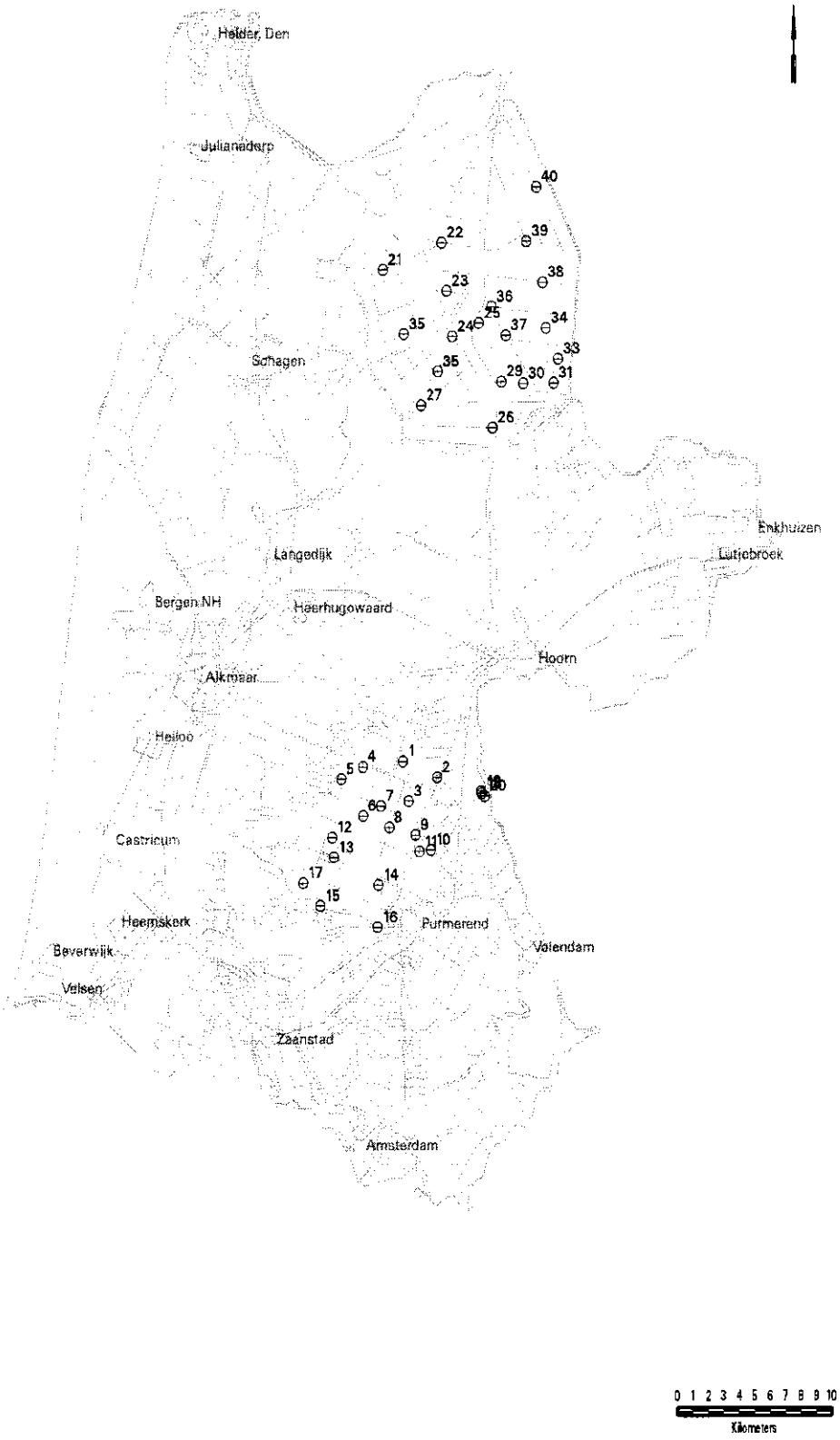
Waterbalans Afdeling 3

	Debiet			Fout	
	(m^3 j^{-1})	(mm j^{-1})	(%)	(%)	(mm j^{-1})
IN:					
Neerslag	62 787 000	884,1	48	5	44,2
Gasbronnen	778 000	11,0	1	20	2,2
RWZI	1 261 000	17,8	1	10	1,8
Schutsluis					
Haukesluis	0	0,0	0	25	0,0
Strontelersl.	0	0,0	0	25	0,0
Overlekersl.	0	0,0	0	25	0,0
Westfriesesl.	0	0,0	0	25	0,0
Hevels	1 350 000	19,0	1	30	5,7
Inlaat					
De Haukes	0	0,0	0	20	0,0
De Ulkesluis	0	0,0	0	20	0,0
Nieuwesluis	0	0,0	0	20	0,0
Andere afd.	4 627 200	65,2	4	30	19,5
Kwel	58 860 552	828,8	45	14,0	116,2
(mm/d)	2,270653				
Totaal	1,30e+08	1825,7	100		
Uit:					
Uitgemalen					
Leemans I	0	0,0	0	10	0,0
Leemans II	40 100 349	564,6	31	10	56,5
Lely I	0	0,0	0	10	0,0
Lely II	52 005 528	732,3	40	10	73,2
Lely III	0	0,0	0	10	0,0
Verdamping	32 172 000	453,0	25	10	45,3
Andere afd.	5 385 875	75,8	4	30	22,8
Totaal	1,30e+08	1825,7	100		

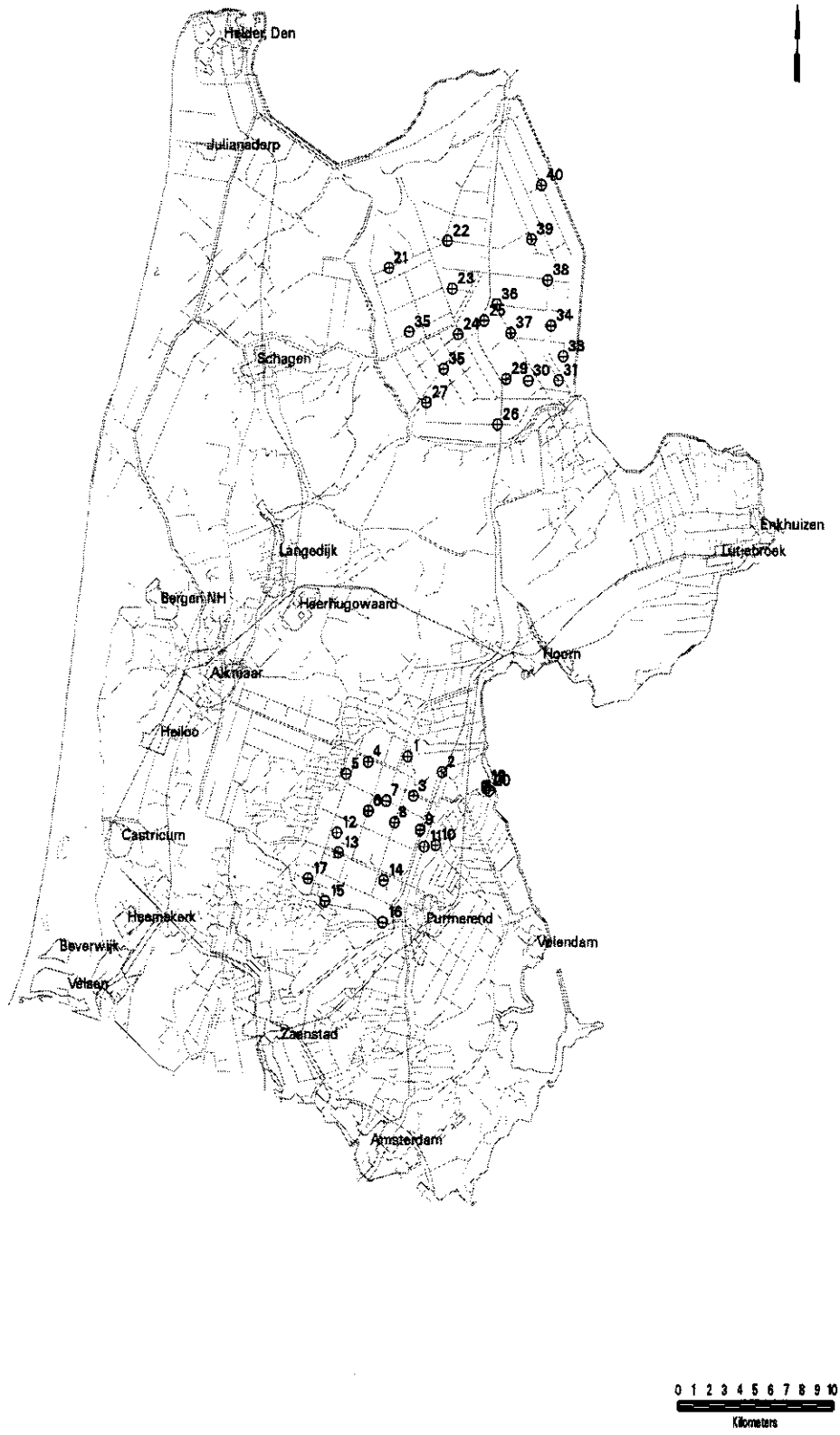
Waterbalans Afdeling 4

	Debiet			Fout	
	(m^3 j^{-1})	(mm j^{-1})	(%)	(%)	(mm j^{-1})
IN:					
Neerslag	30 006 000	909,3	58	5	45,5
Gasbronnen	594 000	18,0	1	20	3,6
RWZI	0	0,0	0	10	0,0
Schutsluis					
Haukesluis	0	0,0	0	25	0,0
Strontelersl.	0	0,0	0	25	0,0
Overlekersl.	0	0,0	0	25	0,0
Westfriesesl.	0	0,0	0	25	0,0
Hevels	750 000	22,7	1	30	6,8
Inlaat					
De Haukes	0	0,0	0	20	0,0
De Ulkesluis	0	0,0	0	20	0,0
Nieuwesluis	0	0,0	0	20	0,0
Andere afd.	5 385 875	163,2	10	30	49,0
Kwel	15 385 728	466,2	30	30,0	139,6
(mm/d)	1,277354				
Totaal	52 121 603	1579,4	100		
Uit:					
Uitgemalen					
Leemans I	0	0,0	0	10	0,0
Leemans II	0	0,0	0	10	0,0
Lely I	37 733 603	1143,4	72	10	114,3
Lely II	0	0,0	0	10	0,0
Lely III	0	0,0	0	10	0,0
Verdamping	14 388 000	436,0	28	10	43,6
Andere afd.	0	0,0	0	30	0,0
Totaal	52 121 603	1579,4	100		

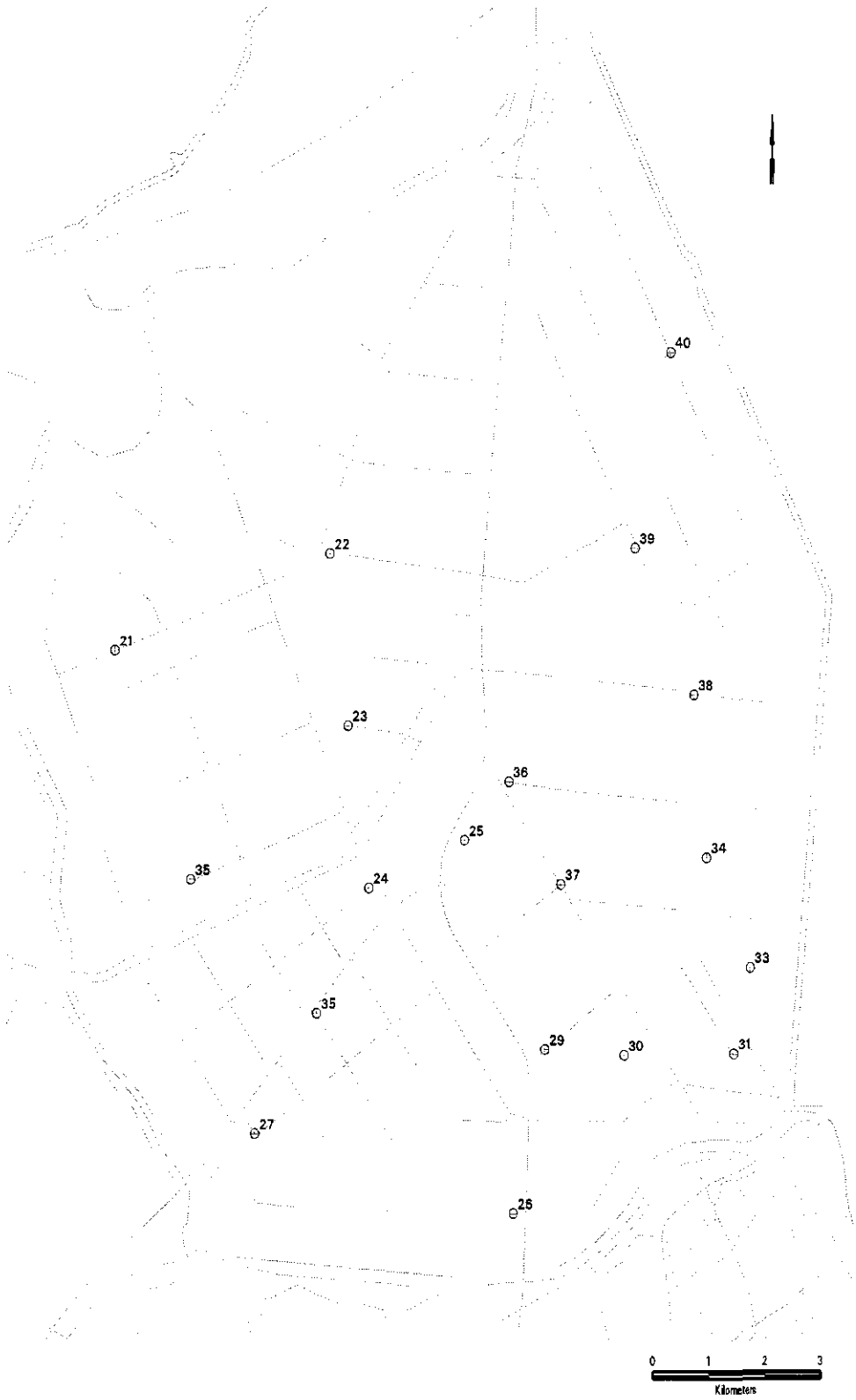
Aanhangsel 9 Grondwaterkwaliteitsgegevens van het veldonderzoek



Locatie kwelmonsters



Detailkaart Locatie kwelmonsters in en rond de Beemster



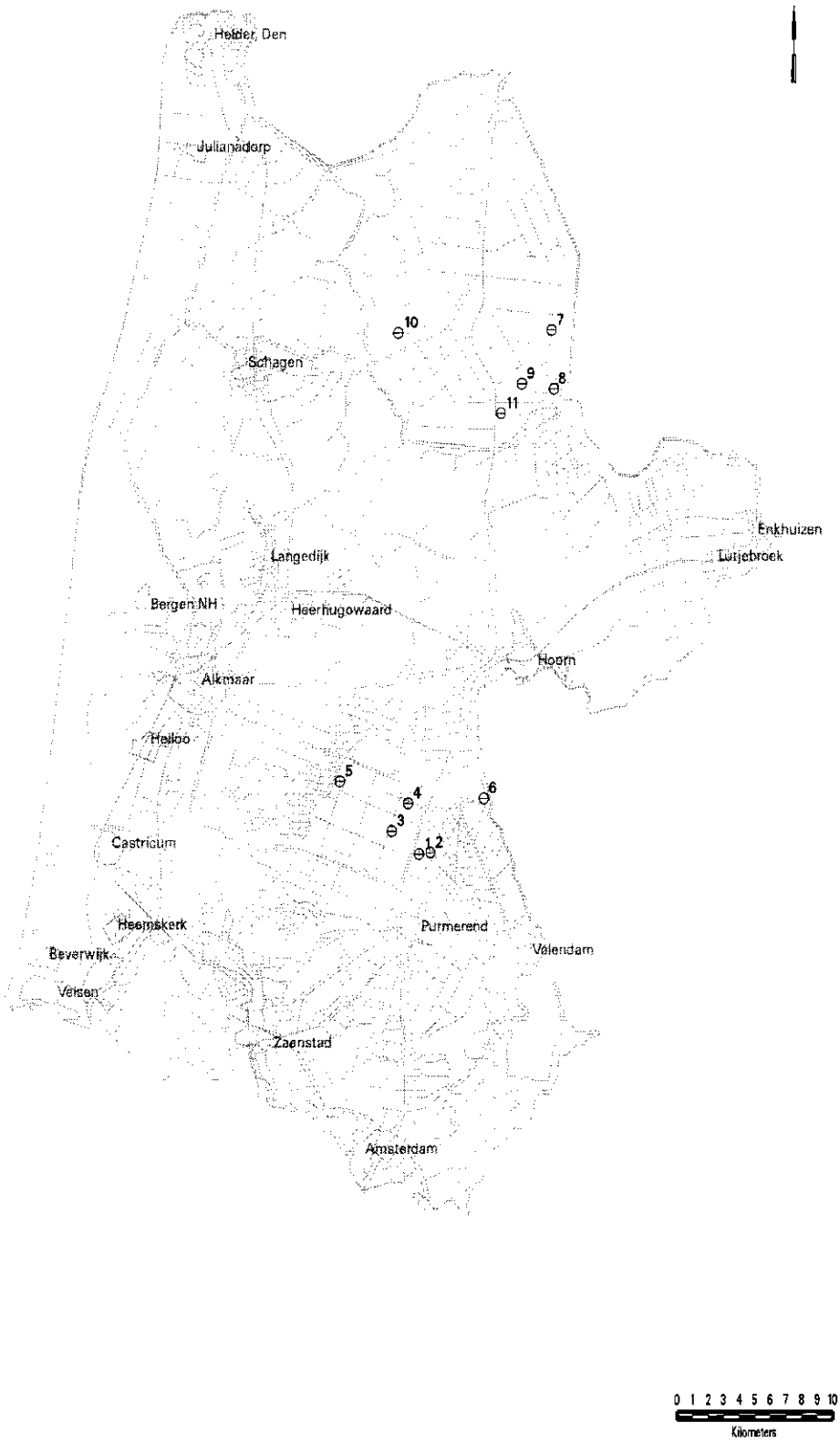
Detailkaart Locatie kwelmonsters in de Wieringermeer

Tabel Waterkwaliteitsgegevens van de kwelmonsters

Locatie nr	Chloride (mg/l)	Totaal-P (mg/l)	Ortho-P (mg/l)	Kjeldahl (mg/l)	Ammonium (mg/l)	IJzer (mg/l)
1	150	3,3			11,0	2,5
2	247	4,9			28,0	4,2
3	165	2,6			35,0	5,0
4	335	3,2			25,0	7,6
5	220	4,9			17,0	0,3
6	900	6,4			15,0	1,8
7	76	2,1			11,0	0,2
8	200	7,8			19,0	0,3
9	80	2,9			15,0	5,5
10	1631	4,0			43,0	17,0
11	127	3,0			22,0	9,4
12	109	6,8			10,0	<0,1
13	690	0,7			25,5	1,0
14	152	6,9			13,7	<0,1
15	173	4,8			3,4	0,1
16	220	8,0			7,0	0,1
17	215	8,0			14,0	<0,1
18	127	5,0			34,0	2,8
19	115	4,0			28,0	2,1
20	720	1,1			36,5	10,0
21	2180	2,6	2,0	7,9	7,6	<0,1
22	185	7,7	7,5	16,3	17,0	<0,1
23	184	0,9	0,8	2,4	1,6	<0,1
24	1110	4,6	3,4	30,3	30,3	5,9
25	70	4,9	4,0	3,6	2,7	2,8
26	5585	6,5	6,1	32,5	32,5	<0,1
27	1550	7,2	7,0	13,3	12,0	<0,1
29	1393	1,7	1,5	5,1	4,3	<0,1
30	1785	9,8	9,7	29,5	28,5	<0,1
31	2880	4,7	4,3	14,0	14,0	<0,1
32	1755	3,1	2,9	6,5	5,2	0,1
33	6450	5,6	5,3	13,0	13,0	0,5
34	502	0,8	0,7	2,0	1,1	1,4
35	3195	1,9	1,6	2,9	1,9	0,2
36	9980	2,9	0,7	22,0	22,0	15,0
37	1535	2,5	2,2	7,1	8,8	<0,1
38	5940	6,1	5,6	34,6	34,3	0,6
39	7705	0,3	0,1	10,1	9,9	64,5
40	9385	0,2	0,2	5,2	5,0	22,5

Chloride (NEN 6651)
Totaal fosfor (NEN 6663)
Ortho fosfaat (NEN 6663)
Kjeldahl stikstof (NEN 6646)
Ammonium stikstof (NEN 6646)
IJzer (NEN 6460)

Aanhangsel 10 Gasbronwaterkwaliteitsgegevens van het veldonderzoek



Locatie van de gasbronmonsters

Kwaliteit van het Gasbronwater

Gasbrnr	Chloride (mg/l)		Totaal-fosfor (mg/l)		Orthofosfaat (mg/l)	
	ongefiltreerd	gefiltreerd	ongefiltreerd	gefiltreerd	ongefiltreerd	gefiltreerd
1	84	97	5,0	4,9	3,4	4,1
2	445	448	3,7	3,9	3,1	3,1
3	458	455	7,9	7,9	7,5	7,2
4	103	105	3,7	3,7	3,0	3,0
5	313	310	3,7	3,9	3,1	3,0
6	96	98	7,0	6,7	4,1	5,8
7	313	295	1,4	1,5	1,4	1,4
8	965	905	1,4	1,2	1,2	1,2
9	1655	1610	1,4	1,2	1,3	1,2
10	173	183	3,0	2,5	2,2	2,2
11	705	760	1,4	1,3	1,4	1,3

	Kjeldahl-stikstof (mg/l)		Ammonium-stikstof (mg/l)		IJzer (mg/l)	
	ongefiltreerd	gefiltreerd	ongefiltreerd	gefiltreerd	ongefiltreerd	gefiltreerd
1	21,5	21,0	20,5	20,5	4,7	4,4
2	21,5	22,0	20,5	20,0	1,4	1,5
3	13,5	13,5	11,5	11,5	1,3	1,3
4	21,0	22,0	20,0	21,0	1,0	0,9
5	16,5	16,5	16,0	15,5	1,8	2,4
6	35,0	34,5	35,0	34,5	6,3	5,5
7	3,6	4,5	2,5	3,1	1,7	1,6
8	5,8	5,2	3,4	3,4	4,9	3,9
9	4,5	4,6	3,5	3,5	7,8	7,1
10	7,3	8,4	7,3	7,7	3,6	3,2
11	4,4	4,5	3,5	3,6	2,8	2,8

1	Purmerenderweg	Chloride (NEN 6651)
2	Oostdijk	Totaal fosfor (NEN 6663)
3	Hobrederweg	Ortho fosfaat (NEN 6663)
4	Oosthuizerweg	Kjeldahl stikstof (NEN 6646)
5	Westdijk	Ammonium stikstof (NEN 6646)
6	Etersheim	IJzer (NEN 6460)
7	Oostermiddenmee 26	
8	Zuiderkwelweg	
9	Wagenpad 11	
10	Ulkeweg 1	
11	Oudelanderweg 11	

Waterkwaliteit van de mengmonsters van gasbron 4, Oosthuizerweg 80, Noordbeemster.

	Chloride (mg/l)	Totaal-P (mg/l)	Ortho-P (mg/l)	Kjeldahl (mg/l)	Ammonium (mg/l)	IJzer (mg/l)
Bron	233	5,0	4,6	23,5	23,0	1,7
25 m na Bron	208	5,3	4,6	23,5	22,5	1,5
75 m na Bron	205	5,2	4,5	22,5	21,5	1,5
150 m na Bron	195	5,2	4,4	21,5	19,0	1,8
300 m na Bron	200	4,4	3,6	19,0	17,5	1,2
500 x 500 [1]	218	5,1	4,4	22,5	21,5	1,6
na 8 dagen	225	5,7	4,5	22,5	22,0	1,6
250 x 750 [1]	210	4,8	4,1	21,5	20,5	1,6
na 8 dagen	218	5,6	4,4	21,5	22,0	1,6
100 x 900 [1]	205	4,7	4,0	20,5	19,0	1,6
na 8 dagen	215	4,5	4,2	22,0	21,0	1,5
50 x 950 [1]	205	4,7	4,0	20,5	19,0	1,6
na 8 dagen	205	5,8	4,1	21,5	21,0	1,5

[1] Mengverhouding gasbronwater x slootwater (ml)

Waterkwaliteit van de mengmonsters van gasbron 9, Wagenpad 11, Middenmeer.

	Chloride (mg/l)	Totaal-P (mg/l)	Ortho-P (mg/l)	Kjeldahl (mg/l)	Ammonium (mg/l)	IJzer (mg/l)
Bron	1695	1,5	1,4	4,7	3,6	8,8
Voor Bron	630	0,9	0,8	3,2	2,3	0,7
25 m na Bron	1640	2,9	0,9	4,8	3,4	9,9
75 m na Bron	1630	1,0	1,0	4,4	3,5	5,1
350 m na Bron	1645	0,5	0,5	4,4	3,4	2,3
500 x 500 [1]	1130	1,1	1,0	3,9	2,8	3,4
na 7 dagen	1135	0,9	0,9	3,8	2,5	3,6
250 x 750 [1]	890	0,9	0,9	3,5	2,6	2,2
na 7 dagen	925	0,9	0,7	3,4	2,4	2,3
100 x 900 [1]	745	0,9	0,8	3,4	2,5	1,2
na 7 dagen	790	0,8	0,6	3,3	2,3	1,4
25 x 975 [1]	650	0,9	0,8	3,2	2,4	0,9
na 7 dagen	685	0,8	0,7	2,9	2,3	1,1

[1] Mengverhouding gasbronwater x slootwater (ml)