

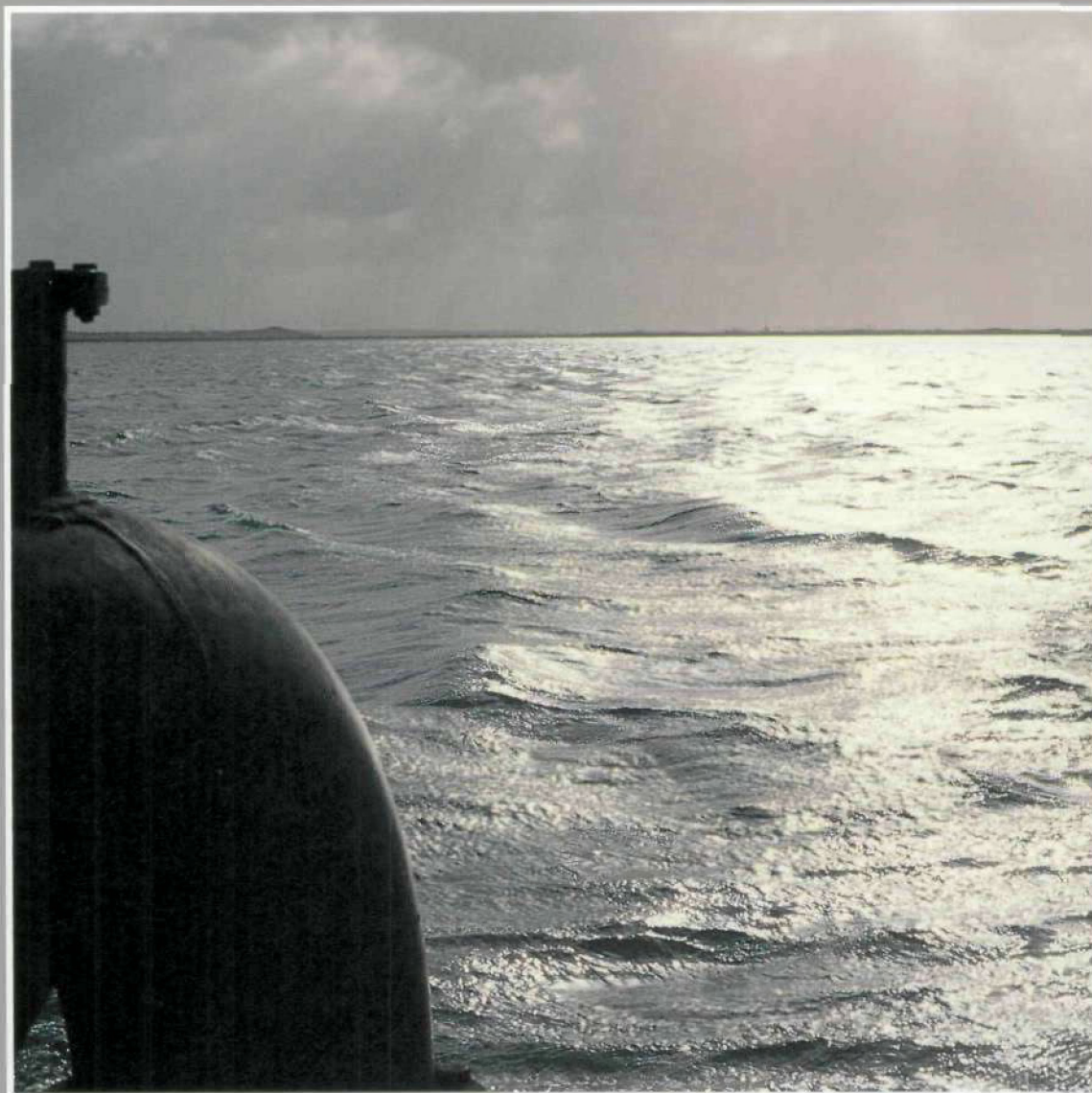


Flevobericht

Nr. 368

Waterbalans van de Binnenschelde

H.A. van Manen





Directoraat-Generaal Rijkswaterstaat

Rijkswaterstaat
directie IJsselmeergebied
Ministerie van Verkeer en Waterstaat
bibliotheek
Postbus 600
8200 AP Lelystad

Directie IJsselmeergebied

Flevobericht

Nr. 368

Waterbalans van de Binnenschelde

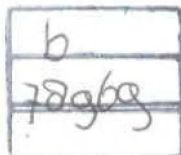
H.A. van Manen

Rapporten inzake de inrichting en ontwikkeling van de IJsselmeerpolders en andere landaanwinningswerken.

Flevoberichten zijn bedoeld als communicatiemiddel t.b.v. degenen die betrokken zijn bij het werkterrein van de Directie IJsselmeergebied; de conclusies kunnen van voorlopige aard zijn, omdat het onderzoek nog niet kan zijn afgesloten.

December 1994
ISBN 90-369-1131-1

Postbus 600
8200 AP Lelystad
Smedinghuis
Zuiderwagenplein 2
Tel. (03200) 99111
Telefax (03200) 34300



Referaat

Waterbalans van de Binnenschelde \ H.A. van Manen; Ministerie van Verkeer en Waterstaat, Rijkswaterstaat, directie IJsselmeergebied - Lelystad: RWS FL 1994. - 99 p.: 37 fig., 1 tab., 1 foto, 14 bijl., 30 cm - (Flevovericht/directie IJsselmeergebied; 368). Lit. opg.-ISBN 90-369-1131-1

De Binnenschelde is een geïsoleerd recreatiemeer ter grootte van 180 ha, nabij Bergen op Zoom, welke in 1984 is afgesloten van de Oosterschelde. Na het kunstmatig opzetten van het peil in 1988 heeft in de periode 1989 t/m 1992 onderzoek plaats gevonden naar de waterbalans van het meer. Dit rapport geeft een overzicht van de gegevensverzameling, -bewerking en -beoordeling. Daarnaast wordt ingegaan op de modellering en kalibratie van de waterbalans van de Binnenschelde.

Inhoud

Samenvatting 9

1 Inleiding 13

2 Beschrijving Waterbalans 17

2.1 Waterhuishouding 17

2.2 Termen van de waterbalans 18

2.2.1 Neerslag 19

2.2.2 Berging 22

2.2.3 Wegzijging 26

2.2.4 Inlaat 28

2.2.5 Open-waterverdamping 30

2.2.6 Overstort 32

2.2.7 Doorspoeldebiet 33

2.2.8 Kadekwel 33

3 Modelleren Waterbalans 37

3.1 Methode 37

3.2 Bespreking van enkele parameters 38

3.3 Kalibratie 41

3.4 Resultaten 44

4 Scenario-berekeningen 47

4.1 Meetperiode 47

4.2 Representatieve tijdreeks 49

4.2.1 Bespreking model BINREKEN 49

4.2.2 Scenario's 52

5 Nabeschouwing 57

Literatuur 59

Bijlagen

Bijlage	1	Overzichtskaart	61
Bijlage	2	Diepteverdeling Binnenschelde	63
Bijlage	3	Handwaarnemingen Binnenschelde	65
Bijlage	4.1	Waterpeilen 1989	67
Bijlage	4.2	Waterpeilen 1990	68
Bijlage	4.3	Waterpeilen 1991	69
Bijlage	4.4	Waterpeilen 1992	70
Bijlage	4.5	Waterpeilen 1993	71
Bijlage	5	Tijd-stijghoogtelijnen 0048 2 en 0048 3	73
Bijlage	6	Grondwaterstanden Binnenschelde	75
Bijlage	7	Correctiefactoren Makkink referentie-gewasverdamping naar open-watervedamping Binnenschelde	77
Bijlage	8.1	Peilverloop en neerslagoverschot, scenario 1	78
Bijlage	8.2	Waterbalans, scenario 1	79
Bijlage	9.1	Peilverloop, neerslagoverschot en stuwoverschot, scenario 2	80
Bijlage	9.2	Waterbalans, scenario 2	81
Bijlage	9.3	Pompcapaciteiten per decade in mm/dag, scenario 2	82
Bijlage	10.1	Peilverloop, neerslagoverschot en stuwoverschot, scenario 3	84
Bijlage	10.2	Waterbalans, scenario 3	85
Bijlage	11.1	Peilverloop, neerslagoverschot en stuwoverschot, scenario 4	86
Bijlage	11.2	Waterbalans, scenario 4	87
Bijlage	11.3	Pompcapaciteiten per decade in mm/dag, scenario 4	88
Bijlage	12.1	Peilverloop, neerslagoverschot en stuwoverschot, scenario 5	90
Bijlage	12.2	Waterbalans, scenario 5	91
Bijlage	12.3	Pompcapaciteiten per decade in mm/dag, scenario 5	92
Bijlage	13.1	Peilverloop, neerslagoverschot en stuwoverschot, scenario 6	94
Bijlage	13.2	Waterbalans, scenario 6	95
Bijlage	13.3	Pompcapaciteiten per decade in mm/dag, scenario 6	96

Bijlage 14.1 Peilverloop, neerslagoverschot en stuwoverschot, scenario 7 98

Bijlage 14.2 Waterbalans, scenario 7 99

Samenvatting

De Binnenschelde ligt in het voormalige getijdegebied van de Oosterschelde, en is ontstaan na de aanleg van de Noordelijke Markiezaatskade, de Bergseplaat en de Waterscheiding. Zo is een afgesloten recreatiemeer ontstaan van ongeveer 180 ha met een opgezet peil van NAP +1,50 m. Het meer wordt begrensd door het natuurgebied het Markiezaat, het Zoommeer en Bergen op Zoom.

Door het, ten opzichte van het grondwater in de directe omgeving, relatief hoge waterpeil van de Binnenschelde, vindt er afstroming plaats van het water in de vorm van kadekwel en wegzijging. Dit heeft een daling van de waterspiegel in de zomerperiode tot gevolg. Teneinde dit te minimaliseren is een pomp geïnstalleerd en gedeeltelijk een foliescherf aangebracht. De gewenste waterkwaliteit van de Binnenschelde kan negatief beïnvloed worden door het inlaten van (te veel) "vreemd" water. Voor het (biologisch) beheer is de inlaathoeveelheid in kwantitatief en kwalitatief opzicht van belang.

Om inzicht te verkrijgen in de te verwachten suppletiehoeveelheden onder normale en extreme omstandigheden, is het van belang een juiste waterbalans op te kunnen stellen. Hiervoor is het nodig om in situ de meetbare termen van de waterbalans te registreren, waarmee vervolgens een betrouwbare waterbalans kan worden opgesteld. Het doel van het onderzoek is inzicht te verkrijgen in de waterbalans, zodat sturing kan worden gegeven aan het beheer, waarbij kwaliteits- en kwantiteitsaspecten van belang kunnen zijn.

In de periode 1989 t/m 1992 zijn ter plaatse zeer frequent gegevens verzameld over neerslag, verdamping, watertemperatuur, wind, waterpeilen, grondwaterstanden, doorlatendheden, pompuren, doorspoel-uren, stijghoogten, bodem en topografische gegevens.

De neerslag is de belangrijkste term van de waterbalans en het is essentieel deze nauwkeurig te bepalen. Indien mogelijk moet de registratie van de neerslag plaats vinden op meerdere locaties in het onderzoeksgebied. Het is nuttig om voor open-waterverdamping een correctie toe te passen voor de warmteopslag van het water.

Om de invloed van het opzetten van het peil te kunnen bepalen, zijn reeds voor het opzetten grondwaterstandsbuizen rond de Binnenschelde geplaatst. Voor het inschatten van de lekkage door de kaden en de dijken en de werking van het aangebrachte foliescherf is dit belangrijk. Uit de registraties blijkt dat er ter plaatse van de strandzone nauwelijks invloed is van de *Binnenschelde*. *Er is wel duidelijk een relatie tussen het grondwater en het meerpeil ter plaatse van het foliescherf langs de Bergseplaat en de Waterscheiding*. Er vindt hier dus een duidelijke stroming plaats door de kaden aldaar. Voorts is gebleken dat de oude zeedijken langs Bergen op Zoom min of meer ondoorlatend zijn, zodat hier geen rekening hoeft te worden gehouden met dijkskwel.

Het peil in de Binnenschelde mag fluctueren tussen NAP +1,40 m en NAP +1,60 m. Er is voorzien in een overstort op een vaste hoogte van NAP +1,583 m. De Binnenschelde moet ook voorzien in het doorspoelen van een watergang nabij de strandzone. Dit is gewenst na een lozing op deze watergang van een overstort van de riolering. Dit kan theoretisch meerdere malen per jaar voorkomen. In de onderzoeksperiode heeft deze situatie zich echter niet voorgedaan.

Voor het bepalen en beschrijven van de waterbalans zijn drie computerprogramma's ontwikkeld. Het betreft de programma's BAL_BIN, REKENDAG en BINREKEN. BAL_BIN berekent in eenheden van dagen de waterbalans. De sluitpost hierbij is de kadekwel+wegzijging. Met REKENDAG wordt met de nu berekende parameters het waterpeil berekend (per dag). Kalibratie en optimalisatie vindt plaats met iteratieve berekeningen tussen deze twee modellen. Bij optimalisatie met REKENDAG bleek dat het noodzakelijk was om een reductie toe te passen op de correctiefactor van de referentie-gewasverdamping. Bij wijziging van de gewasfactor voor de zomerperiode van 1,25 naar 1,15 werd een betere fit verkregen. De open-watervedamping is dus lager dan de algemeen gehanteerde waarden. De gevonden optimale waarde voor de sluitpost is 0,10 mm/dag. Deze hoeveelheid is te spitsen in 0,07 mm/dag voor de kadekwel en 0,03 mm/dag voor de wegzijging. De berekende hydraulische weerstand ter plaatse van de Binnenschelde is nu ongeveer 40.000 dagen.

Uit de eerste berekeningen met BAL_BIN blijkt dat de resultaten in de eerste helft van 1989 een relatief grote spreiding geven. Dit is te verklaren door de niet optimale peilregistratie in deze periode. Uit de berekeningen kan verder worden afgeleid dat, ondanks de zorgvuldige benadering van de neerslaghoeveelheden, toch incidenteel te grote of te geringe hoeveelheden neerslag zijn gebruikt. Dit is alleen te verbeteren door op meerdere locaties in het onderzoeksgebied de neerslag te registreren.

Bij de berekende jaarlijks gemiddelde waterbalans valt op dat de overstort (74 mm), de kwel (52 mm) en de berging (81 mm) relatief kleine hoeveelheden zijn. De hoeveelheden voor neerslag en verdamping zijn 709 en 705 mm, en het aandeel van de pomp is 203 mm.

Om de waterbalans te kunnen doorrekenen in een aantal maatgevende situaties is BINREKEN ontwikkeld. Hiermee worden berekeningen van de waterbalans per decade uitgevoerd. Om de nauwkeurigheid van het model BINREKEN te kunnen beoordelen is hiermee een berekening gedaan over de onderzoeksperiode, en is het resultaat vergeleken met die van REKENDAG. Het resultaat is zeer acceptabel. Het is tevens gebleken dat het voor het doorrekenen van een lange tijdreeks acceptabel is om neerslaggegevens van het KNMI-station Vlissingen te gebruiken.

Er is een scenario doorgerekend met het laten vervallen van het foliescherm. Hierbij neemt de bedrijfstijd van de pomp toe tot bijna 400%, en is het minimum peil niet over de gehele periode haalbaar. Het doorspoelen van de watergang heeft weinig invloed op de termen van de waterbalans.

Het is interessant om een maatgevende periode door te rekenen, waarin meteorologische extremen tot uiting komen (1971-1992). In de periode 1971-1992 zijn 1974 en 1987 extreem natte jaren. De jaren 1976, 1982, 1989 en 1990 zijn relatief droog geweest, waarbij 1976 zeker als maatgevend beschouwd kan worden wat betreft een droge zomerperiode. Er zijn zeven scenario's doorgerekend waarbij de variabelen zijn: pompcapaciteit,

aan- en uitslagpeil van de pomp en lekkage van het foliescherp. Belangrijke informatie uit deze berekeningen is:

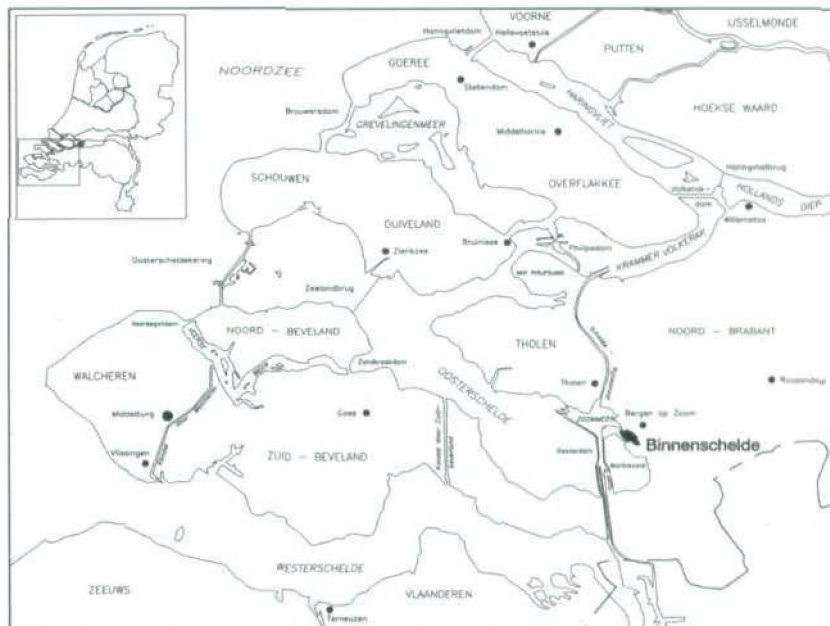
- voor langere representatieve tijdreeksen is het voldoende nauwkeurig om tijdstappen van decaden te gebruiken;
- het doorspoelen van de watergang heeft weinig invloed op de pomp-capaciteit en het peilverloop. Ook in een extreem droge periode is dit het geval;
- een pompcapaciteit van $375 \text{ m}^3/\text{h}$ is de minimum benodigde capaciteit. Omdat hierbij jaarlijks lange perioden (gemiddeld twee maand) continu gepompt moet worden, is dit echter niet aan te raden;
- het laten vervallen van het foliescherp heeft een grote invloed op de waterbalans en deze situatie moet dan ook voorkomen worden; de suppletiehoeveelheid neemt enorm toe (200 à 300%), en er zijn jaarlijks lange perioden waarin de pomp continu in bedrijf is (2 tot 3 perioden van 20 à 30 dagen);
- het blijkt niet zinvol te zijn om te anticiperen op het tekort aan water in de zomerperiode, door aan het begin van deze periode de buffer zo groot mogelijk te doen zijn. Op dit punt is er geen winst te behalen.

1 Inleiding

De Deltawerken hebben grote veranderingen in Zuidwest-Nederland teweeg gebracht. Het gebied is door de aanleg van dammen in een aantal compartimenten opgedeeld. In het Oosterscheldegebied zijn naast de stormvloedkering onder meer de Oesterdam en de Markiezaatskade (1983) gerealiseerd. De Markiezaatskade bestaat uit de Noordelijke- en de Westelijke Markiezaatskade, verbonden door de Molenplaat. De Molenplaat is een (voormalig) speciedepot, waarvan gebruik gemaakt is bij de aanleg van de Kreekraksluizen. Door de aanleg van bovenstaande dammen is een getijdenvrije "zoete" scheepvaartverbinding, het Schelde-Rijnkanaal, tussen Antwerpen en Rotterdam ontstaan. In de Oosterschelde is de getjdebeweging gehandhaafd.

Oostelijk van de Markiezaatskade is een gebied ontstaan, dat buiten de getij-invalde kwam te liggen. Tussen de Molenplaat en de voormalige kust van Brabant heeft een opspuiting plaats gevonden, waardoor het gebied in tweeën is gesplitst: het Markiezaat en de Binnenschelde. Het zuidelijk gedeelte (Markiezaat) is het grootst (circa 1800 ha) en is een beperkt toegankelijk natuurgebied, momenteel in beheer bij de stichting "Het Brabants Landschap". De noordelijk gelegen Binnenschelde is relatief klein (circa 180 ha), heeft een recreatieve functie en valt bestuurlijk onder de gemeente Bergen op Zoom (zie figuur 1).

Figuur 1
Ligging van de Binnenschelde in
Zuidwest-Nederland



De scheiding van de gebieden wordt gevormd door de Waterscheiding en de Bergseplaat. Het is een overgangszone tussen recreatie en natuur. De Bergseplaat wordt door de gemeente Bergen op Zoom ingericht als woongebied. In bijlage 1 is een meer gedetailleerd overzicht van het gebied gegeven, waarop de plaatsaanduidingen, locaties van meetpunten en dergelijke zijn aangegeven.

De Binnenschelde wordt begrensd door de Bergseplaat, de Waterscheiding, de Noordelijke Markiezaatskade, de oude zeedijk van Bergen op Zoom en de aangelegde strandzone in het oosten van het gebied. Vroeger reikte de waterlijn bij hoog water tot aan de teen van de dijk en bij laag water viel het gehele gebied inclusief de geulen droog.

De steilrand op de grens met het voormalige getijdegebied is het meest karakteristieke aspect van het landschap in de omgeving van Bergen op Zoom en bestaat voornamelijk uit Pleistocene afzettingen. In het meest oostelijk gedeelte van het gebied komen de Pleistocene afzettingen op geringe diepte voor. Gedurende het Holocene is in aanvang Basisveen in het gebied afgezet. Hierop is in het grootste gedeelte klei afgezet, behalve in de geulen waar afzetting van zand heeft plaats gevonden (Afzettingen van Calais). In het relatief hoog gelegen oostelijk gedeelte heeft deze afzetting niet plaats gevonden, maar is meer veen ontstaan. Hierna is in het gebied het zogenaamde Hollandveen gevormd. Hierop zijn mariene klei, zavel en zand afgezet, en werden diepe kreken opgevuld met jong zeezand. Dit zijn de Afzettingen van Duinkerke. Hierna vond wisselend sedimentatie en erosie plaats en daardoor is de opbouw van de ondergrond zeer complex. De doorlatendheid van het Holocene pakket is over het algemeen gering zodat geen grote verticale grondwaterstromingen te verwachten zijn. In de geulopvullingen kunnen grotere hoeveelheden kwel of wegzijging voorkomen. Het is moeilijk in te schatten wat de gemiddelde hydraulische weerstand van de bodem van de Binnenschelde is.

Na de afsluiting van de Binnenschelde in 1984 was het peil ongeveer NAP. De sluiting betekende het wegvallen van de getijdebeweging, de aan- en afvoer van zout Oosterschelde-water en sediment. Hiermee had zich min of meer stagnant water ingesteld.

De hoogteligging van de voormalige zeebodem in de Binnenschelde varieert van NAP -1,25 m tot NAP +1,25 m en is gemiddeld ongeveer NAP. In aanvang was er dus de situatie dat de helft van het gebied droog lag, en dat met dit open-waterpeil geen invulling kon worden gegeven aan de recreatieve doelstellingen van de Binnenschelde. In bijlage 2 is de bodemdiepte verdeling van de Binnenschelde weergegeven.

Om een meer met voldoende waterdiepte te verkrijgen is eind 1985 gekozen voor het opzetten van het peil tot NAP +1,50 m (van Manen, 1984). In april 1988 is daadwerkelijk gestart met het op peil brengen van de Binnenschelde. Het peil is nu hoger dan de open-waterpeilen en grondwaterstanden in de omgeving van de Binnenschelde. Door wegzijging en kadekwel vinden verliezen plaats, die in de zomerperiode een daling van de waterspiegel veroorzaken. Om dit verlies te beperken is langs de Waterscheiding, de Bergseplaat en de strandzone een verticaal vloeistofdicht foliescherf aangebracht (zie bijlage 1). Door het negatieve neerslagoverschot in de zomer zal echter toch een peildaling optreden, die nog wordt versterkt door de wegzijging door de meerbodem. De grootte van deze wegzijging is echter niet bekend. Ook voor het doorspoelen van een watergang (zie hoofdstuk 4) moet water uit de Binnenschelde gebruikt worden.

Om de verliezen te compenseren moet water in de Binnenschelde gesuppleerd worden. Voor de suppletie is een elektrische pomp geïnstalleerd bij de Noordelijke Markiezaatskade. Het water uit het Zoommeer wordt gebruikt voor deze suppletie.

Voor de waterkwaliteit kan de hoeveelheid suppletiewater van belang zijn. De gewenste waterkwaliteit voor de Binnenschelde kan negatief beïnvloed worden door het inlaten van (te veel) "vreemd" water. Een te grote hoeveelheid ingelaten water uit het Zoommeer kan leiden tot het niet (optimaal) kunnen uitvoeren van het gewenste biologisch beheer van de Binnenschelde. Om voldoende inzicht te verkrijgen in de te verwachten hoeveelheden water die gesuppleerd moeten worden, onder normale en extreme omstandigheden, is het van belang dat een juiste waterbalans kan worden opgesteld. Teneinde dit te bereiken is het nodig om in situ gegevens van de meetbare termen van de waterbalans te verzamelen. Hiertoe is in 1989 een onderzoek opgestart.

Het doel van het onderzoek is inzicht te verkrijgen in de waterbalans van de Binnenschelde. Hiermee kan sturing worden gegeven aan het (biologisch) beheer van het meer, waarbij kwaliteits- en kwantiteitsaspecten van belang zijn. Het onderzoek naar de waterbalans van de Binnenschelde bestaat uit verschillende fasen. De belangrijkste fasen zijn hierbij de gegevensverzameling, de verwerking en interpretatie van gegevens, de berekening van de waterbalans en (extreme) scenario-berekeningen. De kwaliteitsaspecten vallen buiten het doel van dit onderzoek.

In hoofdstuk 2 worden de termen van de waterbalans behandeld en wordt met name ingegaan op de gegevensverzameling die hiervoor uitgevoerd is. De bewerking en presentatie van de gegevens worden hier behandeld. In hoofdstuk 3 worden deze gegevens gebruikt om de waterbalans van de Binnenschelde te modelleren. In hoofdstuk 4 komen de toepassingen van het waterbalansmodel aan de orde, waarbij scenario's doorgerekend worden.

2 Beschrijving Waterbalans

2.1 Waterhuishouding

De waterhuishouding van de Binnenschelde heeft voor de aanleg van de Markiezaatskade onder invloed gestaan van de getijdebeweging van de Oosterschelde. De isolatie is in 1983 door voltooiing van de kaden rond de Binnenschelde een feit geworden. De Binnenschelde is nu gescheiden van het Markieaat en het Zoommeer/Schelde-Rijnkanaal, waarbij het peil beheerst wordt. Dit peil mag fluctueren tussen NAP +1,60 m en NAP +1,40 m. Op deze manier kan de ontstane buffer van 0,20 m gebruikt worden om het neerslagoverschot in de winterperiode te benutten in de zomerperiode; in de zomerperiode is het neerslagoverschot negatief. Op deze manier kan de hoeveelheid in te laten hoeveelheid water beperkt worden. De inrichting van de Binnenschelde is geheel gebaseerd op deze peilfluctuatie. Het peil wordt beheerst door een overstort en een pomp.

De overstort bestaat uit een 3,71 m brede stalen strip, aangebracht op het voormalige doorlaatwerk in de Noordelijke Markiezaatskade. De vaste hoogte van de overstort is NAP +1,583 m. In perioden van veel neerslag zal de overstorthoogte over de overstort zodanig zijn dat het peil van de Binnenschelde hoger zal zijn dan het maximum toelaatbare van NAP +1,60 m. Dit heeft echter in de praktijk geen ernstige problemen opgeleverd voor de oeververdediging van het meer.

Foto 1

Binnenschelde met overstort, pomp en registratie waterpeil ter plaatse van Noordelijke Markiezaatskade



In perioden van dreigend tekort aan water kan water worden gesuppleerd met een elektrische pomp. Dit is in de praktijk in de zomerperiode op het moment dat het peil de ondergrens van NAP +1,40 m nadert.

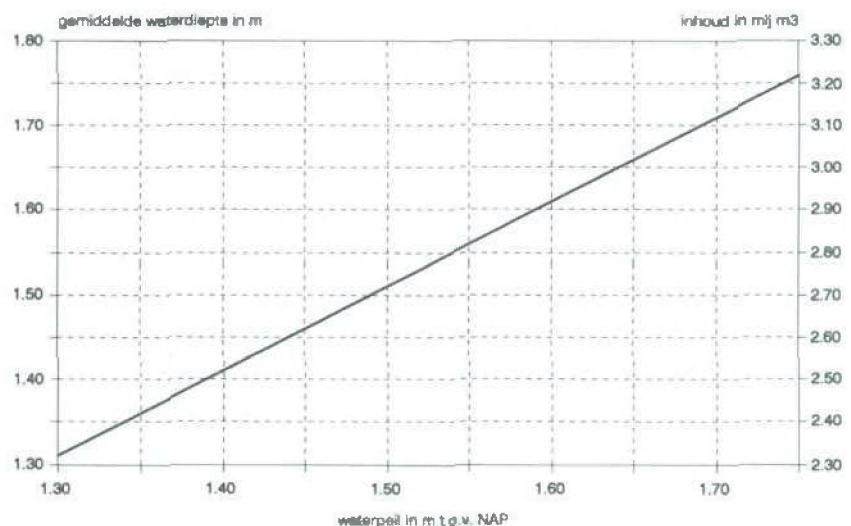
Op foto 1 is de overstortconstructie met de afvoerleiding van de elektrische pomp, en de datalogger die de automatische peilregistratie verzorgt te zien. De pomp is geïnstalleerd in de overstortput die, middels het voormalige

doorlaatmiddel in de Noordelijke Markiezaatskade, verbonden is met het Zoommeer. De locatie is aangegeven in bijlage 1 (DU3).

Nabij de Binnenschelde is een watergang gerealiseerd die functioneert als afvoerleiding van het uitslagwater van de Augustapolder, het stedelijk water van de Bergeplaat en de overstorten van de gemeentelijke riolering van Bergen op Zoom. Deze overstorten vinden plaats bij gemaal Haze van de Augustapolder (zie bijlage 1). Na een overstort moet de watergang worden doorgespoeld met water uit de Binnenschelde. Door het relatief hoge peil van de Binnenschelde kan doorspoelen onder vrij verval plaats vinden. In de strandzone van de Binnenschelde bevindt zich voor dit doel een doorspoelwerk. Het doorspoelen kan theoretisch meerdere malen per jaar benodigd zijn. In de onderzoeksperiode is de watergang geen enkele keer doorgespoeld.

Het meer heeft een oppervlakte van 180,7 ha. De verdeling van de diepte is weergegeven in bijlage 2. Bij een peil van NAP +1,50 m is de gemiddelde diepte van het meer 1,51 m, en de daarbij behorende inhoud is $2,72 \cdot 10^6 \text{ m}^3$. In figuur 2 is het verband tussen peil, gemiddelde waterdiepte en inhoud weergegeven. Bij de variatie van de waterdiepte is de verandering van het oppervlak van het meer te verwaarlozen. Dit komt door de over het algemeen relatief steile oevers.

Figuur 2
Verband tussen peil, gemiddelde
waterdiepte en inhoud



Door het isolément van het meer zijn de termen van de waterbalans redelijk goed vast te leggen.

2.2 Termen van de waterbalans

De waterbalans van de Binnenschelde wordt gegeven door: neerslag, open-watervedamping, berging, wegzijging, kadekwel, inlaat (pomp), overstort en doorspoeldebiet. De balans wordt als volgt omschreven:

$$N + B + W + I = E_o + O + D + K_k$$

waarin:

N = neerslag	(mm d ⁻¹)
B = berging	(mm d ⁻¹)
W = wegzijging	(mm d ⁻¹)

I	= inlaat (pomp)	(mm d ⁻¹)
E_o	= open-waterverdamping	(mm d ⁻¹)
O	= overstort	(mm d ⁻¹)
D	= doorspoeldebiet	(mm d ⁻¹)
K_k	= kadekwel	(mm d ⁻¹)

Voor de periode van 1 januari 1989 tot 1 oktober 1992 zijn de termen, met uitzondering van de wegzijging en de kadekwel, afgeleid uit de verzamelde gegevens. Deze gegevens zijn te scheiden in metingen die specifiek voor dit onderzoek in het veld zijn gemeten, en algemene gegevens van derden. De specifieke gegevens die ter plaatse zijn gemeten/geregistreerd zijn de volgende:

- neerslag;
- watertemperaturen;
- waterpeilen;
- grondwaterstanden;
- doorlatendheden;
- pompuren;
- doorspoeluren;
- doorspoeldebiet.

Overige gegevens van derden zijn:

- neerslag;
- verdamping;
- wind;
- stijghoogten;
- topografische gegevens.

De sluitpost (wegzijging en kwel door kaden) is de parameter die zich in de praktijk niet laat meten. Door het opstellen van de waterbalans kan deze parameter berekend worden. In de volgende paragrafen worden de termen van de waterbalans afzonderlijk besproken. Hierbij wordt ingegaan op de verzameling, de bewerking, de beoordeling en eventueel de (indirecte) berekening van de gegevens.

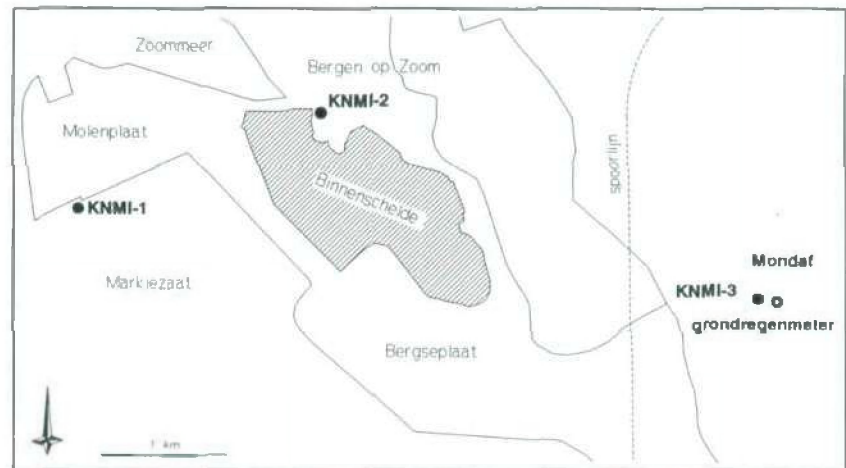
2.2.1 Neerslag

Neerslag is de grootste en belangrijkste post van de waterbalans. De jaarlijkse neerslag in het onderzoeksgebied bedraagt 600 à 700 mm. De sluitpost van de waterbalans is de kadekwel+wegzijging. Bij een berekende wegzijging van 0,5 mm/dag, betekent een meetfout in de neerslag van 100 mm een fout van 55% van de wegzijging. Het is dus van belang om de neerslag nauwkeurig te meten. Bij het onderzoek zijn verschillende meetlocaties voor neerslag betrokken.

KNMI-meetstations bevinden zich in de omgeving in Vlissingen en Gilze Rijen. Deze bevinden zich echter te ver van de Binnenschelde, om voor de waterbalans gebruikt te kunnen worden. Voor het onderzoek is primair gebruik gemaakt van een KNMI-regenmeter gestationeerd zuidelijk van de Molenplaat, nabij de stuw van het Markiezaatsmeer (KNMI-1). Vanaf juni 1991 zijn ook gegevens verzameld van een KNMI-regenmeter noordoostelijk van de Binnenschelde (KNMI-2). Op het pompstation Mondaf van het waterwinbedrijf zijn eveneens neerslagwaarnemingen gedaan. Hier zijn gegevens verzameld van een KNMI-regenmeter (KNMI-3) en een zogenaamde grondregenmeter. De KNMI-regenmeters hebben een opstelhoogte van

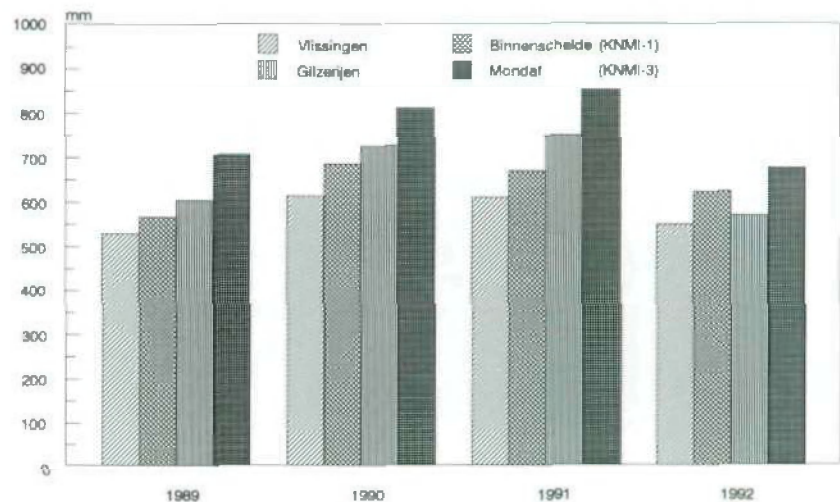
ongeveer 0,40 m boven maaiveld, en hebben een diameter van 0,16 m. De grondregenmeter is ingegraven in het maaiveld en heeft een diameter van 0,71 m. In deze grondregenmeter zijn waarnemingen verricht met een datalogger. De frequentie van deze automatische registratie is 1 uur. De KNMI-regenmeters zijn wekelijks opgenomen. In figuur 3 zijn de locaties van de regenmeters weergegeven.

Figuur 3
Locaties van de gebruikte regenmeters



Om een indruk te geven van de verschillen in neerslag van de verschillende locaties zijn in figuur 4 de jaarsommen van de onderzoeksperiode gegeven. De hoeveelheden van 1992 zijn die tot de maand oktober, omdat het onderzoek in die maand is beëindigd. Het betreft hier de stations Vlissingen en Gilze Rijen van het KNMI, en de meetlocaties Binnenschelde (KNMI-1) en Mondaf (KNMI-3). Duidelijk zijn de jaarlijkse verschillen te zien, waarbij alleen Gilze Rijen in 1992 afwijkt van het patroon met een relatief kleinere hoeveelheid neerslag. Voor de waterbalans is het dus van belang dat de lokale neerslaggegevens worden gebruikt.

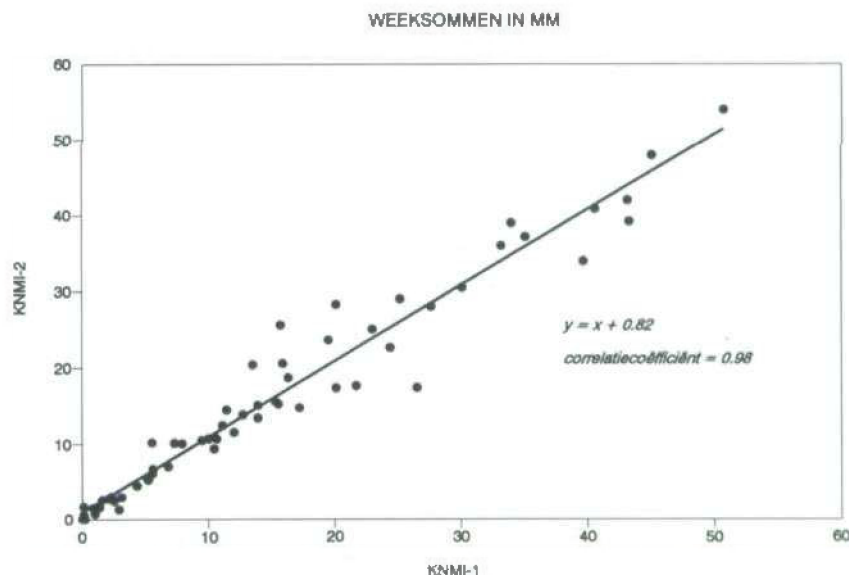
Figuur 4
Jaarsommen van de neerslag



In juni 1991 is een KNMI-regenmeter vlakbij de Binnenschelde geplaatst om meer betrouwbare gegevens te verkrijgen. Tevens kan de correlatie bepaald worden tussen beide regenmeters bij de Binnenschelde. Het verband tussen de locaties is weergegeven in figuur 5. De correlatie tussen beide regenmeters is goed (correlatie-coëfficiënt is 0,98), zodat het verantwoord is om

beide reeksen te combineren. Omdat de laatst geplaatste regenmeter dichterbij de Binnenschelde is gelokaliseerd zijn vanaf juni 1991 dan ook de gegevens van deze locatie gebruikt.

Figuur 5
Correlatie weeksommen neerslag
KNMI-1 en KNMI-2

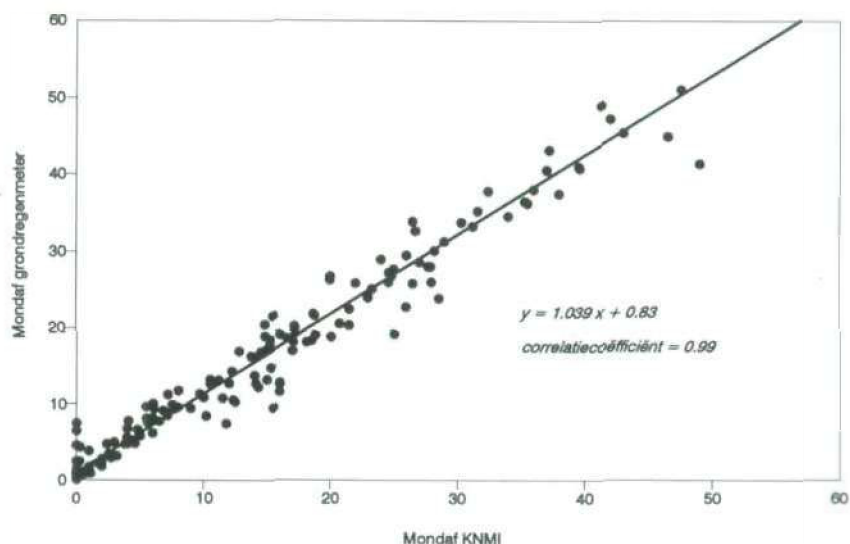


Voor het doorrekenen van lange reeksen met neerslag en verdamping zijn geen gegevens beschikbaar van locaties nabij de Binnenschelde, en moeten dus andere reeksen gebruikt worden. De correlaties van andere locaties met de Binnenschelde zijn dan ook onderzocht. De correlatie-coëfficiënten van Vlissingen, Gilze Rijen en Mondaf met de Binnenschelde zijn respectievelijk 0,75, 0,73 en 0,85. Mondaf scoort het best, maar er zijn van Mondaf geen lange reeksen beschikbaar. Er kan gebruik gemaakt worden van Vlissingen of Gilze Rijen.

De grondregenmeters benaderen meer de juiste hoeveelheid gevallen neerslag dan de KNMI-regenmeters. De verklaring is met name de grotere diameter van deze regenmeter. Het oppervlak van de grondregenmeter is ongeveer 13 maal zo groot als het oppervlak van de KNMI-regenmeter, waardoor randeffecten een kleinere rol spelen. Ook kan de opstelhoogte een factor zijn die meespeelt bij de nauwkeurigheid van de regenmeters. In de praktijk blijkt dan ook dat de grondregenmeter meer neerslag registreert dan de KNMI-regenmeter. Op Mondaf is de neerslag zowel met een grondregenmeter als met een KNMI-regenmeter geregistreerd, en er kan dus een vergelijking gemaakt worden. Van beide regenmeters zijn de weeksommen vergeleken en het resultaat is weergegeven in figuur 6. De correlatie is goed en de relatie wordt omschreven door de formule: $y = 1.039x + 0.83$, waarbij x de KNMI-regenmeter en y de grondregenmeter is. Hieruit kan afgeleid worden dat kleine buien onvoldoende door de KNMI-regenmeter worden geregistreerd, en dat de grondregenmeter ongeveer 5% meer neerslag ontvangt. Om nu tot een meer juiste neerslagreeks te komen, worden de gemeten hoeveelheden van de KNMI-regenmeters bij de Binnenschelde gecorrigeerd volgens bovenstaande formule.

Figuur 6

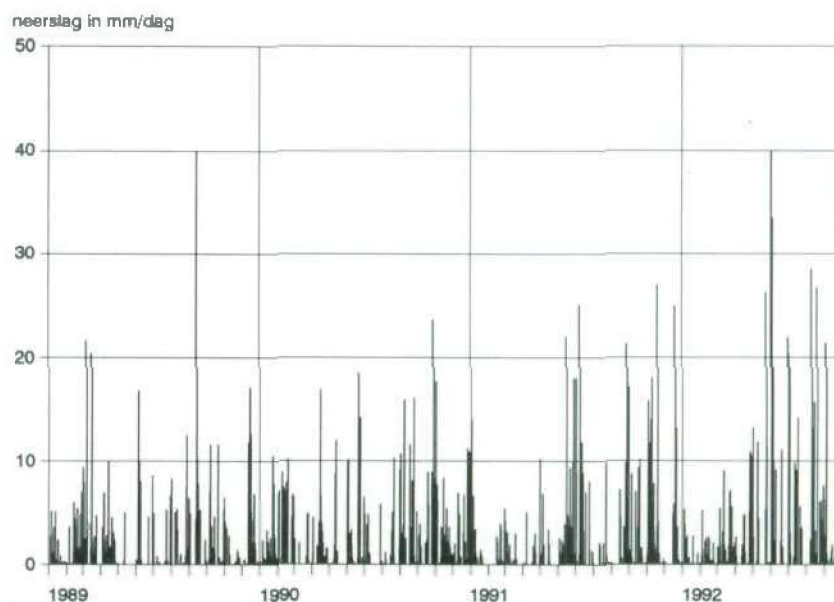
Correlatie KNMI-regenmeter en
grondregenmeter op pompstation
Mondaf



Voor het berekenen van de waterbalans is het gewenst om de neerslag per dag te bepalen. Derhalve moet naast bovenstaande conversie, een vertaling plaats vinden van week- naar dagsommen van de neerslaggegevens van de Binnenschelde. Omdat de correlatie tussen Mondaf en de Binnenschelde redelijk is (beter dan Vlissingen en Gilze Rijen), worden de dagsommen van de neerslag van Mondaf gebruikt om verhoudingsgewijs uit de weeksommen van de Binnenschelde dagsommen te genereren. Het resultaat is weergegeven in figuur 7.

Figuur 7

Gecorrigeerde dagsommen van de
neerslag van de Binnenschelde

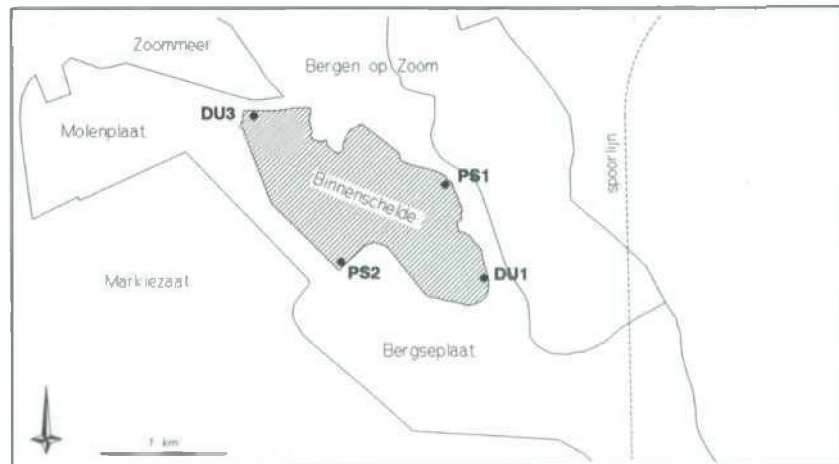


2.2.2 Berging

Voor de berekening van de berging is het benodigd het waterpeil nauwkeurig te registreren. Voor het registreren van het waterpeil zijn vier meetlocaties ingericht, teneinde een gemiddeld beeld te krijgen van de peilfluctuaties van de Binnenschelde. In figuur 8 zijn de locaties weergegeven. Het betreft twee locaties (PS1 en PS2) waar handwaarnemingen zijn gedaan en

twee (DU1 en DU3) waar handwaarnemingen en automatische peilregistratie hebben plaats gevonden (zie ook bijlage 1).

Figuur 8
Locaties van de peilregistratie



De automatische registratie heeft plaats gevonden bij de overstort in de Noordelijke Markiezaatskade (DU3) en nabij het doorspoelwerk in de strandzone (DU1). In het beton van deze kunstwerken bevonden zich ingemeten hoogtemerken, waarop de peilregistratie en de overige NAP-hoogten die gebruikt zijn bij het onderzoek zijn afgestemd. Registratie werd gerealiseerd door uurlijkse niveaumeting met druksensoren, gekoppeld aan dataloggers. Controle vond plaats door wekelijkse handwaarnemingen. De metingen in de eerste helft van 1989 zijn door gebreken van de dataloggers, minder betrouwbaar dan in de rest van de meetperiode.

Behalve bij de dataloggers zijn wekelijks handwaarnemingen gedaan op locaties die globaal tussen de dataloggers in zijn gelegen (PS1 en PS2). De waarnemingen bestonden uit het aflezen van peilschalen die bevestigd waren op een ingeheid houten paal en op een palenrij nabij het strand.

Om een juiste interpretatie te kunnen geven van de registraties zijn tevens wekelijks de windkracht, de windrichting en de aard van het wateroppervlak bepaald. De windkracht en windrichting zijn geschat. Onder aard van het wateroppervlak wordt verstaan de mate waarin het wateroppervlak in beweging is (golven). Er is een indeling gemaakt in drie klassen:

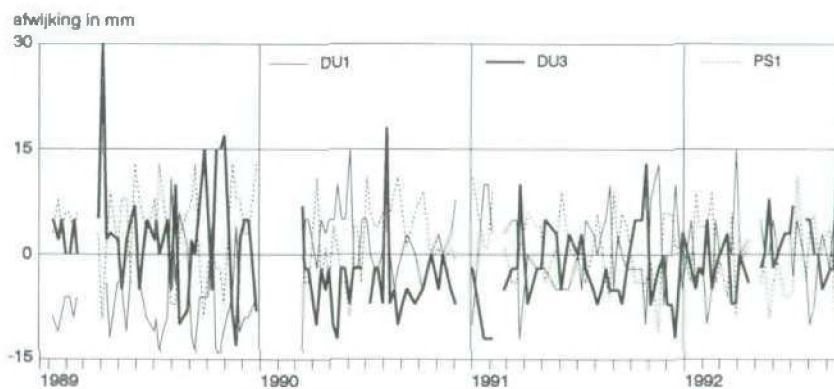
1. rustig, bijna of geheel vlak;
2. golfjes, nog wel nauwkeurig te meten;
3. ruw water, niet nauwkeurig te meten.

Tijdens de verwerking zijn deze gegevens een bron van waardevolle informatie gebleken.

De nauwkeurigheid van de handwaarnemingen is afhankelijk van het wateroppervlak, en omdat dat gegeven bekend is, is tevens de kwaliteit van de waarnemingen bekend. Waarnemingen van goede kwaliteit zijn gebruikt om de dataloggers te kalibreren en te controleren. Bij de verwerking van de handwaarnemingen was het opvallend dat de waarnemingen van PS2 (peilschaal op paal) sterk afweken van de overige waarnemingen. Naar aanleiding hiervan zijn de afwijkingen van elk meetpunt ten opzichte van het gemiddelde van de andere meetpunten berekend. Het resultaat hiervan, van de meetpunten DU1, DU3 en PS1, is weergegeven in figuur 9.

Figuur 9

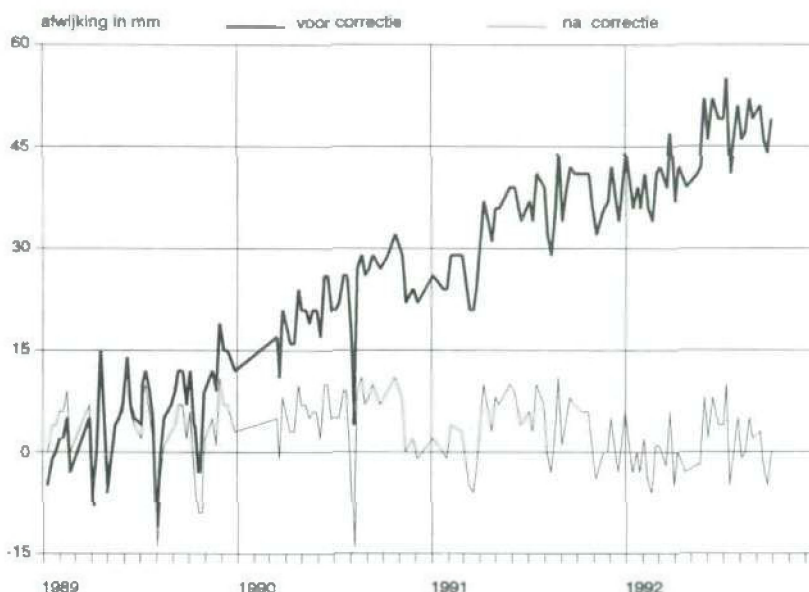
Afwijkingen van de meetpunten
DU1, DU2 en DU3 t.o.v. gemiddelde



Het blijkt dat voor de meetpunten van figuur 9 de afwijkingen onderling vergelijkbaar zijn, en dat deze liggen in de range van -15 tot +15 mm. Door een periode van harde wind zijn begin 1990 geen of onvoldoende handwaarnemingen uitgevoerd. Voor meetpunt PS2 zijn de afwijkingen gegeven in figuur 10 (voor correctie). Te zien is hier een opvallend lineair oplopende afwijking. De oorzaak hiervoor moet geweest zijn dat de 6 m lange paal zeer geleidelijk is gezakt in de periode van vier jaar. Over een korte periode was dit verschijnsel waarschijnlijk niet zichtbaar geweest. Aan de hand van deze gegevens is de zetting berekend op 14,5 mm/jaar. De waarnemingen van PS2 zijn op basis hiervan gecorrigeerd, en zijn ook weergegeven in figuur 10. De totale reeks handwaarnemingen en de gemiddelden hiervan zijn grafisch weergegeven in bijlage 3.

Figuur 10

Afwijkingen van PS2 t.o.v.
gemiddelde



In bijlage 4 zijn de uurregistraties gegeven. In de bijlage zijn ter meerdere informatie de gegevens opgenomen t/m januari 1993, terwijl het onderzoek loopt tot oktober 1992. De meet-nauwkeurigheid is ongeveer 5 mm.

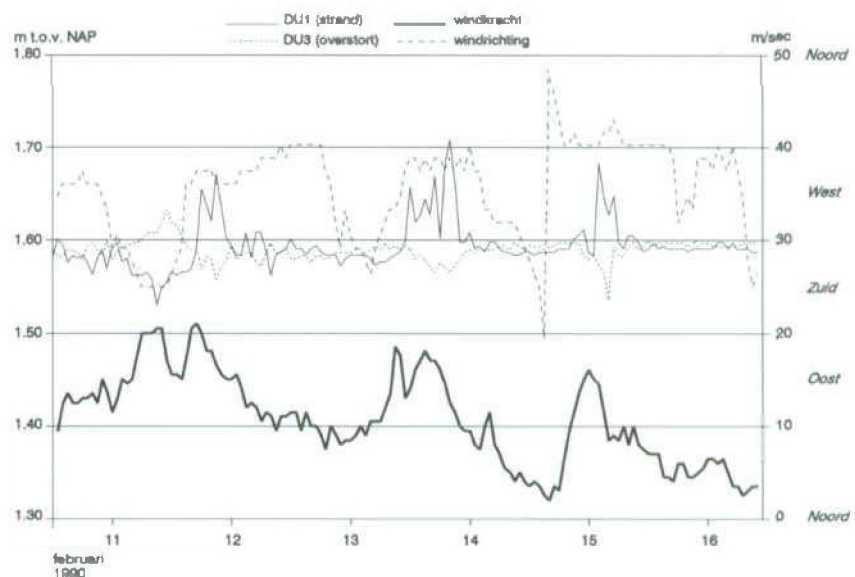
Door beweging (golfjes) van het wateroppervlak worden de fluctuaties van geregistreeerde peilen veroorzaakt. De 'fit' van de lijnen door de wekelijkse handwaarnemingen is voor het grootste gedeelte van het traject goed. De periode tot begin juli 1989 is door het niet optimaal werken van de apparatuur minder betrouwbaar. Voor de periode van maart tot juni zijn hierdoor

alleen dag-gemiddelden beschikbaar. Duidelijk te zien zijn de perioden waarin door middel van een pomp water gesuppleerd is (juli '89, juli '90, augustus-september '91). In februari 1991 is een opmerkelijk verschil te zien tussen de twee meetlocaties. Dit zijn echter afwijkingen ten gevolge van een vorstperiode, waarin de gehele Binnenschelde dicht gevoren was.

Overige onderlinge verschillen van de peilen zijn het gevolg van voornamelijk opwaaiing. Bij weinig wind is een geringe opwaaiing meetbaar van 5 à 10 mm. De regelmatig voorkomende uitschieters zijn het gevolg van meer dan gemiddelde opwaaiing door een windkracht groter dan circa 7 Beaufort. De hoogst gemeten waarden tijdens een storm zijn de golftoppen. De opwaaiing is het gemiddelde van de metingen. De grootste geregistreerde opwaaiing is 0,10 à 0,15 m. Golven kunnen voorkomen tot een peil van NAP +1,70 m à NAP 1,80 m. Begin 1990 hebben de zwaarste stormen in de meetperiode plaats gevonden, wat tot uiting komt in relatief grote verschillen in peil. Op 1 maart 1990 is het hoogste peil geregistreerd van NAP +1,83 m. De windkracht in Vlissingen was op dat tijdstip 7 Beaufort. Dit zal waarschijnlijk een golftop geweest zijn.

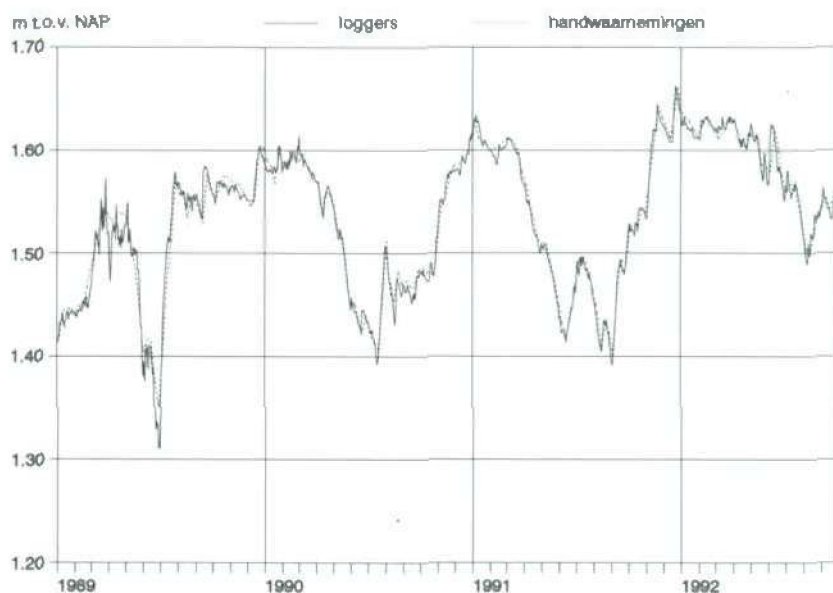
Opwaaiing in de Binnenschelde is afhankelijk van windkracht, windduur en windrichting. In figuur 11 zijn de waterpeilen gedurende de periode 11 t/m 16 februari 1990 gegeven, met als extra informatie de windkracht en de windrichting. Voor de uitgezette windkracht in de figuur zijn de KNMI-uurgegevens van station Vlissingen, uitgedrukt in m/s. Ook voor de windrichting zijn de gegevens van station Vlissingen gebruikt. Op 11 februari is het peil bij een zuidelijke wind bij de overstort hoog en bij het strand laag. Uit de figuur blijkt dat bij een windrichting van zuid-west tot noord-west er globaal een opwaaiing plaats vindt van de overstort naar het strand. De maximale windkracht in deze periode was 21 m/s, wat overeenkomt met 8 Beaufort. Windkracht 10 is de hoogst geregistreerde windkracht. De opwaaiing op dat tijdstip is vergelijkbaar met die in figuur 11.

Figuur 11
Waterpeilen, windkracht en windrichting van 11 t/m 16 februari 1990



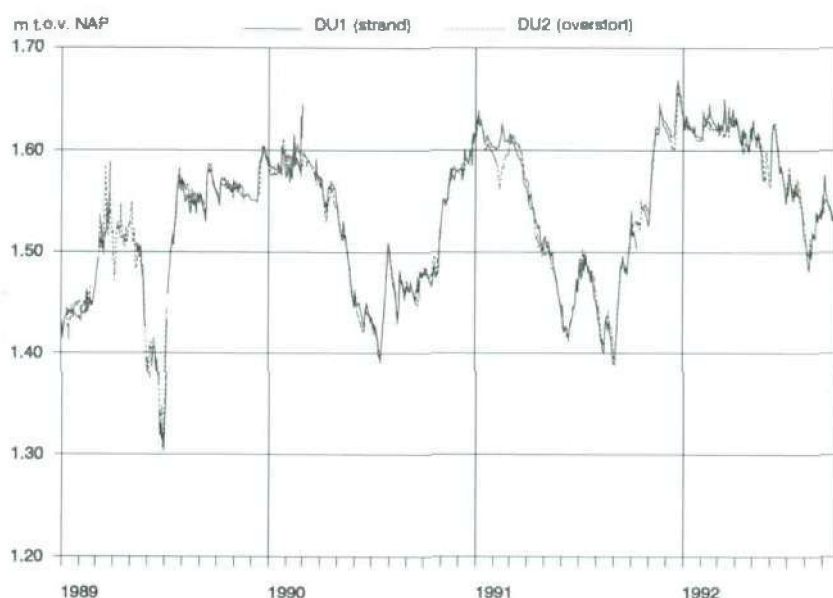
De berekeningen van de waterbalans zijn verricht in eenheden van dagen, en van de automatisch geregistreerde waterpeilen zijn de daarvoor benodigde daggemiddelden berekend. Deze daggemiddelden zijn weergegeven in figuur 12.

Figuur 12
Daggemiddelden waterpeilen
Binnenschelde



Als laatste vergelijking is in figuur 13 het gemiddelde van de dagsommen van de dataloggers gegeven en het gemiddelde van de handwaarnemingen. Voor de berekening van de berging wordt het daggemiddelde van de dataloggers gebruikt.

Figuur 13
Daggemiddelden van dataloggers
en handwaarnemingen



2.2.3 Wegzijing

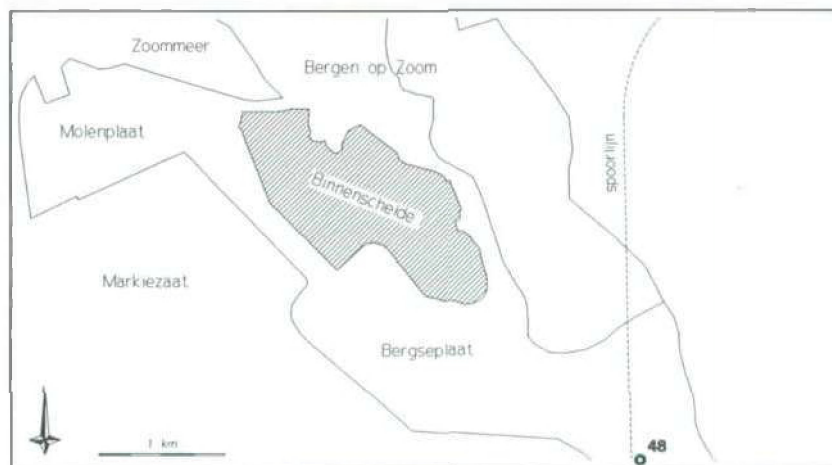
Onder wegzijing wordt bedoeld de verticale naar beneden gerichte grondwaterstroming door het Holocene pakket boven de Pleistocene afzettingen. Doordat de stijghoogte van het grondwater in het Pleistocene pakket (figuur 15) ter plaatse van de Binnenschelde lager is dan het peil van de Binnenschelde is deze grondwaterstroming naar beneden gericht, waardoor er sprake is van wegzijing. De wegzijing is variabel en afhankelijk van het potentiaalverschil tussen open-water van de Binnenschelde en de stijghoogte in het Pleistoceen.

Bij de vooronderzoeken van de Binnenschelde en het Markiezaat zijn geohydrologische berekeningen gemaakt. De berekeningen deden onder andere een voorspelling over de te verwachten hoeveelheid wegzijging en de stijghoogte van het Pleistocene grondwater die zich zou instellen na de aanpassingen in het gebied. Voor de Binnenschelde was bij een peil van NAP +1,50 m de berekende gemiddelde stijghoogte ter plaatse van de Binnenschelde NAP +0,55 m. De wegzijging is afhankelijk van de stijghoogte, maar met name voor de waterbalans zijn de verschillen in stijghoogte over de onderzoeksperiode van belang.

De stijghoogte van het Pleistocene grondwater is van veel factoren afhankelijk. Een belangrijke factor zijn de grondwateronttrekkingen nabij de Binnenschelde. Grondwateronttrekkingen worden gedaan door voornamelijk waterwinbedrijven en industrie. Nabij Bergen op Zoom is de totale hoeveelheid het laatste decennium toegenomen, waardoor ook de stijghoogte beïnvloed is.

De stijghoogte in het gebied loopt vanuit de Binnenschelde omhoog richting Bergen op Zoom en de Brabantse Wal. Er is een verband tussen de stijghoogte ter plaatse van de Binnenschelde en hoger gelegen locaties op de Brabantse Wal. Alleen op locaties ten zuidoosten van de Binnenschelde zijn waarnemingen verricht van de stijghoogten. De locatie 48 van TNO is het meest geschikt om bij dit onderzoek te worden gebruikt, en is aangegeven in figuur 14. Er is gebruikt gemaakt van de gegevens gemeten op een diepte van NAP -35 m (0048 2) en NAP -65 m (0048 3). De tijd-stijghoogtelijnen van deze filters staan in bijlage 5. De stijghoogtelijnen vertonen vanaf 1980 een geleidelijke daling. Daarna heeft zich eerst een stijging gemanifesteerd, gevolgd door een relatief forse daling, waarna zich min of meer een stabiele waarde heeft ingesteld. Het gedrag van de stijghoogte ter plaatse van de Binnenschelde zal zich volgens dezelfde trend gemanifesteerd hebben in de afgelopen periode.

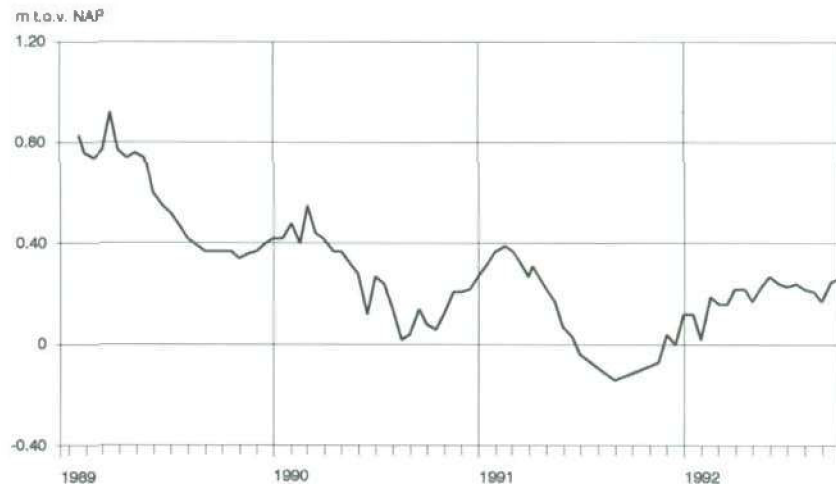
Figuur 14
Locatie TNO waarnemingspunt
stijghoogte Pleistoceen



In het jaar 1989 was de geohydrologische situatie ter plaatse van de Binnenschelde, na het opzetten van het peil begin 1988, min of meer stabiel. Er zijn ook geen geohydrologische mutaties meer te verwachten. Het jaar 1989 is dan ook als referentie periode gekozen, en er wordt van uit gegaan dat bij de Binnenschelde de gemiddelde stijghoogte gelijk was aan de berekende waarde van NAP +0,55 m. Voor de conversie is 48-2 genomen omdat deze hoger in het Pleistoceen registreert. In de waarnemingsreeks van dit filter zitten twee sterke verlagingen die waarschijnlijk veroorzaakt zijn door

lokale invloeden, bijvoorbeeld bronbemalingen. Deze zijn dus niet van belang voor de Binnenschelde. De gemiddelde stijghoogte van dit filter was in de winter 1988/1989 NAP +1,70 m. Het verschil in stijghoogte met de Binnenschelde is dan 1,15 m. Voor de stijghoogtereeks van de Binnenschelde worden nu de waarnemingen van 48-2 verminderd met 1,15 en de tussenliggende waarden geïnterpoleerd. De lokale verlaging in 1991 wordt hierbij niet meegenomen. De afgeleide stijghoogte van de Binnenschelde is gegeven in figuur 15.

Figuur 15
Afgeleide stijghoogte Binnenschelde



2.2.4 Inlaat

Ten behoeve van suppletie van de Binnenschelde in tijden van (te verwachten) overschrijding van het minimum peil van NAP +1,40 m is een elektrische pomp geïnstalleerd. Destijds is een pomp geadviseerd met een capaciteit van 750 m³/uur, wat gebaseerd was op de maatgevende situatie van een extreem droog jaar in combinatie met het doorspoelen van de watergang (zie hoofdstuk 3). Hierbij is optimaal gebruik gemaakt van de toegestane fluctuatie van NAP +1,40 m tot NAP +1,60 m. Voor het doorspoelen van de watergang is een (grote) hoeveelheid water benodigd van ongeveer 25.000 m³ per keer, en is uitgegaan van 11 overstorten in de zomerperiode. Voorts is destijds uitgegaan van een beperking van de kadewel van de Bergseplaat en de Waterscheiding van 80%. Door de realisatie van het vloeistofdichte foliescherm is dit een juiste veronderstelling geweest.

Voor een extreem droge zomer zou een hoeveelheid inlaat benodigd zijn van 770 mm. Deze aanvoer kan echter grotendeels pas gerealiseerd worden in de tweede helft van de zomer, en de benodigde suppletie-capaciteit moet dan ook groter zijn. Deze capaciteit moet dan minimaal circa 650 m³/uur zijn, wat geresulteerd heeft in een geadviseerde pompcapaciteit van 750 m³/uur.

Uit kwaliteitsoverwegingen is ook nog overwogen om te suppleren met Pleistoceen grondwater. Dit zou dan via een aantal filters op de Molenplaat opgepompt moeten worden. Omdat echter de kwaliteit van het Zoommeer toch van voldoende kwaliteit was, is gekozen voor een goedkopere en meer bedrijfszekere oplossing van een pomp.

De pomp is aangebracht in het voormalige doorlaatwerk in de Noordelijke Markiezaatskade. Aan de instroomzijde in het Zoommeer bevindt zich een krooshek. Door vervuiling van dit krooshek kan de capaciteit van de pomp

beïnvloed worden. Het peil van het Zoommeer varieert van NAP -0,25 m tot NAP +0,25 m, en is gemiddeld NAP. De opvoerhoogte is dan gemiddeld 1,40 à 1,60 m. De pomp loost via een stalen leiding op de Binnenschelde. Het totale drukverlies van de leidingen tussen het Zoommeer en de Binnenschelde is theoretisch bepaald op 1,78 m, en de theoretische capaciteit is bepaald op :

$$Q_{theo} = -108,6 (\Delta h + 1,78) + 1265$$

waarbij:

$$\begin{aligned} Q_{theo} &= \text{theoretische capaciteit van de pomp} && (\text{m}^3 \text{ uur}^{-1}) \\ \Delta h &= \text{peilverschil tussen Binnenschelde en Zoommeer} && (\text{m}) \end{aligned}$$

Bij de iteratieve berekeningen van de waterbalans is aanvankelijk met de theoretische waarde gerekend. Deze waarde voldeed niet volledig en kon nog geoptimaliseerd worden. De pompcapaciteit is gecontroleerd/gekalibreerd in de meest gunstige periode van het onderzoek, namelijk in een periode zonder neerslag, zonder al te hoge verdamping en met betrouwbare gegevens van de waterpeilen. Uiteraard moest er in die periode ook gepompt worden. Deze periode is gevonden van 4 tot 12 september 1991. De open-watervedamping was 24,4 mm en het peilverschil van de Binnenschelde was 78 mm. De wegzijging zal liggen tussen 0 en 0,5 mm/dag en is dus niet van grote invloed op de te berekenen pompcapaciteit. De wegzijging is ingeschat op 0,1 mm/dag. De gemiddelde capaciteit in deze periode is nu 12,9 mm/dag geweest, bij een gemiddeld peil van NAP +1,44 m. De consequentie voor het theoretische rechte verband is, dat deze met de factor 1,06 vermenigvuldigd moet worden om tot de werkelijke capaciteit te komen. De werkelijke capaciteit ligt dus hoger. De werkelijke capaciteit van de pomp kan worden omschreven als de empirische relatie:

$$Q_{pomp} = 1,06 (-108,6 (\Delta h + 1,78) + 1265)$$

ofwel

$$Q_{pomp} = 115,1 \Delta h + 1136$$

waarbij:

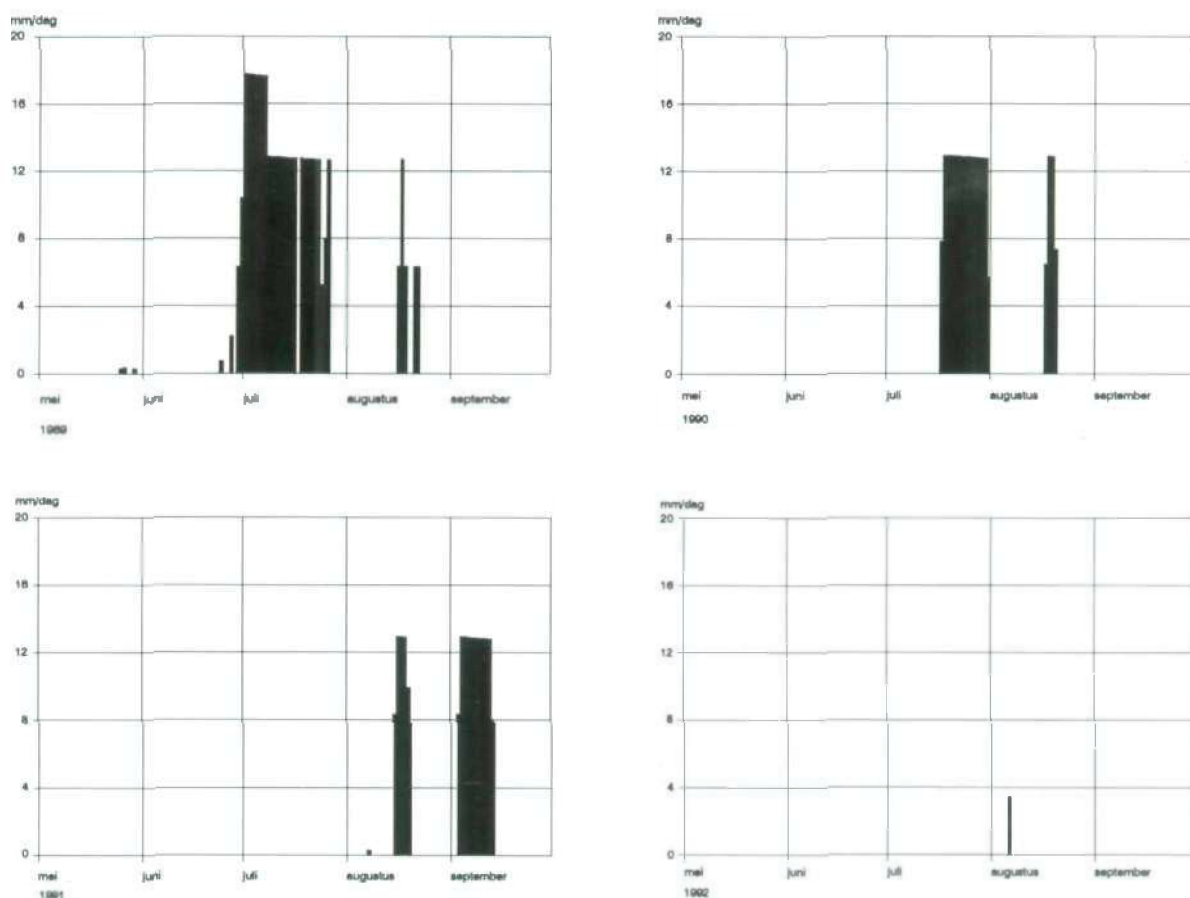
$$\begin{aligned} Q_{pomp} &= \text{werkelijke capaciteit van de pomp} && (\text{m}^3 \text{ uur}^{-1}) \\ \Delta h &= \text{peilverschil tussen Binnenschelde en Zoommeer} && (\text{m}) \end{aligned}$$

Bij een peil van het Zoommeer van NAP, is de capaciteit bij een peil van de Binnenschelde van NAP +1,40 m, NAP +1,50 m en NAP +1,60 m respectievelijk 975, 964 en 952 m³/uur. Uitgaande van de geadviseerde pompcapaciteit van 750 m³/uur is de pomp ruim gedimensioneerd. Uit modelberekeningen zal tot uiting komen wat de te verwachten pomppuren zullen zijn onder verschillende omstandigheden.

De draaiuren van de pomp zijn geregistreerd door RWS Directie Zeeland (compartimenteringswerken) en Hoogheemraadschap West-Brabant. Een overzicht van de pompdebieten zijn gegeven in figuur 16. Deze hoeveelheden worden gehanteerd in de waterbalans.

Figuur 16

Hoeveelheden met pomp gesup-
pleerd water in mm/dag



2.2.5 Open-watervedamping

Voor de verdamping van het open-water wordt gebruikt gemaakt van Makkink referentie-gewasverdamping (E_r) aangeleverd door het KNMI. Deze waarden worden dagelijks bepaald en zijn nabij de Binnenschelde bekend van de stations Vlissingen en Gilze Rijen. De jaarlijkse verschillen tussen de twee stations zijn 5 tot 10%. De Binnenschelde ligt aan de rand van het voormalig kustgebied, en de verdamping hier zal meer gelijkenis vertonen met die van Vlissingen dan die van het landinwaarts gelegen Gilze Rijen. De gemiddelde jaarlijkse Makkink referentie-gewasverdamping van Vlissingen en Gilze Rijen bedraagt over de onderzoeksperiode respectievelijk 610 en 562 mm. Voor de berekeningen zijn de gegevens van Vlissingen gehanteerd.

De referentie-gewasverdamping is een richtgetal voor de bepaling van de potentiële verdamping van gewassen. Door vermenigvuldiging van E_r met gewasfactoren verkrijgt men de potentiële verdamping van gewassen. E_r wordt volgens de berekeningswijze van Makkink bepaald uit gegevens van globale kortgolfige straling en luchttemperatuur. De referentie-gewasverdamping moet worden omgerekend naar de vroeger gebruikte Penman-open-watervedamping. Er zijn voor de zomerperiode (april-september) maandelijkse gewasfactoren bekend voor gebruik met de Makkink en de Penman-verdamping, waarmee factoren berekend kunnen worden om uit E_r de open-watervedamping te berekenen. Deze factoren zijn op deze wijze initieel berekend voor de maanden april t/m augustus op 1,25 en voor september op 1,13. Voor de wintermaanden is deze factor ingeschat op 1,05.

Voor grote wateroppervlakken is het juist om op de aldus berekende open-water-verdamping een correctie uit te voeren voor de warmtecapaciteit van het meer. Voor grote wateroppervlakken die dieper zijn dan 1 m is de warmte-opslag niet meer verwaarloosbaar klein, zoals in de Penman formule verondersteld wordt. De verdamping wordt gecorrigeerd met een term voor warmteopslag afhankelijk van voornamelijk diepte, dichtheid, soortelijke warmte, tijdsperiode van het jaar en temperatuurverschil. De variabelen zijn diepte, temperatuurverschil en tijdsperiode. De constante waarden zijn per decade te omschrijven in een correctieterm. De overgebleven variabelen zijn diepte en temperatuurverschil. De correctieterm b varieert van -0,625 in januari tot -0,950 in juli en zijn in tabel 1 per decade weergegeven.

Tabel 1
Correctieterm b per decade voor berekening van de open-watervedamping

dec.	jan	feb	mrt	apr	mei	jun	jul	aug	sep	okt	nov	dec.
i	-0,625	-0,650	-0,675	-0,750	-0,825	-0,900	-0,950	-0,950	-0,925	-0,850	-0,725	-0,675
ii	-0,625	-0,650	-0,700	-0,775	-0,850	-0,925	-0,950	-0,950	-0,900	-0,800	-0,700	-0,650
iii	-0,625	-0,675	-0,725	-0,800	-0,875	-0,925	-0,950	-0,925	-0,875	-0,750	-0,675	-0,650

De open-watervedamping wordt nu op de volgende wijze berekend:

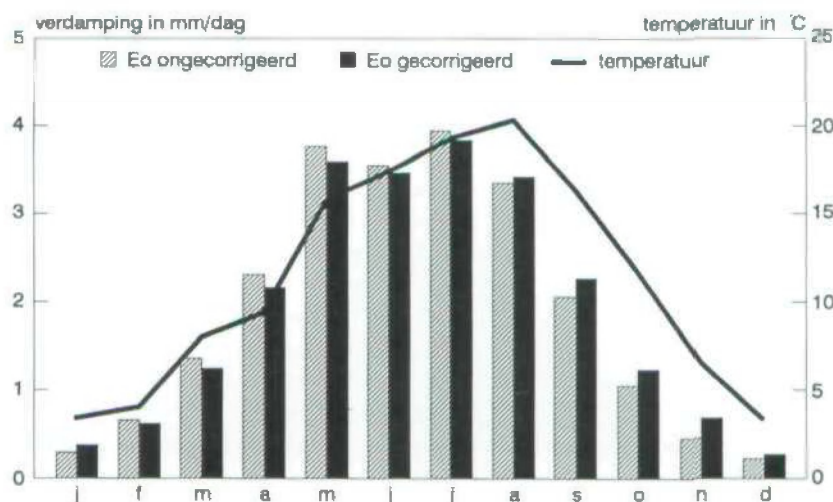
$$E_{ow} = a E_r + b d_{gem} \Delta T_w$$

waarbij:

E_{ow}	= open-watervedamping	(mm d ⁻¹)
a	= Penman open-water factor	(-)
E_r	= referentie-gewasverdamping	(mm d ⁻¹)
b	= correctiefactor warmteopslag	(m ⁻¹ °C ⁻¹)
d_{gem}	= gemiddelde waterdiepte	(m)
ΔT_w	= temperatuurverschil water	(°C ⁻¹)

Om de verdamping aldus te kunnen berekenen is wekelijks op vier locaties de watertemperatuur in de Binnenschelde gemeten. Hiervan zijn de gemiddelden berekend, en zijn dagcijfers gegenereerd door interpolatie. De jaarlijkse hoeveelheden berekende verdamping zijn dan voor de jaren 1989, 1990, 1991 en 1992 respectievelijk 732, 745, 671 en 622 mm. Voor 1992 betreft het de maanden januari t/m september. In figuur 17 zijn weergegeven de berekende gemiddelde maandelijkse open-watervedamping, met en zonder correctie van de warmtecapaciteit, en tevens de gemiddelde watertemperaturen.

Figuur 17
Gemiddelde maandelijkse open-watervedamping met en zonder correctie warmtecapaciteit, en watertemperatuur



De verwerkte gegevens in figuur 17 zijn gemiddelden over de gehele onderzoeksperiode, maar de jaarlijkse afwijkingen zijn niet significant. De eerste helft van het jaar wordt energie gebruikt om het water te verwarmen. Hierdoor is de correctie van de verdamping negatief, terwijl bij afkoeling in de tweede helft van het jaar de correctie positief is. Het opwarmen van het water duurt langer dan het afkoelen, wat tot uiting komt in de correcties. Omdat de temperatuur van het water jaarlijks niet veel verschilt, is de gemiddelde jaarlijkse correctie nihil. Over de gehele periode varieert de correctie per dag van +1,3 mm tot -1,9 mm. De standaardafwijking bedraagt 0,45 mm/dag.

2.2.6 Overstort

De overstorthoeveelheden zijn niet direct gemeten maar kunnen met de geregistreerde waterpeilen worden berekend. Direct bij de overstort heeft "continu" registratie van het waterpeil plaats gevonden. Het betreft een uurlijkse registratie van de momentele waarde.

De overstort heeft een scherpe rand en de algemene relatie voor de overstorthoeveelheid wordt gevonden in de relatie:

$$Q = m \frac{2}{3} \sqrt{2g} b \Delta h^{\frac{3}{2}}$$

waarin:

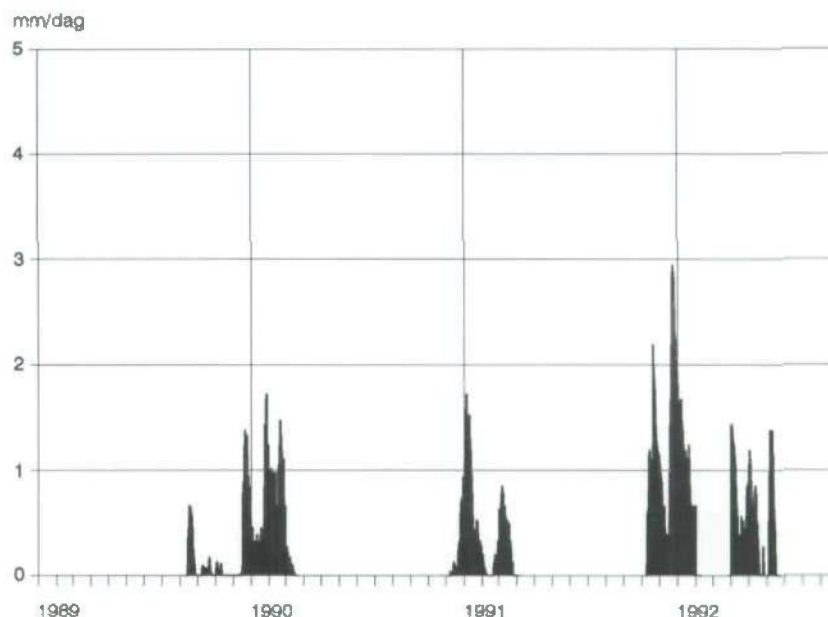
Q	= overstortdebiet	(m ³ s ⁻¹)
ΔH	= overstorthoogte in m	(m)
b	= stuwbreedte in m	(m)
m	= afvoercoëfficiënt	(-)
g	= zwaartekrachtversnelling	(m s ⁻²)

De stuwbreedte is 3,71 m. De afvoercoëfficiënt m is voornamelijk afhankelijk van de vorm en de kromming van de kruin van de stuw, en moet over het algemeen nader bepaald worden. Een normale waarde voor een hydraulisch gunstig scherpe stuw is 0,5 à 0,6. De metalen strip is echter relatief laag en bevestigd op een betonwand. Tevens is de stortpijp van de pomp (Ø 280) tegen de voorzijde van de stuw gesitueerd. Hierdoor is de overstort zoals die hier is toegepast hydraulisch ongunstig zodat een lagere waarde verwacht mag worden.

Bij de iteratieve berekeningen van de waterbalans is aanvankelijk gerekend met een m-waarde van 0,30. Nu was het mogelijk deze waarde te optimaliseren. Voor deze optimalisatie was benodigd een zo lang mogelijke periode zonder neerslag, zonder suppletie en met relatief weinig verdamping, maar met een aanzienlijke hoeveelheid overstortwater. Deze periode werd gevonden van 22 januari 1991 tot 14 februari 1991. Tijdens deze periode was nu de werkelijke hoeveelheid overstort 10,05 mm. Deze hoeveelheid kan worden herleid tot een m-waarde van 0,285. Met deze waarde zijn dan ook de definitieve berekeningen uitgevoerd.

Bij het doorrekenen van de waterbalans is gebleken dat in de periode van 1 februari 1992 tot 1 april 1992 geen overstort kan hebben plaats gevonden, terwijl het waterpeil boven het stuwpeil was. In die tijd is echter ook geconstateerd dat de opening, waar het overstortende water door moet worden afgevoerd, bedekt was met fonteinkruid. Er is dan ook aangenomen dat er in deze periode door verstopping geen afvoer heeft plaats gevonden. In figuur 18 zijn de berekende dagelijkse hoeveelheden weergegeven.

Figuur 18
Berekende hoeveelheden water over
de overstort



2.2.7 Doorspoeldebiet

In de strandzone bevindt zich een doorspoelwerk ten behoeve van het doorspoelen van de achterliggende watergang. Voor het bepalen van het doorspoeldebiet is tijdens de onderzoeksperiode een debietmeting verricht in het doorspoelwerk. De locatie van het doorspoelwerk is daarna echter verplaatst, en een andere constructie met een veel langere leiding is gerealiseerd. De resultaten van de debietmeting zijn dan ook niet meer relevant en derhalve niet hierin opgenomen. Zoals reeds vermeld heeft in de onderzoeksperiode geen doorspoeling plaats gevonden.

2.2.8 Kadekwel

Een ontbrekende term van de waterbalans is de kadekwel. Onder kadekwel wordt verstaan de kwel die zich nog manifesteert ter plaatse van de dijken en kaden van de Binnenschelde. De kadekwel is variabel en afhankelijk van het open-waterpeil van de Binnenschelde en de grondwater- en/of open-waterstand in het achter de dijken en kaden gelegen gebied. Tevens zijn de doorlatendheden van de kaden en dijken van belang.

Om de invloed van het opzetten van het peil van de Binnenschelde te kunnen bepalen, zijn reeds voor het op peil brengen rond de Binnenschelde een aantal grondwaterstandsbuizen geplaatst. Anticiperend op effecten van kadekwel zijn deze buizen destijds geplaatst.

Uit waterbalansberekeningen blijkt dat de kadekwel in de kaden langs de strandzone, de Bergseplaat en de Waterscheiding van significante betekenis kan zijn voor de waterbalans. Door de opbouw van de overige dijken van de Binnenschelde is te verwachten dat hier geen kwel van betekenis zal zijn. In de kaden van de Waterscheiding en de Bergseplaat zijn doorlatendheidsmetingen gedaan van het zand. De doorlatendheid in deze kaden is 2 à 7 m/dag. De gemiddelde doorlatendheid is ongeveer 5 m/dag. Onder de kaden bevindt zich zand dat behoort tot de Afzettingen van Duinkerke met een doorlatendheid van circa 1 m/dag. Hieronder bevindt zich een hydrologische ondoorlatende basis bestaande uit klei- en zavelagen. Deze basis ligt ter plaatse van de Bergseplaat op ongeveer NAP -0,50 m.

De Bergseplaat is ingericht als stedelijk gebied, waarbij een open-waterpeil van ongeveer NAP gehanteerd wordt. Als gevolg van het peilverschil tussen de Binnenschelde en de Bergseplaat zal zich over een lengte van circa 2000 m een kadekwel manifesteren ter grootte van 0,75 à 1,50 m³/m/dag. Gemiddeld komt dit overeen met 1,25 mm/dag. Dit is een aanzienlijke hoeveelheid en er is geadviseerd om de kadekwel te beperken door het aanbrengen van vloeiستofdichte folie in de kaden van de Bergseplaat en de Waterscheiding en langs de strandzone. Dit is destijds gerealiseerd voordat het peil van de Binnenschelde opgezet is. De bovenzijde van de folie is aangebracht op een hoogte van NAP +1,70 m. De onderzijde is voor zover mogelijk aangebracht tot op of in de ondoorlatende basis. Met name ter plaatse van de strandzone was dit te realiseren, maar langs de Bergseplaat en de Waterscheiding voor een groot deel niet. De aanlegdiepte varieert van NAP +0,40 m tot NAP -1,50 m.

Door het aanbrengen van het folie zou de kadekwel gereduceerd worden, maar niet geheel worden opgeheven. Geschat is dat deze reductie minimaal 80% zou zijn. Na het aanbrengen van de folie zijn achter het folie de grondwaterstandsbuizen geplaatst, teneinde eventuele lekkages van de kaden te signaleren. Ook langs de oude zeedijk aan de noordzijde van de Binnenschelde zijn grondwaterstandsbuizen geplaatst om te kunnen beoordelen of het verhoogde peil van de Binnenschelde van invloed is op de grondwaterstand achter deze dijk. Deze grondwaterstandsbuizen zijn zoveel mogelijk in de teen van de dijk gesitueerd. De locaties van de buizen, alsmede situering en diepteligging van het folie is aangegeven in bijlage 1.

De grondwaterstanden zijn wekelijks opgenomen in de periode van februari 1988 tot april 1991. Er is een voldoende lange periode waargenomen om een juist beeld te verkrijgen. Het gedrag van het grondwater is in drie groepen te verdelen. In elke groep behoren een aantal buizen die hetzelfde gedrag vertonen. Deze groepen bestaan uit:

- strandzone (buis 1 t/m 12);
- Bergseplaat/Waterscheiding (buis 13 t/m 16);
- oude zeedijk (buis 17 t/m 21).

De grondwaterstanden ter plaatse van de strandzone reageren niet op het opzetten van het peil en peilfluctuaties van de Binnenschelde. Wel reageren zij sterk op neerslag. Als verwacht is er nauwelijks invloed van het peil van de Binnenschelde op de grondwaterstand ter plaatse van de strandzone, en mag worden verondersteld dat de kadekwel hier te verwaarlozen is.

De grondwaterstand achter het folie langs de Bergseplaat en de Waterscheiding reageert wel duidelijk op fluctuaties van de Binnenschelde. Ook duidelijk is de stijging van NAP +1,0 m naar NAP +1,70 m tijdens het op peil brengen van de Binnenschelde in april 1988. Hierna blijven de grondwaterstanden globaal de fluctuaties van de Binnenschelde volgen. Er is meer relatie met het peil van de Binnenschelde dan met de neerslag (bijlage 6). Het is dus duidelijk dat er grondwaterstroming plaats vindt vanuit de Binnenschelde onder het folie door of door het folie heen, indien er sprake is van lekkage in het folie. Of er sprake is van lekkage in het folie is niet bekend. Wel zal het folie hier waarschijnlijk veel effect hebben op het terugdringen van de kadekwel gezien de relatie die er duidelijk is (zie bijlage 6) met aanwezigheid van het folie.

De grondwaterstanden langs de oude zeedijk hebben weer een geheel ander gedrag. Ze reageren niet op de Binnenschelde en ook neerslag heeft weinig invloed. Er mag dan ook vanuit worden gegaan dat de oude zeedijk min of meer ondoorlatend is.

De waarnemingen van de verschillende buizen binnen de afzonderlijke gebieden reageren allemaal nagenoeg hetzelfde. Van elk gebied zijn in bijlage 6 de waarnemingen van een representatieve locatie weergegeven. Tevens zijn hier het peilverloop van de Binnenschelde en de dagsommen van de neerslag ter plaatse van de Binnenschelde weergegeven.

3 Modellerings Waterbalans

3.1 Methode

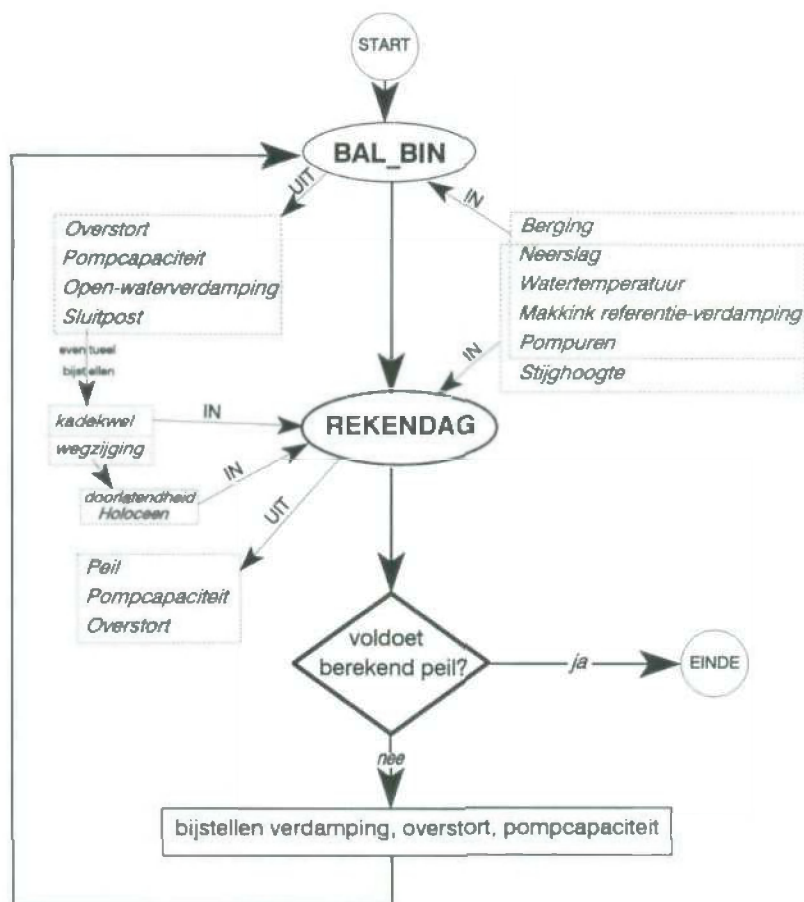
Voor het bepalen en beschrijven van de waterbalans van de Binnenschelde zijn drie computerprogramma's ontwikkeld: BAL_BIN, REKENDAG en BINREKEN.

Het programma BAL_BIN berekent de waterbalans in eenheden van dagen. Hierbij worden de gegevens gebruikt die zijn verzameld en beschreven in het vorige hoofdstuk. Het belangrijkste resultaat is hierbij de grootte van de kadekwel+wegzijging. Kadekwel+wegzijging zijn de ontbrekende termen van de waterbalans en derhalve de sluitpost van de berekening.

Bij REKENDAG wordt de berekende sluitpost van BAL_BIN samen met de referentie-gewasverdamping, watertemperaturen, neerslag en draaiuren van de pomp als invoer gebruikt, en wordt het open-waterpeil per dag berekend. De pompcapaciteiten en hoeveelheden overstort zijn afhankelijk van het peil en worden met een opgegeven nauwkeurigheid iteratief berekend. Uit de gemiddelde wegzijging wordt de doorlatendheid van het Holoceen berekend. Hiermee kan in REKENDAG de wegzijging variabel gemaakt worden, en wordt deze berekend op basis van de dagelijkse potentiaalverschillen (waterpeil-stijghoogte). Dit model kan nu gekalibreerd worden door de berekende peilen te vergelijken met de gemeten peilen. Bijstelling van bepaalde parameters betekent op zich weer een iteratie tussen de twee modellen. Hierbij wordt dus in BAL_BIN de sluitpost opnieuw berekend en weer ingevoerd in REKENDAG. Na deze optimalisatie kan de waterbalans redelijk nauwkeurig worden omschreven. In figuur 19 is het stroomschema weergegeven van de berekeningsmethode van de waterbalans.

Figuur 19

Stroomschema berekening waterbalans

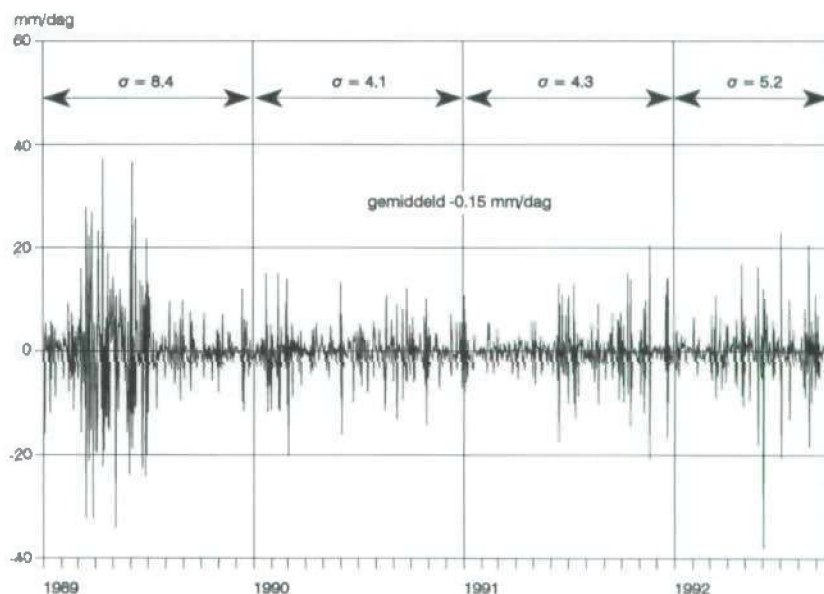


Om de waterbalans te kunnen doorrekenen in een aantal maatgevende situaties is het model BINREKEN ontwikkeld dat de waterbalans per decade berekent. De berekeningsmethoden zijn dezelfde als in REKENDAG, alleen zijn voor de tijdstappen decaden gebruikt. Het model is hierdoor wat minder nauwkeurig, maar voldoet toch voor het beoogde doel.

3.2 Bespreking van enkele parameters

De sluitpost van de waterbalans wordt met BAL_BIN per dag berekend. Met het programma REKENDAG zijn enkele parameters geoptimaliseerd. In het volgende wordt het één en ander besproken op basis van de definitieve berekeningen, dus na de iteratie tussen de twee modellen zoals aangegeven in figuur 19. Verderop (bespreking programma REKENDAG) wordt toegelicht hoe tot dit uiteindelijke resultaat is gekomen. Het resultaat van de waterbalansberekening is weergegeven in figuur 20. Het gemiddelde van de sluitpost over de gehele periode is -0,15 mm/dag (dus kadekwel+wegzijing = 0,15 mm/dag). De dagelijkse fluctuaties zijn groot. De oorzaak hiervan zijn de onnauwkeurigheden van de metingen van de gebruikte parameters. Voorbeeld: De bepaling van het dagelijks gemiddeld waterpeil vindt met een nauwkeurigheid plaats van enkele millimeters. Dat kan dus 10 tot 20 maal de waarde van de gemiddelde wegzijing zijn. Ook de nauwkeurigheid van de dagsommen van de neerslag zal in dezelfde orde van grootte kunnen liggen. Het is dan ook niet mogelijk om de sluitpost van de waterbalans per dag te gebruiken, maar er moet een gemiddelde worden genomen over een langere periode.

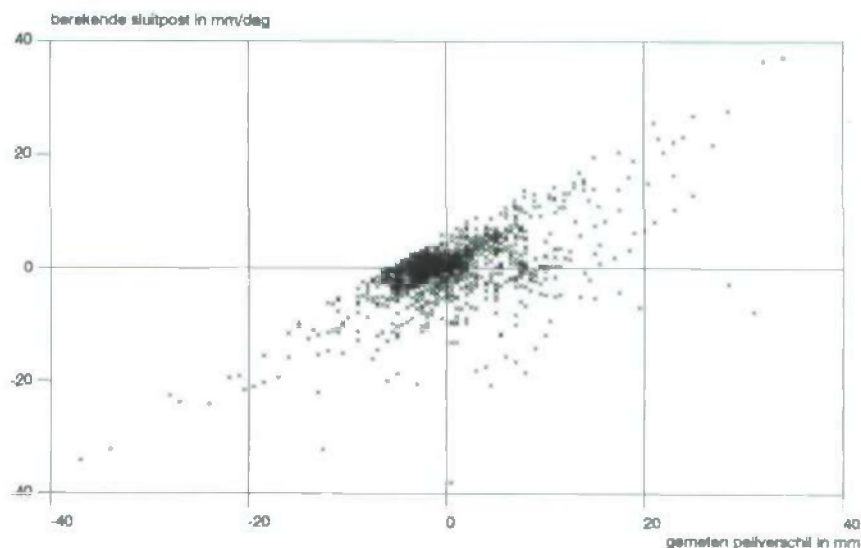
Figuur 20
Berekende kadekwel+wegzijging
(sluitpost)



Indien de dagelijkse afwijking van het gemiddelde groot is, zal dat er op wijzen dat de toegepaste parameters op die dag onvoldoende nauwkeurig bepaald waren. Opvallend in figuur 20 is dat in de eerste helft van 1989 de afwijkingen relatief groot waren. Dat komt overeen met het gegeven dat in die periode de registraties van het waterpeil met minder nauwkeurige druksensoren hebben plaats gevonden, en de oorzaak moet dan ook daarin gezocht worden.

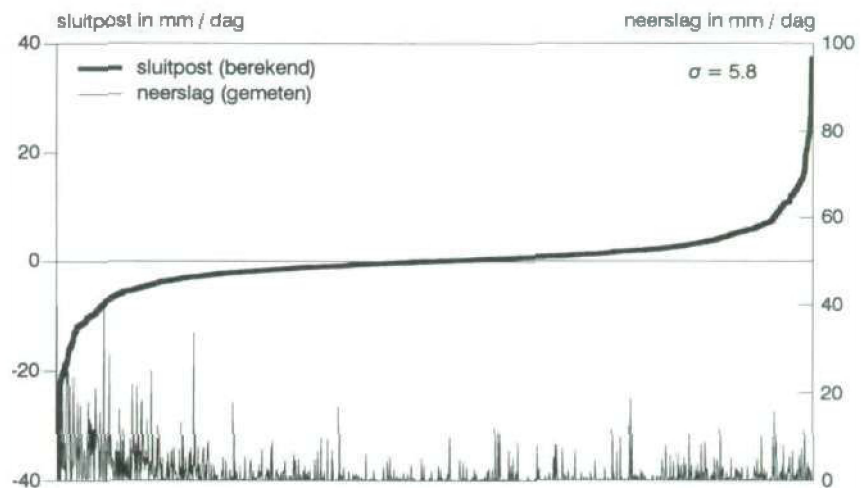
De standaardafwijking van de berekende sluitpost over de gehele periode (1989-1992) is 5,8 (mm/dag). Er is vervolgens onderzocht welke relaties er zijn ten aanzien van de fluctuaties van de berekende sluitpost. De meest voor de hand liggende relatie is die met de gemeten dagelijkse peilverschillen. Deze relatie is uitgezet in figuur 21. Te zien is dat bij sterk negatieve peilverschillen (gemeten) er een relatief grote negatieve sluitpost (kadekwal+wegzijging) berekend is. Bij relatief grote positieve peilverschillen is de berekende sluitpost tevens positief. Dit zijn dus onnauwkeurigheden in de berekening.

Figuur 21
Relatie kadekwel+wegzijging (sluit-
post) - dagelijks peilverschil



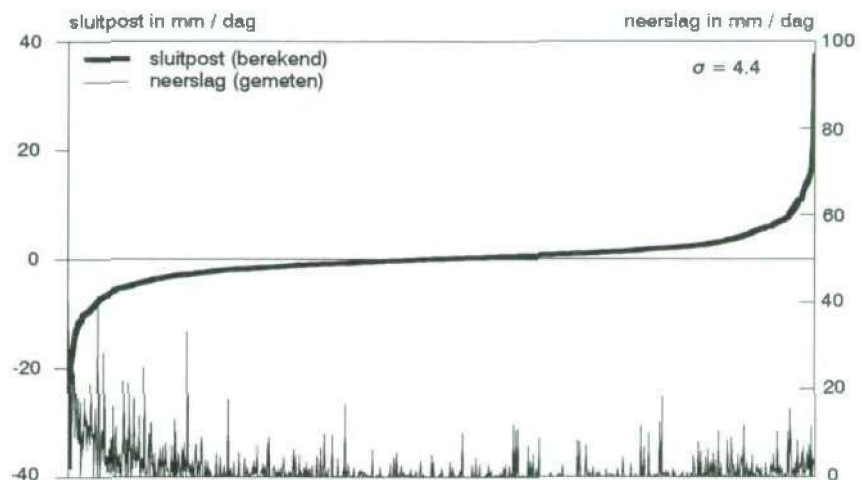
Er blijkt dus dat de berekende extremen van de sluitpost van de waterbalans gerelateerd zijn aan extreme peilverschillen. De peilverschillen worden weer veroorzaakt door neerslag, verdamping, suppletiewater, overstortwater of eventueel door windinvloeden. Er is onderzocht of er verbanden zijn tussen deze parameters en de berekende sluitpost. Van de parameters was alleen voor de neerslag een verband te signaleren, terwijl dit er voor de overige parameters geheel niet was. Ook was er geen verband met het neerslagoverschot. In figuur 22 is de berekende sluitpost uitgezet tegen de neerslag. Om één en ander inzichtelijk te maken zijn in de figuur de gegevens gesorteerd weergegeven op de grootte van de sluitpost. Er is dus geen sprake van een tijdschaal. De dagsommen van de neerslag zijn evenals de berekende sluitpost met lijnen verbonden. Dit is gedaan omdat op deze manier van presentatie het verband duidelijker zichtbaar is dan bij toepassen van punten.

Figuur 22
Relatie kadekwel+wegzijing (sluitpost) - neerslag, gehele periode



Om te kunnen beoordelen wat de invloed is geweest van de minder betrouwbare meetperiode in 1989, is in figuur 23 op dezelfde manier voor de periode vanaf augustus 1989 de berekende sluitpost uitgezet tegen de neerslag. Hieruit blijkt dat het verband tussen met name negatieve extremen van de sluitpost en de neerslag verbeterd wordt. Dit verklaart weer dat in de eerste helft van 1989 de peilregistratie niet optimaal is geweest. De standaardafwijking van de wegzijing is voor deze periode met $\sigma=4,4$ ook lager dan voor de gehele periode ($\sigma=5,8$). Uit de figuren kan worden geconcludeerd dat bij grote neerslaghoeveelheden de berekening van de sluitpost onnauwkeurig wordt.

Figuur 23
Relatie kadekwel+wegzijing (sluitpost) - neerslag, vanaf augustus 1989



Voor de gemiddelde wegzijging maakt het in absolute hoeveelheid niet veel verschil of de gehele periode of een gedeelte wordt genomen. Het gemiddelde in de periode na augustus 1989 is 0,13 mm/dag (geheel was 0,15 mm/dag). Een grotere invloed is de uitsluiting van hoeveelheden die buiten de standaard afwijking vallen. Voor de gehele periode betekent dit een gemiddelde van 0,07 mm/dag. Vooralsnog wordt uitgegaan van het gemiddelde van de gehele periode, zijnde 0,15 mm/dag.

Een vertaling van de afwijkende relatie tussen neerslag en sluitpost is de volgende. De sluitpost wijkt negatief af bij over het algemeen grote hoeveelheden neerslag. Bij een positieve afwijking van de sluitpost zijn de dagsommen van de neerslag echter niet extreem hoog. Bij grote hoeveelheden geregistreerde neerslag zijn dus over het algemeen de werkelijke hoeveelheden minder geweest. Voorts zijn een aantal dagsommen van de "normale" hoeveelheden neerslag te gering geweest (positieve waarde sluitpost). Er zijn dus afwijkingen van de werkelijke hoeveelheden gevallen neerslag. Dit is aannemelijk omdat deze parameter nooit voldoende nauwkeurig te bepalen is voor een groot gebied. Dit is alleen te verbeteren door op meerdere locaties in het onderzoeksgebied de neerslag te registreren. Aanpassingen van de neerslaghoeveelheden zijn echter irreëel. Een betere methode is om met de gevonden parameters een model door te rekenen en vervolgens de resultaten hiervan te beoordelen.

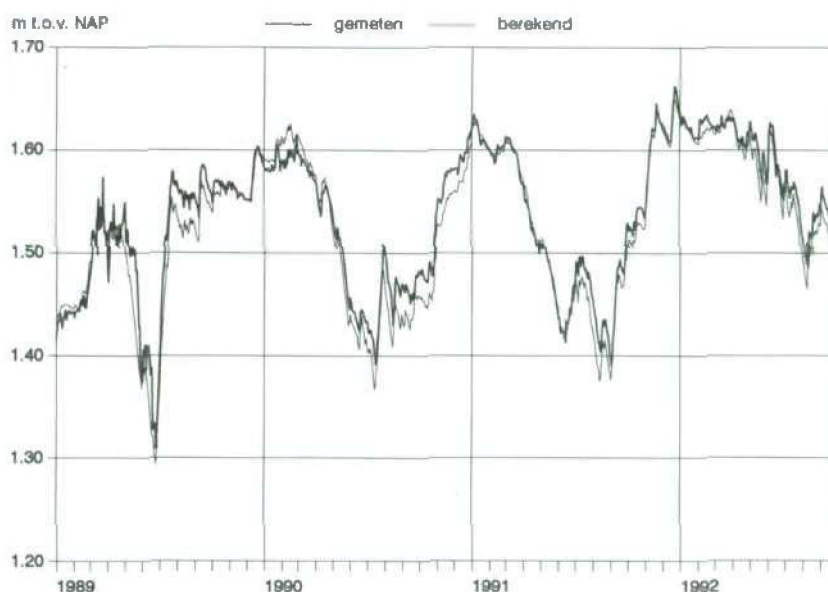
3.3 Kalibratie

Met het model REKENDAG kan per dag het peil van de Binnenschelde berekend worden. De invoer bestaat uit dagsommen van de neerslag, Makkink referentie-gewasverdamping, watertemperaturen, pompuren, kadekwel en wegzijging. Het programma berekent de overstort-hoeveelheid en de pompcapaciteit.

De neerslag is dezelfde reeks die voor het balansprogramma (BAL_BIN) gebruikt is. De open-watervedamping, de capaciteit van de pomp en de overstort wordt op dezelfde manier berekend als in het balansprogramma. Omdat de pompcapaciteit en de overstort afhankelijk zijn van het waterpeil kunnen de hoeveelheden verschillen van die berekend met BAL_BIN.

Voor de kadekwel en de wegzijging is bij een eerste berekening het resultaat van de aanvankelijke balansberekening genomen, zijnde -0,026 mm/dag over de gehele periode. Deze hoeveelheid moet in principe worden opgesplitst in kadekwel en wegzijging. De hoeveelheid van -0,026 mm/dag is erg gering. Gerelateerd aan de berekende kadekwel zonder toepassing van folie (zie hoofdstuk 3) is dit ongeveer 2% van deze waarde (1,25 mm/dag). De reductie van de kadekwel door realisatie van een foliescherp is aanvankelijk berekend op 80 à 90%. Bij de eerste berekening wordt dan ook verondersteld dat er alleen kadekwel plaats vindt ter grootte van 0,026 mm/dag. Het resultaat van de berekening is weergegeven in figuur 24, waar het berekende en het gemeten peil uitgezet is.

Figuur 24
Berekende en gemeten peilen,
initieel



De berekende peilen benaderen weliswaar de werkelijk opgetreden peilen, maar er kan nog een optimalisatie plaats vinden. Bij bestudering van de verschillen blijkt dat vooral de gradiënten in de zomerperiode van elkaar afwijken. In de perioden waarin dat zich zichtbaar manifesteert, blijkt de verdamping de belangrijkste post van de waterbalans.

In een volgende berekening is een reductie toegepast op de correctiefactor van de referentie-gewasverdamping. Volgens de in de literatuur gevonden gewasfactoren was deze 1,25 voor de periode van april t/m augustus. Deze is nu gereduceerd tot 1,15. Door deze reductie wijzigt ook de berekende kadekwel en wegzijging in het balansprogramma, en bij doorrekening blijkt de waarde hiervoor 0,15 mm/dag te zijn voor de gehele periode. In tegenstelling tot de eerste berekening wordt deze waarde gesplitst in kadekwel en wegzijging. Aan de kadekwel wordt nu 0,07 mm/dag toegekend, wat ongeveer een reductie betekent van 5% van de berekende kadekwel. Voor de wegzijging resteert nu 0,08 mm/dag. De wegzijging is afhankelijk van het potentiaalverschil tussen het open-waterpeil en de stijghoogte in het Pleistoceen. Om deze te kunnen berekenen moet de doorlatendheid van de Holocene afzettingen of de hydraulische weerstand hiervan bekend zijn. De gemiddelde peilen van de Binnenschelde en de stijghoogte van het grondwater in het Pleistoceen over de onderzoeksperiode zijn NAP +1,538 m en NAP +0,32 m. De doorlatendheid kan nu met de onderstaande relatie berekend worden:

$$q_w = \frac{k \Delta \phi}{D}$$

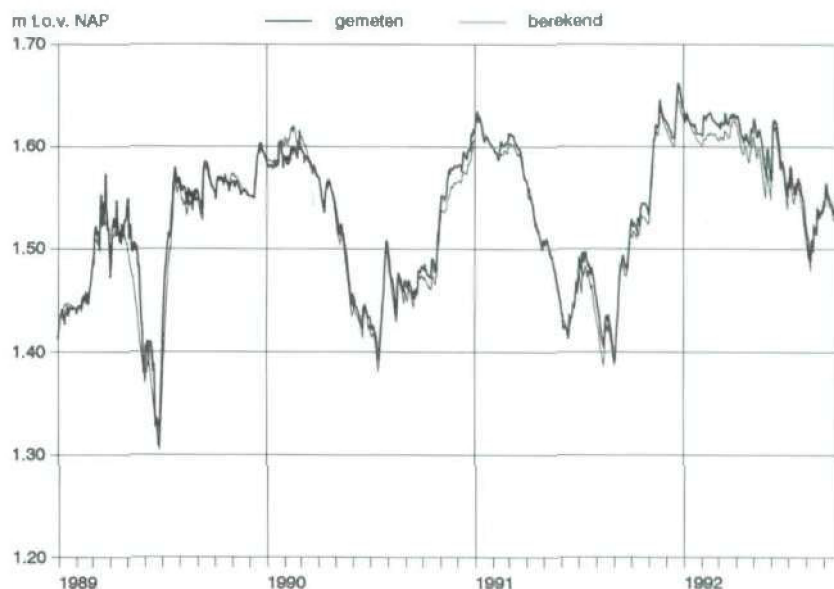
waarbij:

q_w = wegzijging	(m s ⁻¹)
k = doorlatendheid	(m s ⁻¹)
$\Delta \phi$ = potentiaalverschil	(m)
D = dikte Holocene afzettingen	(m)

Met een gemiddelde Holoceendikte van 8 m is nu de doorlatendheid 6,1 10⁻⁹ m/s. De hydraulische weerstand is dan 15.200 dagen. Het resultaat van de berekeningen met de verbeterde waarden is weergegeven in figuur 25.

Figuur 25

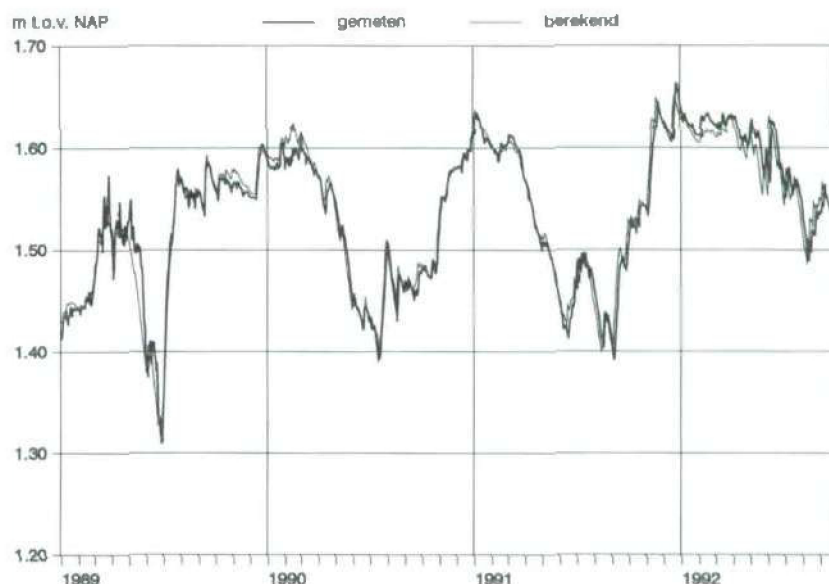
Berekende en gemeten peilen na
aanpassing van de verdamping in de
zomerperiode



De "fit" is nu beduidend beter dan de bij de eerste berekening, maar nog niet geheel optimaal. Een verdere verbetering kan nog bewerkstelligd worden door een kleinere hoeveelheid voor de kadekwel en wegzijging te kiezen en dus af te wijken van de berekende waarde. Bij de berekeningen is al gebleken dat er interpretatieverschillen mogelijk zijn door waarden buiten het bereik van de standaarddeviatie niet mee te nemen in de berekening van het gemiddelde. De hoeveelheid kadekwel+wegzijging zou dan liggen tussen 0,07 en 0,15 mm/dag. Een optimalisatie naar een waarde van 0,10 mm/dag is dan te billijken, en met deze waarde wordt dan ook de beste fit verkregen. Bij een gelijkblijvende kadekwel van de aannemelijke waarde van 0,07 mm/dag is, de wegzijging gemiddeld 0,03 mm/dag. Dit betekent dat de doorlatendheid van de het Holoceen kleiner wordt en de hydraulische weerstand groter : $2,3 \cdot 10^{-9}$ m/s en 40.500 dagen. Na deze laatste aanpassing is het resultaat bevredigend omdat over het algemeen de berekende peilen goed overeen komen met de gemeten peilen. Dit is weergegeven in figuur 26.

Figuur 26

Berekende en gemeten peilen na
aanpassing van de kadekwel+wegzij-
ging tot 0,10 mm/dag



Het blijkt dus dat voor open-water vergelijkbaar met de Binnenschelde op basis van de waarnemingen over een relatief lange periode, de open-water-verdamping in de zomerperiode lager is dan de over het algemeen gehanteerde waarden. Bij de berekening van de waterbalans is deze bijstelling reeds verwerkt.

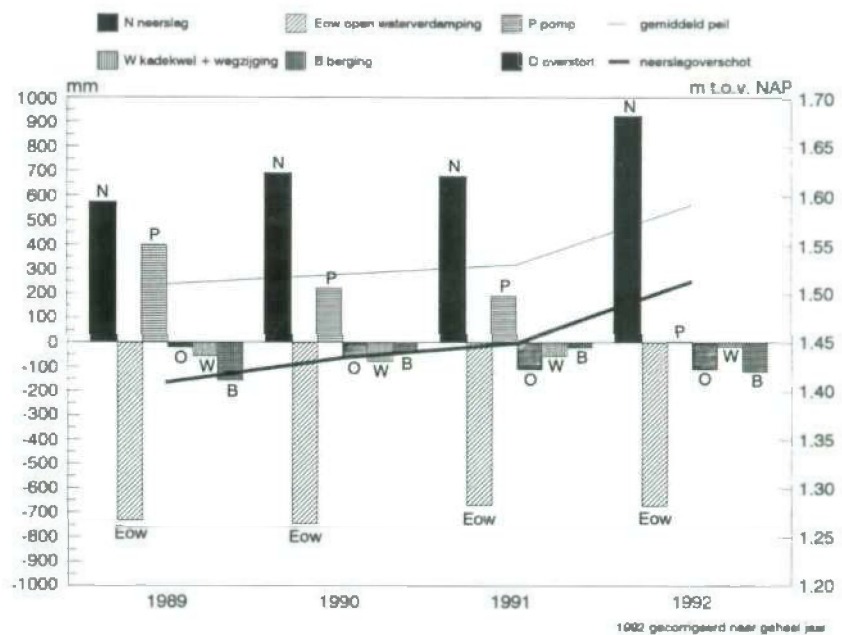
3.4 Resultaten

Om een indruk te geven van de jaarlijkse spreiding van de termen van de waterbalans worden tot slot de jaarlijkse waterbalansen en de waterbalans voor de gehele periode behandeld.

In figuur 27 is de jaarlijkse verdeling van de waterbalans weergegeven. Hierbij moet worden opgemerkt dat 1992 gecorrigeerd is naar een geheel jaar. Van 1992 zijn van negen maanden gegevens. Er is alleen voor deze figuur een correctie toegepast om de jaren onderling beter te kunnen vergelijken. De neerslag en verdamping zijn gecorrigeerd op basis van de verdeling in de jaren 1989, 1990 en 1991. De correctie bedraagt respectievelijk 147 en 108 %. De neerslaghoeveelheid wordt dan 917 mm. Dat is een aannemelijke waarde omdat ter plaatse van Mondaf in 1992 een hoeveelheid neerslag van 930 mm geregistreerd is. De pomp is niet gecorrigeerd omdat er in de periode oktober - december tijdens de onderzoeksperiode niet gepompt is. Voor de overstort en de kwel zijn de hoeveelheden geëxtrapoleerd (133%). De berging is aan de hoeveelheden aangepast. De ongecorrigeerde waarden voor 1992 zijn de volgende:

neerslag	624 mm
open-waterverdamping	-622 mm
pomp	3 mm
overstort	-83 mm
kwel	-14 mm
berging	92 mm

Figuur 27
Jaarlijkse waterbalansen in mm
waterschijf



De neerslag varieert van 568 tot 917 mm, waarbij het voor de balans ook van belang is hoe de verdeling hiervan over het jaar is (zie figuur 7). De open-watervedamping was in 1990 het hoogst met 745 mm. Het neerslagoverschot is eveneens uitgezet in figuur 27. Dit neerslagoverschot is gemiddeld +4 mm en ligt in de range van -164 tot 246 mm. De jaren 1989, 1990 en 1991 zijn relatief "droge" jaren geweest, terwijl 1992 relatief "nat" is geweest.

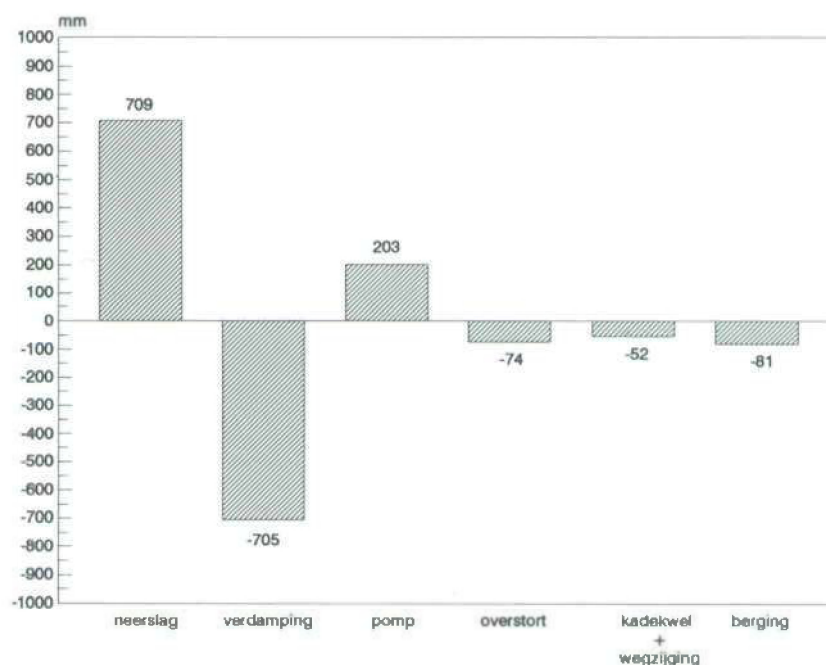
In het eerste jaar heeft de pomp de meeste uren gedraaid, wat een aandeel betekende in de waterbalans van 400 mm. De oorzaken hiervan zijn:

- een relatief laag peil aan het begin van het jaar (NAP +1,42 m). Dit is geen normale situatie maar door omstandigheden is deze situatie ontstaan; normaal gesproken wordt met name door het neerslagoverschot aan het eind van het jaar een relatief hoog peil bereikt, waardoor de beschikbare buffer voor een groot deel benut wordt;
- de relatief kleine hoeveelheid neerslag in dat jaar;
- het extreem lage peil dat zich in het begin van de zomer heeft ingesteld alvorens men tot pompen is overgegaan.

Voorts is op te merken dat in 1992 nagenoeg niet gepompt is. Dit is voornamelijk het gevolg van de neerslag die is gevallen in het voorjaar en in de zomerperiode. Het blijkt dus dat in een nat jaar de pomp niet nodig is.

In figuur 28 zijn de gemiddelde jaarlijkse termen van de waterbalans weer gegeven op basis van de gegevens uit figuur 27. Hierbij zijn de neerslag en de open-watervedamping nagenoeg gelijk. De gemiddelde pompcapaciteit is 203 mm, wat overeen komt met 362 uur per jaar. De overstort en de kadekwel+wegzijging bedragen respectievelijk -74 en -52 mm.

Figuur 28
Gemiddelde jaarlijkse waterbalans in mm waterschijf over de periode 1989 t/m 1992



Uit de balans blijkt dat de kadekwel+wegzijing een klein aandeel heeft in het totaal. Er is aanleiding om te veronderstellen dat er zeker een kadekwel optreedt door de kaden van de waterscheiding en de Bergseplaat. De exacte grootte hiervan is niet te bepalen maar een orde van grootte is geschat. Wel is duidelijk dat het aanbrengen van het foliescherf zeer effectief geweest is. Zonder foliescherf zou de term kadekwel+wegzijing van de waterbalans een factor 10 à 15 groter zijn geweest, waardoor de suppletiehoeveelheid er geheel anders uit zou zien. Het in stand houden van het foliescherf is dan ook belangrijk.

De wegzijing door de bodem van het meer is nagenoeg verwaarloosbaar. De doorlatendheid van de waterbodem is dan ook zeer gering, iets wat zonder onderzoek niet aan te geven was.

4 Scenario-berekeningen

Voor het berekenen van interessante situaties is een verdeling te maken in fictieve veranderingen in de werkelijke situatie zoals die in de meetperiode is geweest, en situaties in een tijdreeks in de periode voordat de Binnenschelde gerealiseerd was. De beide situaties worden in de volgende paragrafen behandeld.

4.1 Meetperiode

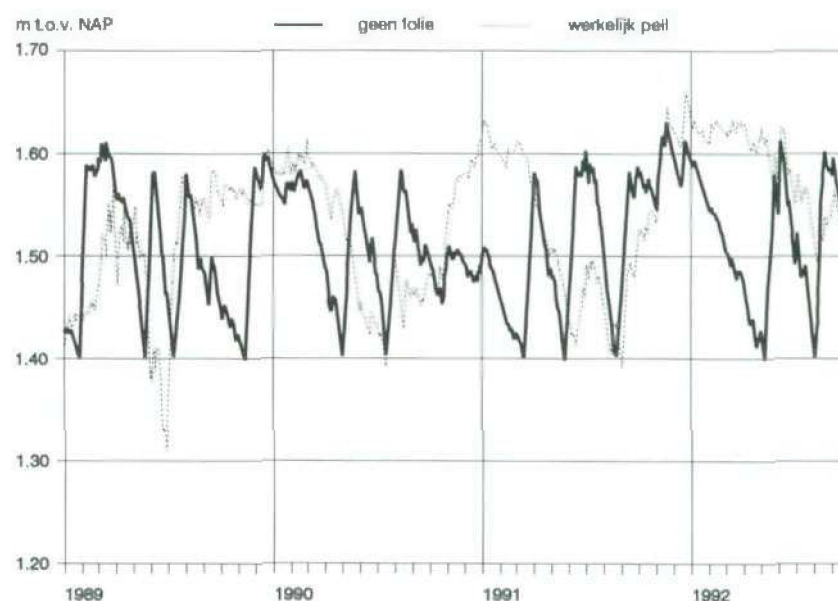
In de meetperiode worden de scenario's doorerekend met het model REKENDAG. Er zijn in die periode de volgende wijzigingen in de situatie doorerekend:

- het laten vervallen van het foliescherf;
- het introduceren van het doorspoelen van de watergang.

Scenario foliescherf

Het aangebrachte foliescherf heeft een belangrijke invloed op de waterbalans. Om te kunnen beoordelen wat het effect van het foliescherf heeft op het pompedrag, is een berekening gemaakt op basis van dagcijfers in die situatie. Met folie is gerekend met een kadekwel van 0,07 mm/dag. Uitgaande van een gemiddeld berekende kwel door de kaden van $1 \text{ m}^3/\text{m}/\text{dag}$ en een lengte van 3000 m waarover deze plaats vindt indien geen folie aangebracht is, wordt de totale kadekwel 1,7 mm/dag. Dit zou effect hebben gehad op de inzet van de pomp. Dit is gesimuleerd door in het model een aanslag en een uitslagpeil te introduceren voor de pomp. Als aanslagpeil is genomen het minimumpeil van NAP +1,40 m, terwijl voor het uitslagpeil genomen is de hoogte van de overstort, zijnde NAP +1,583 m. Het effect op het peil is weergegeven in figuur 29.

Figuur 29
Peilverloop Binnenschelde in situatie
zonder foliescherf



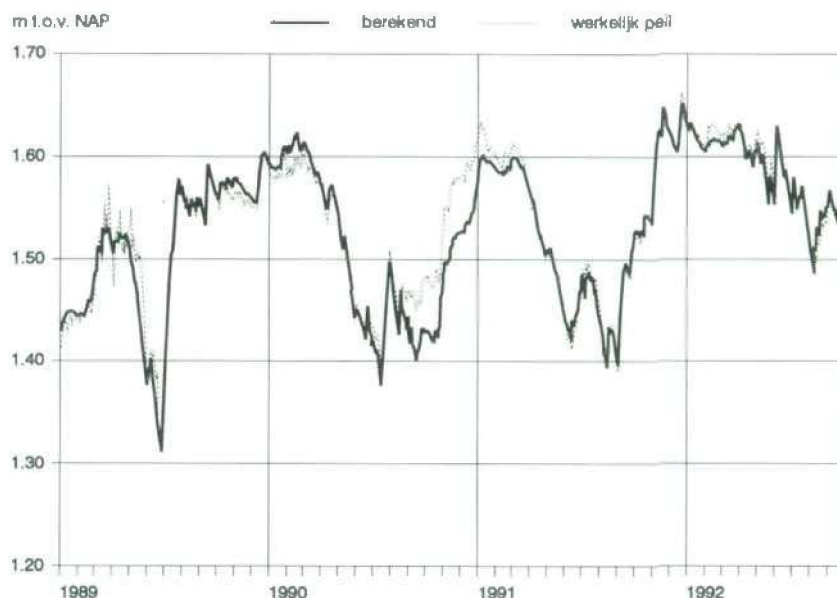
De suppletie met de pomp neemt aanzienlijk toe bij afwezigheid van het folie. De werkelijke pompsuppletie was gemiddeld 204 mm/jaar. In deze situatie is dat 690 mm/jaar. In de figuur is te zien dat in de zomerperiode de pomp erg veel in bedrijf is. Voor het weer op peil brengen is het noodzakelijk 20 à 25 dagen continu te pompen. Het gemiddeld aantal pompuren per jaar is 1236. Indien het uitslagpeil lager wordt gekozen, moet vaker een kleinere hoeveelheid worden gesuppleerd. Per saldo levert dit een reductie op van het aantal pompuren en de totale hoeveelheid gesuppleerd water. Bij een uitslagpeil van NAP +1,50 m zijn deze reducties respectievelijk 6,8 en 5,7%.

Scenario doorspoelen

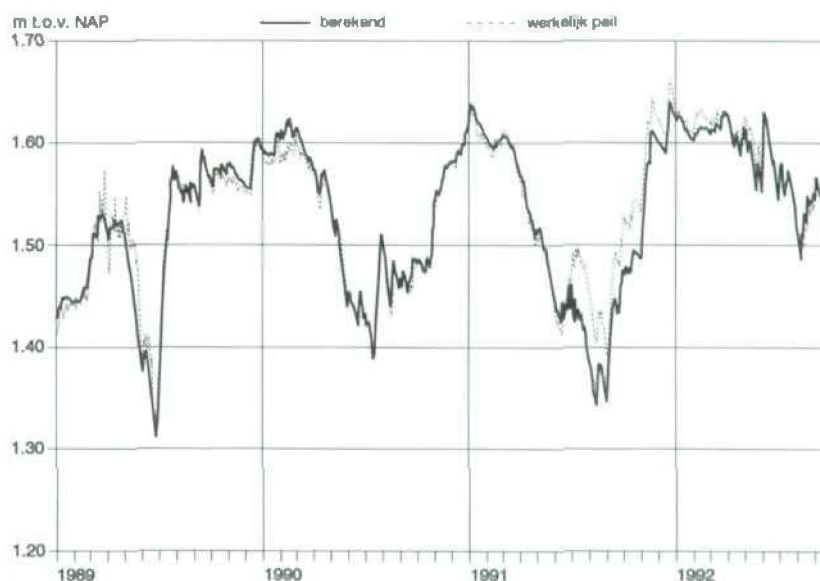
De Binnenschelde moet ook voorzien in het doorspoelen van een watergang ten zuiden van de Bergseplaat en Waterscheiding. Dit is afhankelijk van de overstorten van de gemeentelijke riolering van Bergen op Zoom. Volgens statistische berekeningen zou dit 8 à 11 keer per jaar voorkomen. Hierop is destijds mede de capaciteit van de pomp bepaald. Gedurende de meetperiode heeft echter geen doorspoeling plaats gevonden. Om nu toch het effect hiervan te kunnen tonen is de meetperiode doorgerekend met een aantal doorspoelacties. Hiervoor zijn voor een jaar vier momenten gekozen waarop het doorspoelen plaats vindt. Deze tijdstippen zijn gekozen in de zomerperiode op dagen voorafgaand aan een grote hoeveelheid neerslag. Er zijn berekeningen gedaan met overstorten in het jaar 1990 en met overstorten in het jaar 1991. Per overstort is gedurende één dag doorgespoeld met een hoeveelheid van 25.000 m³. Voor 1990 zijn de datums van doorspoelen 24-6, 21-8, 2-9 en 8-9. Voor 1991 zijn deze doorspoeldatums 16-6, 28-6, 3-7 en 9-7.

In figuur 30 en 31 zijn de resultaten gegeven van de berekening van 1990 en 1991. Bij de berekeningen zijn de werkelijk opgetreden pompdebieten gebruikt zodat de maximale effecten zichtbaar zijn. Er is dus niet extra gesuppleerd tijdens of na het doorspoelen. De invloed van het doorspoelen is wel duidelijk aanwezig, maar één en ander is met de pomp in korte tijd te corrigeren. Gebruik van water uit de Binnenschelde voor het doorspoelen van de watergang hoeft dus geen probleem te zijn.

Figuur 30
Invloed doorspoelen watergang in
1990



Figuur 31
Invloed doorspoelen watergang in
1991



4.2 Representatieve tijdreeks

Bij een representatieve tijdreeks is het niet mogelijk om het model REKEN-DAG te gebruiken omdat voor deze reeks alleen gegevens voorhanden waren op basis van decaden. Er wordt dan ook gebruik gemaakt van het model BINREKEN, dat met tijdstappen van decaden de waterbalans doorrekend.

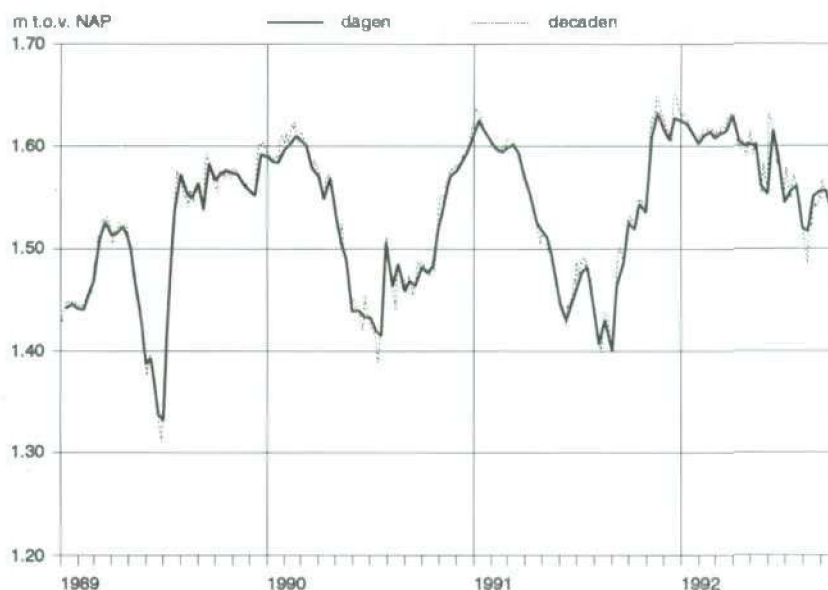
4.2.1 Bespreking model BINREKEN

Het is interessant om een maatgevende periode door te rekenen, waarin meteorologische extremen tot uiting komen. Zo kunnen gegevens worden verkregen van de waterbalans, waarmee gestuurd kan worden in het beheer van het meer. Hierbij kunnen op kwalitatieve en kwantitatieve aspecten maatregelen worden genomen. Te denken valt bijvoorbeeld aan de hoeveelheid ingelaten en/of overgestort water van en naar het Zoommeer. De gegevens zullen een betrouwbare basis moeten zijn voor toekomstige sturing in het gebied.

Uit praktische overwegingen is het gewenst om een langere periode door te rekenen in tijdstappen van minimaal een decade. Dit moet echter wel voldoende nauwkeurig zijn. Er is een programma ontwikkeld dat de peilveranderingen van de Binnenschelde op basis van decaden berekend. Als voor de invoer dezelfde gegevens worden gebruikt als voor de berekening van de peilveranderingen op basis van tijdstappen van dagen (figuur 26), dan blijkt dat het resultaat zeer acceptabel is. In figuur 32 zijn beide berekende peilen uitgezet.

Figuur 32

Berekende peilen op basis van tijdstappen van dagen en decaden



Voor bovenstaande berekening is gebruik gemaakt van de neerslagsommen op basis van de waarnemingen bij de Binnenscheide. Voor een langere tijdreeks zijn echter geen neerslaggegevens nabij de Binnenscheide beschikbaar. Het KNMI-station Vlissingen komt dan in aanmerking om te worden gebruikt. Om nu een vergelijk te maken is de meetperiode ook doorgerekend met de neerslaggegevens van Vlissingen. Het blijkt dat globaal hetzelfde beeld gerealiseerd wordt als bovenstaande decadeberekening met neerslaggegevens van de Binnenscheide. In figuur 33 zijn beide decadeberekeningen weergegeven. Voor het doorrekenen van een lange representatieve reeks is het dan ook acceptabel om hiervoor de neerslaggegevens van Vlissingen te gebruiken.

Figuur 33

Decadeberekeningen op basis van neerslag van de Binnenscheide en Vlissingen

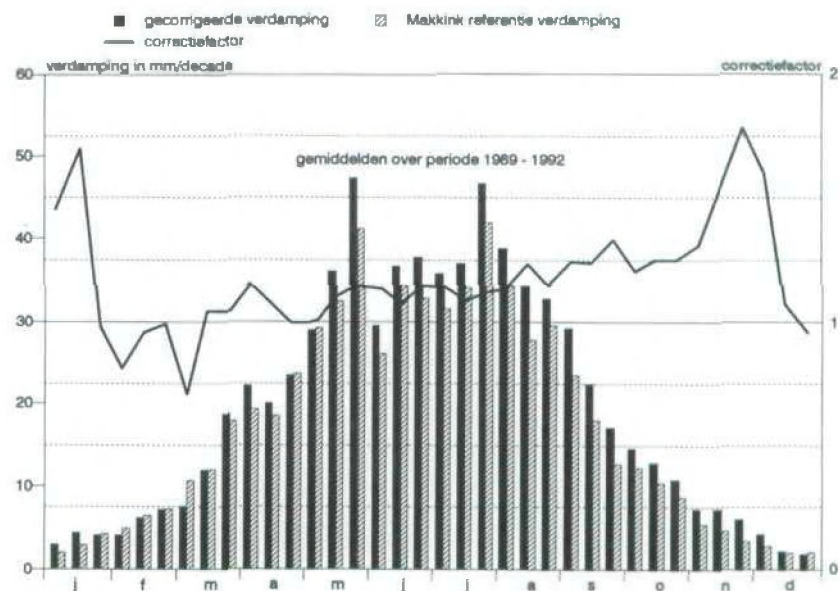


Een representatieve meteorologische reeks is gevonden in de periode 1971-1992. In deze periode zijn 1974 en 1987 extreem natte jaren. De jaren 1976, 1982, 1989 en 1990 zijn relatief droog geweest, waarbij 1976 zeker als maatgevend beschouwd kan worden wat betreft een droge zomerperiode.

De neerslagsommen worden ongecorrigeerd gebruikt, terwijl de verdamping wel gecorrigeerd moet worden. Tot april 1987 heeft het KNMI de open-watervedamping berekend volgens de Penman-methode. Hierna is de verdamping uitgedrukt in Makkink referentie-gewasverdamping. Zoals reeds beschreven, is voor de berekeningen de Makkink referentie-gewasverdamping gecorrigeerd voor Penman open-watervedamping en voor warmteopslag van het open-water.

De bepalende factoren voor de berekening van Makkink naar open-watervedamping zijn per decade bekend en onafhankelijke van andere invloeden. De correctie van temperatuurverschillen (warmteopslag) zijn niet voor elk jaar hetzelfde, omdat er vanzelfsprekend verschil is in temperatuurverloop over verschillende jaren. Als echter het gemiddelde temperatuurverloop over de vier gemeten jaren wordt gebruikt, dan zullen de afwijkingen van de correcties zeer gering zijn en voor dit doel toereikend. Voor de periode na april 1987 zijn deze twee correcties te combineren in één vermenigvuldigingsfactor, die gebruikt wordt voor de Makkink referentie-gewasverdamping. Voor de periode voor april 1987 wordt alleen de gemiddelde temperatuurcorrectie-factor gebruikt. In figuur 34 zijn weergegeven de correctiefactoren voor de Makkink- en temperatuurcorrectie, alsmede de gemiddelde decadesommen over de meetperiode van de Makkink referentie-gewasverdamping en de gecorrigeerde open-watervedamping voor de Binnenschelde. In bijlage 7 zijn tevens deze correctiefactoren gegeven.

Figuur 34
Correctie factoren Makkink verdamping voor open-watervedamping en warmteopslag en decadesommen van Makkink verdamping van Vlissingen en de gecorrigeerde verdamping hiervan

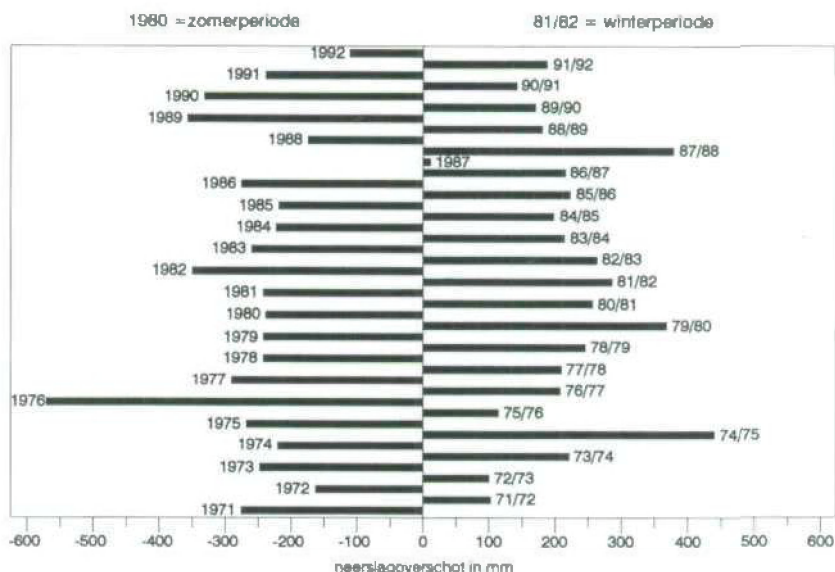


Met de berekende correctiefactoren kan over de periode 1971-1992 worden berekend wat in de zomer- en in de winterperioden het neerslagoverschot voor de Binnenschelde zou zijn geweest. Hiermee wordt inzicht verkregen in de wisselende meteorologische omstandigheden in de periode. In figuur 35 zijn voor de zomer- en de winterperioden deze neerslagoverschotten gegeven. Over de gehele periode is er in de zomerperiode (april t/m september) een gemiddeld verdampingsoverschot van 251 mm. Voor de winterperiode is dit een gemiddeld neerslagoverschot van 233 mm. Jaarlijks betekend dit een neerslagtekort van 19 mm. In figuur 35 komen duidelijk de droge en natte perioden tot uiting. Opmerkelijk zijn de droge zomer van 1976 en de natte zomer van 1987 (neerslagoverschot). Deze periode biedt

een goede mogelijkheid om inzicht te verkrijgen in extremen van de waterbalans.

Figuur 35

Neerslagoverschotten voor de Binnenschelde in zomer- en winterperioden



4.2.2 Scenario's

Er zijn zeven scenario's doorgerekend die met name voor het beheer interessant zijn. De variabelen hierbij zijn de pompcapaciteit, aan- en uitslagpeil van de pomp en lekkage van het foliescherm. De beschouwde scenario's zijn de volgende:

1. Geen pomp.
2. Pompcapaciteit 100 % van huidige capaciteit: 964 m³/h, aanslagpeil = NAP + 1,40 m, uitslagpeil = stuwpeil.
3. Pompcapaciteit 100 % van huidige capaciteit: 964 m³/h, aanslagpeil = NAP + 1,40 m, uitslagpeil = NAP + 1,50 m.
4. Pompcapaciteit 50 % van geadviseerde capaciteit: 375 m³/h, aanslagpeil = NAP + 1,40 m, uitslagpeil = stuwpeil.
5. Pompcapaciteit: 100 m³/h, aanslagpeil = NAP + 1,40 m, uitslagpeil = stuwpeil.
6. Pompcapaciteit 100 % van huidige capaciteit: 964 m³/h, aanslagpeil = NAP + 1,40 m, uitslagpeil = stuwpeil, extra kadekwel door vervallen van folie.
7. Pompcapaciteit 100 % van huidige capaciteit: 964 m³/h, aanslagpeil = NAP + 1,40 m, uitslagpeil = stuwpeil, eind april meerpeil op maximum.

In alle scenario's is het doorspoelen van de watergang in 1976 verwerkt. Dit is gedaan omdat het jaar 1976 het maatgevende jaar voor suppletietekorten op de waterbalans is. Hierbij is in een periode van zes weken vier maal een hoeveelheid van 25.000 m³ gebruikt uit de Binnenschelde om de watergang door te spoelen. Dit levert geen enkel probleem voor de pompcapaciteit.

Een hoeveelheid van 25.000 m³ kan met de huidige pompcapaciteit in ongeveer een dag aangevuld worden.

Indien het peil lager of gelijk is aan het aanslagpeil treedt de pomp continu in werking tot het moment dat het uitslagpeil bereikt is.

In de bijlagen 8 t/m 14 zijn per scenario één of meerdere van de onderstaande gegevens te vinden:

- het peilverloop in combinatie met het neerslagoverschot in mm/maand en de overstorthoeveelheid over de stuw in m³/maand;
- het waterbalansoverzicht per jaar waarbij de kadekwel en de wegzijging onder één categorie samengevoegd zijn;
de waterbalansen zijn gegeven in mm waterschijf en in m³;
- grafische overzichten van de hoeveelheid gesuppleerd water per decade (eenheid is mm/dag).

De verschillende scenario's worden nu afzonderlijk besproken.

SCENARIO 1. *Geen pomp.*

In dit scenario is de waterbalans doorerekend indien geen suppletie plaats vindt met behulp van een pomp. In bijlage 8.1 is het peilverloop en het neerslagoverschot weergegeven, terwijl in bijlage 8.2 de termen van de jaarlijkse waterbalansen zijn gegeven. Het blijkt dat het peil direct zakt tot onder het minimumpeil van NAP +1,40 m en hier gedurende de gehele periode van 22 jaar ook niet meer boven komt. Te zien is dat bij relatief natte winterperioden er een aanzienlijke peilstijging plaats vindt ('74/'75 en '87/'88), en dat de extreem droge zomer van 1976 een peildaling veroorzaakt van ongeveer 0,60 m. Bij de berekening is rekening gehouden met het verminderen van het oppervlak open-water, waarbij voor de neerslag met een toevloeiing van de droge delen is gerekend van 80%. Eén en ander is verdisconteerd in de waterbalansen van bijlage 8.2. De neerslag en verdamping wijken daarom af van die van de andere scenario's. In geen van de andere scenario's is sprake van reductie van het open-water oppervlak.

SCENARIO 2. *Pompcapaciteit 100 % van huidige capaciteit: 964 m³/h, aanslagpeil = NAP +1,40 m, uitslagpeil = stuwpeil.*

Hier is de momenteel geïnstalleerde pomp gemodelleerd. De pompcapaciteit is 964 m³/h bij een opvoerhoogte van 1,50 m. De relatie tussen opvoerhoogte en pompcapaciteit is dan ook dezelfde als omschreven in hoofdstuk 3. Deze pompcapaciteit is ruim voldoende. Bij de installatie van de pomp is de theoretische benodigde capaciteit berekend op 650 m³/h. Geadviseerd is een pomp met een capaciteit van 750 m³/h. In feite heeft de pomp dan ook een overcapaciteit van bijna 50%. Het is dan ook geen probleem om met korte pompperioden het peil te handhaven. In nagenoeg elke winterperiode vindt een aanzienlijke overstort plaats door de aanvulling van neerslag (bijlage 9.1 en 9.2). Gemiddeld is deze overstort ongeveer 30% van de jaarlijkse neerslag. In bijlage 9.3 zijn de hoeveelheden verpompt water gegeven per decade in mm/dag. In de meeste jaren wordt de pomp niet langer gebruikt dan één aansluitende periode van maximaal twee decaden. In 1976 zijn dit twee aansluitende perioden van ongeveer 25 dagen. Suppletie vindt nooit plaats op een vroeger tijdstip dan de maand juli. Met deze pompcapaciteit zijn geen problemen te verwachten.

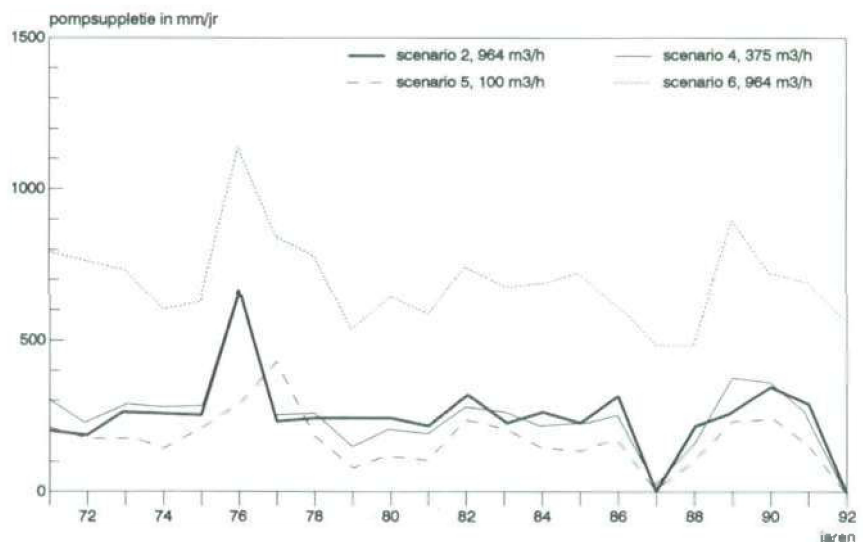
SCENARIO 3. Pompcapaciteit 100 % van huidige capaciteit: 964 m³/h, aanslagpeil = NAP +1,40 m, uitslagpeil = NAP +1,50 m.

Bij dit scenario is als uitslagpeil niet het stuwpeil genomen maar het peil van NAP +1,50 m. Met deze variant wordt efficiënter omgegaan met de pomp wat resulteert in een kleinere hoeveelheid te verpompen water uit het Zoommeer. Doordat het waterpeil niet "onnodig" hoog wordt ingesteld, is ook de hoeveelheid water dat overstort minder. In bijlage 10 is te zien wat de effecten hiervan zijn op het peilverloop en de waterbalans. Bij de volgende varianten is telkens uitgegaan van een uitslagpeil gelijk aan dat van het stuwpeil. Dit is gedaan om de hoeveelheid varianten te beperken, zodat het één en ander nog overzichtelijk blijft.

SCENARIO 4. Pompcapaciteit 50 % van geadviseerde capaciteit: 375 m³/h, aanslagpeil = NAP +1,40 m, uitslagpeil = stuwpeil.

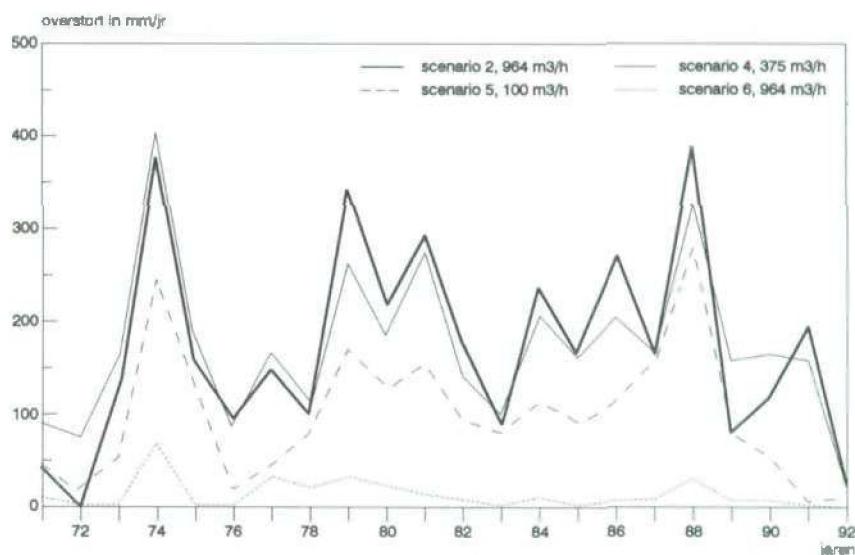
Bij deze variant is de pompcapaciteit gereduceerd tot de helft van de geadviseerde capaciteit van 750 m³/h. Dit is bijna 40% van de werkelijke capaciteit. Doordat minder snel kan worden gesuppleerd zal het peil op een later tijdstip op het vereiste niveau zijn, maar de hoeveelheid gesuppleerd water is gemiddeld genomen nagenoeg hetzelfde als bij scenario 2. Een vergelijking van de jaarlijkse hoeveelheden verpompt water en overstort water komt tot uiting de figuren 36 en 37. Hier zijn van een viertal scenario's de gegevens tegen elkaar uitgezet. In bijlage 11 vindt men het overzicht van de resultaten van dit scenario. Uit het peilverloop is af te lezen dat de minimum pompcapaciteit 375 m³/h is omdat het peil van NAP +1,40 m net gewaarborgd kan blijven in droge perioden. In 1976 blijft het peil na het aanslaan van de pomp ongeveer 3,5 maand op het peil van NAP +1,40. Het toepassen van deze pompcapaciteit betekent lange perioden van continu in bedrijf zijn van de pomp, wat grafisch tot uiting komt in bijlage 11.3. Veelal is deze periode bijna twee maanden in een gemiddelde zomerperiode, en in 1976 zelfs meer dan vier maanden. Het toepassen van deze capaciteit is dan ook niet aantrekkelijk.

Figuur 36
Jaarlijkse pompsuppletie in mm van
scenario 2, 4, 5 en 6



Figuur 37

Jaarlijkse overstort in mm van scenario 2, 4, 5 en 6



SCENARIO 5. Pompcapaciteit: $100 \text{ m}^3/\text{h}$,
aanslagpeil = NAP +1,40 m, uitslagpeil = stuwpeil.

Als laatste variant op de pompcapaciteit is een extreem kleine capaciteit gekozen van $100 \text{ m}^3/\text{h}$. In bijlage 12 zijn de resultaten van deze berekening weergegeven. Het is duidelijk dat de variant niet voldoet door veel te lange pompperioden en veelvuldig onderschrijden van het minimum peil (bijlage 12.1). In 1976 daalt het peil zelfs tot nabij NAP +1,0 m. Vanaf juni 1976 draait de pomp continu door tot medio november in 1977! Per saldo is de suppletiehoeveelheid evenals de overstorthoeveelheid gering in vergelijking met de andere scenario's. In figuur 36 en 37 is dit weergegeven

SCENARIO 6. Pompcapaciteit 100 % van huidige capaciteit: $964 \text{ m}^3/\text{h}$,
aanslagpeil = NAP +1,40 m, uitslagpeil = stuwpeil,
extra kadekwel door vervallen van folie.

Dit scenario is uitgegaan van de aanwezige pompcapaciteit in combinatie met extra kadekwel. Deze extra kadekwel is gebaseerd op een situatie dat het aanwezige folie in de kaden langs de Waterscheiding en de Bergseplaat vervalt. Hierdoor neemt de lekkage door deze kaden toe tot $1,75 \text{ mm}/\text{dag}$. Deze continue verliespost van de waterbalans heeft aanzienlijke gevolgen voor de pompperioden en de overstort. Met de huidige pompcapaciteit kan weliswaar het meer op peil gehouden worden, maar het gebruik van de pomp neemt toe tot 200 à 300%. Zoals in bijlage 13 te zien is, is er nageenog geen overstort meer. In figuur 36 en 37 komt het één en ander tot uiting. Er zijn jaarlijks twee tot drie pompperioden met een duur van 20 à 30 dagen.

SCENARIO 7. Pompcapaciteit 100 % van huidige capaciteit: $964 \text{ m}^3/\text{h}$,
aanslagpeil = NAP +1,40 m, uitslagpeil = stuwpeil,
eind april meerpeil op maximum.

In dit laatste scenario wordt gerealiseerd dat voor de zomerperiode de buffer van het meer maximaal is. Dit gebeurt door eind april een maximumpeil in te stellen door in de 3^e decade de pomp in werking te zetten. Hierdoor zou optimaal gebruikt gemaakt kunnen worden van de buffer van 200 mm.

Het blijkt echter dat toch niet het gewenste effect heeft op pompsuppletie hoeveelheden. Er is zelfs 2% meer pompcapaciteit nodig. De overstorthoeveelheid is 3% minder. Het is dus niet zinvol om aan het eind van de winterperiode een maximale buffer in te stellen. De resultaten zijn gegeven in bijlage 14.

5 Nabeschouwing

Het doel van dit project was inzicht te verkrijgen in de waterbalans van de Binnenschelde. Met het afronden van dit rapport is aan het doel voldaan en geeft het de beheerder een handvat om het beheer te optimaliseren. Ook kan hij anticiperen op situaties die zich in de toekomst kunnen voordoen.

Voor het op een juiste manier kunnen berekenen van een waterbalans van een meer, is gebleken dat het van groot belang is om correcte gegevens te verzamelen. Met name van belang zijn de registratie van het waterpeil en de neerslag. Voor de neerslag is het essentieel om ter plaatse te meten, het liefst op meerdere plaatsen. Met een grondregometer wordt de neerslag met een grotere nauwkeurigheid gemeten dan met een KNMI-regenmeter. Afhankelijk van de wijze van meten moet gecorrigeerd worden naar de werkelijke hoeveelheid gevallen neerslag. Als aan het registreren van het waterpeil en de neerslag niet voldoende aandacht wordt besteed, is de kans op een onjuiste berekening van een waterbalans groot. Dit geldt met name als hoeveelheden van orde van grootte van 1 mm/dag van belang zijn.

Voor waterpartijen en meren vergelijkbaar met de Binnenschelde is het nuttig om voor de verdamping een correctie toe te passen voor de warmteopslag van het meer.

Voor het kalibreren van de waterbalans is het van belang dat de tijdstappen niet te groot zijn zodat een betere afstemming van het geheel kan plaats vinden. Effecten van kleine wijzigingen van parameters zijn direct zichtbaar, terwijl deze over een langere periode wel eens niet zichtbaar kunnen zijn.

De bepaalde waarde voor de gemiddelde wegzijging is 0,03 mm/dag. Dit is zeer gering en is lager dan in het verleden berekend is met grondwaterstromings modellen. Dit betekent tevens dat de (gemiddelde) hydraulische weerstand van het Holocene in dit gebied zeer groot is. De orde van grootte van de hydraulische weerstand is 40.000 dagen. Ondanks de geringe wegzijging, blijkt toch dat het verticale foliescherf langs een groot gedeelte van de Binnenschelde van belangrijke invloed is op de waterbalans. De benodigde hoeveelheid te suppleren water zou zonder folie vele malen groter zijn, wat een nadeel kan zijn voor het biologisch beheer.

Er is een computermodeel ontwikkeld waarmee met tijdstappen van decaden vrij nauwkeurig de waterbeweging van de Binnenschelde gesimuleerd kan worden. Hiermee is een aantal interessante scenario's doorgerekend, wat misschien wel de belangrijkste informatie oplevert van dit onderzoek. Belangrijke informatie uit deze berekeningen is:

- Voor langjarige representatieve tijdreeksen is het voldoende nauwkeurig om tijdstappen van decaden te gebruiken;
- Het doorspoelen van de watergang heeft weinig invloed op de pompcapaciteit en het peilverloop. Ook in een extreem droge periode is dit het geval;

-
- Een pompcapaciteit van $375 \text{ m}^3/\text{h}$ is de minimum benodigde capaciteit. Omdat hierbij jaarlijks lange perioden (gemiddeld twee maand) continu gepompt moet worden, is dit echter niet aan te raden;
 - Het laten vervallen van het foliescherp heeft een grote invloed op de waterbalans en deze situatie moet dan ook voorkomen worden. De suppletiehoeveelheid neemt enorm toe (200 à 300%), en er zijn jaarlijks lange perioden waarin de pomp continu in bedrijf is (2 à 3 x 20 à 30 dagen);
 - Het blijkt niet zinvol te zijn om te anticiperen op het tekort aan water in de zomerperiode, door aan het begin van deze periode de buffer zo groot mogelijk te doen zijn. Op dit punt is er geen winst te behalen.

Literatuur

Dienst Gemeentewerken Bergen op Zoom, 1984
Waterhuishouding in het Markiezaat van Bergen op Zoom c.a., hoofdstuk IV voorstudie Binnenschelde, Gemeente Bergen op Zoom, Bergen op Zoom

Ente, P.J., 1981
Markiezaatsmeer atlas, bodemgesteldheid en geohydrologie, Rijp-rapport 26 Abw/Abg, Rijksdienst voor de IJsselmeerpolders, Lelystad

Manen, H.A. van, 1984
De invloed van drie peilvarianten (NAP +0,50 m, +1,00 m en +1,50 m) in de Binnenschelde, nabij Bergen op Zoom, op: -de waterbalans en het peil-beheer van het meer -de aanpassing van de kaden en de waterhuishouding van de Bergseplaat en de waterscheiding, Werkdocument 135 Abw, Rijksdienst voor de IJsselmeerpolders, Lelystad

Manen, H.A. van, 1985
Advies afwatering Augustapolder c.a., nota nr. Abw 22163, Rijksdienst voor de IJsselmeerpolders, Lelystad

Manen, H.A. van, 1985
Ontwatering randzone Binnenschelde, nota nr. Abd 1257, Rijksdienst voor de IJsselmeerpolders, Lelystad

Manen, H.A. van, 1986
Advies watervoorziening Binnenschelde, nota nr. Abw 7213, Rijksdienst voor de IJsselmeerpolders, Lelystad

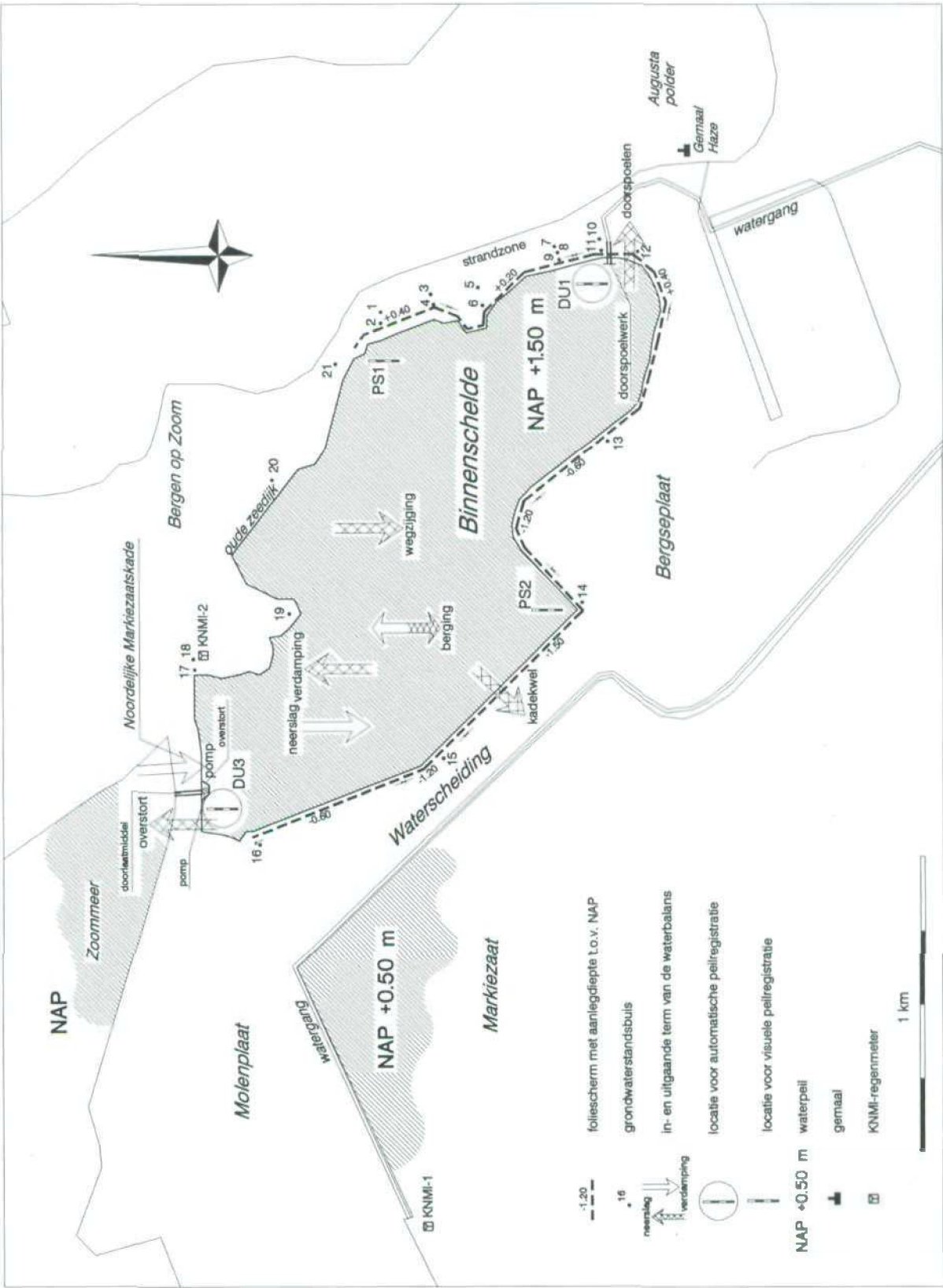
Manen, H.A. van, 1986
Afleiding lozingen middels watergang ten zuiden van Bergseplaat te Bergen op Zoom, Werkdocument 52 Abw, Rijksdienst voor de IJsselmeerpolders, Lelystad

Manen, H.A. van, 1987
Advies wateraanvoer Binnenschelde, nota nr. Cbw 1229, Rijksdienst voor de IJsselmeerpolders, Lelystad

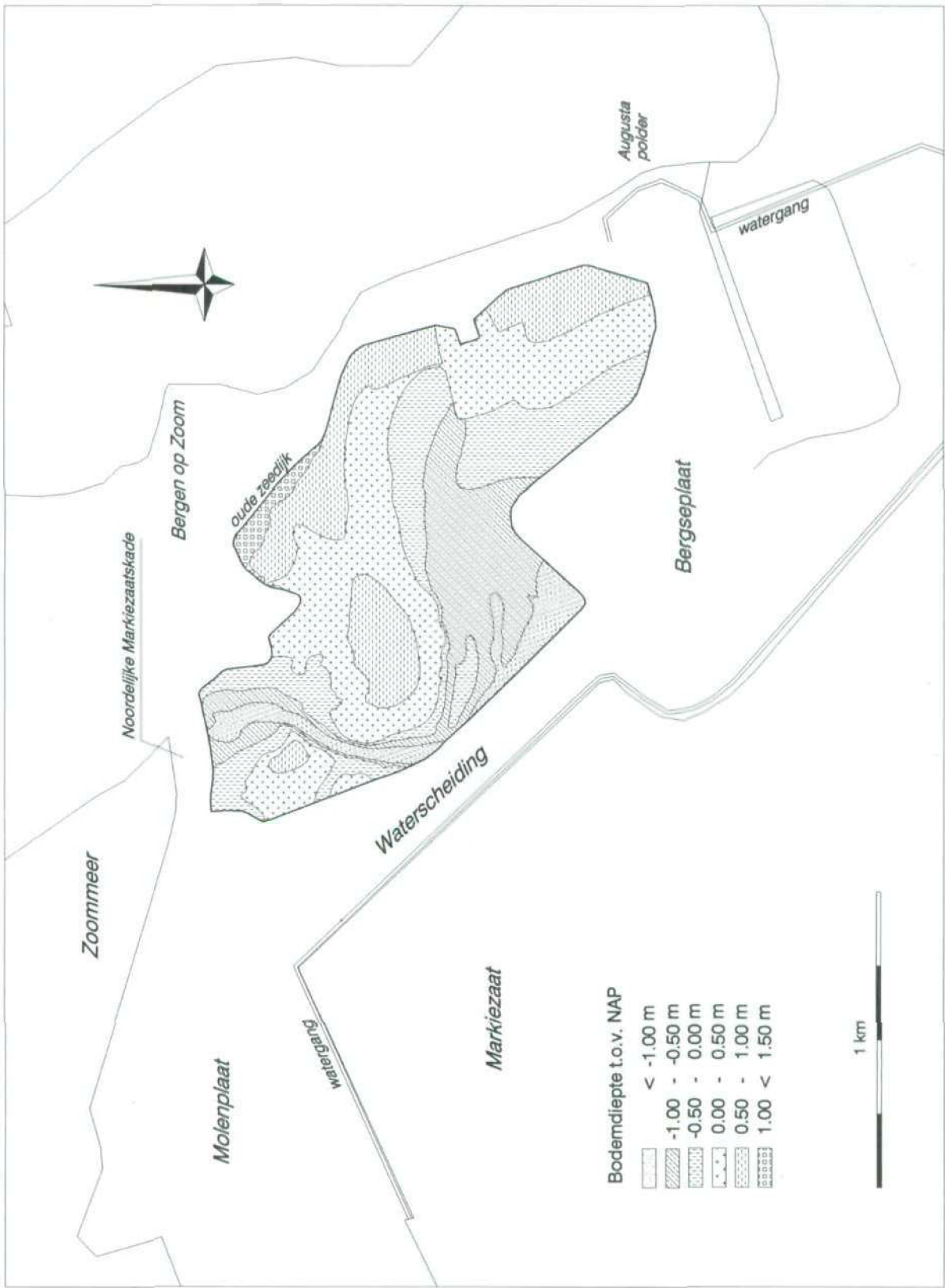
Oele, E., 1982
Geologisch onderzoek zandwinning Binnenschelde, rapport 10439, Rijks Geologische Dienst, Haarlem

Uunk, E.J.B., 1985
Waterkwaliteit Binnenschelde, nota nr. Abw 17011, Rijksdienst voor de IJsselmeerpolders, Lelystad

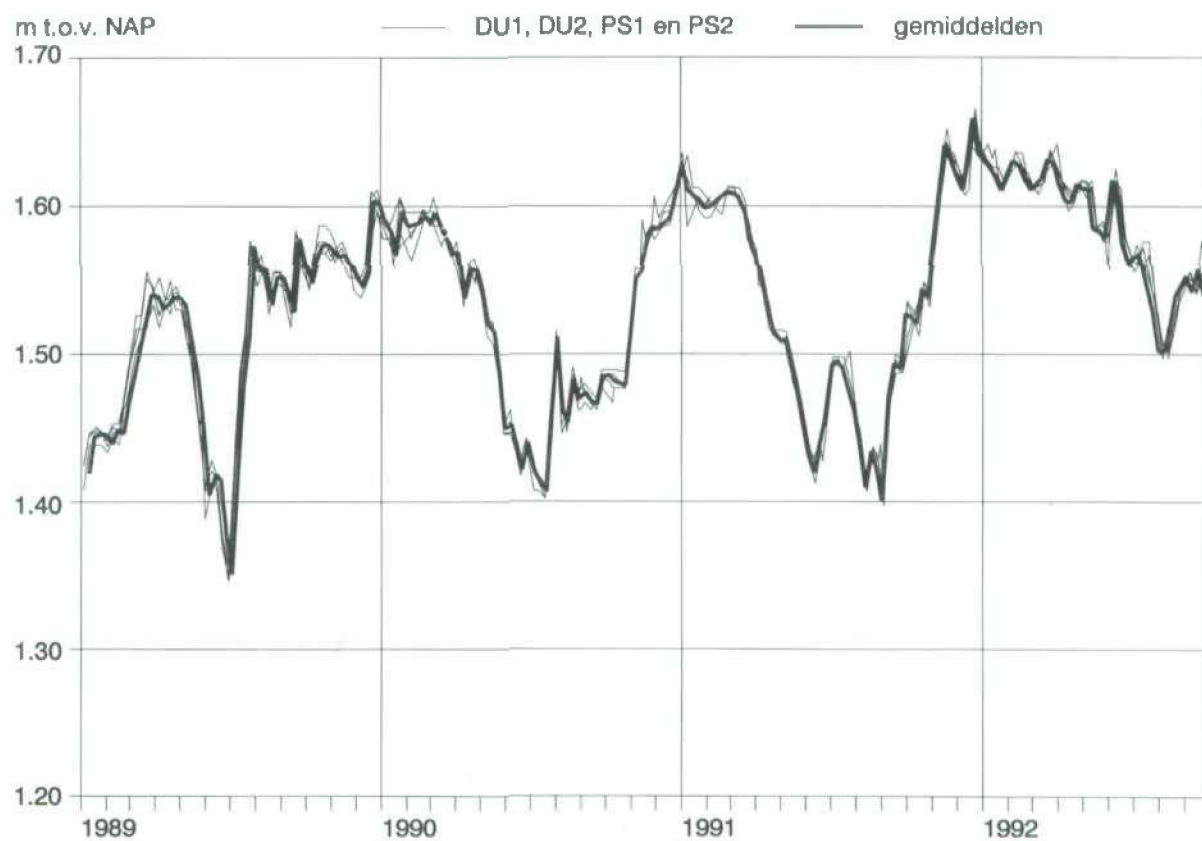
Bijlage 1 Overzichtskaart



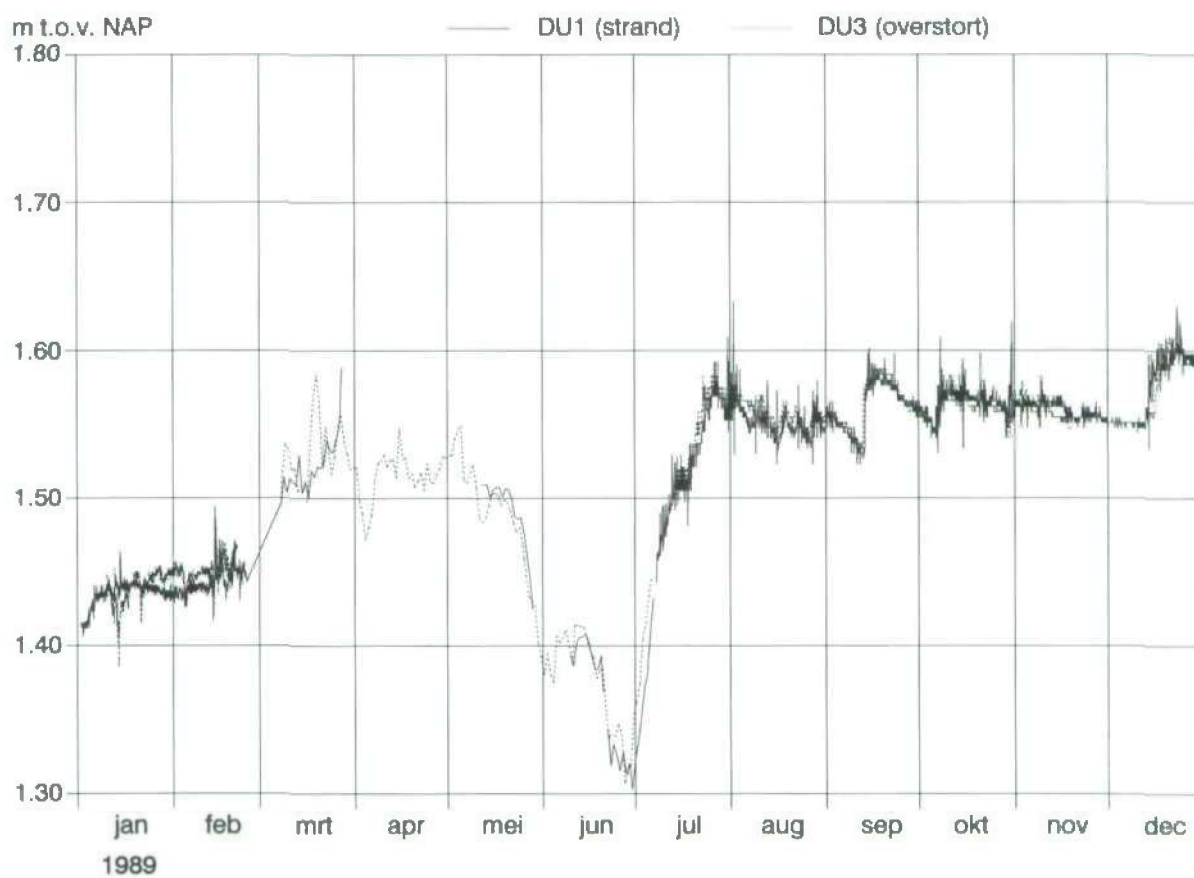
Bijlage 2 Diepteverdeling Binnenschelde



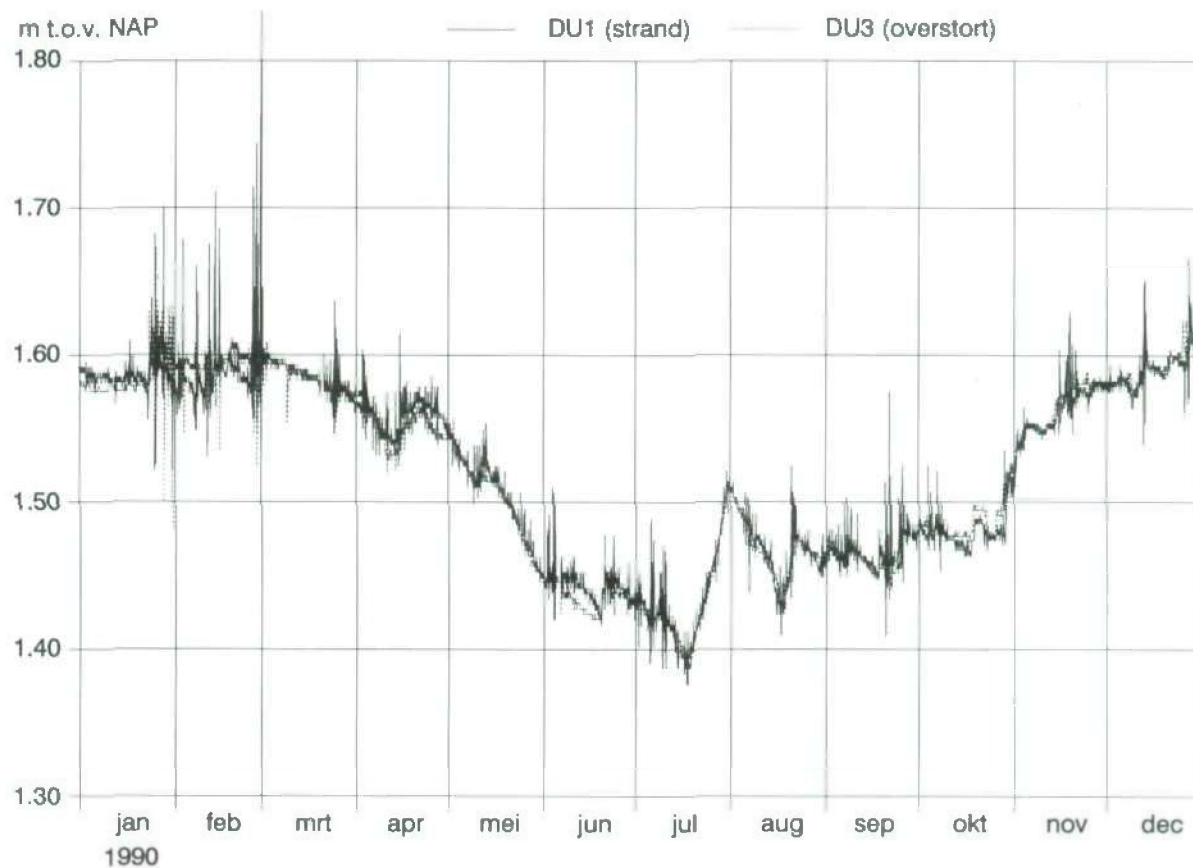
Bijlage 3 Handwaarnemingen Binnenschelde



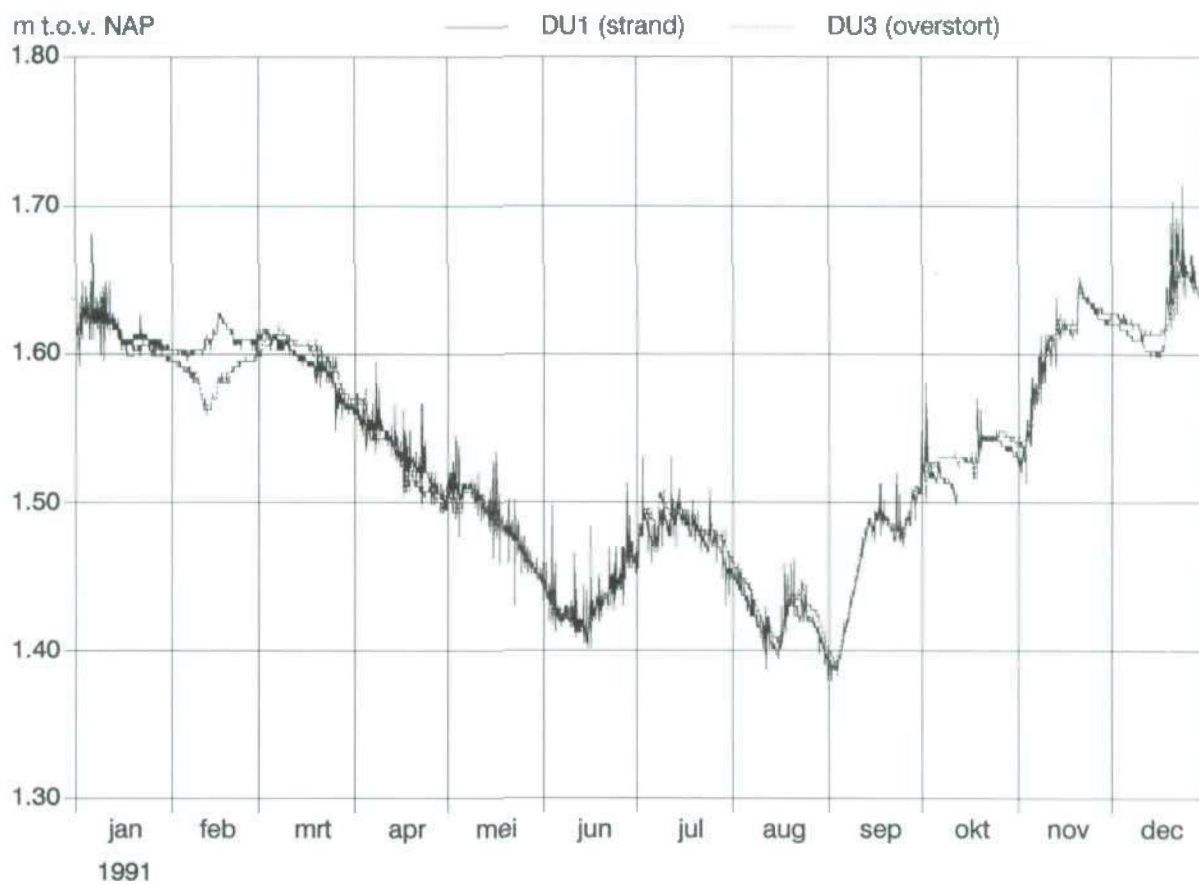
Bijlage 4.1 Waterpeilen 1989



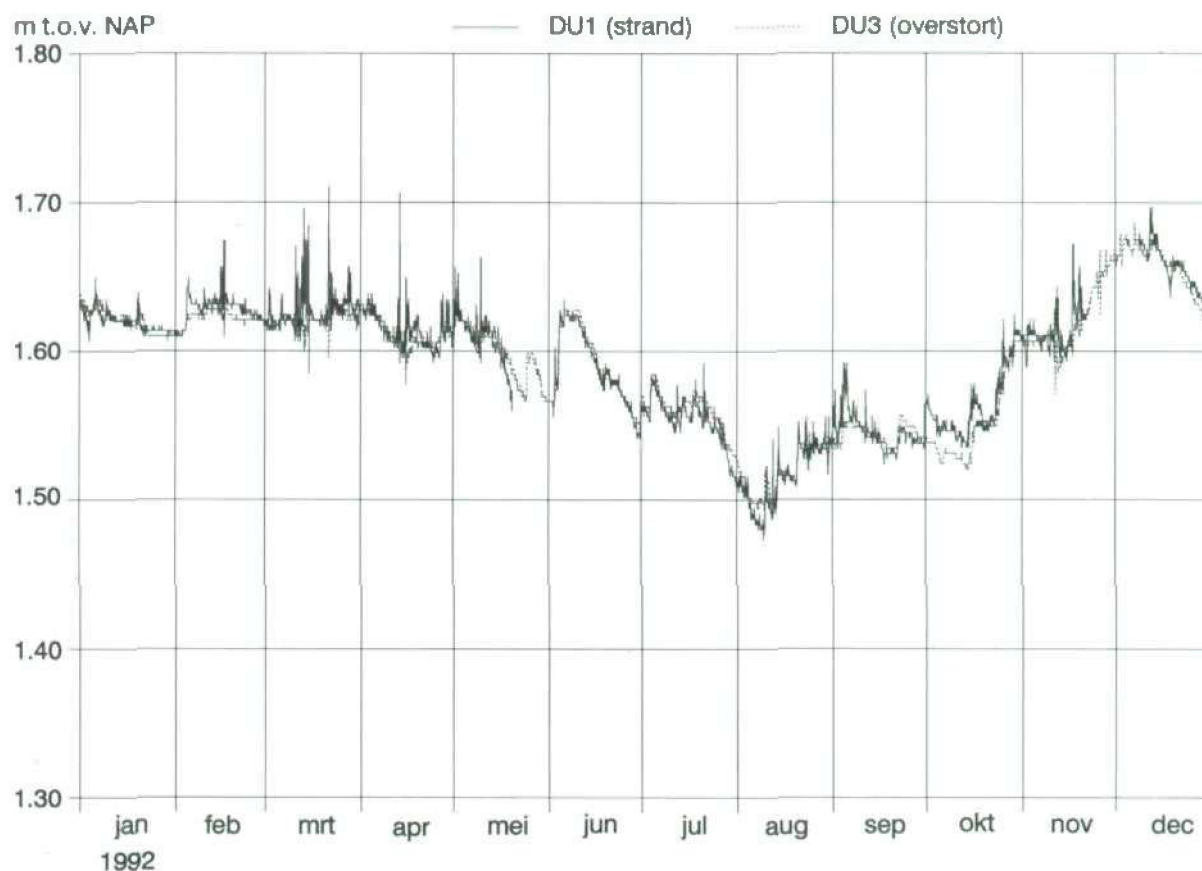
Bijlage 4.2 Waterpeilen 1990



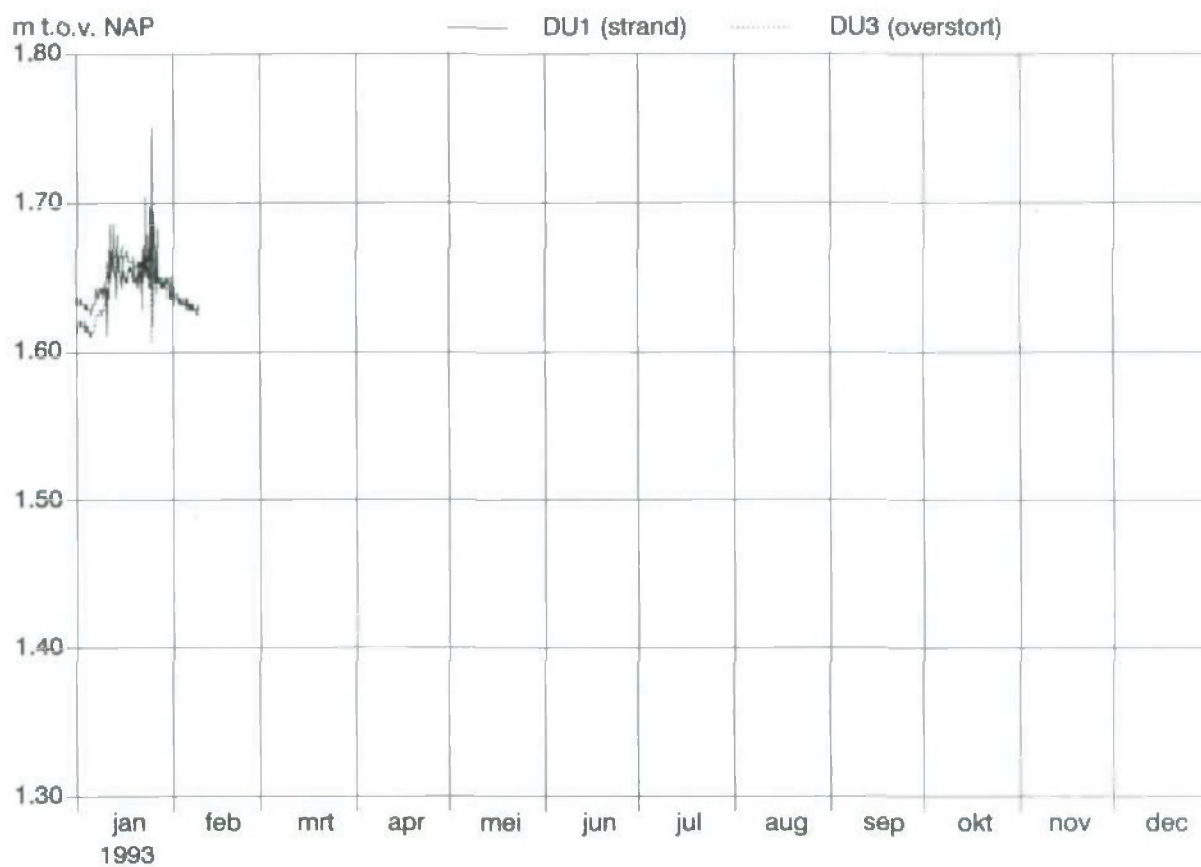
Bijlage 4.3 Waterpeilen 1991



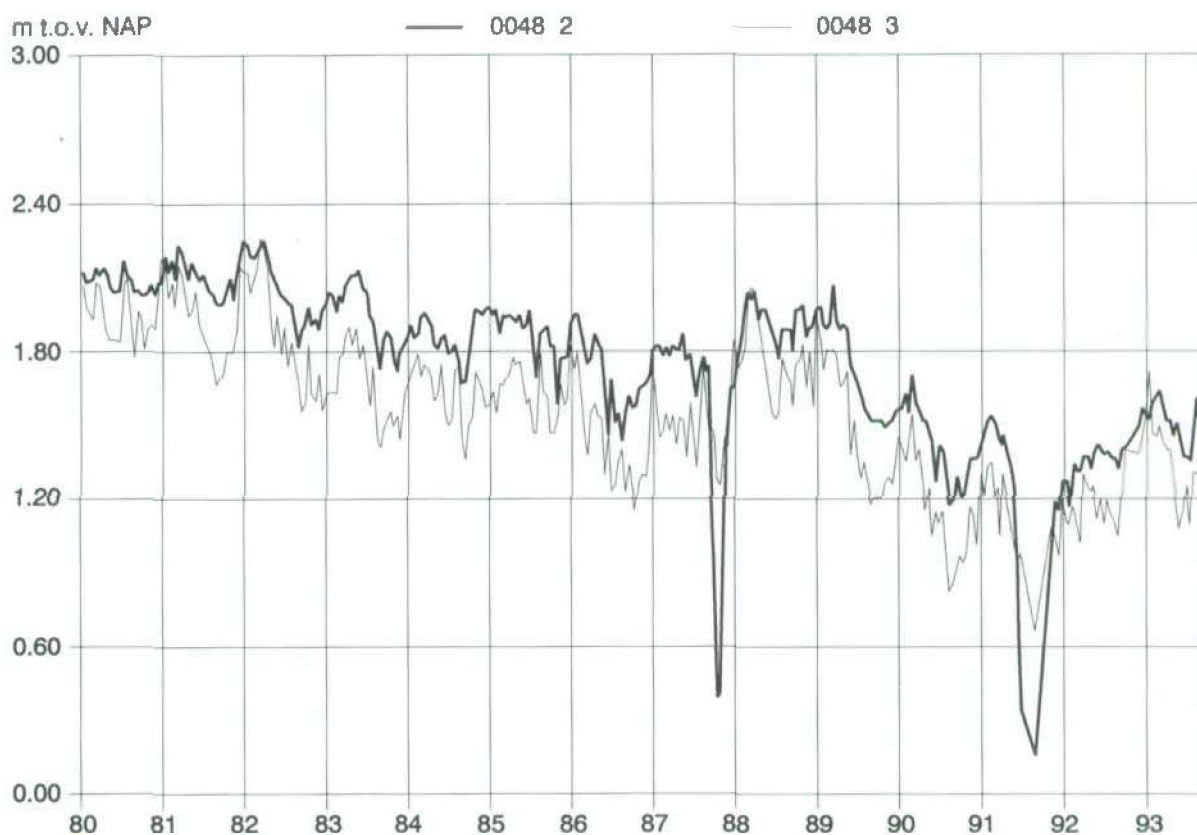
Bijlage 4.4 Waterpeilen 1992



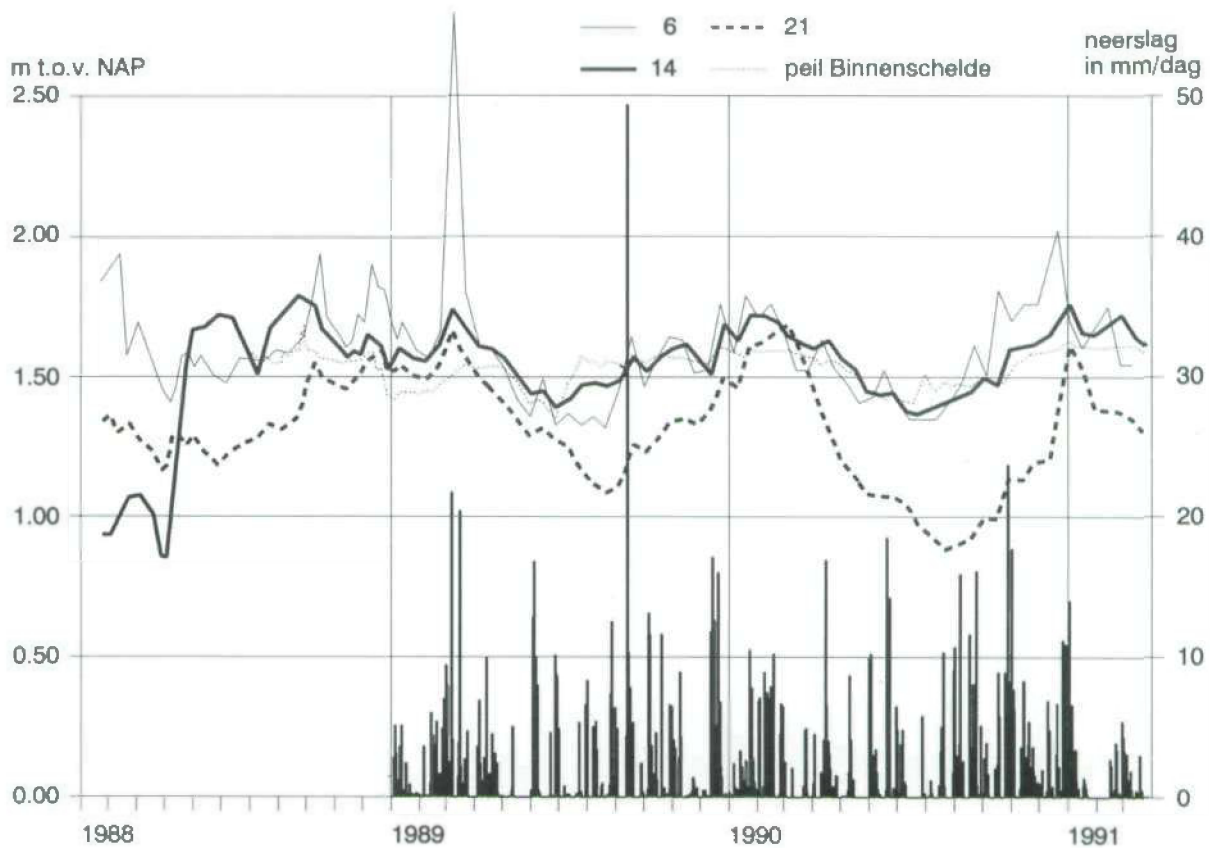
Bijlage 4.5 Waterpeilen 1993



Bijlage 5 Tijd-stijghoogtelijnen 0048-2 en 0048-3



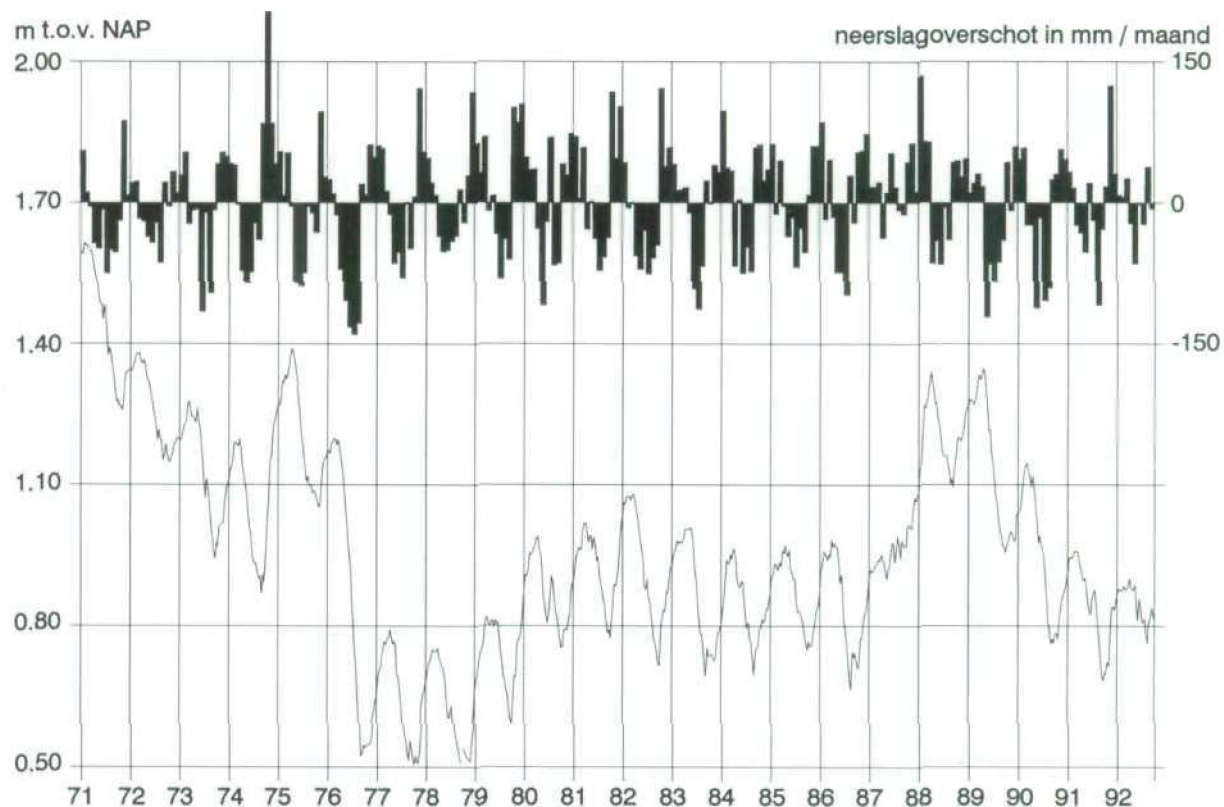
Bijlage 6 Grondwaterstanden Binnenschelde



Bijlage 7 Correctiefactoren Makkink referentie- gewasverdamping naar open-water- verdamping Binnenschelde

maand	decade	factor
januari	I	1.46
	II	1.70
	III	0.98
februari	I	0.82
	II	0.96
	III	0.99
maart	I	0.70
	II	1.05
	III	1.04
april	I	1.15
	II	1.07
	III	0.99
mei	I	1.00
	II	1.10
	III	1.15
juni	I	1.13
	II	1.06
	III	1.14
juli	I	1.14
	II	1.09
	III	1.12
augustus	I	1.13
	II	1.24
	III	1.14
september	I	1.25
	II	1.24
	III	1.34
oktober	I	1.20
	II	1.25
	III	1.25
november	I	1.31
	II	1.56
	III	1.80
december	I	1.60
	II	1.06
	III	0.95

Bijlage 8.1 Peilverloop en neerslagoverschot, scenario 1



Bijlage 8.2 Waterbalans, scenario 1

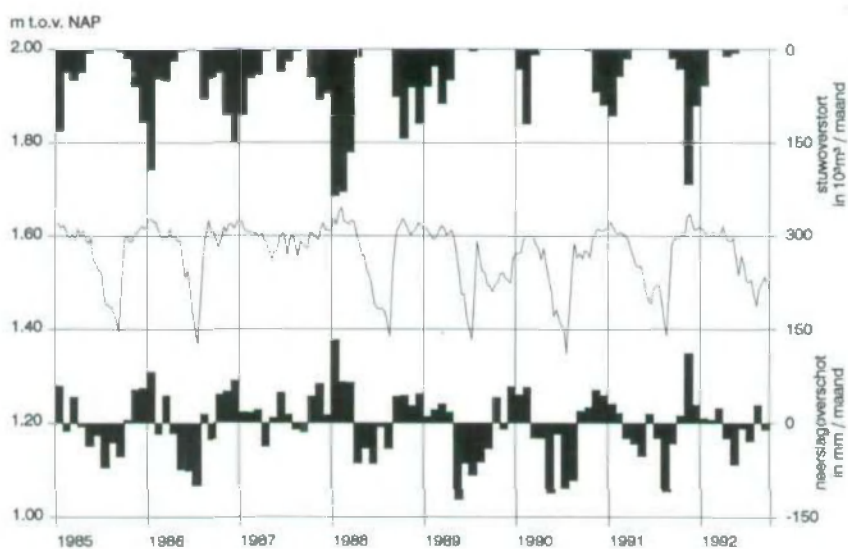
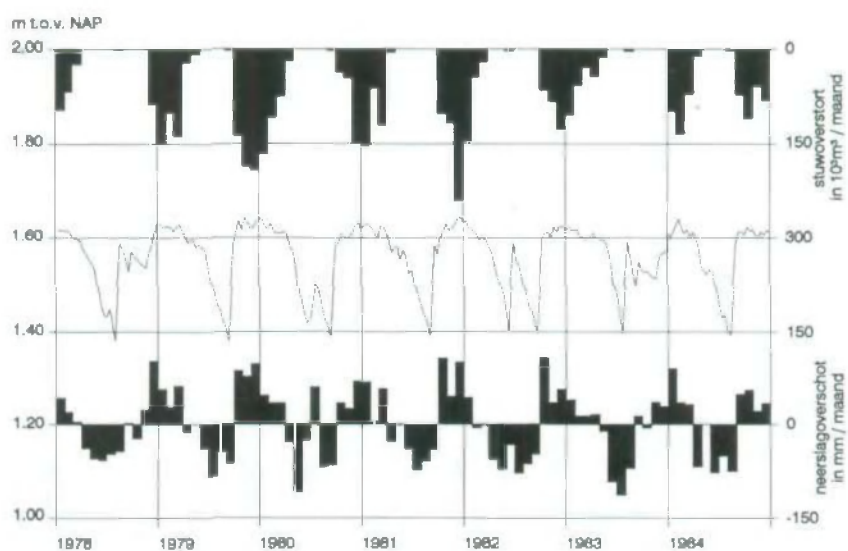
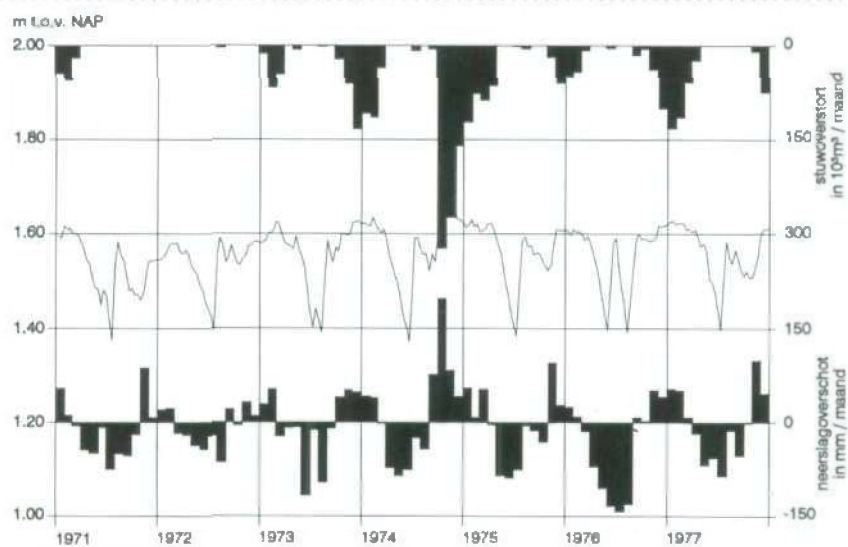
A. eenheid = mm waterschijf

	Berging	Neerslag	Verdamping	Pomp	Overstort	Doorspoel	Kadekwel+ wegzijging
1971	-239	607	744	0	44	0	-58
1972	-148	618	714	0	0	0	-52
1973	-86	710	749	0	0	0	-47
1974	160	990	786	0	0	0	-44
1975	-101	759	814	0	0	0	-46
1976	-516	470	884	0	0	66	-36
1977	28	794	736	0	0	0	-30
1978	-21	725	718	0	0	0	-28
1979	215	961	717	0	0	0	-29
1980	16	798	752	0	0	0	-30
1981	142	904	732	0	0	0	-29
1982	-106	736	814	0	0	0	-28
1983	-126	685	786	0	0	0	-25
1984	69	791	698	0	0	0	-23
1985	3	751	726	0	0	0	-22
1986	27	808	761	0	0	0	-20
1987	181	787	586	0	0	0	-21
1988	185	843	633	0	0	0	-25
1989	-224	534	733	0	0	0	-25
1990	-129	639	745	0	0	0	-23
1991	-45	652	675	0	0	0	-23
1992	-56	587	628	0	0	0	-16

B. eenheid = 10^3 m^3

	Berging	Neerslag	Verdamping	Pomp	Overstort	Doorspoel	Kadekwel+ wegzijging
1971	-432.6	1096.6	1345.1	0.0	79.8	0.0	-104.4
1972	-266.4	1114.9	1288.1	0.0	0.0	0.0	-93.1
1973	-151.3	1271.5	1339.3	0.0	0.0	0.0	-83.5
1974	292.5	1752.0	1381.9	0.0	0.0	0.0	-77.6
1975	-180.7	1365.1	1463.8	0.0	0.0	0.0	-81.9
1976	-864.7	745.1	1452.8	0.0	0.0	96.9	-60.1
1977	51.7	1218.1	1121.0	0.0	0.0	0.0	-45.4
1978	-25.4	1098.8	1082.2	0.0	0.0	0.0	-41.9
1979	355.3	1543.8	1142.8	0.0	0.0	0.0	-45.7
1980	34.4	1347.3	1262.5	0.0	0.0	0.0	-50.5
1981	255.3	1561.6	1255.8	0.0	0.0	0.0	-50.5
1982	-178.8	1246.9	1378.3	0.0	0.0	0.0	-47.4
1983	-206.2	1155.7	1319.7	0.0	0.0	0.0	-42.2
1984	122.3	1316.9	1156.2	0.0	0.0	0.0	-38.4
1985	10.1	1268.7	1221.8	0.0	0.0	0.0	-36.8
1986	56.3	1349.5	1260.0	0.0	0.0	0.0	-33.2
1987	322.1	1382.2	1023.8	0.0	0.0	0.0	-36.2
1988	333.3	1517.1	1138.7	0.0	0.0	0.0	-45.1
1989	-401.4	954.5	1311.2	0.0	0.0	0.0	-44.7
1990	-221.6	1096.8	1278.4	0.0	0.0	0.0	-40.1
1991	-68.3	1086.5	1117.1	0.0	0.0	0.0	-37.6
1992	-89.7	978.3	1041.0	0.0	0.0	0.0	-27.0

Bijlage 9.1 Peilverloop, neerslagoverschot en stuwoverstort, scenario 2



Bijlage 9.2 Waterbalans, scenario 2

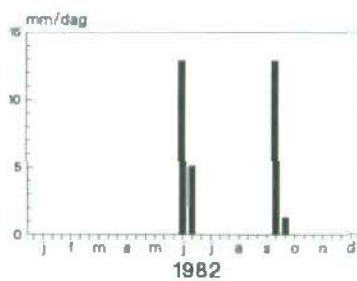
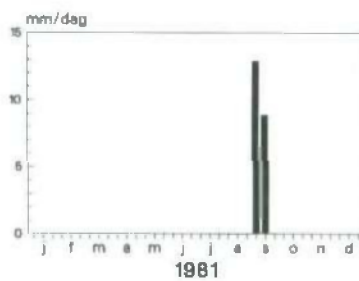
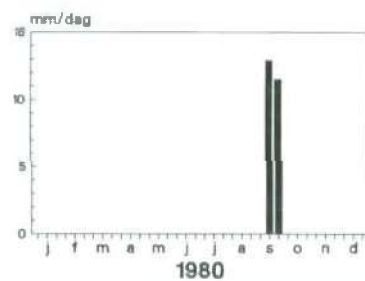
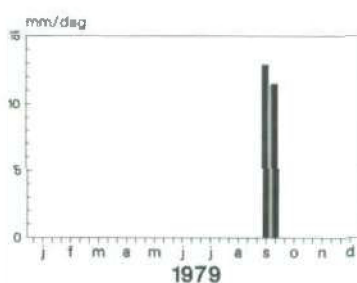
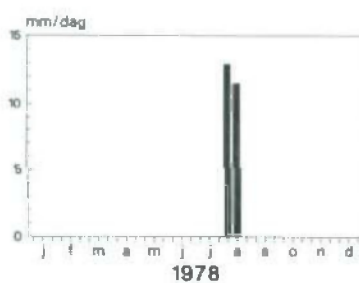
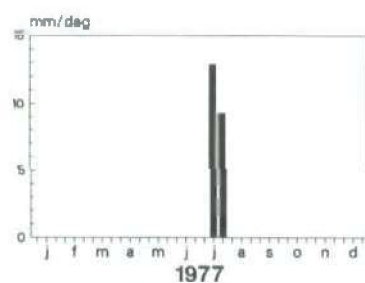
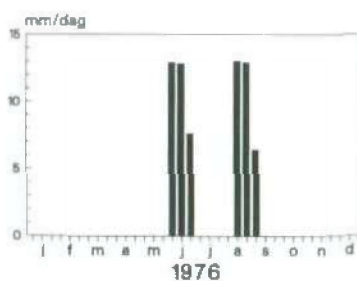
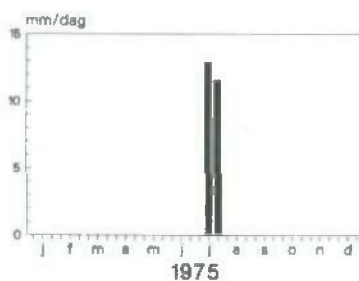
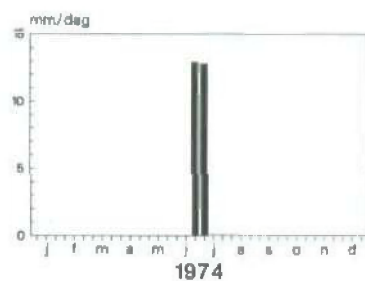
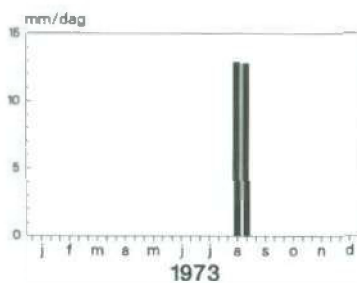
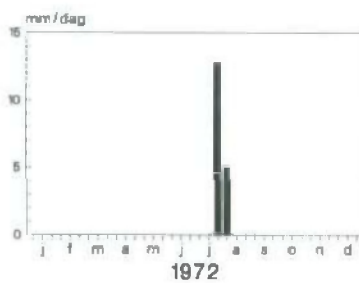
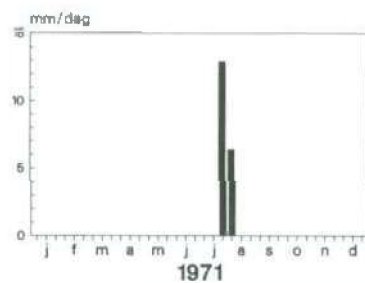
A. eenheid = mm waterschijf

	Berging	Neerslag	Verdamping	Pomp	Overstort	Doorspoel	Kadekwel+ wegzijging
1971	-37	607	744	205	44	0	-60
1972	35	617	714	192	1	0	-59
1973	38	704	749	270	129	0	-58
1974	5	970	786	257	379	0	-56
1975	-16	756	814	257	160	0	-55
1976	9	429	884	668	96	55	-53
1977	-4	705	736	231	152	0	-51
1978	14	640	718	244	102	0	-50
1979	12	877	717	244	343	0	-49
1980	-21	754	752	244	220	0	-47
1981	16	868	732	218	293	0	-45
1982	-17	699	814	321	179	0	-43
1983	-40	649	786	231	92	0	-42
1984	36	740	698	270	235	0	-41
1985	10	713	726	231	168	0	-39
1986	9	756	761	321	269	0	-38
1987	-25	766	586	0	169	0	-37
1988	4	839	633	218	385	0	-34
1989	-53	529	733	270	84	0	-35
1990	59	614	745	348	119	0	-38
1991	-2	610	675	295	193	0	-40
1992	-134	551	628	0	28	0	-29

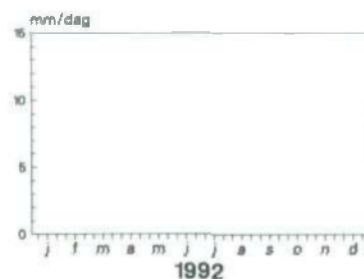
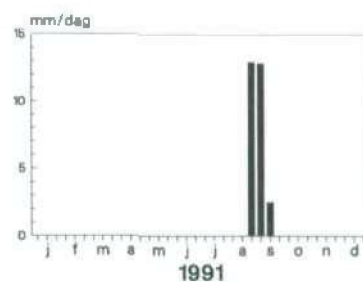
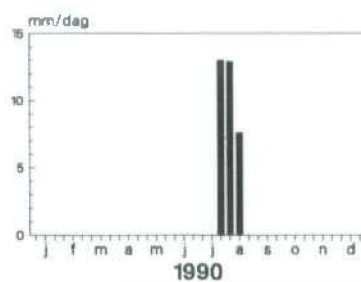
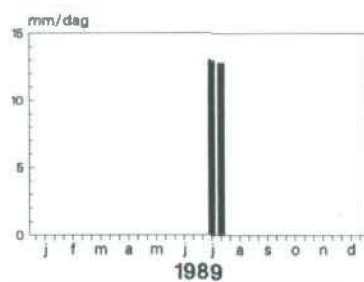
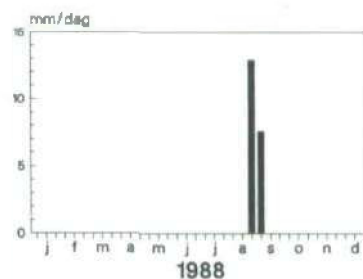
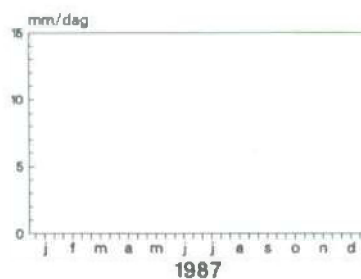
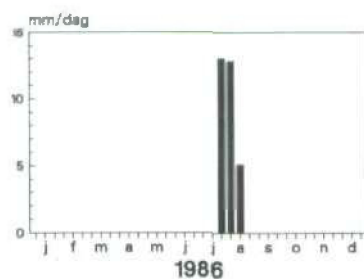
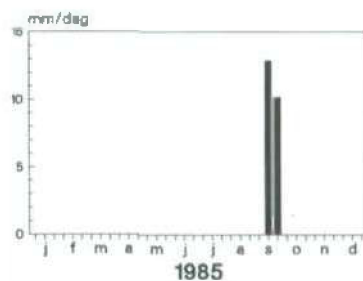
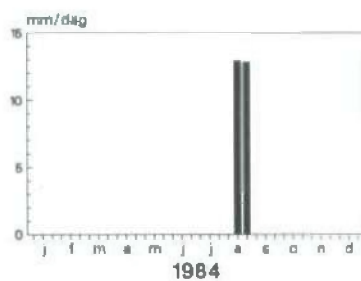
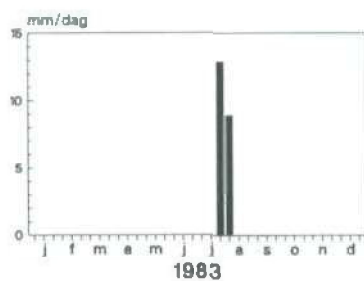
B. eenheid = 10^3 m^3

	Berging	Neerslag	Verdamping	Pomp	Overstort	Doorspoel	Kadekwel+ wegzijging
1971	-66.1	1096.6	1345.1	370.7	79.9	0.0	-108.5
1972	62.4	1115.3	1290.9	346.7	2.2	0.0	-106.5
1973	68.9	1272.1	1354.2	487.5	232.4	0.0	-104.2
1974	9.81	752.6	1421.0	464.4	684.2	0.0	-102.0
1975	-28.4	1366.4	1471.6	464.1	288.5	0.0	-98.8
1976	16.5	776.1	1598.1	1207.0	172.7	100.0	-95.7
1977	-6.9	1274.5	1330.7	417.7	275.5	0.0	-92.9
1978	25.5	1156.3	1298.1	440.5	183.7	0.0	-89.5
1979	21.6	1584.0	1296.3	441.1	619.3	0.0	-87.9
1980	-38.5	1362.3	1359.6	440.8	397.9	0.0	-84.1
1981	28.2	1569.4	1323.4	394.6	530.3	0.0	-82.0
1982	-30.0	1262.5	1471.6	580.2	322.9	0.0	-78.3
1983	-71.6	1173.3	1421.0	417.5	165.7	0.0	-75.7
1984	65.6	1337.9	1262.0	487.2	424.1	0.0	-73.4
1985	18.2	1287.6	1312.6	417.1	303.8	0.0	-70.2
1986	16.8	1366.8	1375.8	580.5	486.6	0.0	-68.0
1987	-45.0	1384.3	1058.7	0.0	304.6	0.0	-66.0
1988	8.0	1516.4	1143.7	393.5	696.1	0.0	-62.1
1989	-96.2	955.7	1324.9	487.9	151.7	0.0	-63.3
1990	106.8	1108.9	1346.6	628.7	215.8	0.0	-68.5
1991	-3.8	1101.7	1218.8	533.5	348.2	0.0	-72.0
1992	-241.3	996.2	1134.3	0.0	50.6	0.0	-52.6

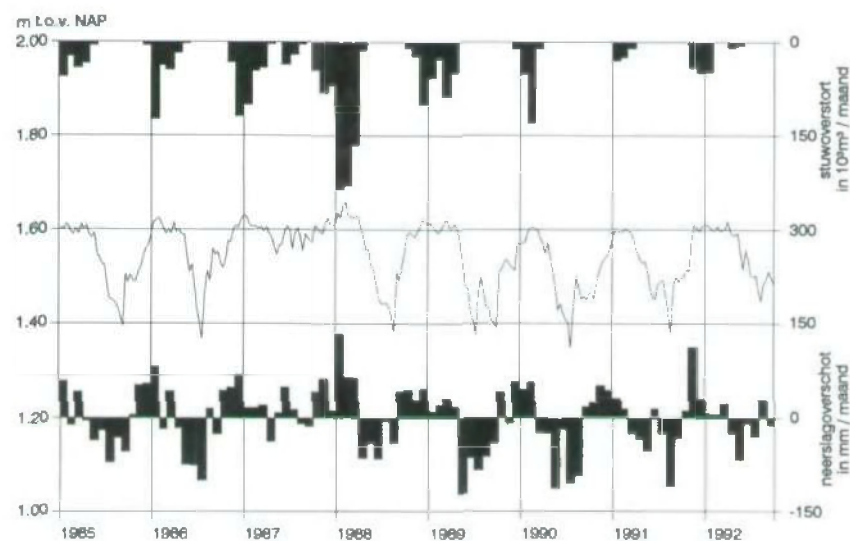
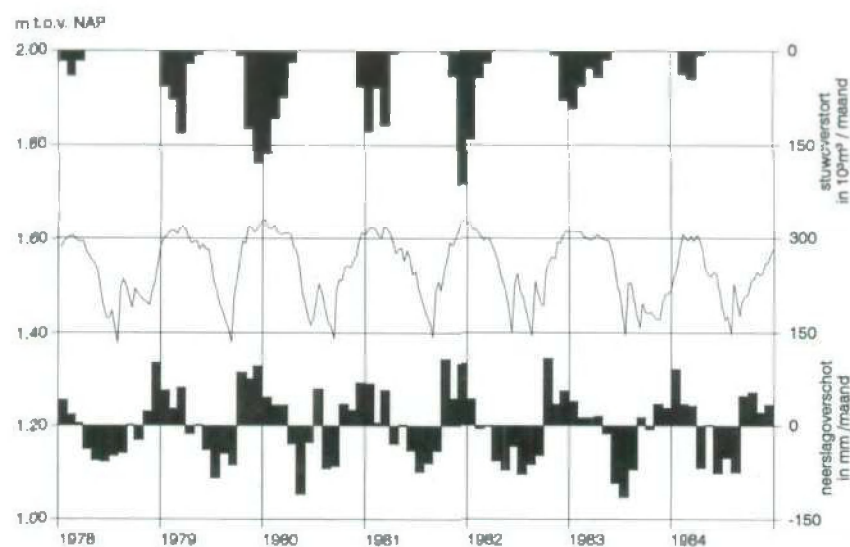
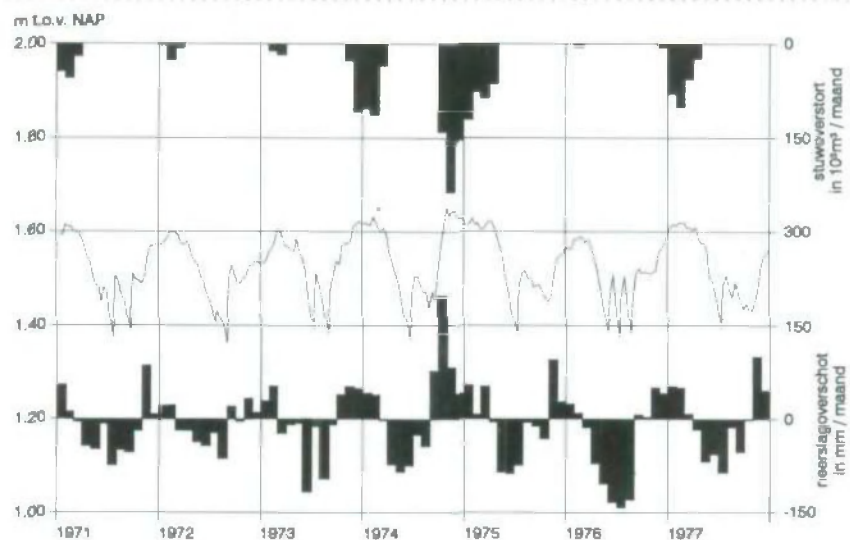
Bijlage 9.3, blad 1 Pompcapaciteiten per decade in mm/dag, scenario 2



Bijlage 9.3, blad 2 Pompcapaciteiten per decade in mm/dag, scenario 2



Bijlage 10.1 Peilverloop, neerslagoverschot en stuwoverstort, scenario 3



Bijlage 10.2 Waterbalans, scenario 3

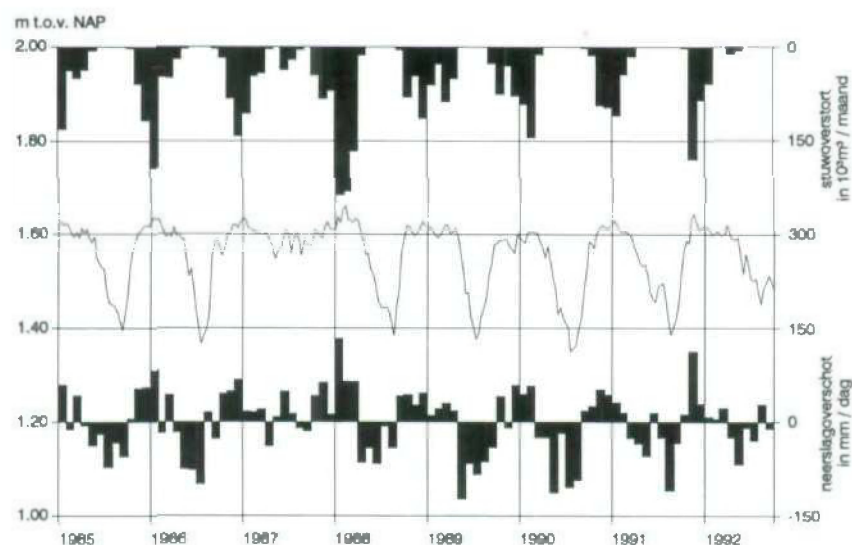
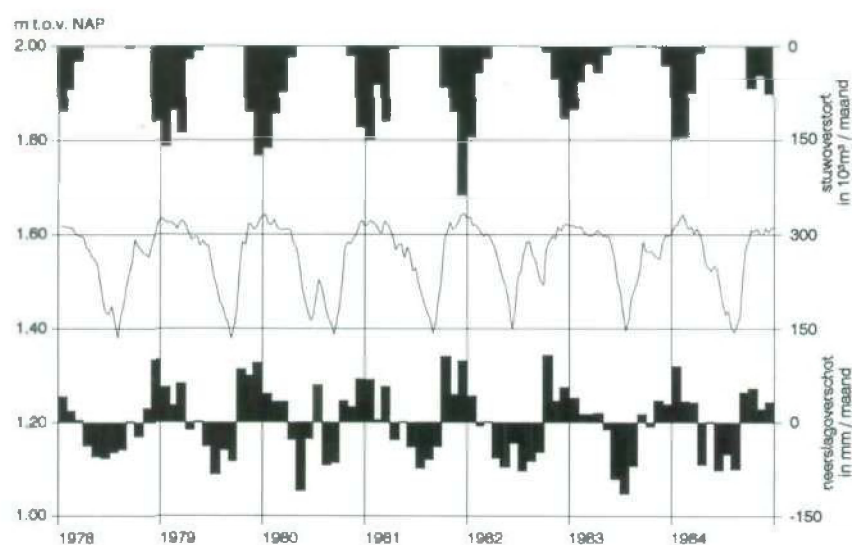
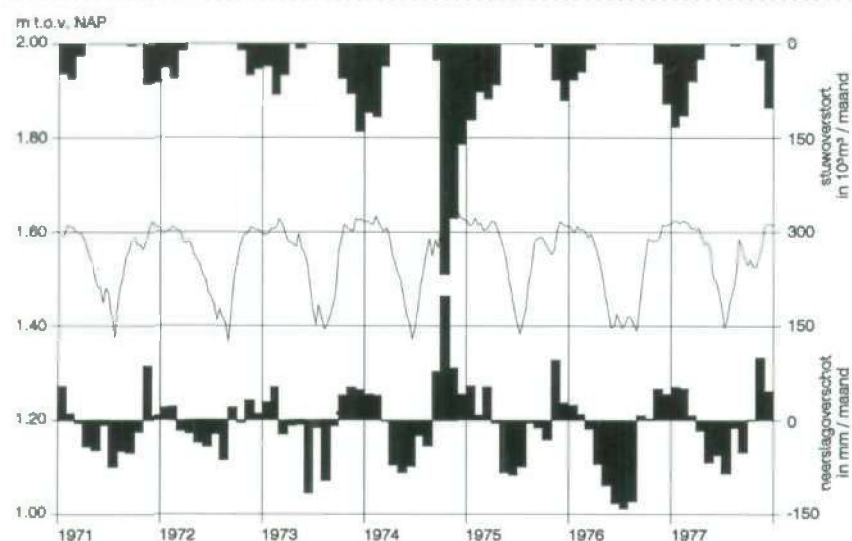
A. eenheid = mm waterschijf

	Berging	Neerslag	Verdamping	Pomp	Overstort	Doorspoel	Kadekwel+ wegzijging
1971	-10	607	744	232	44	0	-60
1972	-39	617	714	129	13	0	-58
1973	82	704	749	245	60	0	-57
1974	8	970	786	168	288	0	-56
1975	-60	756	814	180	128	0	-54
1976	28	429	884	594	4	55	-52
1977	-24	705	736	155	97	0	-51
1978	14	640	718	167	26	0	-49
1979	56	877	717	168	222	0	-48
1980	-32	754	752	168	155	0	-46
1981	25	868	732	142	208	0	-45
1982	-20	699	814	245	107	0	-43
1983	-121	649	786	142	85	0	-41
1984	86	740	698	116	32	0	-40
1985	16	713	726	129	61	0	-38
1986	38	756	761	220	139	0	-37
1987	-22	766	586	0	165	0	-37
1988	2	839	633	116	286	0	-34
1989	-40	529	733	284	85	0	-35
1990	7	614	745	246	70	0	-37
1991	32	610	675	194	57	0	-39
1992	-128	551	628	0	23	0	-29

B. eenheid = 10^3 m^3

	Berging	Neerslag	Verdamping	Pomp	Overstort	Doorspoel	Kadekwel+ wegzijging
1971	-17.5	1096.6	1345.1	419.0	79.8	0.0	-108.2
1972	-70.9	1115.3	1290.9	233.0	22.8	0.0	-105.4
1973	148.6	1272.1	1354.2	442.3	108.4	0.0	-103.3
1974	13.7	1752.6	1421.0	303.4	520.4	0.0	-100.8
1975	-108.1	1366.4	1471.6	326.1	231.7	0.0	-97.4
1976	51.5	776.1	1598.1	1073.7	6.4	100.0	-93.8
1977	-42.6	1274.5	1330.7	279.6	174.7	0.0	-91.3
1978	25.1	1156.3	1298.1	302.6	47.8	0.0	-87.9
1979	101.5	1584.0	1296.3	303.1	401.8	0.0	-87.4
1980	-57.3	1362.3	1359.6	302.8	279.3	0.0	-83.5
1981	45.5	1569.4	1323.4	256.5	375.5	0.0	-81.4
1982	-36.7	1262.5	1471.6	442.4	192.5	0.0	-77.5
1983	-218.8	1173.3	1421.0	256.4	153.5	0.0	-74.0
1984	155.5	1337.9	1262.0	209.6	58.6	0.0	-71.4
1985	28.0	1287.6	1312.6	233.0	111.0	0.0	-69.0
1986	68.9	1366.8	1375.8	396.6	251.6	0.0	-67.1
1987	-39.4	1384.3	1058.7	0.0	299.0	0.0	-66.0
1988	4.2	1516.4	1143.7	209.5	516.5	0.0	-61.6
1989	-72.0	955.7	1324.9	512.9	153.1	0.0	-62.6
1990	12.4	1108.9	1346.6	444.4	127.4	0.0	-66.9
1991	58.7	1101.7	1218.8	349.7	103.0	0.0	-70.9
1992	-231.4	996.2	1134.3	0.0	40.8	0.0	-52.5

Bijlage 11.1 Peilverloop, neerslagoverschot en stuwoverstort, scenario 4



Bijlage 11.2 Waterbalans, scenario 4

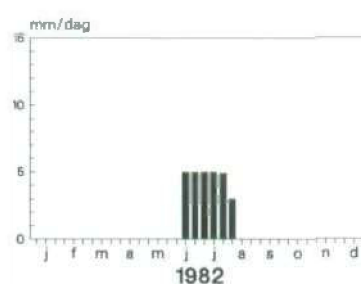
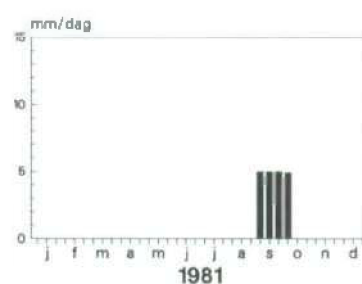
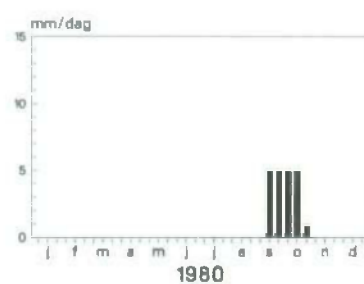
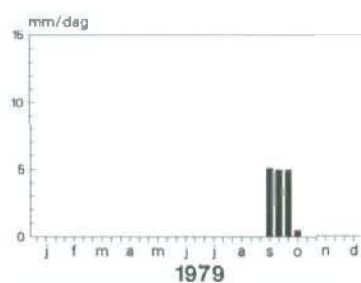
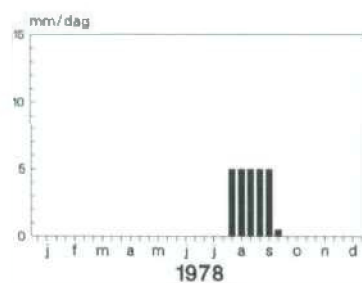
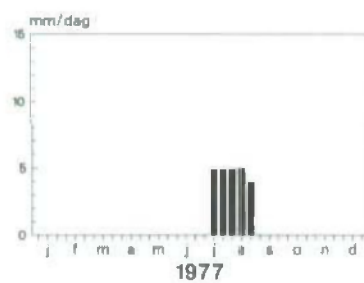
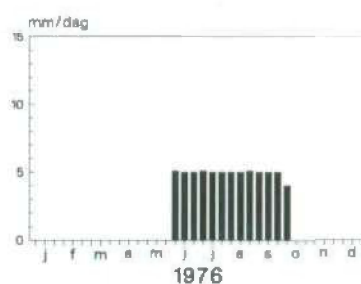
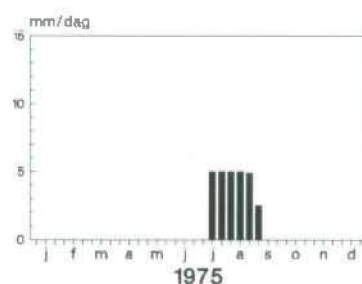
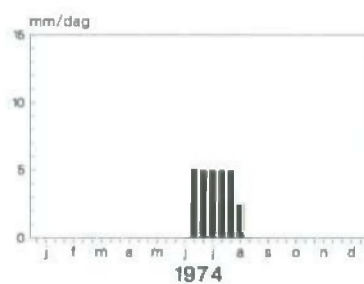
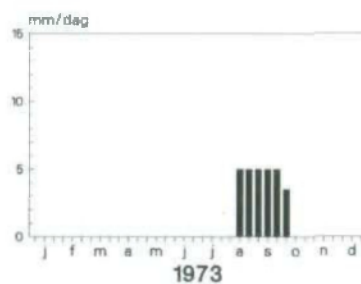
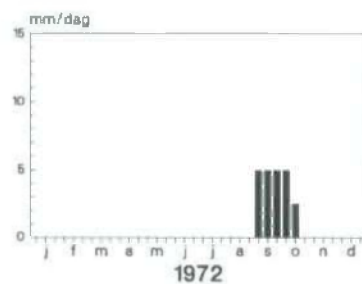
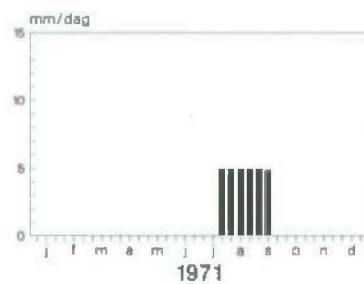
A. eenheid = mm waterschijf

	Berging	Neerslag	Verdamping	Pomp	Overstort	Doorspoel	Kadekwel+ wegzijging
1971	20	607	744	309	91	0	-61
1972	-6	617	714	224	74	0	-59
1973	23	704	749	290	165	0	-57
1974	5	970	786	280	402	0	-56
1975	-12	756	814	285	184	0	-55
1976	4	429	884	654	87	55	-52
1977	0	705	736	250	168	0	-51
1978	15	640	718	260	117	0	-49
1979	6	877	717	155	261	0	-48
1980	-22	754	752	210	187	0	-46
1981	17	868	732	200	274	0	-45
1982	-18	699	814	284	142	0	-44
1983	-15	649	786	265	101	0	-42
1984	12	740	698	220	209	0	-40
1985	11	713	726	225	162	0	-39
1986	9	756	761	256	205	0	-37
1987	-24	766	586	0	168	0	-37
1988	4	839	633	160	328	0	-34
1989	-20	529	733	380	160	0	-35
1990	27	614	745	362	166	0	-38
1991	-4	610	675	261	160	0	-39
1992	-133	551	628	0	27	0	-29

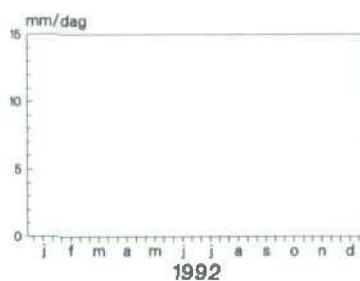
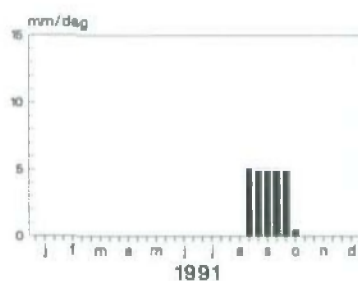
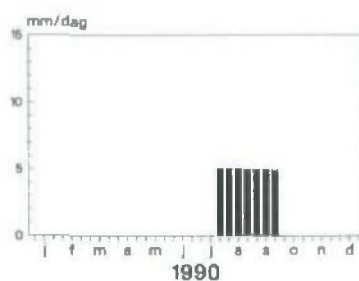
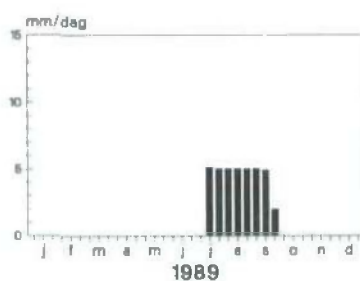
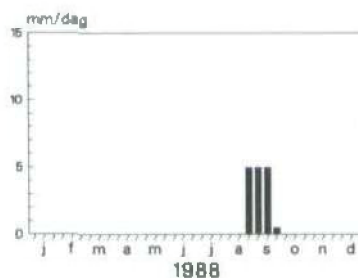
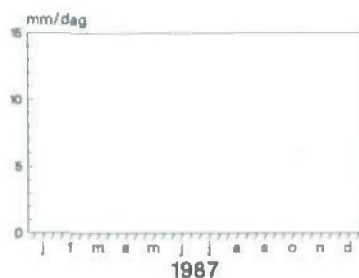
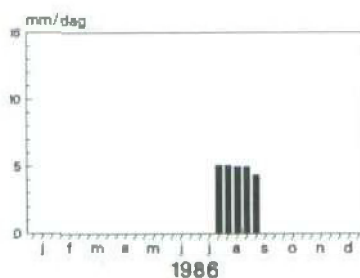
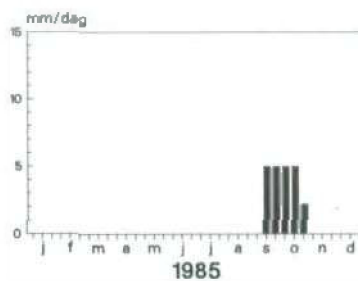
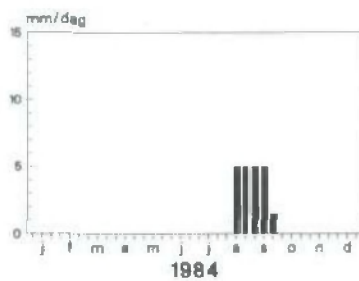
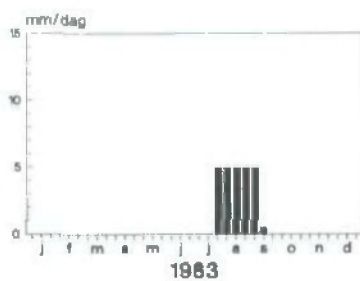
B. eenheid = 10^3 m^3

	Berging	Neerslag	Verdamping	Pomp	Overstort	Doorspoel	Kadekwel+ wegzijging
1971	36.0	1096.6	1345.1	558.0	164.1	0.0	-109.5
1972	-11.3	1115.3	1290.9	405.1	134.3	0.0	-106.5
1973	41.6	1272.1	1354.2	524.7	297.2	0.0	-103.8
1974	8.7	1752.6	1421.0	505.8	727.0	0.0	-101.7
1975	-21.0	1366.4	1471.6	514.4	331.6	0.0	-98.6
1976	8.1	776.1	1598.1	1181.2	156.8	100.0	-94.2
1977	0.2	1274.5	1330.7	451.9	302.7	0.0	-92.7
1978	27.8	1156.3	1298.1	470.0	211.1	0.0	-89.2
1979	10.5	1584.0	1296.3	281.0	470.8	0.0	-87.3
1980	-39.2	1362.3	1359.6	379.6	337.9	0.0	-83.6
1981	31.2	1569.4	1323.4	361.4	494.5	0.0	-81.6
1982	-31.7	1262.5	1471.6	512.3	256.3	0.0	-78.7
1983	-27.2	1173.3	1421.0	479.3	183.0	0.0	-75.8
1984	22.3	1337.9	1262.0	397.7	378.4	0.0	-72.9
1985	19.2	1287.6	1312.6	405.7	291.9	0.0	-69.8
1986	15.7	1366.8	1375.8	462.0	370.1	0.0	-67.2
1987	-43.8	1384.3	1058.7	0.0	303.4	0.0	-66.0
1988	7.0	1516.4	1143.7	288.8	592.8	0.0	-61.7
1989	-35.8	955.7	1324.9	687.0	289.8	0.0	-63.7
1990	48.9	1108.9	1346.6	654.0	299.6	0.0	-67.8
1991	-6.8	1101.7	1218.8	470.8	289.1	0.0	-71.3
1992	-240.1	996.2	1134.3	0.0	49.4	0.0	-52.6

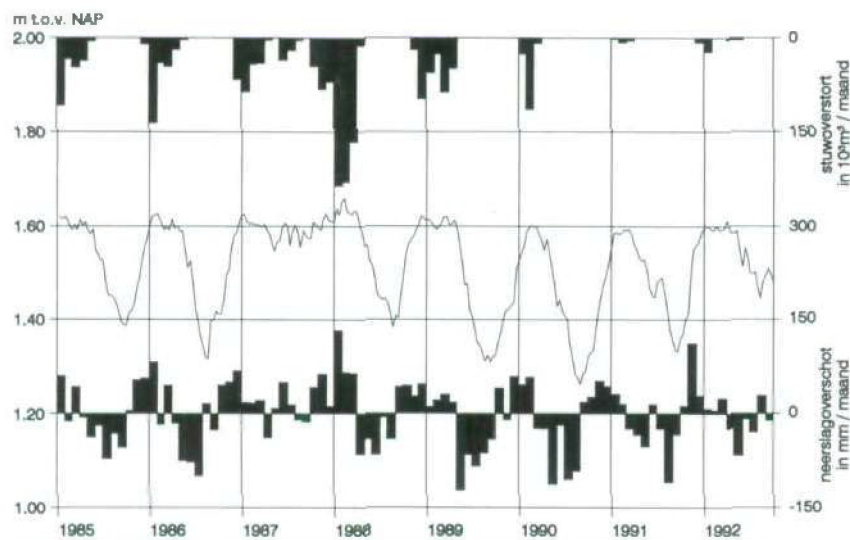
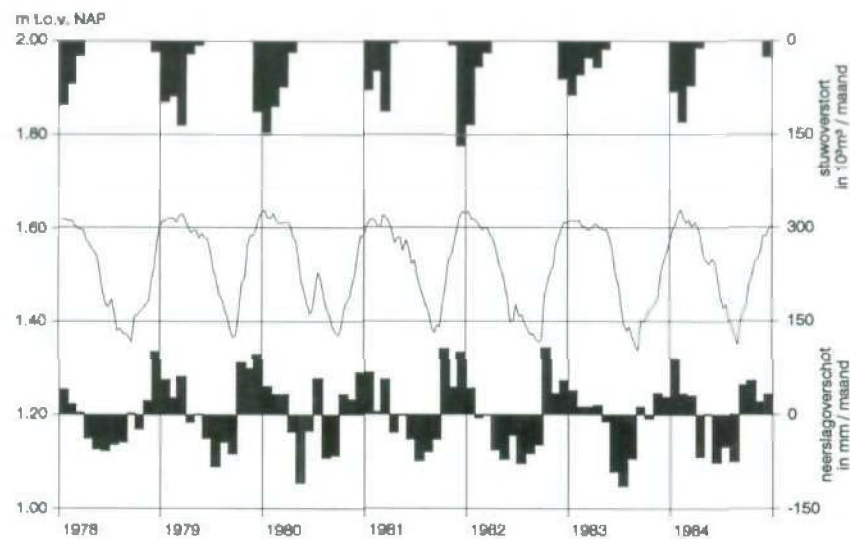
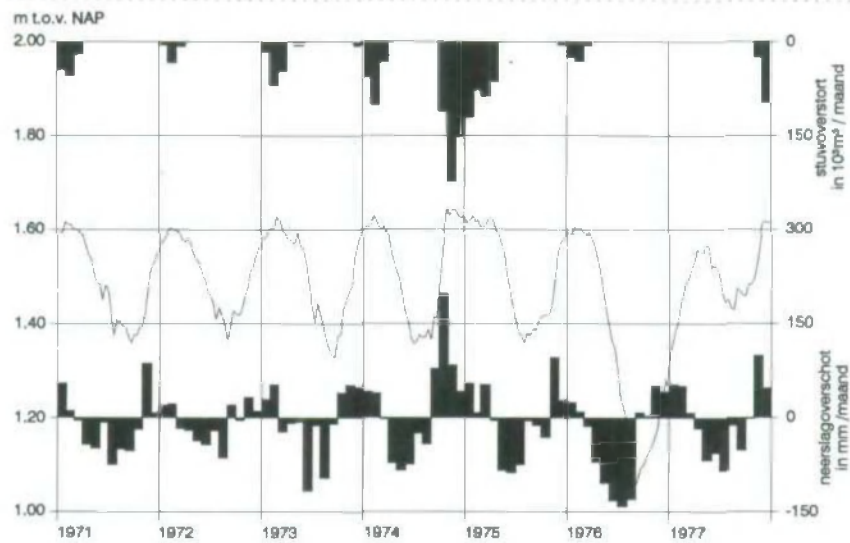
Bijlage 11.3, blad 1 Pompcapaciteiten per decade in mm/dag, scenario 4



Bijlage 11.3, blad 2 Pompcapaciteiten per decade in mm/dag, scenario 4



Bijlage 12.1 Peilverloop, neerslagoverschot en stuwoverschot, scenario 5



Bijlage 12.2 Waterbalans, scenario 5

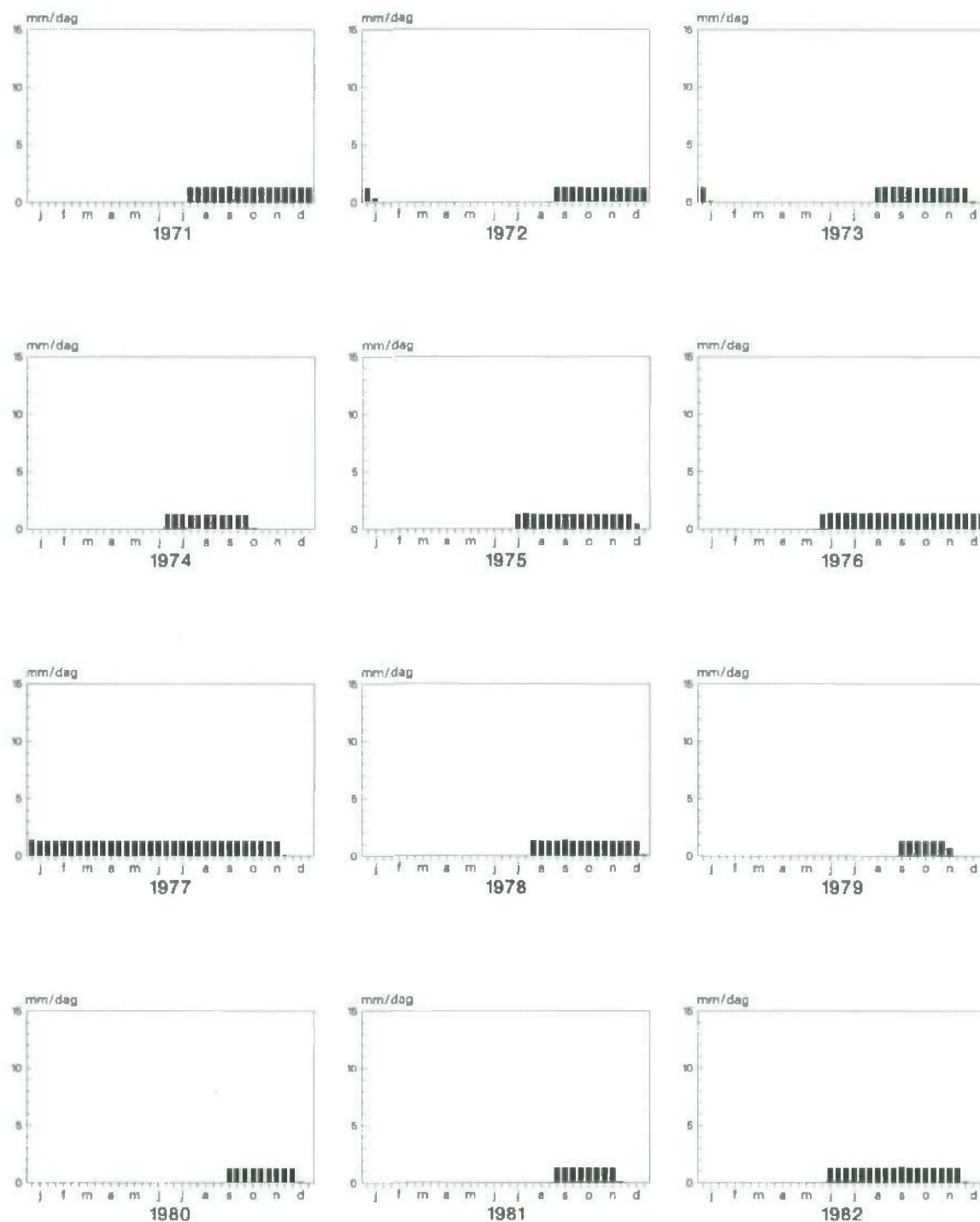
A. eenheid = mm waterschijf

	Berging	Neerslag	Verdamping	Pomp	Overstort	Doorspoel	Kadekwel+ wegzijging
1971	-21	607	744	220	44	0	-59
1972	8	617	714	180	17	0	-58
1973	24	704	749	179	54	0	-56
1974	31	970	786	152	250	0	-55
1975	-31	756	814	210	130	0	-53
1976	-283	431	884	296	22	56	-48
1977	307	705	736	432	45	0	-50
1978	-13	640	718	192	78	0	-48
1979	29	877	717	88	171	0	-48
1980	-49	754	752	123	128	0	-46
1981	45	868	732	109	156	0	-45
1982	-20	699	814	233	95	0	-42
1983	-41	649	786	220	82	0	-41
1984	34	740	698	149	117	0	-40
1985	-5	713	726	136	89	0	-38
1986	25	756	761	179	114	0	-36
1987	-14	766	586	0	158	0	-37
1988	2	839	633	110	281	0	-34
1989	-84	529	733	234	81	0	-33
1990	27	614	745	249	55	0	-36
1991	42	610	675	153	7	0	-38
1992	-116	551	628	0	10	0	-29

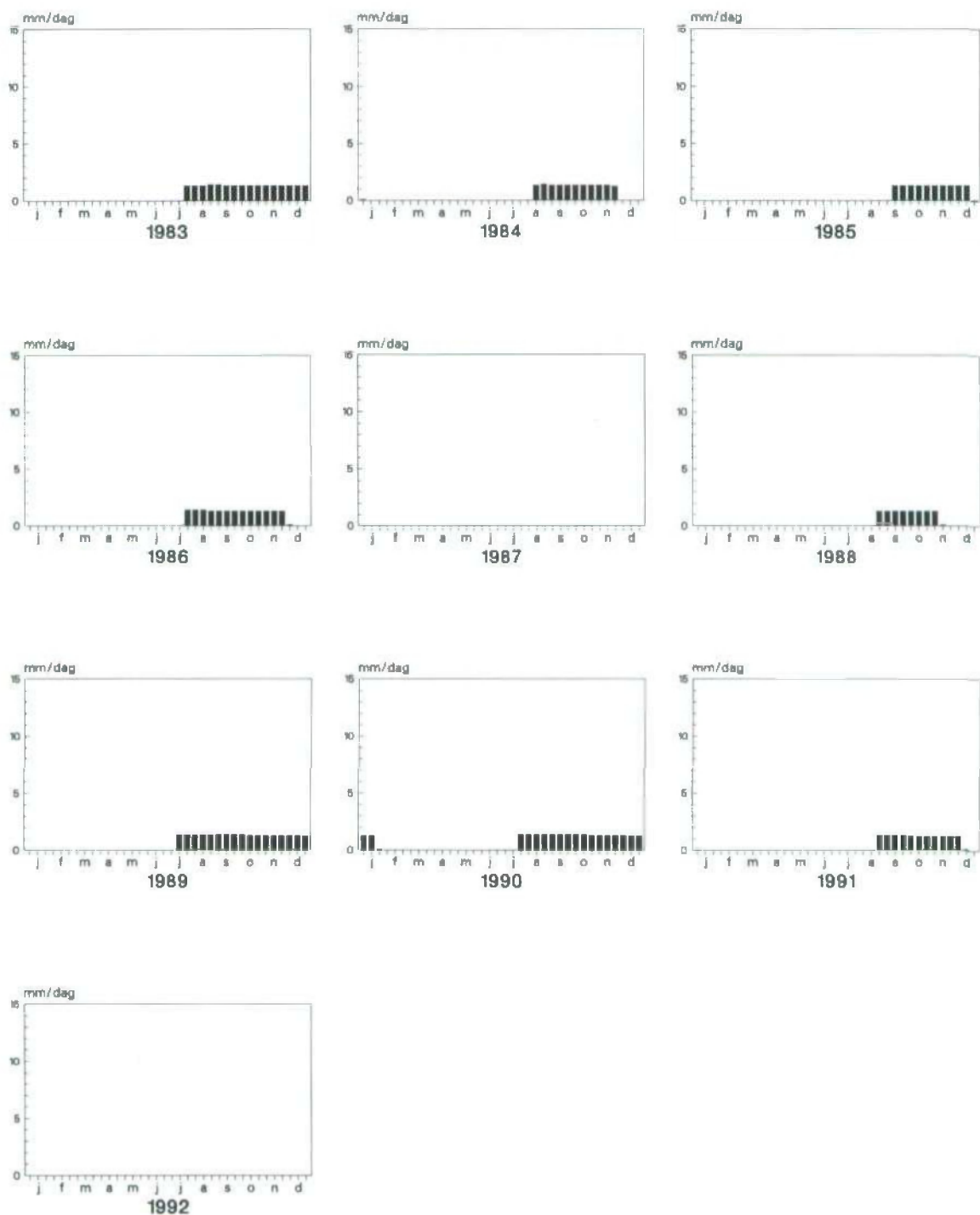
B. eenheid = 10^3 m^3

	Berging	Neerslag	Verdamping	Pomp	Overstort	Doorspoel	Kadekwel+ wegzijging
1971	-38.3	1096.6	1345.1	396.7	79.8	0.0	-106.7
1972	13.6	1115.3	1290.9	324.5	30.4	0.0	-104.8
1973	43.2	1272.1	1354.2	324.1	97.2	0.0	-101.7
1974	55.2	1752.6	1421.0	274.3	451.2	0.0	-99.5
1975	-56.0	1366.4	1471.6	379.9	234.7	0.0	-96.1
1976	-509.7	776.1	592.8	532.4	39.9	99.7	-85.7
1977	554.6	1274.5	1330.7	781.2	80.6	0.0	-89.9
1978	-23.8	1156.3	1298.1	346.1	141.0	0.0	-87.1
1979	51.8	1584.0	1296.3	159.2	308.6	0.0	-86.5
1980	-88.0	1362.3	1359.6	222.3	230.7	0.0	-82.3
1981	81.9	1569.4	1323.4	197.6	281.2	0.0	-80.5
1982	-35.4	1262.5	1471.6	420.8	171.1	0.0	-76.0
1983	-73.3	1173.3	1421.0	396.7	148.9	0.0	-73.4
1984	62.3	1337.9	1262.0	269.9	212.0	0.0	-71.4
1985	-9.1	1287.6	1312.6	245.8	161.5	0.0	-68.4
1986	44.6	1366.8	1375.8	324.3	205.6	0.0	-65.1
1987	-25.7	1384.3	1058.7	0.0	285.3	0.0	-66.0
1988	3.6	1516.4	1143.7	199.2	507.3	0.0	-61.0
1989	-152.0	955.7	1324.9	423.5	146.0	0.0	-60.2
1990	48.3	1108.9	1346.6	449.6	99.5	0.0	-64.2
1991	76.3	1101.7	1218.8	275.8	13.3	0.0	-69.1
1992	-209.4	996.2	1134.3	0.0	19.0	0.0	-52.4

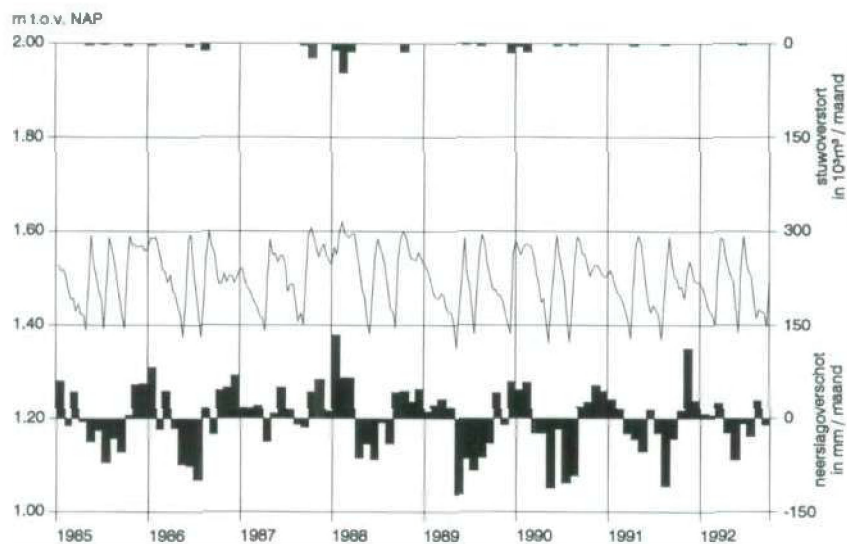
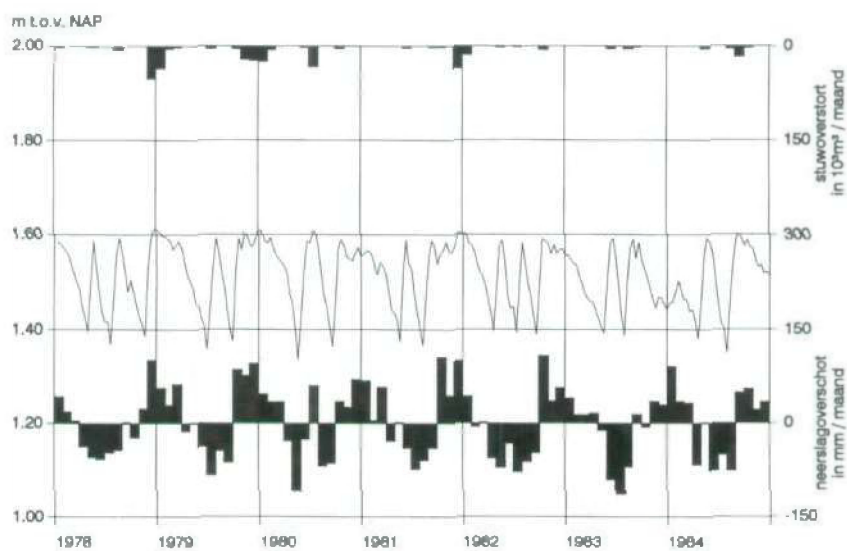
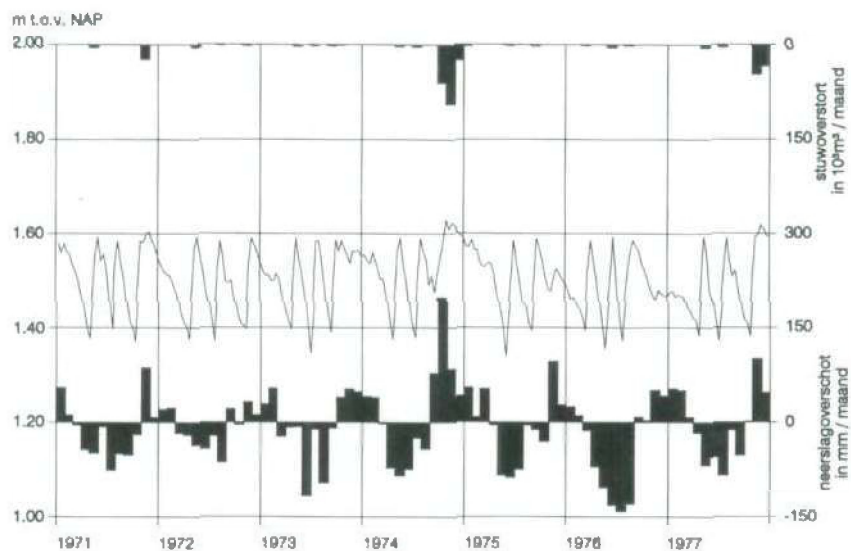
Bijlage 12.3, blad 1 Pompcapaciteiten per decade in mm/dag, scenario 5



Bijlage 12.3, blad 2 Pompcapaciteiten per decade in mm/dag, scenario 5



Bijlage 13.1 Peilverloop, neerslagoverschot en stuwoverschot, scenario 6



Bijlage 13.2 Waterbalans, scenario 6

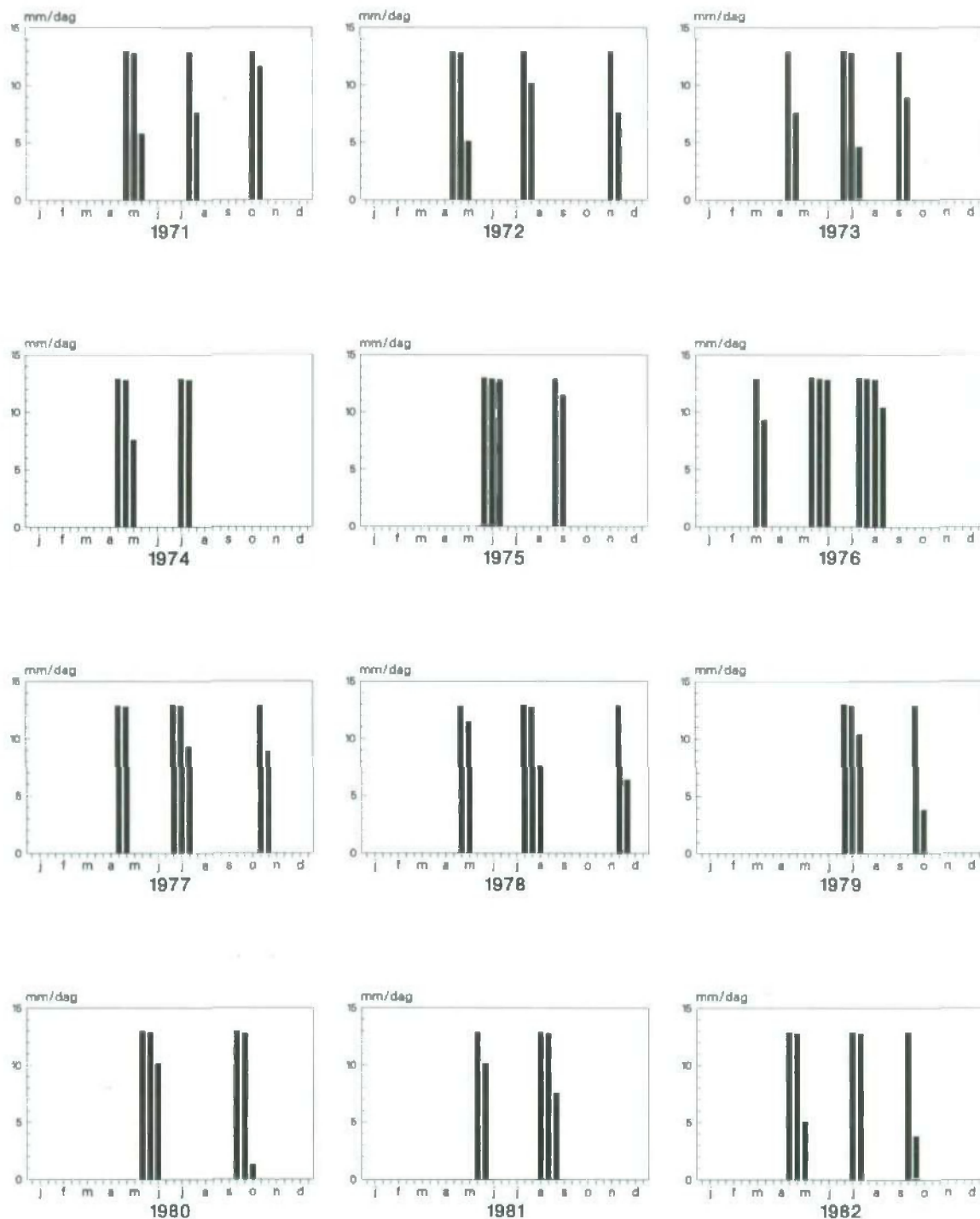
A. eenheid = mm waterschijf

	Berging	Neerslag	Verdamping	Pomp	Overstort	Doorspoel	Kadekwel+ wegzijging
1971	-31	607	744	796	11	0	-679
1972	-11	617	714	757	3	0	-668
1973	13	704	749	732	2	0	-672
1974	39	970	786	603	69	0	-679
1975	-97	756	814	631	1	0	-668
1976	-28	429	884	1144	2	55	-660
1977	126	705	736	848	33	0	-658
1978	21	640	718	783	21	0	-662
1979	-7	877	717	540	34	0	-672
1980	-51	754	752	644	24	0	-672
1981	45	868	732	590	15	0	-666
1982	-43	699	814	745	8	0	-664
1983	-113	649	786	679	3	0	-652
1984	71	740	698	694	11	0	-655
1985	52	713	726	719	3	0	-650
1986	-47	756	761	617	7	0	-652
1987	9	766	586	488	10	0	-649
1988	0	839	633	488	32	0	-662
1989	52	529	733	900	7	0	-636
1990	-74	614	745	721	8	0	-655
1991	-17	610	675	694	2	0	-644
1992	6	551	628	565	1	0	-481

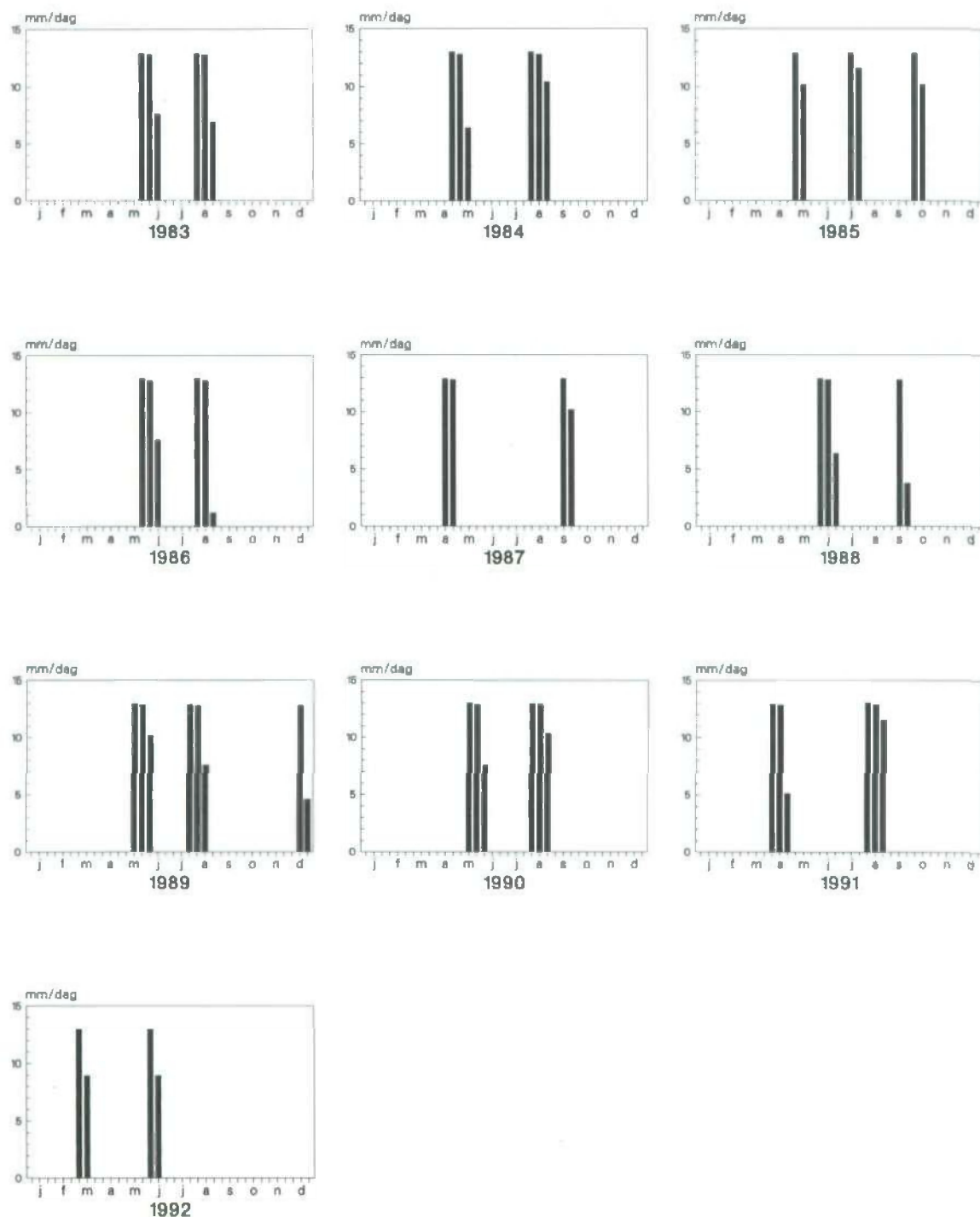
B. eenheid = 10^3 m^3

	Berging	Neerslag	Verdamping	Pomp	Overstort	Doorspoel	Kadekwel+ wegzijging
1971	-56.9	1096.6	1345.1	1438.3	19.1	0	-1227.6
1972	-20.6	1115.3	1290.9	1367.5	4.5	0	-1207.9
1973	23.3	1272.1	1354.2	1323.5	3.5	0	-1214.6
1974	69.8	1752.6	1421.0	1090.2	124.2	0	-1227.7
1975	-175.9	1366.4	1471.6	1139.6	2.4	0	-1207.9
1976	-51.0	776.1	1598.1	2067.4	3.9	100.0	-1192.4
1977	227.5	1274.5	1330.7	1533.0	60.0	0	-1189.3
1978	37.5	1156.3	1298.1	1414.8	38.7	0	-1196.8
1979	-13.4	1584.0	1296.3	975.6	62.0	0	-1214.7
1980	-92.3	1362.3	1359.6	1163.6	44.2	0	-1214.3
1981	82.0	1569.4	1323.4	1066.8	26.5	0	-1204.2
1982	-77.0	1262.5	1471.6	1345.6	14.2	0	-1199.4
1983	-205.0	1173.3	1421.0	1227.2	5.3	0	-1179.0
1984	127.7	1337.9	1262.0	1254.3	19.3	0	-1183.2
1985	93.9	1287.6	1312.6	1298.6	4.5	0	-1175.2
1986	-85.0	1366.8	1375.8	1115.8	13.4	0	-1178.4
1987	16.3	1384.3	1058.7	881.1	17.2	0	-1173.2
1988	0.7	1516.4	1143.7	881.6	57.7	0	-1195.9
1989	93.1	955.7	1324.9	1625.6	13.5	0	-1149.8
1990	-134.0	1108.9	1346.6	1303.0	15.3	0	-1184.1
1991	-30.1	1101.7	1218.8	1254.6	3.2	0	-1164.4
1992	11.1	996.2	1134.3	1020.5	1.4	0	-869.9

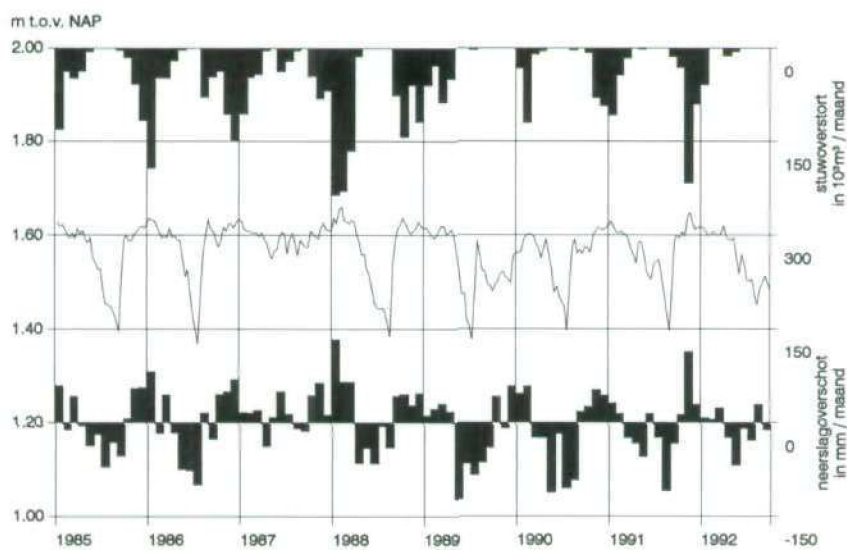
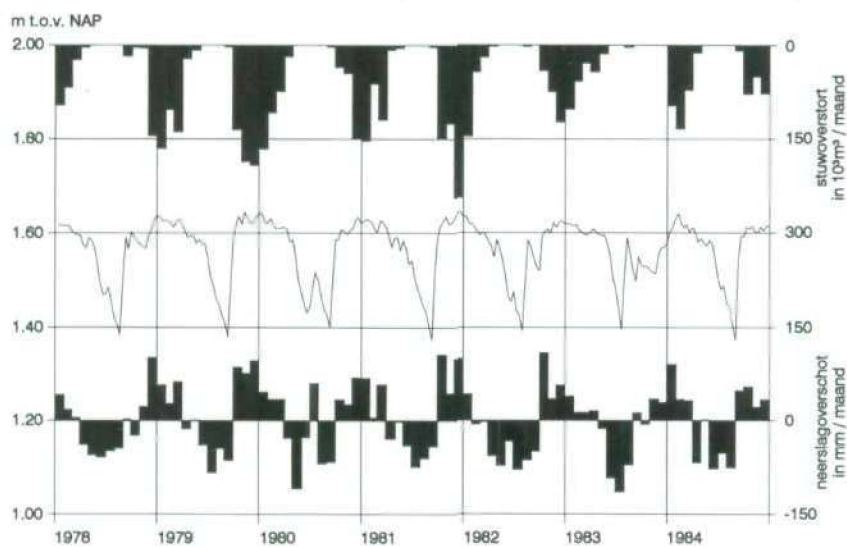
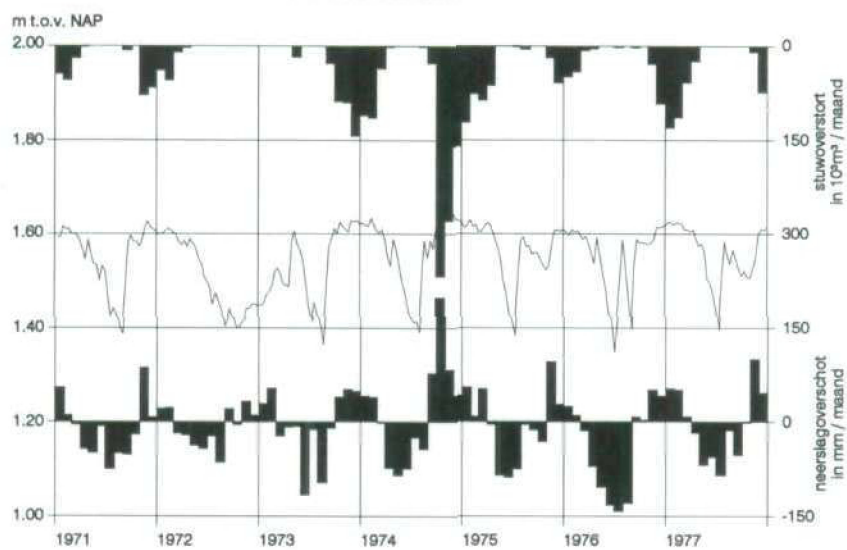
Bijlage 13.3, blad 1 Pompcapaciteiten per decade in mm/dag, scenario 6



Bijlage 13.3, blad 2 Pompcapaciteiten per decade in mm/dag, scenario 6



Bijlage 14.1 Peilverloop, neerslagoverschot en stuwoverschot, scenario 7



Bijlage 14.2 Waterbalans, scenario 7

A. eenheid = mm waterschijf

	Berging	Neerslag	Verdamping	Pomp	Overstort	Doorspoel	Kadekwal+ wegzijging
1971	21	607	744	320	101	0	-61
1972	-156	617	714	38	39	0	-58
1973	173	704	749	410	136	0	-57
1974	4	970	786	282	404	0	-56
1975	-16	756	814	257	160	0	-55
1976	8	429	884	655	84	55	-53
1977	-3	705	736	231	152	0	-51
1978	21	640	718	282	132	0	-50
1979	5	877	717	244	350	0	-49
1980	-21	754	752	244	220	0	-47
1981	16	868	732	244	319	0	-45
1982	-17	699	814	308	165	0	-44
1983	-39	649	786	231	91	0	-42
1984	36	740	698	230	196	0	-41
1985	10	713	726	231	168	0	-39
1986	9	756	761	321	269	0	-38
1987	-25	766	586	0	169	0	-37
1988	4	839	633	218	385	0	-34
1989	-53	529	733	270	84	0	-35
1990	60	614	745	359	129	0	-38
1991	-3	610	675	295	192	0	-40
1992	-134	551	628	0	28	0	-29

B. eenheid = 10^3 m^3

	Berging	Neerslag	Verdamping	Pomp	Overstort	Doorspoel	Kadekwal+ wegzijging
1971	37.7	1096.6	1345.1	579.1	183.3	0.0	-109.6
1972	-282.8	1115.3	1290.9	68.8	70.9	0.0	-105.0
1973	311.9	1272.1	1354.2	741.7	245.1	0.0	-102.7
1974	8.1	1752.6	1421.0	508.9	730.4	0.0	-101.9
1975	-28.5	1366.4	1471.6	464.1	288.6	0.0	-98.8
1976	15.0	776.1	1598.1	1184.3	151.8	100.0	-95.5
1977	-5.4	1274.5	1330.7	417.7	274.0	0.0	-92.9
1978	38.8	1156.3	1298.1	509.2	238.7	0.0	-89.9
1979	8.3	1584.0	1296.3	441.1	632.6	0.0	-87.9
1980	-38.6	1362.3	1359.6	440.2	397.1	0.0	-84.4
1981	28.6	1569.4	1323.4	440.2	575.6	0.0	-82.0
1982	-30.8	1262.5	1471.6	555.6	298.7	0.0	-78.7
1983	-71.1	1173.3	1421.0	417.5	165.2	0.0	-75.7
1984	64.9	1337.9	1262.0	415.9	353.3	0.0	-73.6
1985	18.9	1287.6	1312.6	417.1	303.2	0.0	-70.2
1986	16.8	1366.8	1375.8	580.5	486.6	0.0	-68.0
1987	-45.0	1384.3	1058.7	0.0	304.6	0.0	-66.0
1988	8.0	1516.4	1143.7	393.5	696.1	0.0	-62.1
1989	-96.2	955.7	1324.9	487.9	151.7	0.0	-63.3
1990	107.6	1108.9	1346.6	648.3	233.8	0.0	-69.3
1991	-4.6	1101.7	1218.8	532.6	347.5	0.0	-72.6
1992	-241.3	996.2	1134.3	0.0	50.6	0.0	-52.6

In de reeks Flevoverichten zijn na 1985 verschenen:

- 250. WAL, C. VAN DER. Dorpen in de IJsselmeerpolders. Lelystad, 1986.
 - 251. BRUINSHORST, J.A. en M.A. VIERGEVER. Statische proefbelastingen. Lelystad, 1985.
 - 252. Wadden en landaanwinning: voordrachten, gehouden voor de wetenschappelijke bijeenkomst in mei 1985. Lelystad, 1985.
 - 253. NAGTEGAAL, P. De beroepsvisserij in het IJsselmeergebied. Lelystad, 1985.
 - 254. Jaarverslag 1984 van de onderzoeksafdelingen van de Rijksdienst voor de IJsselmeerpolders. Lelystad, 1985.
 - 255. IEDEMA, C.W., en P. KIK. Habitatgebruik en voedselkeuze van grauwe ganzen in de Oostvaardersplassen. Lelystad, 1985.
 - 256. NOUTA, R. De voorgeschiedenis, afsluiting, ontginning en de verbouw van cultuurgewassen gedurende de tijdelijke exploitatie in de jaren 1971 t/m 1978 in de Lauwerzee. Lelystad, 1986.
 - 257. KRUITWAGEN, P.G. De invloed van verontreinigde neerslagafvoer op de oppervlaktewaterkwaliteit: een modelbenadering. Lelystad, 1986.
 - 258. ENTE, P.J., J. KONING en R. KOOPSTRA. De bodem van Oostelijk Flevoland. Lelystad, 1986.
 - 259. IEDEMA, C.W. en P. KIK. Het zoetwatermoeras de Oostvaardersplassen. Lelystad, 1986.
 - 260. Actualisering van het verkavelingsplan voor het oostelijk deel van Zuidelijk Flevoland eindredactie ir. F.W. Alberts. Lelystad, 1987.
 - 261. Verslag studiedag 14 maart 1986 gehouden in het expositiecentrum "Nieuw Land" te Lelystad met als thema "met het oog op de toekomst"/samenstelling J.E. Smid. Lelystad, 1986.
 - 262. VIERGEVER, M.A. De ondergrond van Almere: grondmechanische en funderingstechnische gegevens. Lelystad, 1986.
 - 263. LEGET, M. De economische ontwikkeling en structuur van de Zuidelijke IJsselmeerpolders. Lelystad, 1987.
 - 264. HAAR, E. TER, en A. VAN STRATEN. Verblifsrecreanten in Flevoland: een inventariserend en evaluerend onderzoek naar het gedrag van verblifsrecreanten, in relatie tot inrichtingskenmerken op 15 verblijfssterreinen in Flevoland in augustus 1983. Lelystad, 1987.
 - 265. ACHT, W.H.M. VAN, T.J. KAMPHORST en L. TIGELAAR. Beleving, waardering en kennis van natuur bij inwoners van Almere en Huizen. Lelystad, 1986.
 - 266. ZIJLSTRA, M. De weidevogelbevolking van de Kievitslanden in de periode 1966-1982. Lelystad, 1986.
 - 267. BOELEN, J.J., en E. KONING. Grondverbetering in de IJsselmeerpolders. Lelystad, 1986.
 - 268. BERGER, C., e.a. De kans op blauwalgenbloei in de randmeren van de Markerwaard. Lelystad, 1986.
 - 269. Wording en opbouw van de Noordoostpolder: geschiedenis van de ontginning en eerste ontwikkeling (1940-ca 1960). Lelystad, 1986.
 - 269. Wording en opbouw van de Noordoostpolder: geschiedenis van de ontginning en eerste ontwikkeling (1940-ca 1960). Deel 2; Het in cultuur brengen der drooggevalen gronden. Lelystad, 1988.
 - 269. Wording en opbouw van de Noordoostpolder: geschiedenis van de ontginning en eerste ontwikkeling (1940-ca 1960). Deel 3; De inrichting en ontwikkeling van het landbouwgebied. Lelystad, 1988.
 - 269. Wording en opbouw van de Noordoostpolder: geschiedenis van de ontginning en eerste ontwikkeling (1940-ca 1960). Deel 4; De ontwikkeling der dorpen. Lelystad, 1988.
 - 271. KONING, J., en P.J. ENTE. De bodemkundige code- en profielenkaart van Zuidelijk Flevoland, schaal 1:25000, kaartbladen, toelichting. Lelystad, 1986.
 - 272. Ervaringen met spuitvrije akkerbouw op bedrijf NZ 27. Lelystad, 1986.
 - 273. EERDEN, M.R. Van en M. ZIJLSTRA. Natuurwaarden van het IJsselmeergebied: prognose van enige natuurwaarden in het IJsselmeergebied bij aanleg van de Markerwaard. Lelystad, 1986.
 - 274. FRIELING, D.H. De IJsselmeerpolders: een voorbeeld van ruimtelijke ordening in Nederland, The IJsselmeerpolders: an example of physical planning in the Netherlands. Lelystad, 1986.
 - 275. Studie naar de inpassing van geluidshinderaspecten voor weg- en railverkeer in de bestemmingsplannen van Almere/W.F. Landheer, J.E. Smid, C.G.M. Willems (et al.) Lelystad, 1986.
 - 276. ACHT, W.H.M. VAN. Natuurbouw in stadsrandgebieden. Lelystad, 1987.
 - 277. ROZENDAAL, H., en H.A. VAN MANEN. Het grondwater in het ondiepe pleistocene pakket in Zuidelijk Flevoland (stijghoogte, kwel en kwaliteit), over de periode april 1981-april 1984. Lelystad, 1987.
-

278. Bodemkundig en waterhuishoudkundig onderzoek ten behoeve van de inrichting van het militaire oefenterrein in de Marnewaard (Lauwerszee)/eindred. R.J. de Glopper. Lelystad, 1988.
279. NOUTA, R. De voorgeschiedenis, afsluiting, ontginning en de verbouw van cultuurgewassen gedurende de tijdelijke exploitatie in de Lauwerszee, 2e verbeterde druk. Lelystad, 1987.
280. Raakvlakken tussen scheepsarcheologie, maritieme geschiedenis en scheepsbouwkunde: inleidingen gehouden tijdens het Glavimans Symposium 1985 / red. R. Reinders. Lelystad, 1987.
281. Jaarverslag 1985 van de onderzoeksafdelingen van de Rijksdienst voor de IJsselmeerpolders / eindred. ir. A.J. Hebbink.
282. Ontwikkelingsvisie Oostvaardersplassen / Beheerscommissie Oostvaardersplassen; eindred. G.K.R. Poiman en S. Schmidt-ter Neuzen. Lelystad, 1987.
283. New Land: push to mechanization; Amsterdam, 20 to 23 January 1986, congress papers/compiled by A.W. Berkers and H.J. Nijland. Lelystad, 1987.
284. MEBIUS, J.E. Zetting door historische processen in de holocene lagen in het Noord-Hollandse randgebied van de Markerwaard. Lelystad, 1987.
285. Jaarverslag 1986 van de onderzoeksafdelingen van de Rijksdienst voor de IJsselmeerpolders/eindred. ir. A.J. Hebbink. Lelystad, 1988.
286. VOSLAMBER, B. Visplaatskeuze, fourageerwijze en voedselkeuze van aalscholvers in het IJsselmeergebied in 1982. Lelystad, 1988.
287. SLAGER, H., en G.F.J. SMIT. De buitendijkse natuurgebieden langs de Friese IJsselmeerkust: bodem, grondwater en vegetatie. Lelystad, 1988.
288. KLOOSTER, E.W. Arbeidsmarkt en uitgaande pendel Almere 1987. Lelystad, 1988.
289. SMIT, G.F.J. en J. VISSER. Voormalige zandplaten in het Veerse Meer: grondwater en vegetatie. Lelystad, 1988.
290. KLOOSTER, E.W. Arbeidsmarkt en uitgaande pendel gemeente Lelystad 1987. Lelystad, 1988.
291. SCHOLTEN, J. Vijftientig jaar drainagematerialenonderzoek bij de Rijksdienst voor de IJsselmeerpolders. Lelystad, 1988.
292. ZWIERS, P.B., en K. VLIERMAN. De Lutina, een Overijssels vrachtschip vergaan in 1888: het onderzoek van een vrachtschip gevonden op kavel H 48 in Oostelijk Flevoland. Lelystad, 1988.
293. Polderlandschap als cultuurlandschap: symposiumverslag Genootschap Flevo. Lelystad, 1988.
294. ZWARTS, L. De Bodemfauna van de Fries-Groningse Waddenkust. Lelystad, 1988.
295. CONSTANDSE, A.K. Boeren in Flevoland 2: nieuwe beschouwingen over plattelandscultuur in de nieuwe IJsselmeerpolders. Lelystad, 1988.
296. KLOOSTER, E.W. Arbeidsmarkt en uitgaande pendel gemeente Zeewolde 1987. Lelystad, 1989.
297. Jaarverslag 1987 van de onderzoeksafdelingen van de Rijksdienst voor de IJsselmeerpolders, eindredactie ir. H.J. Winkels. Lelystad, 1989.
298. NAWIJN, K.E. Almere hoe het begon: achtergronden, herinneringen en feiten uit de eerste ontwikkelingsjaren van Almere. Lelystad, 1988.
299. KLOOSTER, E.W. Arbeidsmarkt en uitgaande pendel in drie plattelandsgemeenten: Dronten, Noordoostpolder en Urk. Lelystad, 1990.
300. 't Blijft mensenwerk. Een bundel opstellen aangeboden aan prof. dr. R.H.A. van Duin i.i. bij zijn ambtelijk afscheid / eindred. A.K. Constandse, J.H. van Kampen en S. Schmidt-ter Neuzen. Lelystad, 1989.
301. NIP, J., en A. Arnoldussen. Ontwikkelingsplan Horsterwold. Lelystad, 1991.
302. HABEKOTTE, A. Invloed van de zaaitijd op opbrengst en ontwikkeling van winterkoolzaad en granen. Lelystad, 1991.
303. BEEMSTER, N., H. DROST en M.R. VAN EERDEN. Evaluatie van het beheer in het natuurgebied in het Lauwersmeer in de periode 1982-1987. Lelystad, 1989.
304. LEMKES-STRAVER, E.P.J. De starterscompetitie Flevoland 1982/1983: een nabeschuiving. Lelystad, 1991.
305. Richtlijnen voor veldwerkzaamheden bij de afdeling Waterhuishouding; eindredactie H. de Roo. Lelystad, 1989.
306. GLOPPER, R.J. de. Land subsidence and soil ripening. Lelystad, 1989.
307. Randmerensymposium. Verslag van inleiding en discussie van het symposium over de Randmeren van Flevoland, Genootschap Flevo 9-6-1989. Lelystad, 1991.
308. Op stap in het Zuiderzeeproject. Publikatie van lezingen, gehouden tijdens de HLI-woensdagochtendbijeenkomst 17 mei 1989, ter gelegenheid van het afscheid van dr. J.H. van Kampen als directeur landinrichting. Eindredactie E. ten Berge. Lelystad, 1991.
309. Jaarverslag 1988 van de onderzoeksafdelingen van de RIJP (RWS, directie Flevoland i.o.). Eindredactie H.J. Winkels. Lelystad, 1991.
310. Beheersvisie Krammer-Volkerak, Eendracht en Zoommeer. Lelystad, 1991.
311. CONSTANDSE, A.K., M.K. SCHONK en H.J. van HAPEREN. Leven in Lelystad 1988: voortgezet onderzoek naar de kwaliteit van het bestaan in een nieuwe stad. Lelystad, 1991.
312. SLAGER, H., en J. VISSER. Abiotische kenmerken van de drooggevalen gebieden in de Grevelingen. Lelystad, 1990.
313. LINDEN, M.J.H.A. VAN DER. Nitrogen and phosphorus economy of reed vegetation in the polder Zuidelijk Flevoland (The Netherlands). Lelystad, 1991.
316. PAS, J.B. VAN DER, W. BOXSEM en W. DE VRIES. Beplanting in de Lauwerszee: beheerervaring met bos- en landschappelijke beplantingen in de periode 1971-1987. Lelystad, 1990.

-
317. De bedrijfsgrootte voor akkerbouwbedrijven in het Centraal kleigebied (een verkennende studie). Lelystad, 1990.
 318. DEGENAAR, J.H.M. Winkelplanning Zeewolde 1990 en volgende jaren. Lelystad, 1990.
 319. WAL, C. VAN DER. De ruimtelijke opbouw van de Noordoostpolder: jongere bouwkunst en stedenbouw in de Noordoostpolder.
 320. Design and execution of drainage projects in Egypt, ed. H.J. Nijland. Lelystad, 1991.
 321. GROEN, K.P. De geschiedenis van het zoutonderzoek in Nederland. Lelystad, 1991.
 322. Scheepsarcheologie: prioriteiten en lopend onderzoek; inleidingen gehouden tijdens de Falvimans symposia in 1986 en 1988. Red. Reinder Reinders en Rob Oosting. Lelystad, 1991.
 323. OOSTING, R. en K. VLIERMAN. De Zeehond, een Groninger tjalk gebouwd in 1878, vergaan in 1886. Lelystad, 1991.
 324. POORTER, E.P.R. Bewick's swans *cygnus columbianus bewickii*, analyses of breeding success and changing resources. Lelystad, 1991.
 325. WINKELS, H.J. en A. VAN DIEM. Opbouw en kwaliteit van de waterbodem van het Ketelmeer. Lelystad, 1991.
 326. VINK, J.P.M. en H.J. WINKELS. Opbouw en kwaliteit van de waterbodem van het IJsselmeer. Lelystad, 1992.
 327. SLAGER, H. De waterhuishouding van de bossen in Zuidelijk Flevoland 1980-1989. Lelystad, 1991.
 328. Jaaroverzicht scheepvaart IJsselmeergebied 1990. Lelystad 1991.
 329. Krammer-Volkerak zoet en helder. Lelystad, 1991.
 330. VIERGEVER, M.A. Evaluatie van het lange termijn zettingsonderzoek in Almere. Lelystad, 1991.
 331. MOORTELE, A. VAN DE. A cog-like vessel from The Netherlands. Lelystad, 1991.
 332. GLOPPER, R.J. DE, A.G.M. MINTEN en H.J. WINKELS. Chemische rijping van de bodem in Zuidelijk Flevoland. Lelystad, 1992.
 333. Zand boven water deel 1: beleidsnota oppervlaktedelfstoffenwinning wateren IJsselmeergebied 1991-2000. Lelystad, 1991.
 334. Zand boven water deel 2: milieu-effectrapport oppervlaktedelfstoffenwinning wateren IJsselmeergebied 1991-2000. Lelystad, 1991.
 335. Integraal waterbeheer Ketelmeer: nader onderzoek bodem Ketelmeer. Lelystad, 1992.
 336. Jaaroverzicht scheepvaart IJsselmeergebied 1991. Lelystad, 1992.
 337. Milieu-effectrapport en projectnota: baggerspeciebergingslocatie Ketelmeergebied deel 1: afweging van varianten. Lelystad, 1992.
 338. Integraal waterbeheer Ketelmeer: saneringsonderzoek waterbodem Ketelmeer. Lelystad, 1992.
 339. Jaaroverzicht scheepvaart IJsselmeergebied 1992. Lelystad, 1993.
 340. DUIJN, R.H.A. van. Wel en wee rond de Oostvaardersplassen en de inrichting van Zuidelijk Flevoland. Lelystad, 1993.
 341. HEERDT, G. TER. Zaadvorraad in de bodem van open water in het Oostelijk peilgebied van de Oostvaardersplassen. Lelystad, 1993.
 342. BERG, G.A. VAN DEN, EN J.P.G. LOCH. De chemie van verontreinigd baggerslib in depot: een kennisinventarisatie. Lelystad, 1993.
 343. Zand boven water deel 3: aanvullingen op het milieu-effectrapport oppervlaktedelfstoffenwinning wateren IJsselmeergebied. Lelystad, 1993.
 344. WINKELS, H.J., EN J.P.M. VINK. Bodemopbouw, bodemkwaliteit en hoogteligging van de Biesboschpolders Mariapolder, Plattehoek en Vijf Ambachten. Lelystad, 1993.
 345. HEERDT, G.N.J. TER. De invloed van de weersomstandigheden op de ontwikkeling van pionier- en lisdoddevegetaties in een drooggevalen plas. Lelystad, 1993.
 346. HAAR, E. TER. Recreatief-toeristische bedrijvigheid in het IJsselmeergebied. Lelystad, 1993.
 347. HOUWEN, C. VAN DER. Economische modellering van akkerbouwbedrijven in Zuidelijk Flevoland in relatie tot milieu en EG-beleid. Lelystad, 1993.
 348. CORNELISSEN, P., J.T. VULING EN H.J. DROST. Integraal begrazingsadvies Krammer-Volkerak, Eendracht, Zoommeer 1992. Lelystad, 1994.
 349. Milieu-effectrapport en projectnota deel 2: uitwerking depot-ontwerp. Lelystad, 1994.
 350. Overzicht scheepvaart IJsselmeergebied 1993. Lelystad, 1994.
 351. Markiezaat 10 jaar afgesloten / Y.J.B. Röling (eindred.) Lelystad, 1994.
 352. ELBERSEN, B.S. Flexibiliteit van de landbouwstructuur op het nieuwe land. Lelystad, 1994.
 353. HOEKSTRA, A., EN T. VULINK. De sociale organisatie van een kudde Heckrunderen: het ontstaan van stiergroepen. Lelystad, 1994.
 354. BEEMSTER, A.H. EN A.J. HEBBINK. Onderzoek naar de hydrologische effecten van zandwinning in het IJsselmeer op de kavels langs de Noordermeerdijk. Lelystad, 1994.
 355. DEURSEN, E.J.M. VAN. Modellering van de vegetatie-ontwikkeling in het binnenkaadse gebied van de Oostvaardersplassen bij verschillende waterpeilsceenario's. Lelystad, 1994.
 356. HANGANU, J. and H.J. DROST. Explanation to the vegetation map of the Romanian, Danube Delta Biosphere Reserve. Lelystad, 1994.
 357. WOLTERS, H.A. Neerslag en afvoer in het landelijk gebied van Flevoland. Lelystad, 1994.
 358. niet verschenen.
 359. niet verschenen.
 360. Ecologisch onderzoek in het proefgebied "De Waterlanden". Deel A: hoofdrapport / J. Poot (nog niet verschenen).
 361. Ecologisch onderzoek in het proefgebied "De Waterlanden". Deel B: Bodemfysische aspecten / J.J. Schout (nog niet verschenen).
-

-
362. Ecologisch onderzoek in het proefgebied "De Waterlanden". Deel C: Waterhuishoudkundige aspecten / H.A. Wolters (nog niet verschenen).
363. Ecologisch onderzoek in het proefgebied "De Waterlanden". Deel D: Waterkwaliteitsaspecten en het model Aiga / S.G. Vermij (nog niet verschenen).
364. Ecologisch onderzoek in het proefgebied "De Waterlanden". Deel E: Dierecologische aspecten/B. Voslamber (nog niet verschenen).
365. MEULEN, Y. VAN DER en H. WINKELS. Monitoring in het Nationaal park de Biesbosch (nog niet verschenen).
366. HUIJSER, M.P. en Y.J.B. RÖLING. Effecten van begrazing door grote herbivoren op de vegetatie in het Lauwersmeergebied (nog niet verschenen).
367. CORNELISSEN, P. en T. VERLINK. Begrazing in jonge wetlands: Lauwersmeer, Zoutkamperplaat, Oostvaardersplassen, Het Stort, Grevelingen, Slikken van Flakkee (nog niet verschenen).
368. MANEN, H.A. VAN. Waterbalans van de Binnenschelde (nog niet verschenen).
-

