

Waterbalansen voor de polders Atsjetille, Edens, Rodenburg en Grouster Laagland

**Rapportage over de gegevensverwerking en
de waterbalansen van de meetplichtige
gebieden binnen Wetterskip Marne-Middelsee
voor 1997, 1998 en 1999**

W. Boiten, R. Velner, R. Dijkma en J.W. Kole

Rapport 111

Sectie Waterhuishouding
Nieuwe Kanaal 11, 6709 PA Wageningen
Internet: www.dow.wau.nl/whh

ISSN 0926-230X

1/51693

Inhoud

| | | |
|----------|---|-----------|
| 1 | INLEIDING EN SAMENVATTING..... | 3 |
| 1.1 | INLEIDING..... | 3 |
| 1.2 | SAMENVATTING | 6 |
| 2 | GEBIEDSBESCHRIJVINGEN | 7 |
| 2.1 | INLEIDING..... | 7 |
| 2.2 | ATSJETILLE | 8 |
| 2.3 | EDENS | 8 |
| 2.4 | RODENBURG..... | 8 |
| 2.5 | GROUSTER LAAGLAND..... | 9 |
| 3 | DE WATERBALANS | 10 |
| 3.1 | DE BALANSTERMEN..... | 10 |
| 3.2 | BEPALING VAN DE BALANSTERMEN..... | 11 |
| 4 | MEETREEKS ANALYSE EN VERWERKINGSMETHODE | 16 |
| 4.1 | TEMPERATUUR..... | 16 |
| 4.2 | NEERSLAG..... | 16 |
| 4.3 | INLAAT VAN OPPERVLAKTEWATER..... | 17 |
| 4.3.1 | <i>Stuwen</i> | 17 |
| 4.3.2 | <i>Afsluiters</i> | 18 |
| 4.4 | KWEL EN WEGZIJGING | 19 |
| 4.4.1 | <i>Verticale flux</i> | 19 |
| 4.4.2 | <i>Dijkkwel</i> | 20 |
| 4.5 | BERGINGSVERANDERING..... | 22 |
| 4.6 | VERDAMPING | 22 |
| 4.7 | AFVOER VAN OPPERVLAKTEWATER | 24 |
| 5 | WATERBALANSEN | 25 |
| 5.1 | INLEIDING..... | 25 |
| 5.2 | ATSJETILLE | 27 |
| 5.3 | EDENS | 29 |
| 5.4 | RODENBURG..... | 31 |
| 5.5 | GROUSTER LAAGLAND..... | 33 |
| 5.6 | OVERZICHT RESTTERMEN | 35 |
| 6 | FOUTENANALYSE | 36 |
| 6.1 | INLEIDING..... | 36 |
| 6.2 | ALGEMEEN FOUTENMODEL | 36 |
| 6.3 | WERKWIJZE..... | 38 |
| 6.4 | TOETSEN VAN DE WATERBALANSEN..... | 38 |
| 6.5 | CONCLUSIE..... | 43 |
| 7 | EVALUATIE WATERBALANSEN | 44 |
| 7.1 | INLEIDING..... | 44 |
| 7.2 | FOUTGEVOELIGHEID VAN DE BALANSTERMEN | 44 |
| 7.3 | GEWENSTE AANPASSINGEN NAAR AANLEIDING VAN ZWAKKE PUNTEN | 47 |
| 7.4 | NASCHRIFT..... | 48 |
| | LIJST MET TABELLEN | 50 |
| | LIJST MET FIGUREN EN FOTOBLADEN | 51 |

LITERATUURLIJST52

BIJLAGEN.....54

| | | |
|---------------|--|----|
| BIJLAGE I | DE MEETGEBIEDEN..... | 55 |
| BIJLAGE II | GEGEVENS VAN DE GEBRUIKTE PEILBUIZEN..... | 60 |
| BIJLAGE III | PEILBUIZEN GEBRUIKT BIJ DE TERMEN G EN ΔS..... | 61 |
| BIJLAGE IV | TEMPERATUREN LEEUWARDEN 1998 EN 1999..... | 62 |
| BIJLAGE V | VERGELIJK NEERSLAG KNMI - EDENS | 63 |
| BIJLAGE VI | ONTWERP MEETSTUWEN | 64 |
| BIJLAGE VII | DEBIETEN STUWEN IN 1998 EN 1999..... | 71 |
| BIJLAGE VIII | CALIBRATIE AFSLUITERS..... | 74 |
| BIJLAGE IX | PEILEN IN POLDER ATSJETILLE..... | 78 |
| BIJLAGE X | PEILEN IN POLDER EDENS | 79 |
| BIJLAGE XI | VERDAMPING: MAKKINK EN RS-TECHNIEKEN..... | 80 |
| BIJLAGE XII | RELATIE TUSSEN NEERSLAGOVERSCHOT EN UITGESLAGEN HOEVEELHEID WATER | 84 |
| FOTOBLOED I | GROUWSTER LAAGLAND, WATERINLAAT EN BEMALING..... | 86 |
| FOTOBLOED II | CALIBRATIE GEMAAL RODENBURG IN APRIL 1995 | 87 |
| FOTOBLOED III | WATERINLAAT NAUWE GALLE, GROUWSTER LAAGLAND..... | 88 |
| FOTOBLOED IV | INLAAT, GEMETEN MET MEETSTUWEN, INSTALLATIE ZOMER 1996 | 89 |

1 Inleiding en samenvatting

1.1 Inleiding

Dit rapport behelst de waterbalans van de polders Atsjetille, Edens, Rodenburg en Grouster Laagland voor de jaren 1997, 1998 en 1999. Deze polders zijn gelegen in het beheersgebied van het Friese waterschap "Wetterskip Marne-Middelsee".

Op 22 december 1994 verleenden het waterschap "De Middelsékrite" en het waterschap "It Marnelân" in een gezamenlijk schrijven opdracht aan de toenmalige Landbouwniversiteit Wageningen, vakgroep Waterhuishouding, tot het uitvoeren van advieswerk ten behoeve van het opstellen van een hydrologisch meetplan voor vier "meetplichtige gebieden", de polders Atsjetille, Edens, Rodenburg en Grouster Laagland.

Het advieswerk houdt in grote lijnen de volgende werkzaamheden in:

- Het opstellen van de hydrologische meetnetten: de locatie en de wijze waarop, neerslag en verdamping, kwel en wegzijging, en de ingelaten en uitgeslagen hoeveelheden water worden bepaald.
- Calibratie van de gemalen.
- Ontwerp van een aantal meetstuwen achter de belangrijkste inlaatpunten.
- Calibratie van een KWT afsluiter voor een aantal minder belangrijke inlaatpunten.
- De gegevensverwerking en het daaruit opstellen van de waterbalansen.
- Rapportage over het uitgevoerde werk.

De waterbalansen van de vier polders voor het 4e kwartaal van 1996 zijn te vinden in het rapport: "Verslag over de gegevensverwerking en de waterbalansen van de meetplichtige gebieden binnen het Wetterskip Marne-Middelsee. periode 4e kwartaal 1996" (Boiten, 1997). Voor het jaar 1997 en het 1e kwartaal van 1998 zijn de waterbalansen te vinden in het rapport: "Voortgangsrapportage over de gegevensverwerking en de waterbalansen van de meetplichtige gebieden binnen het Wetterskip Marne-Middelsee" (Boiten, 1999). Het grondwaterregime van de meetgebieden wordt beschreven in het lwaco rapport "Grondwaterrapportage meetgebieden Fryslan Deel 1" (Busch et. al., 1999).

De Landbouwniversiteit Wageningen heeft inmiddels een naamsverandering ondergaan en heet nu Wageningen Universiteit. De vakgroep Waterhuishouding heet nu sectie Waterhuishouding. Daarnaast zijn de twee eerder genoemde waterschappen gefuseerd tot het Wetterskip Marne-Middelsee. Op 14 december 1999 verleende Wetterskip Marne-Middelsee een vervolgoopdracht voor de gegevensverwerking van de vier meetgebieden en de rapportage daarvan over de periode van 1 april 1998 tot en met 31 december 1999, conform de LUW offerte van 19 oktober 1999.

Dit is de rapportage ten behoeve van de laatstgenoemde opdracht. Het advieswerk van de sectie Waterhuishouding van Wageningen Universiteit, ten

behoefte van deze opdracht, is uitgevoerd door de heren R. Dijkstra, J.W. Kole, R. Velner en W. Boiten, van wie de laatstgenoemde de projectleider is.

De bepaling van de actuele gewas verdamping met Remote Sensing technieken is uitgevoerd door het bureau WaterWatch te Wageningen.

Het team van de sectie Waterhuishouding ziet met voldoening terug op de goede samenwerking met de medewerkers van Wetterskip Marne-Middelsee, met name de heer J.J. Koersma voor zijn bijdrage in het overleg, de rondleidingen en het aanleveren van de veldgegevens.

Het team van de sectie Waterhuishouding is zeer erkentelijk voor de ondersteuning, gegeven door dr. ir. M.F.P. Bierkens van Alterra bij het formuleren van de onzekerheden en foutenmarges in waterbalansen, zoals behandeld in hoofdstuk 6.

De benodigde meetgegevens voor het opstellen van de waterbalans komen van diverse leveranciers:

Tabel 1 Leveranciers van gegevens

| Grootheden | termen | leverancier |
|--------------------------|-----------------------|-----------------------------|
| Neerslag en verdamping | P en ET_r | KNMI |
| Grondwaterstanden | G en S | Provinsje Fryslân via Iwaco |
| Debieten en waterstanden | Q_{in} en Q_{uit} | Wetterskip Marne-Middelsee |

Activiteiten in de periode mei 1994 tot en met maart 2002:

- Mei – Juni 1994 Eerste overleg met de waterschappen.
- Juni – Juli 1994 Verzoek om een offerte voor een meetplan door de waterschappen.
- Augustus 1994 Veldbezoek aan de vier meetplichtige gebieden.
- Aug. – Nov. 1994 Offerte en bijstelling offertebedrag.
- December 1994 Opdracht
- Januari 1995 Overleg met beide waterschappen over de invulling van het werkplan.
- Februari 1995 Veldbezoek aan de gemalen en de inlaatpunten.
- Maart 1995 Veldbezoek ter voorbereiding van de calibratie van de gemalen.
- April 1995 Calibratie van de gemalen in de polders Rodenburg en Atsjetille.
- April 1995 Overleg met beide waterschappen over de meetnetten voor grondwaterstanden.
- Mei – Juni 1995 Ontwerp van de zes meetstuwen.
- Herfst 1995 Plaatsing grondwaterpeilbuizen (in opdracht van Provinsje Fryslân).
- Zomer 1996 Installatie van de meetstuwen door de waterschappen.
- November 1996 Overleg met waterschap Middelsékrite over de voortgang van het advieswerk.

| | |
|-----------------------|--|
| <u>April 1997</u> | Overleg met het Wetterskip Marne-Middelsee over de afspraken met betrekking tot de rapportage. |
| <u>Juni 1997</u> | Eerste verslag over de gegevensverwerking en de waterbalansen van de meetplichtige gebieden binnen het Wetterskip Marne-Middelsee: 4 ^o kwartaal 1996. |
| <u>November 1997</u> | Overleg met Wetterskip Marne-Middelsee: bespreking van het verslag 4 ^o kwartaal 1996. |
| <u>Oktober 1998</u> | Overleg met het Wetterskip Marne-Middelsee: afspraken ten behoeve van het opstellen van de waterbalansen over 1997 en het 1 ^o kwartaal 1998. |
| <u>Oktober 1999</u> | Offerte: voortzetting gegevensbewerking tot en met 31 december 1999. |
| <u>December 2000</u> | Opdracht. |
| <u>Februari 2000</u> | Toezening aan Wetterskip Marne-Middelsee van de voortgangsrapportage over de gegevensverwerking en de waterbalansen over 1997 en het 1 ^o kwartaal van 1998. |
| <u>Januari 2001</u> | Voortgangsoverleg met het Wetterskip Marne-Middelsee: afspraken ten behoeve van het opstellen van de waterbalansen over de periode: april 1998 tot en met december 1999. |
| <u>Februari 2001</u> | Akkoord over een aanvullend budget met betrekking tot het inschakelen van Bureau WaterWatch (voor de bepaling actuele gewasverdamping met Remote Sensing technieken). |
| <u>September 2001</u> | Voortgangsoverleg met het Wetterskip Marne-Middelsee: bespreking van de conceptrapportage over de periode: april 1998 tot en met december 1999. |
| <u>Maart 2002</u> | Eindbespreking conceptrapportage |

Dit verslag is als volgt opgebouwd:

In hoofdstuk 2 wordt elk meetgebied kort beschreven, in Bijlage I kunnen kaarten worden gevonden van de meetplichtige gebieden.

In hoofdstuk 3 wordt de waterbalans in het algemeen behandeld. Er wordt beschreven, welke termen er worden berekend en op welke manier.

In hoofdstuk 4 worden de gegevens over de polders en de manier waarop deze zijn gebruikt bij de berekening van de waterbalansen, beschreven.

In hoofdstuk 5 zijn de waterbalansen gegeven van de vier meetgebieden voor de jaren 1997, 1998 en 1999.

In hoofdstuk 6 worden de onzekerheden en foutenmarges van de berekende balansen behandeld. En er wordt aangegeven waar de foutenmarge moet worden verkleind.

Hoofdstuk 7 bevat de evaluatie van de waterbalansen, inclusief gewenste aanpassingen in de meetnetten.

1.2 Samenvatting

In dit rapport wordt de berekening beschreven van de waterbalansen van de polders Atsjetille, Edens, Rodenburg en Grouster Laagland voor de jaren 1997, 1998 en 1999. Deze polders zijn gelegen in het beheersgebied van het Friese waterschap "Wetterskip Marne-Middelsee". Een waterbalans is een weergave van de hoeveelheid inkomend water, de hoeveelheid uitgaand water en een restterm in een bepaald gebied. De som van deze drie termen is gelijk aan nul.

Wanneer er naar de resultaten gekeken wordt, zien we dat de maandbalansen grote resttermen bevatten. Deze resttermen zijn zowel positief als negatief. Waarschijnlijk zijn deze veroorzaakt door fouten in de berekening van diepe kwel of wegzijging, dijkkwel en de bergingsverandering. Een andere oorzaak van onzekerheid is het ontbreken van een deel van de gegevens. Voor zowel gemaalgegevens als peilgegevens zijn er hiaten in de gegevensreeksen.

Wanneer de maanden tot halve jaren worden gesommeerd, komt de polder Atsjetille behoorlijk dicht bij een sluitende balans. Voor de andere polders geven de sommaties voor de halve jaren grote resttermen, zowel positief als negatief. In de hoofdstukken 6 en 7 wordt uitgebreid ingegaan op het niet sluitend zijn van de waterbalansen en tot welke aanbevelingen dit leidt. In de tabellen hieronder zijn de balansen voor de kalenderjaren 1997, 1998 en 1999 gegeven.

Tabel 2 Jaarbalansen voor de meetgebieden

Waterbalansen polder Atsjetille

| termen [mm] | | | | | | | Rest |
|-------------|-----|-----------------|-----|-----|------------------|------------|------|
| Jaar | P | Q _{in} | G | ET | Q _{uit} | ΔS | R |
| 1997 | 635 | 19 | 206 | 542 | 201 | 24 | 93 |
| 1998 | 953 | 80 | 100 | 335 | 689 | 60 | 50 |
| 1999 | 913 | 178 | 175 | 605 | 434 | -14 | 241 |

Waterbalansen polder Edens

| termen [mm] | | | | | | | Rest |
|-------------|------|-----------------|-----|-----|------------------|------------|------|
| Jaar | P | Q _{in} | G | ET | Q _{uit} | ΔS | R |
| 1997 | 650 | 65 | 187 | 563 | 125 | -5 | 219 |
| 1998 | 1031 | 42 | -68 | 337 | 662 | 2 | 3 |
| 1999 | 942 | 86 | 63 | 608 | 447 | -149 | 186 |

Waterbalansen polder Rodenburg

| termen [mm] | | | | | | | Rest |
|-------------|------|-----------------|-----|-----|------------------|------------|------|
| Jaar | P | Q _{in} | G | ET | Q _{uit} | ΔS | R |
| 1997 | 665 | 6 | 231 | 563 | 283 | 7 | 49 |
| 1998 | 1090 | 2 | 135 | 354 | 686 | 3 | 184 |
| 1999 | 912 | 3 | 208 | 667 | 516 | -25 | -34 |

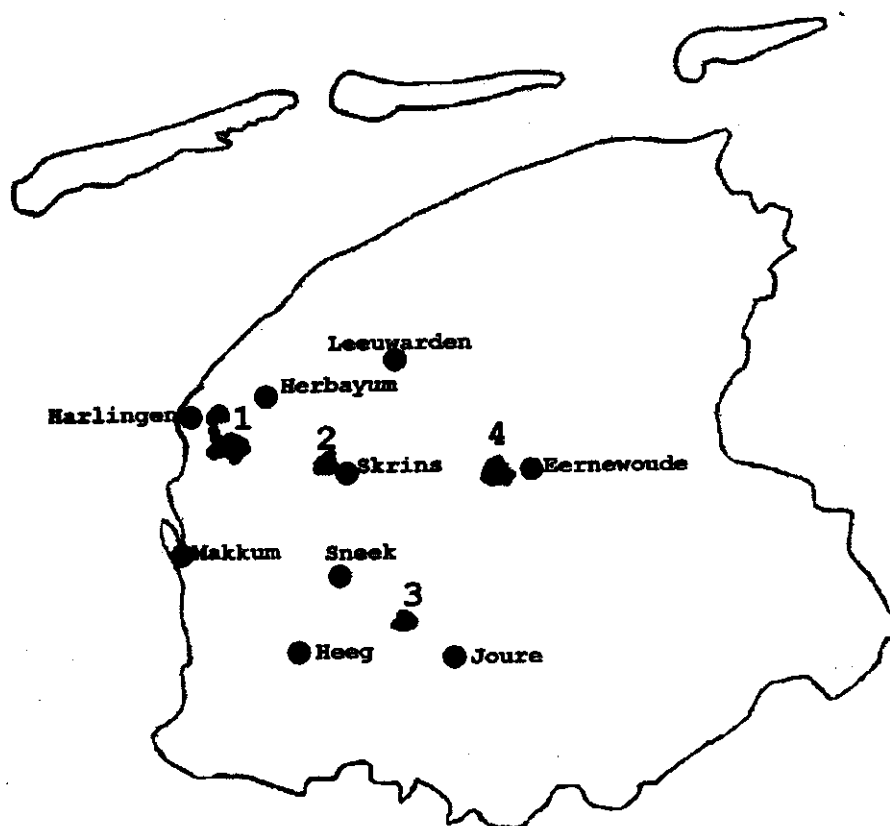
Waterbalansen Grouster Laagland

| termen [mm] | | | | | | | Rest |
|-------------|------|-----------------|-----|-----|------------------|------------|------|
| Jaar | P | Q _{in} | G | ET | Q _{uit} | ΔS | R |
| 1997 | 653 | 95 | 268 | 563 | 472 | 4 | -22 |
| 1998 | 1063 | 187 | 144 | 341 | 906 | 18 | 129 |
| 1999 | 888 | 41 | 136 | 626 | 715 | -20 | -257 |

2 Gebiedsbeschrijvingen

2.1 Inleiding

De vier polders in Fryslân worden in de verticaal begrensd door het maaiveld aan de bovenkant en de onderbegrenzing wordt gevormd door een slechtdoorlatende laag onder de deklaag. De horizontale begrenzing wordt gevormd door de Friese boezem en de dijken die om de polders heen liggen. Wanneer er in het vervolg wordt gesproken over "gebied" of "de gebieden", wordt het gebied met deze grenzen bedoeld. In de volgende paragrafen worden korte beschrijvingen van de meetgebieden gegeven. In Figuur 1 is te zien waar de polders in Fryslân liggen. In de figuren 3 tot en met 6 in Bijlage I zijn de kaarten van de vier polders met vermelding van alle meetpunten weergegeven.



Figuur 1 De ligging van de vier polders in Fryslân

1. Atsjetille
2. Edens
3. Rodenburg
4. Grouster Laagland

In bovenstaande figuur zijn ook de KNMI meetstations aangegeven, zoals vermeld in paragraaf 3.2, Tabel 3.

2.2 Atsjetille

Het meetgebied "Atsjetille" ligt ten zuidoosten van Harlingen en maakt deel uit van de gemeenten Harlingen, Franekeradiel en Wûnseradiel. De Harlingervaart vormt de zuid en west grens van het meetgebied. In het oosten wordt de grens vooral gevormd door de Arumervaart en Achlumervaart. In het noorden wordt het meetgebied begrensd door het Van Harinxmakanaal en de bebouwde kom van Harlingen. Het oppervlak van het meetgebied is 929 ha. Het is een vlak gebied. Het grootste deel van het meetgebied is in agrarisch gebruik. Grasland is het belangrijkste landgebruikstype. Het gebied bestaat in zijn geheel uit zeekleigronden. De zwaarte hiervan varieert van lichte zavel tot klei (Busch et. al., 1999).

Maaiveldhoogte: -1.00 mNAP tot 1.00 mNAP
Boezempeil: -0.52 mNAP
Zomerpeil (polder): -1.05 mNAP (ter plaatse van het gemaal)
Winterpeil (polder): -1.20 mNAP (ter plaatse van het gemaal)

2.3 Edens

Het meetgebied "Edens" ligt tussen Wommels en Winsum in de polder Bonkwerd en behoort tot de gemeente Littenseradiel. De Bolswardertrekvaart en de Spannummer Opvaart vormen respectievelijk de zuid en oost grens van het meetgebied. De noord en westgrens worden globaal gevormd door de Berkwerter Leane en de watergang tussen Borkwerd en de Berkwerter Leane. Het oppervlak van het meetgebied is 217 ha. Het meetgebied bestaat uit zeekleigronden met daarop grasland die geheel in agrarisch gebruik zijn.

Maaiveldhoogte: -0.50 mNAP tot 0.75 mNAP
Boezempeil: -0.52 mNAP
Zomerpeil (polder): -1.25 mNAP (ter plaatse van het gemaal)
Winterpeil (polder): -1.25 mNAP (ter plaatse van het gemaal)

2.4 Rodenburg

Het meetgebied "Rodenburg" is een polder tussen Sneek en Joure. Het ligt in de gemeente Skarsterlân. In het noordwesten wordt het meetgebied begrensd door de Statenbocht en het Stobberak, in het noordoosten door de rijksweg A7, in het zuidoosten door de Fammensrakken en De Brekken en in het zuidwesten door de Langweerdervaart. Het oppervlak van het meetgebied is 202 ha. Het landgebruik is uitsluitend grasland. Het gebied bestaat uit veengronden met een kleidek (Busch et. al., 1999).

Maaiveldhoogte: -0.75 mNAP tot -0.25 mNAP
Boezempeil: -0.52 mNAP
Zomerpeil (polder): -2.00 mNAP (ter plaatse van het gemaal)
Winterpeil (polder): -2.00 mNAP (ter plaatse van het gemaal)

2.5 Grouster Laagland

Het meetgebied "Grouster Laagland" ligt in de gemeente Boarnsterhim. Het gebied wordt aan de westzijde begrensd door brede waterlopen met Fries boezempeil. Het oppervlak van het meetgebied is 298 ha. Het landgebruik is grasland. Het meetgebied bestaat in het westelijke deel voornamelijk uit klei op veen. Naar het oosten toe gaat het bodemtype over in veen met een kleidek. De diepe polder in het noordoosten "Auke Hennesmar" heeft bodemtype veen. Hier is het kleidek afgegraven, hetgeen de lage ligging ten opzichte van de omgeving verklaart (Busch et. al., 1999).

Er is water dat de polder begrenst aan de noordkant met een peil van -0.85 mNAP, maar het overgrote deel van de begrenzing, in het zuiden, oosten en westen, van de polder wordt gevormd door de Friese boezem.

| | |
|----------------------|---|
| Maaiveldhoogte: | -2.00 mNAP tot -0.75 mNAP |
| Boezempeil: | -0.52 mNAP |
| Zomerpeil (polder): | -2.20 mNAP (ter plaatse van het gemaal) |
| Winterpeil (polder): | -2.20 mNAP (ter plaatse van het gemaal) |

3 De waterbalans

3.1 De balanstermen

De waterbalans is opgebouwd uit de hoeveelheid inkomend water, de hoeveelheid uitgaand water en een restterm. De som van deze drie termen is gelijk aan nul. De vergelijking van de waterstromen in de gebieden is gegeven in vergelijking 1, alle termen zijn in millimeters waterschijf (omgerekend met behulp van de oppervlakte van de polders).

$$(P + Q_{in} + G_{in} + S_a) - (ET + Q_{uit} + G_{uit} + S_t) = R \quad [1]$$

waarin:

- P** gebiedsneerslag; bepaald uit één of meerdere puntneerslagreeksen van nabij gelegen regenmeters.
- Q_{in}** inlaat van oppervlakte water uit de Friese boezem.
- G_{in}** kwel; de som van dijkkwel (randstroming) vanuit de Friese boezem en de verticaal gerichte grondwaterstroming uit dieper liggende watervoerende lagen.
- S_a** afname in berging van hoofdzakelijk grondwater (verzadigde berging).
- ET** werkelijke verdamping; die niet direct te bepalen is. Bij een optimaal van vocht voorzien gewas wordt de werkelijke verdamping ET benaderd door de potentiële verdamping ET_p. Deze wordt berekend uit referentie gewasverdamping en een seizoens-afhankelijke gewasfactor. Er zijn ook Remote Sensing technieken beschikbaar waarmee een schatting van de actuele verdamping voor bepaalde maanden kan worden gemaakt.
- Q_{uit}** afvoer van oppervlakte water via de gemalen, vanuit de polder naar de Friese boezem.
- G_{uit}** wegzijging naar dieper gelegen watervoerende lagen.
- S_t** toename van hoofdzakelijk de verzadigde berging.
- R** restterm.

Aangezien de waterbalans is opgebouwd uit de sommatie van de individuele termen, is het resultaat sterk afhankelijk van de nauwkeurigheid van deze afzonderlijke termen. Alle termen zijn afhankelijk van veldmetingen. Als een term slecht of onnauwkeurig is bepaald zal dit direct gevolgen hebben voor de nauwkeurigheid van de balans. De restterm zal groot zijn en/of sterk variëren. Wanneer meerdere termen slecht of onnauwkeurig zijn gemeten kan de restterm nog groter worden of – wanneer de gemaakte fouten elkaar compenseren – kan een kleine restterm een schijnnaauwkeurigheid suggereren (Boiten, 1997).

De waterbalans kan in principe worden opgesteld voor elke gewenste periode (looptijd). In de praktijk blijkt echter, dat de restterm (in relatie tot de som van de in-termen of de uit-termen) kleiner wordt naarmate de balansperiode langer is. Voor deze studie is gekozen om de waterbalansen te berekenen voor maandperioden, zomer halfjaar en winter halfjaar en vervolgens de kalender

jaren. In hoofdstuk 5 zijn deze waterbalansen weergegeven. De eerste drie maanden van 2000 zijn niet berekend, dus de balans voor het winter halfjaar 1999-2000 is niet compleet. Er is slechts een "4^e kwartaal 1999" te berekenen.

3.2 Bepaling van de balanstermen

Neerslag (P)

De gebiedsneerslag is voor alle meetgebieden bepaald uit de hoeveelheden neerslag gemeten op een aantal KNMI meetstations (zie Tabel 3).

Tabel 3 Meetstations waarmee gebiedsneerslagen zijn berekend

| | | Grouster | Rodenburg | Edens | Atsjetille |
|----|------------|----------|-----------|-------|------------|
| 61 | Skrins | | | X | |
| 64 | Sneek | X | X | | |
| 65 | Makkum | | | | X |
| 66 | Harlingen | | | | X |
| 78 | Herbayum | | | | X |
| 79 | Heeg | | X | | |
| 81 | Joure | | X | | |
| 89 | Akkrum | X | | | |
| 90 | Eernewoude | X | | | |

Voor de polders Grouster Laagland, Rodenburg en Atsjetille is het rekenkundig gemiddelde bepaald uit de reeksen van de drie omliggende meetstations. Voor Edens is het meetstation Skrins zeer nabij gelegen, daarom is voor deze polder de gebiedsneerslag alleen bepaald op basis van dit meetstation: Skrins.

De grootste bron van fouten bij het meten van neerslag is de verstoring van het windveld door het waarnemingsinstrument. De enige fout die éxtra water in de meting brengt is de fout door het in de meetopening spatten van water, maar per saldo zullen fouten in de meting resulteren in een te kleine hoeveelheid gemeten neerslag ten opzichte van de werkelijk gevallen hoeveelheid neerslag (deze hoeveelheid is niet exact te bepalen). Betrouwbare correcties zijn niet aan te brengen omdat daarvoor de benodigde gegevens ontbreken en er een absolute maat waarmee regenmetingen kunnen worden geijkt, ontbreekt (Warmerdam, 1981).

Inlaat van oppervlaktewater (Q_{in})

De ingelaten hoeveelheden boezemwater zijn bepaald met behulp van Rossum meet-overlaten, een V-schot en aan de hand van – door landbouwers geregistreerde – standen en openingstijden van KWT-afsluiters (zie Bijlagen VI Ontwerp meetstuwen en VIII Calibratie afsluiters).

Tabel 4 Meetmethoden van de inlaat van water in de polders

| | Grouster L. | Rodenburg | Edens | Atsjetille |
|-----------------|-------------|-----------|-------|------------|
| Rossum overlaat | 1 | 1 | 1 | 2 |
| V-schot | 1 | - | - | - |
| KWT afsluiters | 7 | - | 3 | 1 |

De afvoer over een stuw is een functie van de overstorthoogte. De formules voor de twee soorten stuwen zijn als volgt.

De Rossum overlaat heeft een Q-h relatie als in vergelijking 2 en 3.

$$Q = 7,24 \cdot h_1^{2,60} \quad (\text{voor } h_1 \leq 0,083 \text{ m}) \quad [2]$$

$$Q = 0,9210 \cdot h_1^2 + 0,1983 \cdot h_1 - 0,0116 \quad (\text{voor } h_1 > 0,083 \text{ m}) \quad [3]$$

De V-schot stuw heeft een Q-h relatie als in vergelijking 4.

$$Q = 0,3467 \cdot (h_1 + 0,0023)^{2,50} \quad (\text{voor } h_1 \geq 0,050 \text{ m}) \quad [4]$$

waarin:

Q = debiet over de stuw (m³/s)
 h₁ = overstorthoogte (m)

Kwel (G_{in}) en wegzijging (G_{uit})

Voor het bepalen van de kwel of wegzijging, is een goed ingericht meetnet van peilbuizen nodig. In "Bijlage II" zijn alle gebruikte peilbuizen opgesomd, met de bijbehorende gegevens. Iwaco – Groningen heeft dit meetnet in opdracht van de provincie Fryslân ingericht en levert ook de meetgegevens (Busch et. al., 1999). Welke buizen voor welke berekening zijn gebruikt is genoemd in Bijlage III.

Kwel/wegzijging (G_{in}/G_{uit}) bestaat voor de vier meetgebieden uit de volgende twee componenten:

1. Dijkkwel, G₁
2. Verticale flux, G₂

De berekeningswijze voor de flux G₁ vanuit de boezem is de Darcy-Dupuit vergelijking:

$$q_1 = \frac{kD \cdot \Delta H}{\Delta x} \quad [5]$$

waarin:

q₁ flux per strekkende meter gebiedsrand (m²/dag)
 kD doorlaatvermogen (m²/dag). Zie voor kD waarden de tabellen 6 en 24.
 ΔH stijghoogte verschil tussen de waterstand op de boezem en de grondwaterstand (freatisch) op circa 100m vanaf de boezem (m)
 Δx afstand tussen boezem en grondwatermeetpunt (m)

Uit de flux q_1 kan vervolgens de dijkkwel, G_1 , worden berekend, volgens:

$$G_1 = \frac{q_1 \cdot n \cdot L}{A} \quad [6]$$

waarin:

- G_1 dijkkwel (m)
- n looptijd (d)
- L randlengte langs de boezem (m)
- A oppervlakte van het meetgebied (m²)

Een positieve waarde duidt op kwel, een negatieve waarde betekent wegzijging.

Naast de Darcy vergelijking is ook nog de Mazure vergelijking gebruikt, uitsluitend voor de polder Rodenburg voor het jaar 1997 (voor 1998 en 1999 is hier ook de Darcy vergelijking gebruikt omdat er geen gegevens van peilbuizen in een meetraai waren). De Mazure vergelijking berekent de stroming tussen twee polders met een lange rechte grens (zie vergelijking 7).

$$q_{\text{mazure}} = -kD \frac{d}{dx} \left[H_1 - (H_1 - H_0) e^{\frac{-x}{\lambda}} \right] = \frac{kD \cdot (H_1 - H_0) e^{\frac{-x}{\lambda}}}{\lambda} \quad [7]$$

waarin:

- q_{mazure} flux per strekkende meter gebiedsrand volgens Mazure (m²/dag)
- kD doorlaatvermogen (m²/dag)
- c weerstand (d)
- H_1 polderpeil (mNAP)
- H_0 boezempeil (mNAP)
- λ spreidingslengte (m)
- x afstand tussen boezem en grondwatermeetpunt (m)

De verticale kwel of wegzijging wordt G_2 genoemd. De berekeningswijze voor deze flux is als in vergelijking 8:

$$q_2 = \frac{H_1 - H_2}{c} \quad [8]$$

waarin:

- q_2 verticale flux (m/dag)
- H_1 stijghoogte in de peilbuis met het diepe filter onder de laag met hoge weerstand (mNAP)
- H_2 grondwaterstand in de peilbuis met het ondiepe freatische filter (mNAP)
- c weerstand van de scheidende keileem laag (dagen)

waarden voor c worden vermeld in tabel 24

De bijdrage van deze component aan de totale kwel of wegzijging wordt berekend met vergelijking 9:

$$G_2 = q_2 \cdot n \quad [9]$$

waarin:

G_2 verticale kwel of wegzijging (m)

Een positieve waarde duidt op kwel, een negatieve waarde betekent wegzijging.

De totale kwel/wegzijging wordt dan berekend met vergelijking 10:

$$G = G_1 + G_2 \quad [10]$$

Een positieve waarde van G wordt als G_{in} (kwel) in de balans gebracht, een negatieve waarde als G_{uit} (wegzijging). Over een bepaalde balansperiode wordt dus óf G_{in} óf G_{uit} opgenomen.

Bergingsverandering (S_a) en (S_t)

De bergingsverandering wordt berekend als het verschil tussen de grondwaterstand aan het eind, en die aan het begin van de balansperiode vermenigvuldigd met een bergingscoëfficiënt van 0.15.

$$S = (H_{eind} - H_{begin}) \cdot 0.15 \quad [11]$$

waarin:

S bergingsverandering over een periode (m)
 H_{eind} grondwaterstand aan het eind van een periode (m)
 H_{begin} grondwaterstand aan het begin van een periode (m)
0.15 bergingscoëfficiënt (-), een aangenomen waarde

Als S positief wordt, dan is de berging toegenomen (S_t in de balans). Wordt S negatief, dan is de berging afgenomen (S_a in de balans).

Verdamping (ET_p)

De potentiële verdamping is voor het jaar 1997 bepaald volgens de methode van Makkink (zie vergelijking 12) en gegevens van het KNMI Station Leeuwarden:

$$ET_p = f \cdot ET_r \quad [12]$$

waarin:

ET_p potentiële gewasverdamping (mm/d)
 f gewasfactor als functie van het gewas en de tijd van het jaar (-)
 ET_r referentie gewasverdamping volgens Makkink (mm/d)

De gewasfactor is per maand berekend voor de maanden april t/m september (geldigheidsperiode Makkink) en geschat voor de zes wintermaanden, zie Tabel 5. Deze potentiële verdamping geldt wanneer het gewas optimaal van water is voorzien. In droge zomers kan vochttekort ontstaan in de wortelzone. Daarom is, in opdracht van Wetterskip Marne-Middelsee, door het bureau "WaterWatch" een bepaling van de actuele verdamping gedaan met behulp van Remote Sensing technieken. Het resultaat is voor elke polder te zien in Bijlage XI. Voor de berekening van ET in de jaren 1998 en 1999 is de Remote Sensing methode gebruikt.

Satellieten kunnen op eenduidige wijze de ruimtelijke patronen van de condities in het bodem-water-plant-atmosfeer systeem in kaart brengen. Met behulp van satellieten zijn de ruimtelijke structuren van bodems, landgebruik en gewasontwikkeling duidelijk te herkennen. De Landsat satelliet meet via thermisch-infrarode straling de temperatuur van het gewas en de bodem. Een hogere temperatuur ontstaat als de bodem droog is en de gewasverdamping laag is, omdat het benodigde bodemvocht ontbreekt om de plant te laten afkoelen (Bastiaanssen en Soeterik, 1999).

Tabel 5 Makkink gewasfactoren per maand voor de polders

| Gebied: | Grouster Laagland Rodenburg en Edens | Atsjetille |
|--------------|--|---|
| Landgebruik: | 2,5% water 97,5% grasland | 2,5% water 70,2% grasland 27,3% akkerbouw |
| Januari | 0,90 | 0,80 |
| Februari | 0,91 | 0,82 |
| Maart | 0,97 | 0,86 |
| April | 1,01 | 0,90 |
| Mei | 1,01 | 0,93 |
| Juni | 1,01 | 1,03 |
| Juli | 1,01 | 1,02 |
| Augustus | 0,97 | 0,96 |
| September | 0,91 | 0,86 |
| Oktober | 0,90 | 0,83 |
| November | 0,90 | 0,80 |
| December | 0,90 | 0,80 |

Afvoer van oppervlaktewater (Q_{uit})

Het waterschap bepaalt de uitgeslagen hoeveelheden oppervlaktewater met behulp van gecalibreerde gemaalcurven (Rodenburg en Atsjetille) en theoretisch afgeleide afvoer-vergelijkingen voor vijzels (Grouster Laagland en Edens) door middel van de registratie van de draai-uren.

4 Meetreeks analyse en verwerkingsmethode

4.1 Temperatuur

Figuur 7 in Bijlage IV geeft de maandgemiddelde temperaturen voor het KNMI station Leeuwarden. Ook zijn in dezelfde figuur het maandmaximum en – minimum weergegeven. In de maanden januari, februari, maart en april 1998 en november, december 1998 heeft het gevroren. Het vroom ook in de maanden januari, februari, maart en april en november en december van het jaar 1999. In deze maanden zou eventueel een berging in de vorm van sneeuw kunnen voorkomen (KNMI², 1998 en KNMI², 1999).

4.2 Neerslag

Algemeen

De gebiedsneerslagsommen voor de polders zijn berekend uit gegevens van een aantal KNMI meetstations (zie Tabel 3 in paragraaf 3.2). Deze stations bevinden zich meestal niet in de gebieden. De neerslagreeksen vertonen grote ruimtelijke variatie, met name tijdens intensieve buien. Doordat de regenintensiteit plaatselijk nogal kan verschillen zou de berekende gebiedsneerslag kunnen afwijken van de werkelijkheid.

Edens

Op het gemaal in de polder Edens is sinds januari 1997 neerslag gemeten. Over de periode januari t/m augustus 1998 zijn er sporadisch gegevens van neerslag voor gemaal Edens aanwezig. Vanaf september 1998 tot en met december 1999 is permanent neerslag gemeten op het gemaal in Edens. Over deze periode zal een vergelijking tussen het KNMI station Skrips en het meetpunt gemaal Edens, worden uitgevoerd.

De neerslagen zijn over de periode september 1998 tot en met december 1999 gecumuleerd. Daarna zijn deze waarden, voor de twee meetstations, in "double mass plots" uitgezet. Wanneer het neerslagpatroon en de hoeveelheid voor Edens en Skrips overeenkomen zullen de twee grafieken samenvallen.

Door verschillen in de reeksen zouden een andere helling en een andere trend kunnen ontstaan voor de twee stations. Een andere helling van de grafieken betekent een systematisch verschil in neerslaghoeveelheid in die maand. Een andere trend van de grafieken duidt op missende data voor een van de twee stations. In Figuur 8 in Bijlage V is voor de totale periode van 16 maanden voor de twee reeksen de cumulatieve neerslag uitgezet tegen de tijd.

De regenmeter op het gemaal van Edens geeft consequent lagere neerslagen. Er is in Figuur 9 in Bijlage V te zien dat er grote verschillen tussen de dagneerslagen op het gemaal in Edens en het KNMI meetstation Skrips bestaan. (Gezien de gespiegelde uitschieters van soms ca. 20 mm, kan men zich afvragen of beide regenmeters wel steeds op hetzelfde moment zijn bemonsterd). Wanneer de correlatie tussen de dagneerslagen wordt bepaald is deze dan ook slechts 0.53 voor de meting op het gemaal in Edens. Een

mogelijke verklaring voor de verschillen tussen de reeksen is de niet-standaard meetopstelling bij het gemaal Edens. De vangmond van de regenmeter op het gemaal is zeer klein. Hierdoor kunnen fouten ontstaan. Het feit dat de regenmeter op 2 meter boven het maaiveld is geplaatst, boven op het gemaal, kan zorgen voor windeffecten. Wind kan een deel van de neerslag wegblazen, waardoor de meetreeks systematisch lager wordt.

Op basis hiervan wordt geconcludeerd dat het station in Edens een meetreeks heeft die niet overeenkomt met die van het KNMI. Dit kan misschien verklaard worden doordat hevige buien plaatselijk zijn en dus voor een verschil in de dagsommen kunnen zorgen. Maar over een langere tijd (een maand of een half jaar) zou toch de cumulatieve neerslag gemeten op het gemaal te Edens ongeveer gelijk moeten zijn aan de door het KNMI gemeten neerslag. Omdat dit niet het geval is, is er voor gekozen om de neerslag van het KNMI station te nemen als gebiedsneerslag voor de polder Edens.

4.3 Inlaat van oppervlaktewater

4.3.1 Stuwen

In beide polders Atsjetille en Grouster Laagland wordt met twee stuwen een deel van de ingelaten hoeveelheid water gemeten (zie Bijlage VI Ontwerp meetstuwen). In de polders Edens en Rodenburg wordt één stuw gebruikt. In alle gevallen betreft het een Rossum-stuw, behalve de stuw "Visserwei" in Grouster Laagland. Dit is een V-schot. Hieronder zijn per polder en per stuw de ingelaten debieten beschreven over de twee jaren 1998 en 1999.

Atsjetille

De twee stuwen in deze polder, KIMS.i1 en ARUM.i1, zijn beide Rossum-stuwen. De debieten zijn weergegeven in Figuur 14 en Figuur 15 in Bijlage VII. Opvallend in Figuur 14 en Figuur 15 is dat de meetstuwen in de polder Atsjetille in vergelijking tot de andere meetstuwen grote hoeveelheden water inlaten. Zowel de gemiddelde inlaat (voor stuw ARUM.i1) als de pieken in de ingelaten hoeveelheid, voor beide stuwen, zijn hoog, vergeleken met andere inlaten.

Atsjetille is een polder die dichtbij de Waddenzee ligt. Een grote hoeveelheid water is nodig om zoute kwel weg te spoelen in de polder (Koersma, pers. med. 2001). De stuw ARUM.i1 heeft pieken in de inlaat van 14.000 m³/d. Pieken in de inlaat van ARUM.i1 en KIMS.i1 vallen een aantal keren samen tijdens de zomerperiode. Augustus 1998, mei 1999 en augustus 1999 zijn droge perioden waarbij het nodig was om water in het gebied in te laten. Het valt op dat ARUM.i1 over langere perioden water inlaat, terwijl KIMS.i1 alleen tijdens kortere perioden water inlaat.

Er is een piek die niet in een droge periode valt. Dat is de piek van begin november 1998. Het is mogelijk dat dit een grote hoeveelheid water is, die ingelaten is om de sloten door te spoelen na het schonen van de watergangen in het najaar (Koersma, pers. med. 2001).

Edens

De stuw in deze polder, EDEN.i1, is een Rossum-stuw. De debieten zijn weergegeven in Figuur 16 in Bijlage VII. Het valt op dat de hoeveelheid ingelaten water over de meetstuw in de polder Edens beperkt is. Alleen in augustus 1998 heeft er inlaat plaatsgevonden. Het debiet is in vergelijking met de polder Atsjetille ook gering. De rest van het ingelaten water is via de afsluiters binnengekomen (zie 4.3.2).

Rodenburg

De stuw in deze polder, BOOR.MS, is een Rossum-stuw. De debieten zijn weergegeven in Figuur 17 in Bijlage VII. Zowel in 1998 als in 1999 is er tijdens het groeiseizoen ingelaten tot maxima van 250 m³/dag. Er zijn perioden waarin een inlaat is geregistreerd die in werkelijkheid niet heeft plaatsgevonden, zie Figuur 17 (Koersma, pers. Med., 2001).

Grouster Laagland

De stuw in deze polder, GROU.MS, is een Rossum-stuw. De stuw, EAGU.MS, is een V-schot. De ingelaten hoeveelheden water zijn weergegeven in Figuur 18 en Figuur 19 in Bijlage VII. Het valt op dat, net als in de polder Atsjetille, er één stuw is die voor een lange tijd gedurende de twee jaren water inlaat en één stuw die slechts gedurende korte perioden water inlaat. Over de stuw GROU.MS komt slechts in de perioden mei 1998 en juli 1999 een hoeveelheid water. Dit in tegenstelling tot de stuw EAGU.MS. Deze stuw laat in werkelijkheid continu water in, hetgeen niet te zien is in figuur 19, de gemeten reeks is onvolledig als gevolg van een lege batterij.

4.3.2 Afsluiters

Alle polders, behalve de Rodenburg polder, laten naast door meetstuwen bemeten inlaten ook op andere plaatsen water in (zie Tabel 4). De ingelaten hoeveelheid water, op plaatsen waar een meetinrichting ontbreekt, wordt berekend met een methode voor de KWT-afsluiters.

Er bestaat een methode om aan de hand van peilgegevens en eigenschappen van de afsluiters, te bepalen hoeveel water wordt ingelaten (zie Bijlage VIII).

De gegevens voor alle polders zijn door het Wetterskip Marne-Middelsee aangeleverd. Het blijkt dat er één van de afsluiters (MMeden.I4) in de polder Edens in juni 1999 een sloot heeft gevuld en daarna dicht was. Dit komt neer op een eenmalige inlaat in juni 1999 van 1000 m³ die in november weer wordt uitgemalen door het water uit de sloot af te laten op de poldersloot en vervolgens uit te malen. Dit is dus een bergingstoename in juni en een bergingsafname in november.

4.4 Kwel en wegzijging

4.4.1 Verticale flux

Voor de polders Grouster Laagland, Rodenburg en Atsjetille zijn diepe peilbuizen bemeten. Voor de polder Edens zijn geen diepe peilbuizen aanwezig, dus voor deze polder kunnen geen verticale flux berekeningen worden gedaan. De rayonbeheerder van een aantal Friese polders waaronder Edens sprak zijn vermoeden uit dat in Edens geen diepe kwel optreedt. Daarom is voor kwel of wegzijging de waarde nul genomen voor de polder Edens.

Grouster Laagland

In de polder Grouster Laagland staan twee peilbuizen met een goede meetreeks. Een peilbuis (11AP9031) bevindt zich in het deel van de polder met een maaiveldhoogte van -0,85 mNAP en één peilbuis (11AP7002) ligt relatief laag in de Auke Hinnemar polder met een maaiveldhoogte van -2,19 mNAP.

De meetreeksen indiceren dat ter hoogte van meetpunt 11AP7002 wegzijging optreedt en ter hoogte van meetpunt 11AP9031 kwel. Dit is merkwaardig omdat peilbuis 11AP7002 in het diepste deel van de polder ligt en er óók hier kwel verwacht mag worden, wanneer peilbuis 11AP9031 aanwezigheid van kwel aangeeft. Een mogelijke oorzaak zou een foutieve referentiehoogte kunnen zijn. Vaak wordt het diepe filter lager afgewerkt dan het ondiepe filter, ter onderscheid. De stijghoogte verschillen zijn dermate klein dat een dergelijke fout er voor zou kunnen zorgen dat er wegzijging in plaats van kwel wordt berekend. Het is tot januari 2002 niet gelukt de referentie hoogten van de twee filters van peilbuis 11AP7002 opnieuw in te meten, omdat de dop op de filters met een slot vast zat. Daarom is besloten de verticale flux te baseren op metingen van peilbuis 11AP9031. Er ontbreken echter wel gegevens voor de perioden september 1998 tot maart 1999 en mei, juni, augustus en september 1999.

Rodenburg

Voor de polder Rodenburg zijn de volgende peilbuizen gebruikt: 10HP9001, 10HP9005, 10HP0060 (tussen veen en het dekzand op -4 tot -9 mNAP) en 10HP0060 (tussen veen en het dekzand op -14 tot -38 mNAP). In de gehele polder Rodenburg wordt kwel verwacht volgens het lwaco rapport Meetgebieden Fryslân, hoewel berekeningen met het NAGROM model duiden op wegzijging (Busch et. al., 1999). Het blijkt dat alleen berekeningen van de verticale flux met peilbuis 10HP0060 kwel opleveren. De andere twee peilbuizen geven over het algemeen wegzijging.

De metingen in peilbuis 10HP9005 zouden sterk beïnvloed kunnen zijn door de boezem. Deze peilbuis ligt namelijk zeer dicht bij de boezem. Deze peilbuis wordt daarom niet meegenomen in de berekening van de verticale kwel.

De peilbuis 10HP9001 ligt midden in de polder, volgens de berekeningen treedt er hier een wegzijging op van meer dan 10 mm per maand. Omdat er vooraf niet duidelijk is of er kwel of wegzijging in de polder plaatsvindt, worden de metingen voor correct aangenomen. Er is daarom gekozen om een gemiddelde van de kwel op de twee diepten van peilbuis 10HP0060 te nemen en deze waarde samen met de flux ter plekke van 10HP9001 te middelen. Dit is dan de waarde

voor de verticale flux in de polder Rodenburg. Voor de maanden oktober en december in 1998 en januari 1999 zijn voor de peilbuis 10HP9001 de hiaten door schattingen opgevuld.

Atsjetille

In de polder Atsjetille worden voor de verticale flux berekening twee peilbuizen gebruikt. Peilbuis 10BP9002 heeft een zeer incomplete meetreeks en de meetreeks van peilbuis 10EP9003 is goed. Er zijn slechts 9 maanden gegevens van 10BP9002 aanwezig. Deze gegevens duiden op een behoorlijk grote kwelflux. De andere peilbuis, 10EP9003, geeft over het algemeen ook een kwelflux, deze is echter wel kleiner dan de fluxen van 10BP9002. De twee peilbuizen hebben dezelfde maaiveld hoogte en nagenoeg dezelfde filterdiepte. Een ondiep filter op -2 mNAP en een diep filter op -8 mNAP en -10 mNAP. Het verschil is dat 10EP9003 in het zuidoosten heel dicht bij de boezem ligt en 10BP9002 in het noorden van de polder verder van de boezem. Er is voor gekozen om de gaten in de peilmetingen te schatten en daarna de kwelflux gelijk te stellen aan een gemiddelde van de twee peilbuizen. In "Bijlage IX Peilen in polder Atsjetille" zijn de peilen over de twee jaren van deze twee peilbuizen weergegeven (figuren 22 en 23). Voor de peilbuis 10BP9002 zijn de geschatte waarden aangegeven met een dikke markering.

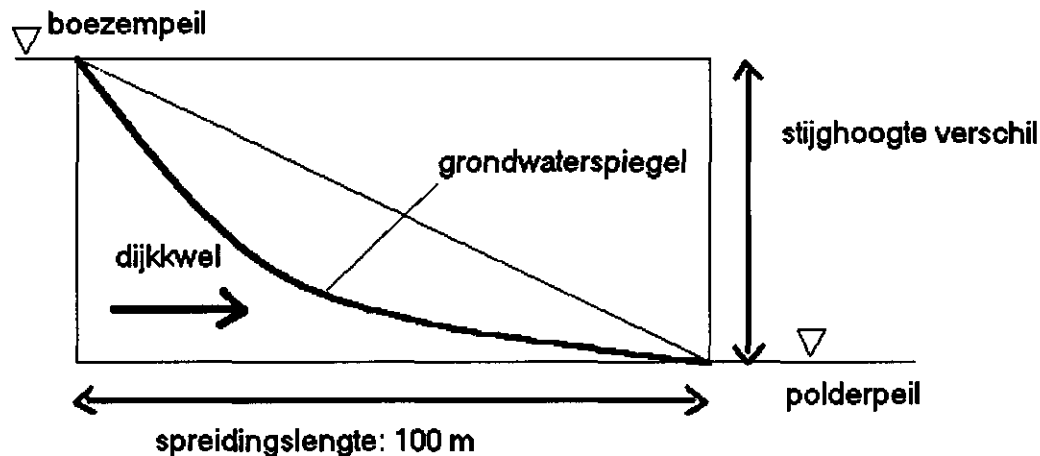
4.4.2 Dijkkwel

De berekening van de dijkkwel is voor de polders gebaseerd op één of twee peilbuizen die dichtbij de boezem zijn geplaatst (zie Tabel 6). Er is aangenomen dat een flux berekend met de vergelijking van Darcy (zie paragraaf 3.2) tussen het boezempeil en het gemeten peil over een afstand van 100 m de dijkkwel geeft. Deze 100 m is de spreidingslengte, de geschatte afstand waarover het boezempeil invloed heeft op het polderpeil (zie Figuur 2).

De dijkkwel kan zowel positief als negatief zijn. Een positieve dijkkwel betekent een flux van de boezem naar de polder, een negatieve dijkkwel betekent een flux van de polder naar de boezem. Een flux van polder naar de boezem komt alleen sporadisch in de polders Edens en Atsjetille voor. Een negatieve dijkkwel is mogelijk als het peil in de buizen hoger staat dan het boezempeil. In de polders Edens en Atsjetille is dat theoretisch mogelijk aangezien het maaiveld ter plaatse van de buizen hoger ligt dan het boezempeil. In de polders Rodenburg en Grouster Laagland is het maaiveld ter plekke van de peilbuizen overal lager dan het boezempeil. In de laatste twee polders kan de freatische stijghoogte dus niet tot boven het boezempeil komen.

Tabel 6 Peilbuizen gebruikt bij berekening van dijkkwel 1998/1999

| | Grouster | Rodenburg | Edens | Atsjetille |
|---------------------------------|----------|--------------------|---------|------------|
| Dijkkwel methode: | Darcy | Darcy | Darcy | Darcy |
| Doorlaat kD (m ² /d) | 15 | 30 | 50 | 30 |
| Peilbuis | AL 9029 | HL 9003 HL 9004 | EL 9005 | EL 9002 |
| Afstand tot boezem | 100 m | 201 / 61 m | 200 m | 100 m |



Figuur 2 Schematisatie methode van Darcy voor berekening van dijkkwel

Voor de polders Grouster Laagland en Atsjetille zijn de peilen voor één peilbuis op 100 m van de boezem bekend. Voor Edens is het peil op de spreidingslengte (100 m) gelijk gesteld aan het peil op 200 m vanaf de boezem. Voor de polder Rodenburg is het peil voor de spreidingslengte een gewogen gemiddelde van de peilen op 61 en 201 meter.

De meetreeks van de peilbuis in Edens, 10EL9005, is zeer incompleet. Deze gegevens zijn niet bruikbaar voor een dijkkwel berekening. Er moet hier een schatting van de dijkkwel gemaakt worden. De peilbuis voor Atsjetille, 10EL9002, mist alleen metingen in februari en oktober 1999. Deze waarden zijn met behulp van de voorgaande en volgende maand lineair geïnterpoleerd. Voor de polder Grouster Laagland zijn voor de peilbuis 11AL9029 voor september 1998 tot en met december de peilen geschat aan de hand van de peilbuizen 11AL9030 en 11AL9032. Voor de polder Rodenburg tenslotte, zijn de peilen voor de peilbuis 10HL9003 in de maanden oktober 1998 tot en met januari 1999 lineair geïnterpoleerd aan de hand van de maand ervoor en erna.

Er zit dus een grote onzekerheid in de grootte van de dijkkwel in de polder Edens. Alleen van de maanden juli 1998 en september tot en met december 1999 zijn peilgegevens bekend. De rest zal ingeschat moeten worden. In de waterbalans van het jaar 1997 is er sprake van G_{in} (geschat of berekend) van april tot en met november en er is G_{uit} voor februari, maart en december (januari onbekend). Dit patroon is aannemelijk vanwege de hogere grondwaterstanden in de winterperiode, hierdoor zal eerder negatieve dijkkwel plaatsvinden, dus een flux naar de boezem.

De diepe kwel of wegzijging is in Edens voor 1998 en 1999 op nul gesteld. De dijkkwel of -wegzijging wordt berekend met de peilen in peilbuis 10EL9005, gedeeltelijk geschat met behulp van de peilbuis 10EL9006. Aangenomen wordt dat het verloop een zelfde patroon vertoont. De schatting van de peilen in buis 10EL9005 is te zien in figuur 24 in Bijlage X.

4.5 Bergingsverandering

De term bergingsverandering is de toe- of afname van de hoeveelheid water in het gebied over de balansperiode. Een toename of afname zijn aangegeven als S_t respectievelijk S_a . Van zoveel mogelijk freatische peilbuizen is het maandgemiddelde peil berekend per polder. Hieruit is een bergingsverandering in mm waterschijf voor de polder berekend. Wanneer er meer peilbuizen per polder bemeten waren is het gemiddelde van de bergingsverandering genomen als representatief voor de hele polder.

Atsjetille: Er zijn 5 peilbuizen aanwezig, namelijk 10BL9003, 10BL9004, 10EL9002, 10EP9003 en 10BP9002. Peilbuis 10BP9002 wordt niet meegenomen in de berekening van de bergingsverandering, want deze dataset is zeer onvolledig. De resterende vier peilbuizen staan verspreid door de polder. De berekening van de bergingsverandering gebeurt door het gemiddelde te nemen van de berekende bergingsverandering per peilbuis (er is niet geïnterpoleerd in het geval van missende data).

Edens: Er zijn alleen gegevens van peilbuis 10EL9006 aanwezig, deze meetreeks is volledig, dus er hoeft niet te worden geïnterpoleerd. Deze peilbuis is genomen voor de berekening van de bergingsverandering.

Rodenburg: Van peilbuizen 10HP9001, 10HP9005 en 10HP0060 zijn gegevens aanwezig. De ruimtelijke spreiding van de peilbuizen is goed. De reeks van de peilbuis 10HP0060 van de jaren 1998 en 1999 is compleet. De andere twee buizen hebben een redelijk volledige set. Daarom wordt het gemiddelde van deze drie buizen genomen bij de berekening van de bergingsverandering voor de polder Rodenburg. Wanneer alleen waarden voor peilbuis 10HP0060 aanwezig zijn worden deze als gemiddelde beschouwd. Er is niet geïnterpoleerd in het geval van missende data.

Grouster Laagland: Peilbuis 11AL9032 staat midden in de polder en is de enige peilbuis met een volledige dataset. De ontbrekende data zijn geïnterpoleerd. Dit is de enige buis voor de bepaling van de bergingsverandering in Grouster Laagland.

4.6 Verdamping

De verdamping is bepaald met behulp van twee technieken, de conventionele methode van Makkink en een methode met behulp van Remote Sensing technieken. De methode van Makkink is reeds in paragraaf 3.2 en Tabel 5 behandeld. Deze methode geeft een potentiële verdamping, berekend uit de referentie gewasverdamping en een maandelijks variërende gewasfactor. Er wordt vervolgens aangenomen dat deze potentiële verdamping representatief is voor de actuele verdamping in de polders. Dit geldt alleen als het gewas optimaal van vocht is voorzien. Tijdens droge perioden kan echter vochttekort ontstaan in de wortelzone. De actuele verdamping (werkelijke verdamping) is dan lager dan de potentiële verdamping.

Er bestaat een andere manier om ET te bepalen. De actuele verdamping kan worden bepaald met behulp van Remote Sensing technieken. Dit is voor de jaren 1998 en 1999 uitgevoerd door het bureau WaterWatch te Wageningen.

Het blijkt dat voor 1998 de verdamping, bepaald met Remote Sensing technieken, lager is dan de verdamping volgens de Makkink methode. Voor 1999 is de verdamping bepaald met Remote Sensing technieken juist hoger dan de Makkink verdamping (zie de figuren 25 tot en met 32 in Bijlage XI). Omdat bepaling van de actuele verdamping met Remote Sensing technieken rekening houdt met de beschikbaarheid van vocht in de bodem, is er voor gekozen om de verdamping te gebruiken die met de Remote Sensing technieken is bepaald. Dit in tegenstelling tot de methode van Makkink waarbij altijd potentiële verdamping wordt verondersteld. Niettemin blijft de bepaling van de werkelijke verdamping een exercitie, waarbij het niet eenvoudig is, op alle vragen een duidelijk antwoord te geven:

a) Waarom is de RS verdamping in 1999 groter dan die volgens Makkink?

WaterWatch zegt hierover het volgende:

- De WaterWatch verdamping is uitgerekend met een ruimtelijke resolutie van 1 km. Dat houdt in dat 3 van de vier polders tussen de 2 en 3 pixels beslaan. In de procedure worden de wolken zo goed mogelijk buiten beschouwing gelaten. Het deel van de wolken dat niet uit de beelden te verwijderen is (met name randen van de wolken en haize), geeft extreme SEBAL waarden (niet alleen ETa maar ook Biomassagroei e.d.). Deze output wordt geïntegreerd in de tijd (tussen de verschillende NOAA opnamen) en daardoor kunnen deze extremen langere tijd effect hebben).
- WaterWatch heeft bij de vervaardiging van de resultaten gebruik gemaakt van de globale straling gemeten door de meteostations van Den Helder, Marknesse en Eelde in tegenstelling tot de gegevens die bij de Makkink verdamping zijn gebruikt (Leeuwarden).
- In 1999 waren geen NOAA satellietbeelden beschikbaar tussen 19 mei en 14 juni voor de berekening van de verdamping. Voor de tussenliggende periode zijn interpolaties gebruikt.

b) Het valt op dat in het winterseizoen de verdamping volgens de Remote Sensing technieken soms hoog is. Vooral voor de polder Edens is het verschil tussen de verdamping volgens Makkink en Remote Sensing verdamping in de maand januari 1999 fors. De Makkink verdamping is ongeveer 8 mm terwijl de RS-verdamping 23 mm is. WaterWatch zegt hierover het volgende: "Het verschil tussen de verdamping in 1998 en 1999 kan verklaard worden door de verschillende klimatologische condities. Het grote verschil tussen de polders in 1999 (in het winterseizoen) zit in een atmosferische storing in de satellietbeelden die we gebruikt hebben. In het winterseizoen hebben de satellietbeelden een slechtere kwaliteit. Daardoor moet WaterWatch soms een satellietbeeld voor langere periode gebruiken. Op het januari beeld zit een lichte storing die tot gevolg heeft dat de verdamping boven Edens te hoog wordt geschat. Rodenburg valt buiten deze storing. De andere twee polders worden gedeeltelijk door deze storing bedekt" (Noordman, pers. med. 2001). Daarom is besloten om alleen voor januari 1999 de verdamping volgens Makkink te gebruiken voor de polders Edens, Atsjetille en Grouster Laagland, in plaats van de verdamping volgens Remote Sensing technieken.

4.7 Afvoer van oppervlaktewater

Overtollig oppervlaktewater wordt vanuit de polders via gemalen uitgeslagen op de Friese boezem (hieronder zijn per polder de typen gemalen gegeven). Voor de schroefpompen worden de gecalibreerde gemaalcurven gebruikt. Voor de vijzels wordt de formule van Muysken gebruikt (Boiten, 1995).

Tabel 7 Overzicht gemalen

| Polder | Gemaaltype |
|-------------------|---|
| Atsjetille* | Schroefpomp, gecalibreerd in april 1995 |
| Edens | Vijzel |
| Rodenburg | Schroefpomp, gecalibreerd in april 1995 |
| Grouster Laagland | Vijzel |

* In de polder Atsjetille is sinds 1 augustus 1999 een extra pomp in Harlingen-zuid in werking ten behoeve van het doorspoelen van een woonwijk. Deze pomp is in principe in functie gedurende de zomermaanden april tot en met september, gedurende twee maal 1 uur per dag. De capaciteit van deze pomp is 3 m³/minuut (dit wordt vertaald in een extra onttrekking van 1,2 mm/maand voor deze polder).

De afvoer van oppervlaktewater is een belangrijke en grote term in de waterbalans. Grote onnauwkeurigheden werken dan ook sterk door in de balans. Het is van groot belang dat de informatie van goede kwaliteit en volledig is. Hiaten zullen moeten worden opgevuld, maar schattingen kunnen slechts indirect worden gedaan. De volgende hiaten zijn aangetroffen.

Edens: jan-mrt 1997, apr-aug 1998 en apr-jun 1999
Rodenburg: okt 1999
Atsjetille: jan-feb 1997, jan-aug 1998 en jun 1999
Grouster Laagland: jan 1997

De schatting van de uitgeslagen hoeveelheid water wordt gebaseerd op het neerslagoverschot. Er is een lineair verband verondersteld tussen een (positief) neerslagoverschot en de afvoer van de gemalen, zie Figuur 33 tot en met Figuur 36 in Bijlage XII. Dit is weliswaar een grove benadering. Er is niettemin voor gekozen omdat het voortbestaan van hiaten in deze belanstern zo mogelijk moet worden voorkomen.

5 Waterbalansen

5.1 Inleiding

In de volgende paragrafen zijn voor de vier polders de waterbalansen gegeven. Voor de volledigheid zijn ook de maandbalansen van 1997 weergegeven (Boiten, 1999). Hieronder is een verklaring gegeven van de, in de maandbalansen en (half)jaarlijkse balansen, gebruikte afkortingen:

| | | | |
|------------------|-------------------------|-------|-------------------------------------|
| P | neerslag | | |
| Q _{in} | inlaat oppervlaktewater | Afsl. | inlaat zonder stuwmeting |
| | | Stuw | inlaat over meetstuwen |
| G _{in} | kwel | Dijkk | dijkkwel, flux uit de boezem |
| | | Dp kw | diepe kwel uit 1 ^o WVP |
| S _a | bergingsafname | | |
| ET | verdamping | | |
| Q _{uit} | afvoer oppervlaktewater | | |
| G _{uit} | wegzijging | Dwgz | dijkwegzijging, flux naar de boezem |
| | | Wgzg | wegzijging naar 1 ^o WVP |
| S _t | bergingstoename | | |
| R | restterm | | |

Alle termen zijn uitgedrukt in mm waterlaag.

Voor de waterbalansen per zomer/winterperiode zijn een aantal termen uit de maandelijkse balansen over zes maanden gesommeerd. Voor het winter halfjaar zijn dit de maanden oktober tot en met maart en voor het zomer halfjaar april tot en met september.

$$Q_{in} = \sum \text{Afsl.} + \sum \text{Stuw}$$
$$G = \sum G_{in} - \sum G_{uit}$$

Deze sommatie is eveneens uitgevoerd voor de waterbalansen per kalenderjaar.

De term G kan nu uit zowel positieve als negatieve waarden bestaan. Een positieve waarde betekent dat er over de periode sprake is van netto kwel, een negatieve waarde betekent een netto wegzijging.

De bergingsverandering $\Delta S = S_t - S_a$ wordt voor de halfjaarlijkse en jaarlijkse perioden berekend door een gemiddelde grondwaterstand aan het eind en een gemiddelde grondwaterstand aan het begin te gebruiken. Met behulp van

vergelijking 11 wordt dan de bergingsverandering over de periode van 6 maanden of 1 jaar berekend. Een negatieve ΔS waarde betekent een bergingsafname en een positieve ΔS waarde betekent een bergingstoename over de periode.

De tabellen 8 t/m 19 geven de waterbalansen voor de vier polders.

Bij deze tabellen worden de volgende kanttekeningen gemaakt:

1. In de maandelijkse balansen wordt de grootte van een term soms met 0 aangegeven, en soms met een liggend streepje –
0 betekent dat een waarde berekend of geschat is
- betekent: niet te berekenen door geen of te weinig meetgegevens
2. Er is bewust voor gekozen (zie ook par. 3.1) de termen S_a en S_t respectievelijk als termen inkomend en uitgaand water in de maandelijkse balans te plaatsen (en ΔS in de halfjaarlijkse en de jaarbalansen) teneinde de restterm R exclusief als sluitfout te zien.
3. Voor 1997 is in de maandelijkse balansen dijkkwel en diepe kwel samengevat in de kolom Dijkk. Evenzo zijn de wegzijgingscomponenten samengevat in de kolom Wgzig.
4. In sommige gevallen kloppen de balansen niet op 1 of 2 mm als gevolg van afrondingen.

In tabel 20 zijn de resttermen voor de kalenderjaren als percentage gegeven van de balansomzet. De balansomzet is gedefinieerd als: "De som van alle absolute waarden van de zes balanstermen, gedeeld door 2".

5.2 Atsjetille

Tabel 8 Maandelijkse waterbalans Atsjetille 1997, 1998 en 1999

| Waterbalans maandelijks polder Atsjetille | | | | | | | | | | | | |
|---|---------------------|-------|------|-------|-------|---------------------|-----|------------------|------|------|----------------|------|
| Periode | Inkomend water [mm] | | | | | Uitgaand water [mm] | | | | | | Rest |
| | P | Afsl. | Stuw | Dijkk | Dp kw | S _e | ET | Q _{uit} | Dwgz | Wgzg | S _r | |
| jan-97 | 10 | - | 0 | 18 | | 0 | 6 | 4 | | - | - | 18 |
| feb-97 | 72 | - | 0 | - | | - | 12 | 52 | | 3 | 58 | -53 |
| mrt-97 | 26 | - | 0 | 18 | | 57 | 29 | 12 | | - | - | 60 |
| apr-97 | 23 | - | 0 | 4 | | 9 | 49 | 6 | | - | - | -19 |
| mei-97 | 77 | 1 | 0 | 23 | | - | 73 | 27 | | - | 1 | 0 |
| jun-97 | 115 | 7 | 0 | 13 | | - | 96 | 21 | | - | 9 | 9 |
| jul-97 | 52 | 1 | 0 | 26 | | 6 | 102 | 10 | | - | - | -27 |
| aug-97 | 31 | 7 | 0 | 0 | | 20 | 94 | 0 | | - | - | -36 |
| sep-97 | 41 | 1 | 0 | 43 | | 25 | 47 | 2 | | - | - | 61 |
| okt-97 | 71 | 2 | 0 | 36 | | - | 22 | 6 | | - | 14 | 67 |
| nov-97 | 32 | - | 0 | 32 | | - | 8 | 10 | | - | 8 | 38 |
| dec-97 | 85 | - | 0 | - | | - | 4 | 51 | | 4 | 51 | -25 |
| jan-98 | 100 | 0 | 0 | 2 | 4 | - | 8 | 80 | - | - | 23 | -5 |
| feb-98 | 18 | 0 | 0 | 4 | 13 | 38 | 9 | 45 | - | - | - | 19 |
| mrt-98 | 76 | 0 | 0 | 2 | 11 | - | 19 | 54 | - | - | 15 | 2 |
| apr-98 | 87 | 0 | 0 | 2 | 9 | - | 28 | 55 | - | - | 15 | 0 |
| mei-98 | 24 | 0 | 15 | 6 | 7 | 47 | 71 | 47 | - | - | - | -19 |
| jun-98 | 76 | 2 | 9 | 7 | 5 | 22 | 43 | 50 | - | - | - | 26 |
| jul-98 | 83 | 0 | 9 | 8 | 3 | 10 | 52 | 40 | - | - | - | 21 |
| aug-98 | 65 | 4 | 15 | 9 | - | 13 | 54 | 23 | - | 0 | - | 28 |
| sep-98 | 99 | 1 | 8 | 4 | - | - | 26 | 32 | - | - | 52 | 3 |
| okt-98 | 172 | 2 | 10 | 1 | - | - | 15 | 107 | - | 0 | 82 | -20 |
| nov-98 | 73 | 0 | 7 | - | 2 | - | 6 | 78 | 2 | - | 5 | -9 |
| dec-98 | 80 | 0 | 0 | - | 4 | 2 | 4 | 78 | 1 | - | - | 4 |
| jan-99 | 96 | 0 | 0 | - | 6 | - | 7 | 99 | 4 | - | 7 | -15 |
| feb-99 | 64 | 0 | 0 | - | 2 | - | 11 | 55 | 1 | - | 9 | -10 |
| mrt-99 | 81 | 0 | 0 | 1 | 5 | 26 | 25 | 54 | - | - | - | 33 |
| apr-99 | 58 | 5 | 5 | 1 | 3 | 2 | 57 | 33 | - | - | - | -15 |
| mei-99 | 30 | 27 | 13 | 6 | 2 | 46 | 104 | 0 | - | - | - | 19 |
| jun-99 | 70 | 17 | 11 | 8 | 8 | 43 | 107 | 1 | - | - | - | 49 |
| jul-99 | 27 | 20 | 17 | 11 | 20 | 32 | 118 | 3 | - | - | - | 6 |
| aug-99 | 104 | 26 | 15 | 13 | 19 | 8 | 74 | 5 | - | - | - | 106 |
| sep-99 | 69 | 15 | 7 | 12 | 19 | - | 51 | 5 | - | - | 3 | 63 |
| okt-99 | 81 | 0 | 0 | 7 | 16 | - | 23 | 8 | - | - | 43 | 32 |
| nov-99 | 76 | 0 | 0 | 2 | 12 | - | 12 | 27 | - | - | 40 | 11 |
| dec-99 | 158 | 0 | 0 | - | 9 | - | 17 | 145 | 1 | - | 62 | -59 |

Tabel 9 Zomer en Winter waterbalans Atsjetille

| Waterbalans halfjaarlijks polder Atsjetille | | | | | | | |
|--|---------------------|-----------------|-----|---------------------|------------------|------|------|
| Periode | Inkomend water [mm] | | | Uitgaand water [mm] | | | Rest |
| | P | Q _{in} | G | ET | Q _{uit} | ΔS | R |
| Zomer 1997 | 339 | 17 | 109 | 461 | 66 | -50 | -12 |
| Winter 1997-1998 | 382 | 2 | 100 | 70 | 246 | 72 | 95 |
| Zomer 1998 | 435 | 61 | 60 | 274 | 247 | -25 | 59 |
| Winter 1998-1999 | 564 | 19 | 13 | 67 | 471 | 63 | -5 |
| Zomer 1999 | 358 | 178 | 121 | 511 | 47 | -130 | 230 |
| 4e kwartaal 1999 | 315 | 0 | 45 | 51 | 180 | 145 | -16 |

Tabel 10 Kalenderjaar waterbalans Atsjetille

| Waterbalans kalenderjaar polder Atsjetille | | | | | | | |
|---|-------------|-----------------|-----|-----|------------------|-----|------|
| Jaar | termen [mm] | | | | | | Rest |
| | P | Q _{in} | G | ET | Q _{uit} | ΔS | R |
| 1997 | 635 | 19 | 206 | 542 | 201 | 24 | 93 |
| 1998 | 953 | 80 | 100 | 335 | 689 | 60 | 50 |
| 1999 | 913 | 178 | 175 | 605 | 434 | -14 | 241 |

5.3 Edens

Tabel 11 Maandelijks waterbalans Edens 1997, 1998 en 1999

| Waterbalans maandelijks polder Edens | | | | | | | | | | | | |
|--------------------------------------|---------------------|-------|------|-------|-------|---------------------|-----|------------------|------|------|----------------|------|
| Periode | Inkomend water [mm] | | | | | Uitgaand water [mm] | | | | | Rest | |
| | P | Afsl. | Stuw | Dijkk | Dp kw | S _a | ET | Q _{uit} | Dwgz | Wgzg | S _t | R |
| jan-97 | 9 | - | 0 | - | | 0 | 6 | 3 | | 0 | - | 0 |
| feb-97 | 71 | - | 0 | - | | - | 13 | 54 | | 20 | - | -16 |
| mrt-97 | 27 | - | 0 | - | | 29 | 33 | 0 | | 10 | - | 13 |
| apr-97 | 21 | - | 0 | 17 | | 65 | 55 | 3 | | - | - | 45 |
| mei-97 | 85 | - | 0 | 21 | | 11 | 79 | 5 | | - | - | 33 |
| jun-97 | 105 | - | 0 | 25 | | 13 | 94 | 4 | | - | - | 45 |
| jul-97 | 46 | - | 0 | 29 | | 8 | 101 | 6 | | - | - | -24 |
| aug-97 | 47 | 59 | 0 | 33 | | 9 | 95 | 2 | | - | - | 51 |
| sep-97 | 33 | 5 | 0 | 36 | | 9 | 50 | 1 | | - | - | 32 |
| okt-97 | 88 | - | 0 | 40 | | 9 | 24 | 2 | | - | - | 111 |
| nov-97 | 26 | - | 0 | 37 | | - | 8 | 3 | | - | 7 | 45 |
| dec-97 | 92 | - | 0 | - | | - | 5 | 42 | | 21 | 141 | -117 |
| jan-98 | 111 | 0 | 0 | - | * | 0 | 9 | 94 | 12 | * | 0 | -3 |
| feb-98 | 22 | 0 | 0 | - | * | 36 | 9 | 24 | 6 | * | - | 19 |
| mrt-98 | 91 | 0 | 0 | - | * | - | 18 | 62 | 8 | * | 22 | -19 |
| apr-98 | 84 | 0 | 0 | - | * | 8 | 28 | 57 | 6 | * | - | 1 |
| mei-98 | 24 | 13 | 0 | - | * | 23 | 73 | 0 | 3 | * | - | -16 |
| jun-98 | 108 | 11 | 0 | 1 | * | 57 | 46 | 59 | - | * | - | 72 |
| jul-98 | 69 | 0 | 0 | 2 | * | 29 | 50 | 20 | - | * | - | 30 |
| aug-98 | 70 | 18 | 0 | 1 | * | 11 | 53 | 17 | - | * | - | 29 |
| sep-98 | 107 | 0 | 0 | - | * | - | 24 | 29 | 4 | * | 71 | -21 |
| okt-98 | 176 | 0 | 0 | - | * | - | 15 | 132 | 11 | * | 71 | -53 |
| nov-98 | 77 | 0 | 0 | - | * | - | 7 | 79 | 12 | * | 6 | -26 |
| dec-98 | 92 | 0 | 0 | - | * | 5 | 5 | 90 | 12 | * | - | -9 |
| jan-99 | 108 | 0 | 0 | - | * | - | 8 | 99 | 13 | * | 14 | -26 |
| feb-99 | 58 | 0 | 0 | - | * | 24 | 19 | 68 | 10 | * | - | -15 |
| mrt-99 | 87 | 0 | 0 | - | * | - | 22 | 57 | 11 | * | 14 | -17 |
| apr-99 | 57 | 0 | 0 | - | * | 47 | 53 | 5 | 4 | * | - | 41 |
| mei-99 | 31 | 10 | 0 | 5 | * | 50 | 112 | 1 | - | * | - | -17 |
| jun-99 | 63 | 40 | 0 | 11 | * | 29 | 112 | 1 | - | * | - | 30 |
| jul-99 | 26 | 14 | 0 | 18 | * | 42 | 114 | 15 | - | * | - | -28 |
| aug-99 | 118 | 22 | 0 | 21 | * | 22 | 76 | 13 | - | * | - | 93 |
| sep-99 | 80 | 0 | 0 | 22 | * | 8 | 49 | 4 | - | * | - | 58 |
| okt-99 | 74 | 0 | 0 | 13 | * | - | 23 | 8 | - | * | 56 | 2 |
| nov-99 | 81 | 0 | 0 | 17 | * | 2 | 9 | 26 | - | * | - | 64 |
| dec-99 | 161 | 0 | 0 | - | * | 8 | 14 | 150 | 6 | * | - | 0 |

* kwel/wegzijing op nihil gesteld.

De inlaat via de meetstuw in augustus 1998 (zie figuur 16) bedroeg 881 m³. Omgerekend in waterschijf per maand: 0,4 mm. Dit is afgerond op 0.

Tabel 12 Zomer en Winter waterbalans Edens

| Waterbalans halfjaarlijks polder Edens | | | | | | | |
|---|---------------------|-----------------|-----|---------------------|------------------|------|------|
| Periode | Inkomend water [mm] | | | Uitgaand water [mm] | | | Rest |
| | P | Q _{in} | G | ET | Q _{uit} | ΔS | R |
| Zomer 1997 | 337 | 65 | 161 | 474 | 21 | -115 | 183 |
| Winter 1997-1998 | 430 | 0 | 31 | 73 | 227 | 125 | 36 |
| Zomer 1998 | 462 | 42 | -8 | 274 | 182 | -56 | 95 |
| Winter 1998-1999 | 597 | 0 | -69 | 76 | 524 | 75 | -147 |
| Zomer 1999 | 374 | 86 | 72 | 514 | 39 | -197 | 176 |
| 4e kwartaal 1999 | 315 | 0 | 25 | 45 | 184 | 46 | 66 |

Tabel 13 Kalenderjaar waterbalans Edens

| Waterbalansen kalenderjaar polder Edens | | | | | | | |
|--|-------------|-----------------|-----|-----|------------------|------|------|
| Jaar | termen [mm] | | | | | | Rest |
| | P | Q _{in} | G | ET | Q _{uit} | ΔS | R |
| 1997 | 650 | 65 | 187 | 563 | 125 | -5 | 219 |
| 1998 | 1031 | 42 | -68 | 337 | 662 | 2 | 3 |
| 1999 | 942 | 86 | 63 | 608 | 447 | -149 | 186 |

5.4 Rodenburg

Tabel 14 Maandelijks waterbalans Rodenburg 1997, 1998 en 1999

| Waterbalans maandelijks polder Rodenburg | | | | | | | | | | | | |
|--|---------------------|-------|------|-------|-------|---------------------|-----|------------------|------|------|----------------|------|
| Periode | Inkomend water [mm] | | | | | Uitgaand water [mm] | | | | | | Rest |
| | P | Afsl. | Stuw | Dijkk | Dp kw | S _e | ET | Q _{uit} | Dwgz | Wgzg | S _e | R |
| jan-97 | 10 | - | 0 | 21 | | 0 | 6 | 11 | | - | - | 14 |
| feb-97 | 70 | - | 0 | 4 | | - | 13 | 77 | | - | 15 | -31 |
| mrt-97 | 30 | - | 0 | 5 | | 10 | 33 | 27 | | - | - | -15 |
| apr-97 | 28 | - | 0 | 20 | | 19 | 55 | 16 | | - | - | -4 |
| mei-97 | 82 | - | 0 | 18 | | - | 79 | 21 | | - | 1 | -1 |
| jun-97 | 131 | - | 1 | 39 | | 6 | 94 | 18 | | - | - | 65 |
| jul-97 | 42 | - | 2 | 27 | | - | 101 | 16 | | - | 3 | -49 |
| aug-97 | 52 | - | 1 | 33 | | 18 | 95 | 9 | | - | - | 0 |
| sep-97 | 35 | - | 1 | 33 | | 2 | 50 | 8 | | - | - | 13 |
| okt-97 | 70 | - | 1 | 12 | | - | 24 | 17 | | - | 21 | 21 |
| nov-97 | 29 | - | 0 | 23 | | 7 | 8 | 13 | | - | - | 38 |
| dec-97 | 86 | - | 0 | - | | - | 5 | 50 | | 4 | 29 | -2 |
| jan-98 | 107 | - | 0 | 17 | - | 3 | 9 | 93 | - | 4 | - | 21 |
| feb-98 | 23 | - | 0 | 14 | - | 2 | 10 | 21 | - | 6 | - | 2 |
| mrt-98 | 88 | - | 0 | 15 | - | - | 19 | 69 | - | 7 | 8 | 0 |
| apr-98 | 99 | - | 0 | 14 | - | - | 30 | 44 | - | 8 | 2 | 29 |
| mei-98 | 24 | - | 1 | 19 | - | 24 | 73 | 12 | - | 2 | - | -19 |
| jun-98 | 103 | - | 1 | 18 | - | 1 | 48 | 19 | - | 2 | - | 53 |
| jul-98 | 80 | - | 0 | 19 | 1 | 6 | 54 | 19 | - | - | - | 33 |
| aug-98 | 81 | - | 0 | 19 | - | - | 60 | 22 | - | 4 | 7 | 7 |
| sep-98 | 106 | - | 0 | 16 | - | - | 26 | 73 | - | 7 | 22 | -6 |
| okt-98 | 207 | - | 0 | 15 | - | 2 | 15 | 138 | - | 7 | - | 65 |
| nov-98 | 79 | - | 0 | 14 | - | - | 6 | 85 | - | 6 | 4 | -8 |
| dec-98 | 91 | - | 0 | 13 | - | 2 | 4 | 89 | - | 5 | - | 8 |
| jan-99 | 101 | - | 0 | 14 | - | - | 7 | 93 | - | 5 | 6 | 4 |
| feb-99 | 54 | - | 0 | 13 | - | 3 | 8 | 53 | - | 5 | - | 4 |
| mrt-99 | 81 | - | 0 | 14 | - | 10 | 25 | 63 | - | 6 | - | 11 |
| apr-99 | 54 | - | 0 | 15 | - | 7 | 63 | 35 | - | 4 | - | -25 |
| mei-99 | 33 | - | 1 | 19 | - | 23 | 112 | 15 | - | 2 | - | -54 |
| jun-99 | 77 | - | 1 | 21 | 2 | 16 | 116 | 11 | - | - | - | -12 |
| jul-99 | 35 | - | 0 | 24 | 4 | 14 | 127 | 8 | - | - | - | -59 |
| aug-99 | 107 | - | 1 | 23 | 2 | - | 96 | 19 | - | - | 5 | 12 |
| sep-99 | 66 | - | 0 | 21 | - | - | 56 | 15 | - | 1 | 4 | 11 |
| okt-99 | 72 | - | 0 | 19 | - | - | 25 | 40 | - | 5 | 18 | 3 |
| nov-99 | 76 | - | 0 | 16 | 3 | 0 | 16 | 34 | - | - | 0 | 46 |
| dec-99 | 156 | - | 0 | 14 | 14 | - | 16 | 129 | - | - | 14 | 25 |

Tabel 15 Zomer en Winter waterbalans Rodenburg

| Waterbalans halfjaarlijks polder Rodenburg | | | | | | | |
|---|---------------------|-----------------|-----|---------------------|------------------|-----|------|
| Periode | Inkomend water [mm] | | | Uitgaand water [mm] | | | Rest |
| | P | Q _{in} | G | ET | Q _{uit} | ΔS | R |
| Zomer 1997 | 370 | 5 | 170 | 474 | 88 | -41 | 24 |
| Winter 1997-1998 | 404 | 1 | 60 | 75 | 263 | 46 | 79 |
| Zomer 1998 | 494 | 2 | 82 | 291 | 190 | 0 | 97 |
| Winter 1998-1999 | 613 | 0 | 49 | 65 | 521 | 4 | 73 |
| Zomer 1999 | 372 | 3 | 123 | 571 | 103 | -44 | -133 |
| 4e kwartaal 1999 | 304 | 0 | 61 | 57 | 203 | 32 | 74 |

Tabel 16 Kalenderjaar waterbalans Rodenburg

| Waterbalans kalenderjaar polder Rodenburg | | | | | | | |
|--|------------|-----------------|-----|-----|------------------|-----|------|
| Jaar | temen [mm] | | | | | | Rest |
| | P | Q _{in} | G | ET | Q _{uit} | ΔS | R |
| 1997 | 665 | 6 | 231 | 563 | 283 | 7 | 49 |
| 1998 | 1090 | 2 | 135 | 354 | 686 | 3 | 184 |
| 1999 | 912 | 3 | 208 | 667 | 516 | -25 | -34 |

5.5 Grouster Laagland

Tabel 17 Maandelijks waterbalans Grouster Laagland 1997, 1998 en 1999

| Periode | Inkomend water [mm] | | | | | | Uitgaand water [mm] | | | | | Rest |
|---------|---------------------|-------|------|-------|-------|----------------|---------------------|------------------|------|------|----------------|------|
| | P | Afsl. | Stuw | Dijkk | Dp kw | S _e | ET | Q _{uit} | Dwgz | Wgzg | S _e | R |
| jan-97 | 9 | - | 0 | 23 | | 0 | 6 | 4 | | - | - | 23 |
| feb-97 | 74 | - | 0 | 21 | | - | 13 | 111 | | - | 2 | -31 |
| mrt-97 | 31 | 0 | 0 | 23 | | 3 | 33 | 32 | | - | - | -8 |
| apr-97 | 25 | 3 | 0 | 23 | | 1 | 55 | 17 | | - | - | -20 |
| mei-97 | 70 | 17 | 0 | 23 | | - | 79 | 17 | | - | 2 | 12 |
| jun-97 | 132 | 16 | 4 | 20 | | - | 94 | 42 | | - | 10 | 25 |
| jul-97 | 49 | 16 | 3 | 21 | | - | 101 | 82 | | - | 3 | -98 |
| aug-97 | 43 | 8 | 2 | 23 | | 12 | 95 | 24 | | - | - | -32 |
| sep-97 | 35 | 20 | 1 | 22 | | 3 | 50 | 22 | | - | - | 8 |
| okt-97 | 73 | 4 | 2 | 23 | | - | 24 | 30 | | - | 1 | 47 |
| nov-97 | 23 | - | 1 | 23 | | - | 8 | 15 | | - | 0 | 24 |
| dec-97 | 89 | - | 1 | 23 | | - | 5 | 76 | | - | 5 | 27 |
| jan-98 | 100 | 0 | 0 | 11 | 3 | - | 9 | 122 | - | - | 5 | -22 |
| feb-98 | 22 | 0 | 0 | 10 | 3 | 1 | 9 | 24 | - | - | - | 2 |
| mrt-98 | 85 | 0 | 1 | 11 | 3 | 0 | 20 | 91 | - | - | 0 | -13 |
| apr-98 | 102 | 0 | 1 | 11 | 3 | 4 | 31 | 75 | - | - | - | 14 |
| mei-98 | 26 | 65 | 1 | 11 | 3 | 4 | 73 | 22 | - | - | - | 14 |
| jun-98 | 95 | 83 | 0 | 10 | 2 | - | 46 | 25 | - | - | 2 | 119 |
| jul-98 | 74 | 36 | 0 | 10 | 2 | - | 48 | 19 | - | - | 5 | 50 |
| aug-98 | 73 | 0 | 0 | 10 | 3 | 2 | 56 | 27 | - | - | - | 5 |
| sep-98 | 125 | 0 | 0 | 10 | - | - | 26 | 84 | - | - | 15 | 10 |
| okt-98 | 193 | 0 | 0 | 10 | - | - | 15 | 161 | - | - | 3 | 24 |
| nov-98 | 79 | 0 | 0 | 9 | - | 1 | 5 | 144 | - | - | - | -60 |
| dec-98 | 90 | 0 | 1 | 10 | - | 1 | 4 | 112 | - | - | - | -15 |
| jan-99 | 95 | 0 | 1 | 10 | - | 10 | 8 | 127 | - | - | - | -18 |
| feb-99 | 58 | 0 | 1 | 9 | - | 0 | 11 | 86 | - | - | 0 | -28 |
| mrt-99 | 79 | 0 | 1 | 10 | - | 1 | 23 | 83 | - | - | - | -16 |
| apr-99 | 51 | 0 | 2 | 10 | 0 | 5 | 57 | 39 | - | - | - | -29 |
| mei-99 | 32 | 7 | 2 | 10 | - | 6 | 112 | 29 | - | - | - | -84 |
| jun-99 | 73 | 8 | 2 | 11 | - | 5 | 120 | 23 | - | - | - | -43 |
| jul-99 | 29 | 9 | 3 | 12 | 2 | 5 | 117 | 26 | - | - | - | -83 |
| aug-99 | 87 | 3 | 2 | 12 | - | - | 79 | 26 | - | - | 2 | -2 |
| sep-99 | 73 | 0 | 1 | 11 | - | - | 52 | 21 | - | - | 2 | 11 |
| okt-99 | 71 | 0 | 0 | 12 | - | - | 26 | 32 | - | 0 | 2 | 23 |
| nov-99 | 80 | 0 | 0 | 11 | 1 | - | 12 | 50 | - | - | 2 | 28 |
| dec-99 | 160 | 0 | 0 | 11 | 3 | - | 11 | 174 | - | - | 5 | -16 |

Tabel 18 Zomer en Winter waterbalans Grouster Laagland

| Waterbalans halfjaarlijks polder Grouster Laagland | | | | | | | |
|---|---------------------|-----------------|-----|---------------------|------------------|-----|------|
| Periode | Inkomend water [mm] | | | Uitgaand water [mm] | | | Rest |
| | P | Q _{in} | G | ET | Q _{uit} | ΔS | R |
| Zomer 1997 | 354 | 67 | 132 | 474 | 204 | -1 | -124 |
| Winter 1997-1998 | 391 | 8 | 109 | 75 | 359 | 10 | 65 |
| Zomer 1998 | 495 | 186 | 75 | 280 | 251 | 14 | 211 |
| Winter 1998-1999 | 594 | 4 | 59 | 66 | 713 | -9 | -113 |
| Zomer 1999 | 345 | 38 | 68 | 535 | 164 | -18 | -230 |
| 4e kwartaal 1999 | 311 | 0 | 37 | 49 | 256 | 9 | 35 |

Tabel 19 Kalenderjaar waterbalans Grouster Laagland

| Waterbalans kalenderjaar polder Grouster Laagland | | | | | | | |
|--|-------------|-----------------|-----|-----|------------------|-----|------|
| Jaar | termen [mm] | | | | | | Rest |
| | P | Q _{in} | G | ET | Q _{uit} | ΔS | R |
| 1997 | 653 | 95 | 268 | 563 | 472 | 4 | -22 |
| 1998 | 1063 | 187 | 144 | 341 | 906 | 18 | 129 |
| 1999 | 888 | 41 | 136 | 626 | 715 | -20 | -257 |

5.6 Overzicht resttermen

Hieronder wordt de restterm gerelateerd aan de balansomzet (de som van de absolute waarden van alle balanstermen, gedeeld door twee):

Tabel 20 De restterm als percentage van de balansomzet

| Atsjetille | som der termen | omzet | R | R/omzet |
|--------------------|----------------|-------|------|---------|
| jaar | mm | mm | mm | % |
| 1997 | 1627 | 814 | 93 | 11 |
| 1998 | 2217 | 1109 | 50 | 5 |
| 1999 | 2319 | 1160 | 241 | 21 |
| Edens | som der termen | omzet | R | R/omzet |
| jaar | mm | mm | mm | % |
| 1997 | 1595 | 798 | 219 | 27 |
| 1998 | 2142 | 1071 | 3 | 0 |
| 1999 | 2295 | 1148 | 186 | 16 |
| Rodenburg | som der termen | omzet | R | R/omzet |
| jaar | mm | mm | mm | % |
| 1997 | 1755 | 878 | 49 | 6 |
| 1998 | 2270 | 1135 | 184 | 16 |
| 1999 | 2331 | 1166 | -34 | -3 |
| Grouster L. | som der termen | omzet | R | R/omzet |
| jaar | mm | mm | mm | % |
| 1997 | 2055 | 1028 | -22 | -2 |
| 1998 | 2659 | 1330 | 129 | 10 |
| 1999 | 2426 | 1213 | -257 | -21 |

Tenslotte nog het overzicht van de resttermen R als percentage van de balansomzet

| | Atsjetille | Edens | Rodenburg | Grouster LI. |
|------|------------|-------|-----------|--------------|
| 1997 | 11 | 27 | 6 | -2 |
| 1998 | 5 | 0 | 16 | 10 |
| 1999 | 21 | 16 | -3 | -21 |

6 Foutenanalyse

6.1 Inleiding

Fouten in een waterbalans kunnen van een toevallige of systematische aard zijn. Systematische fouten kunnen onder andere worden veroorzaakt doordat de berekeningsmethoden van de verschillende termen fouten bevatten, berekeningen gevoed worden met systematisch foute metingen of doordat termen ten onrechte wél of niet in de balansvergelijking opgenomen zijn. De systematische fout in de waterbalans kan alleen worden weggewerkt door een verandering van de berekeningsmethoden of door een betere calibratie van de meettechnieken. Toevallige fouten zijn het gevolg van een complex van veelal snel veranderende factoren zoals precisie van de meetinstrumenten, onverklaarbare ruimtelijke en temporele variatie en verstoringen in de metingen. Deze factoren zijn moeilijk te beheersen. Zij kunnen veelal alleen worden gereduceerd door vaker en preciezer te meten.

In deze studie zijn alle termen van de waterbalans afzonderlijk en onafhankelijk van de andere berekend. Met andere woorden; er is geen onbekende term als sluitpost gebruikt. In dat geval is de restterm, R , een maat voor de totale fout die gemaakt wordt. Het is van belang te weten hoe nauwkeurig de verschillende termen van de waterbalans bekend zijn. Het is mogelijk om aan de hand van een foutenmodel te berekenen of een eventuele fout in de waterbalans het gevolg is van toevallige fouten of dat deze meer systematisch van aard is. Dit doen we aan de hand van een algemeen foutenmodel. Dit model staat beschreven in de volgende paragraaf (Bierkens, 2001).

6.2 Algemeen foutenmodel

We gaan uit van een foutenmodel dat in grote lijnen lijkt op de waterbalans zoals in vergelijking 1. Dit foutenmodel is gegeven in vergelijking 13. De termen hebben millimeter als eenheid. De termen in het foutenmodel zijn in werkelijkheid niet *exact* bekend, ze worden namelijk berekend aan de hand van metingen. Het zijn schatters voor de werkelijke waarde van de balansternen.

$$\hat{r} = \hat{p} + \hat{q}_{in} + \hat{g} - \hat{e}t - \hat{q}_{uit} - \Delta\hat{s} \quad [13]$$

waarin:

| | |
|-----------------|--|
| \hat{p} | <i>schatter van de: gebiedsneerslag</i> |
| \hat{q}_{in} | <i>schatter van de: water inlaat</i> |
| \hat{q} | <i>schatter van de: diepe kwel of wegzijging</i> |
| $\Delta\hat{s}$ | <i>schatter van de: bergingsverandering</i> |
| $\hat{e}t$ | <i>schatter van de: verdamping</i> |
| \hat{q}_{uit} | <i>schatter van de: gebiedsafvoer</i> |
| \hat{r} | <i>schatter van de: restterm</i> |

De berekende termen zijn niet vrij van fouten. Dit heeft tot gevolg dat ook de restterm niet foutloos wordt berekend. Laten we de volgende symbolen gebruiken: ε_s voor systematische fouten en ε_t voor toevallige fouten. De schatter van de restterm, \hat{r} , is de werkelijke waarde voor de restterm, r , vermeerderd met ε_s en ε_t (zie vergelijking 14):

$$\hat{r} = r + \varepsilon_s + \varepsilon_t \quad [14]$$

De variantie van een term in de waterbalans is een maat voor de grootte van de toevallige fout, die bij de berekening van deze term is gemaakt. Als ε_t de toevallige fout in term x is, is de variantie van de term $\text{var}(\varepsilon_t) = \sigma_x^2$. Wanneer we aannemen dat de toevallige fouten onderling onafhankelijk zijn in de verschillende termen (we mogen dit doen omdat alle termen afzonderlijk berekend zijn, geen enkele term als functie van de andere), kan door optellen de variantie van de restterm, σ_r^2 , gevonden worden (zie vergelijking 15). Deze variantie is dan een maat voor de toevallige fout die in de gehele waterbalans is gemaakt.

$$\sigma_r^2 = \sigma_p^2 + \sigma_{q_m}^2 + \sigma_g^2 + \sigma_{\Delta s}^2 + \sigma_{et}^2 + \sigma_{q_{uit}}^2 \quad [15]$$

Fouten in de termen hebben een aantal oorzaken. Deze kunnen worden verdeeld in de volgende groepen.

Metingen: Toevallige fouten in metingen hebben invloed op de grootte en de variantie van de restterm terwijl systematische fouten alleen invloed hebben op de grootte van de restterm.

Berekeningen: De fout die gemaakt wordt in berekeningen wordt doorgegeven aan afgeleide variabelen die worden berekend. Er ontstaan geen nieuwe fouten, maar de fout in de metingen wordt versterkt of verzwakt doorgegeven, dit wordt ook wel aangeduid met "foutenvoortplanting".

Tijdsintegratie: Veel termen in de waterbalans worden op een beperkt aantal tijdstippen gemeten, waarna er een tijdsgemiddelde of cumulatieve waarde moet worden geschat. Hierbij ontstaat een fout doordat geen rekening wordt gehouden met de onbekende variatie tussen de meettijdstippen.

Ruimtelijke middeling: Gebiedsgemiddelden worden ook berekend op basis van metingen die op een beperkt aantal locaties zijn gedaan. De variatie tussen de meetpunten is onbekend, dit levert ook een fout.

Wanneer σ_r^2 bekend is kan vervolgens de waarde voor $2\sigma_r$ (in mm) berekend worden. Het interval $[\hat{r} - 2\sigma_r, \hat{r} + 2\sigma_r]$ is het 95% betrouwbaarheidsinterval voor de werkelijke waarde van r . Met een zekerheid van 95% kan worden gezegd dat r element is van dit interval.

6.3 Werkwijze

Stap 1. Benoem de kleinste systematische fout die nog opgemerkt moet worden, r_{\min} . Neem voor de waarde van deze fout een percentage van de balansomzet in millimeters.

Stap 2. Bepaal vervolgens de waarde van σ_r^2 door de varianties van de afzonderlijke termen te sommeren. Wanneer r_{\min} binnen het 95%-betrouwbaarheidsinterval valt, dit is het geval wanneer $2\sigma_r > r_{\min}$, kan niet worden onderscheiden of de fout in de waterbalans een systematische of toevallige betreft. M.a.w. de grootte van de toevallige fouten maakt het niet mogelijk om r_{\min} afzonderlijk te observeren. Wil men dit wel doen, dan moeten fouten in de waterbalans verkleind worden door toekomstige aanvullende en preciezer metingen t.b.v. de berekening van de verschillende termen.

Stap 3. Als de maximale toevallige fout van de restterm, $2\sigma_r$, kleiner is dan de waarde van r_{\min} moet getoetst worden of het interval $[\hat{r} - 2\sigma_r, \hat{r} + 2\sigma_r]$ de waarde nul bevat. Nul is de waarde voor r^* indien de waterbalans foutloos is berekend. Er zijn nu dus twee mogelijkheden:

- 1) De waarde "0" bevindt zich niet in het interval $[\hat{r} - 2\sigma_r, \hat{r} + 2\sigma_r]$.
 - De kans op een toevallige fout $< 5\%$.
 - De berekeningswijze of de meetmethoden dienen te worden aangepast.
- 2) De waarde "0" bevindt zich wel in het interval $[\hat{r} - 2\sigma_r, \hat{r} + 2\sigma_r]$.
 - De kans op een toevallige fout $> 5\%$.
 - De berekende waterbalans is acceptabel.

6.4 Toetsen van de waterbalansen

In ons geval hebben we te maken met vier verschillende polders waarvan voor de jaren 1997, 1998 en 1999 waterbalansen zijn berekend. In het onderstaande zullen de 3 stappen worden doorlopen, en aangegeven hoe de berekeningen zijn gedaan.

Stap 1.

De kleinste systematische fout die in deze foutenanalyse opgemerkt dient te worden wordt gesteld op 10%. Om de waterbalansen voor de verschillende polders gelijk te behandelen, wordt r_{\min} bepaald door 10% te nemen van een langjarig gemiddelde van de balansomzet. Dit langjarige gemiddelde is in dit geval een gemiddelde over 3 jaren. Doordat er niet dezelfde waarde voor r_{\min} wordt genomen voor alle vier polders wordt voorkomen dat een polder waarin veel water wordt omgezet aan een minder strenge eis wordt onderworpen dan een polder waar minder water wordt omgezet (gemiddeld over een aantal jaren). In de volgende tabel is per polder de waarde van r_{\min} gegeven.

Tabel 21 De waarden van r_{\min} voor de vier polders

| | gem. omzet | r_{\min} |
|-------------------|------------|------------|
| Atsjetille | 1051 | 105 |
| Edens | 1005 | 101 |
| Rodenburg | 1059 | 106 |
| Grouster Leegland | 1190 | 119 |

Stap 2.

In ons geval moeten er varianties berekend worden voor de volgende zes termen in het foutenmodel: Neerslag, Inlaat, Kwel, Verdamping, Uitlaat en de Bergingsverandering.

Neerslag

De fout die door tijdsintegratie wordt gemaakt wordt verwaarloosd, neerslag is een continu bemeeten parameter. De door ruimtelijke middeling veroorzaakte variantie, wordt berekend met de formule in vergelijking 16:

$$\text{var}(P) = \frac{1}{n-1} \cdot (P_i - P^*)^2 \quad [16]$$

- n** = aantal meetstations
P* = gem. jaarlijks gemiddelde neerslag
P_i = jaarsom van de verschillende stations

De neerslagterm voor de polder Edens wordt bepaald aan de hand van één station. Dit is gedaan omdat dit meetstation, Skrins, relatief dichtbij de polder ligt. Om toch een *indicatieve* variantie te bepalen is van Skrins en twee dichtbijgelegen stations, Sneek en Akkrum, de variantie bepaald. Omdat station Skrins dichtbij de polder Edens staat is deze berekende variantie met de helft verkleind, vandaar de asterisk. De varianties als gevolg van de ruimtelijke middeling, in millimeters² per polder en per jaar zijn als volgt:

| Polder: | 1997 | 1998 | 1999 |
|-------------------|-------------|-------------|-------------|
| Atsjetille | 1440 | 234 | 540 |
| Edens | 55* | 730* | 1018* |
| Rodenburg | 12 | 7946 | 508 |
| Grouster Leegland | 191 | 1135 | 1847 |

Inlaat

De toevallige fout die met een vlotter registratie van waterhoogten wordt gemaakt ligt tussen 0.002 en 0.004 meter (Boiten, 2000). Deze fout geldt dus voor metingen ten behoeve van de berekening van de inlaat met stuwen. De formule waarmee de fout, in procenten van het debiet, kan worden berekend is bij benadering gegeven in vergelijking 17.

$$X_Q = u \cdot X_{h1} \quad [17]$$

$$X_{h_1} = 100 \cdot \frac{\delta_h}{h_1} (\%) \quad [18]$$

waarin:

| | | |
|------------|---|--|
| X_Q | = | procentuele fout in de berekening van het debiet Q (%) |
| X_{h_1} | = | procentuele fout in de bepaling van de overstorthoogte (%) |
| u | = | machtscoëfficiënt boven h_1 (-) |
| δ_h | = | onzekerheid in de bepaling van de overstorthoogte (m) |
| h_1 | = | gemiddelde overstorthoogte (m) |

Wanneer een onzekerheid $\delta_h = 0.003$ m in de metingen wordt aangenomen, krijgt X_{h_1} , bij een gemiddelde overstorthoogte van 0.10 m, een waarde van 3%. De procentuele fout in de berekening van het debiet is deze waarde vermenigvuldigd met $u=2.5$. De varianties worden dus bepaald met een standaardfout voor de debieten van 7,5%. De varianties van de inlaten m.b.v. stuwen in millimeters² per polder en per jaar zijn als volgt:

| Polder: | 1997 | 1998 | 1999 |
|-------------------|-------------|-------------|-------------|
| Atsjetille | 0 | 30 | 26 |
| Edens | 0 | 0 | 0 |
| Rodenburg | 0 | 0 | 0 |
| Grouster Leegland | 1 | 0 | 1 |

De standaardfout in de berekening van de inlaat met behulp van afsluiterstanden, wordt geschat op 15% (zie Bijlage VIII). De varianties op jaarbasis van de metingen van de inlaat m.b.v. afsluiters in millimeters² per polder en per jaar zijn als volgt:

| Polder: | 1997 | 1998 | 1999 |
|-------------------|-------------|-------------|-------------|
| Atsjetille | 8 | 2 | 272 |
| Edens | 92 | 40 | 166 |
| Rodenburg | nvt | nvt | nvt |
| Grouster Leegland | 159 | 762 | 16 |

Kwel

De variantie van de kwelterm bestaat uit een variantie als gevolg van toevallige meetfouten, een variantie als gevolg van tijdsintegratie en een variantie als gevolg van het ruimtelijk middelen van metingen. De variantie van de toevallige meetfout en de tijdsintegratie zijn verwaarloosbaar verondersteld ten opzichte van de variantie als gevolg van het ruimtelijk middelen van de peilgegevens. Hieronder zijn de varianties als gevolg van het ruimtelijk middelen weergegeven, wanneer de berekening hiervan mogelijk was (millimeters²):

| Polder: | 1997 | 1998 | 1999 |
|-------------------|-------------|-------------|-------------|
| Atsjetille | - | 1715 | 12506 |
| Edens | - | - | - |
| Rodenburg | - | 8367 | 1070 |
| Grouster Leegland | - | - | - |

Ook hier is vgl. 16 toegepast, voorzover twee of meer peilbuizen informatie gaven.

Verdamping

De onzekerheid in verdampingsbepalingen met behulp van Remote Sensing technieken is moeilijk te bepalen, omdat er geen betrouwbare waarden voor de actuele gebiedsverdamping bestaan waarmee RS bepalingen gekalibreerd kunnen worden. Op basis van informatie op de website van WaterWatch is geschat dat de standaardfout in de bepaling minstens 10% is (WaterWatch, 2002). Op basis van een standaardfout van 10% zijn de varianties van de verdampingsterm voor 1998 en 1999 bepaald. Ook voor de verdamping in het jaar 1997 is een standaardfout van 10% aangenomen, hoewel de verdamping met de methode van Makkink berekend is. De varianties in millimeters² zijn als volgt:

| Polder: | 1997 | 1998 | 1999 |
|-------------------|-------------|-------------|-------------|
| Atsjetille | 2937 | 1122 | 3660 |
| Edens | 3170 | 1136 | 3697 |
| Rodenburg | 3170 | 1253 | 4449 |
| Grouster Leegland | 3170 | 1163 | 3919 |

Uitlaat

Het water wordt uitgeslagen met behulp van schroefpompen of vijzels. De standaardfout die gemaakt wordt bij de schatting van het debiet van dit soort pompen worden geschat op 3 tot 6% (Boiten, 2000). De varianties van de kwelterm op jaarbasis in millimeters², op basis van een standaardfout van 6% per polder en per jaar zijn als volgt:

| Polder: | 1997 | 1998 | 1999 |
|-------------------|-------------|-------------|-------------|
| Atsjetille | 145 | 1709 | 678 |
| Edens | 56 | 1578 | 719 |
| Rodenburg | 288 | 1694 | 958 |
| Grouster Leegland | 802 | 2955 | 1840 |

Bergingsverandering

Omdat de data slechts een beperkt aantal jaren overspannen, kunnen bergingsveranderingen niet verwaarloosd worden. Voor alle polders is de bergingsverandering grotendeels gebaseerd op metingen van één peilbuis. In de polder Edens is er een meetreeks van één peilbuis beschikbaar en de berekening van de bergingsverandering in de polder Grouster Laagland is enkel gebaseerd op de meest volledige van de drie meetreeksen. Voor de polder Rodenburg is de gemiddelde bergingsverandering genomen van drie meetreeksen. Echter, twee van deze drie meetreeksen bevatten hiaten. Voor de polder Atsjetille wordt het gemiddelde van vier peilbuizen gebruikt voor de berekening van de bergingsverandering (In 1997 te weinig representatieve informatie).

Omdat alleen in de polder Atsjetille de berekening van de bergingsverandering op meerdere volledige peilbuisreeksen is gebaseerd, kan alleen voor deze polder de variantie van de bergingsverandering op jaarbasis worden berekend.

De bergingsverandering is berekend met behulp van de grondwaterstanden in december 1997, 1998 en 1999. De varianties van de bergingsverandering op jaarbasis in millimeters² per polder en per jaar zijn als volgt:

| Polder: | 1997 | 1998 | 1999 |
|-------------------|-------------|-------------|-------------|
| Atsjetille | onbekend | 4792 | 554 |
| Edens | onbekend | onbekend | onbekend |
| Rodenburg | onbekend | onbekend | onbekend |
| Grouster Leegland | onbekend | onbekend | onbekend |

In Tabel 22 zijn per balanstern de varianties weergegeven voor alle polders voor de jaren 1997, 1998 en 1999.

Tabel 22 overzicht van de varianties per balanstern

| | σ_P^2 (mm ²) | σ_{Qin}^2 (mm ²) | σ_G^2 (mm ²) | σ_{ET}^2 (mm ²) | σ_{Quit}^2 (mm ²) | $\sigma_{\Delta S}^2$ (mm ²) | σ_r^2 (mm ²) | $2\sigma_r$ (mm) | r_{min} (mm) |
|--------------------|------------------------------------|--|------------------------------------|---------------------------------------|---|---|------------------------------------|---------------------|-------------------|
| Atsjetille | | | | | | | | | |
| 1997 | 1440 | 8 | - | 2937 | 145 | - | 4530 | 135 | 105 |
| 1998 | 234 | 32 | 1715 | 1122 | 1709 | 4792 | 9604 | 196 | 105 |
| 1999 | 540 | 298 | 12506 | 3660 | 678 | 554 | 18744 | 270 | 105 |
| Edens | | | | | | | | | |
| 1997 | 55 | 92 | - | 3170 | 56 | - | 3373 | 116 | 101 |
| 1998 | 730 | 40 | - | 1136 | 1578 | - | 3484 | 118 | 101 |
| 1999 | 1018 | 166 | - | 3697 | 719 | - | 5600 | 150 | 101 |
| Rodenburg | | | | | | | | | |
| 1997 | 12 | 0 | - | 3170 | 288 | - | 3470 | 118 | 106 |
| 1998 | 7946 | 0 | 8367 | 1253 | 1694 | - | 19260 | 278 | 106 |
| 1999 | 508 | 0 | 1070 | 4449 | 958 | - | 6985 | 167 | 106 |
| Grouster L. | | | | | | | | | |
| 1997 | 191 | 160 | - | 3170 | 802 | - | 4323 | 131 | 119 |
| 1998 | 1135 | 762 | - | 1163 | 2955 | - | 6015 | 155 | 119 |
| 1999 | 1847 | 17 | - | 3919 | 1840 | - | 7623 | 175 | 119 |

- Voor enkele jaren zijn varianties in de neerslag groot. Dit komt doordat de waarden voor de gemeten puntneerslagen waarop het gebiedsgemiddelde is gebaseerd, in die jaren onderling verschillen.
- Varianties van de inlaat zijn klein.
- Varianties van de kwel/wegzijging zijn slechts te bepalen wanneer er meer dan één diepe peilbuis bemeten is. De varianties zijn groot voor de gevallen waarbij dit mogelijk was. Omdat voor de rest van de gevallen de kwel/wegzijging is gebaseerd op slechts één peilbuis reeks, valt te verwachten dat bepaling van kwel/wegzijging in deze gevallen minstens net zo grote varianties heeft.
- De aanname dat de bepaling van de verdamping een onzekerheid van 10% heeft is een arbitraire keuze. Toch is de berekening van de verdamping altijd met een relatief grote onzekerheid behept.

- De varianties van de uitlaten zijn groot, in jaren waarin de uitgelaten hoeveelheden groot zijn. Er is uitgegaan van het slechtste geval, een onzekerheid van 6%.
- De berekening van de bergingsveranderingen is gebaseerd op variërende peilmetingen die onderling veel verschillen, waardoor de varianties groot zijn. In principe nadert de bergingsverandering over een relatief lange periode zoals een jaar tot nul.

Stap 3.

Stap 3 is op basis van de uitkomsten van stap 2 overbodig. Voor alle balanstermen is een onderscheid tussen een toevallige en systematische fout niet mogelijk ($2\sigma_r$ is in alle gevallen groter dan r_{min}).

6.5 Conclusie

Er kan niet worden onderscheiden of de fout in de waterbalans een systematische of toevallige betreft. De nauwkeurigheid van de waterbalans moet vergroot worden door toekomstige aanvullende en preciezere metingen t.b.v. de berekening van de verschillende termen.

7 Evaluatie waterbalansen

7.1 Inleiding

Een redelijk goed sluitende waterbalans verschaft de waterbeheerder kennis van en inzicht in de dynamiek van het watersysteem (stroomgebied of polder).

In de huidige studie is er voor gekozen alle balanstermen te bepalen hetzij door metingen of door berekeningen en in geval van hiaten in meetreeksen de termen toch in te vullen door interpolaties en desnoods schattingen. Deze keuze betekent dat de restterm, die er toch altijd zal zijn, exclusief een sluitfout is. De – bij nogal wat waterbeheerders – gangbare praktijk om lastig te bepalen balanstermen (soms kwel/wegzijging en ook wel eens verdamping) in de restterm te (ver)stoppen, wordt als onwenselijk beschouwd: het verdoezelt alle meetfouten en kan tot zotte conclusies leiden.

Uit de balansen, zoals gepresenteerd in de paragrafen 5.2 t/m 5.5 blijkt dat de restterm (=sluitfout) voor de maandelijkse balansen groot kan zijn. Voor de halfjaarlijkse zomer- en winterperiodes wordt het beeld reeds gunstiger. Maar voor de waterbalansen per kalenderjaar zijn de resttermen in een aantal gevallen toch erg groot.

In paragraaf 5.6 zijn de resttermen van de twaalf jaarbalansen gerelateerd aan de balans omzet, en als volgt samengevat (de restterm R als percentage van de balansomzet):

| | Atsjetille | Edens | Rodenburg | Grouster LI. | |
|------|------------|-------|-----------|--------------|---------------|
| 1997 | 11 | 27 | 6 | -2 | droog jaar |
| 1998 | 5 | 0 | 16 | 10 | nat jaar |
| 1999 | 21 | 16 | -3 | -21 | gem. neerslag |

In de helft van de gevallen is de restterm $R \leq 10\%$ van de omzet (redelijk goed resultaat), in de andere helft is de restterm $R > 10\%$ van de omzet (slecht resultaat).

De slechtere balansen doen zich in elk van de vier polders voor, en steeds blijkbaar onafhankelijk van de neerslag jaarsom.

In paragraaf 6 is aangetoond dat de fouten analyse niet heeft geleid tot het onderscheiden van systematische en toevallige fouten in de waterbalansen.

Al met al weinig aanknopingspunten om tot een heldere evaluatie te komen.

- par. 7.2 behandelt de foutgevoeligheid van de afzonderlijke balanstermen.
- par. 7.3 geeft aanbevelingen met betrekking tot een aantal aanpassingen naar aanleiding van zwakke punten in de bepaling van balanstermen.
- par. 7.4 is een kort naschrift.

7.2 Foutgevoeligheid van de balanstermen

In hoofdstuk 6, Foutenanalyse, zijn de fouten in balanstermen als volgt onderscheiden:

- fouten in metingen, altijd toevallig van aard en vaak systematisch
- foutenvoortplanting, als balanstermen worden berekend (afgeleid) uit gemeten variabelen die weer steeds een toevallige component herbergen en vaak ook een systematische

- fouten door variatie in tijd
- fouten als gevolg van ruimtelijke variatie

Toevallige fouten middelen zich grotendeels tegen elkaar weg. Systematische fouten wijzen echter slechts in één richting: of een overschatting van de werkelijke grootte of een onderschatting. Fouten door temporele variaties kunnen groot zijn bij grote tijdsintervallen tussen opeenvolgende metingen. Fouten door ruimtelijke variaties zijn het gevolg van het feit dat een puntmeting niet representatief is voor het betreffende meetgebied.

Bij het vaststellen van de balanstermen doen zich de volgende fouten voor:

| | neerslag | inlaat | kwel | verdamping | uitlaat | berging |
|-----------------------|----------|--------|------|------------|---------|---------|
| fouten in metingen | X | X | X | X | X | X |
| foutenvoortplanting | | | X | X | | X |
| temporele variaties | | | X | | | X |
| ruimtelijke variaties | X | | X | | | X |

Hierna wordt geëvalueerd hoe gevoelig elk der balanstermen is voor de diverse foutenbronnen

Neerslag

- meetfouten
In par. 3.2 is vermeld dat de standaard opgestelde regenmeters – zoals ook de KNMI meetstations – per saldo een onderschatting geven van de werkelijke neerslag. Deze systematische fout kan oplopen tot ruim 5%. Het is niet gebruikelijk hierop te corrigeren.
Toepassing van een standaard opgestelde regenmeter verlaagt de meetfout.
- ruimtelijke variatie
De neerslagverdeling in Fryslân is zeker niet homogeen. Volgens Van Engelen (1997) loopt de gemiddelde neerslag jaarsom (tijdvak 1961-1990) in Fryslân op van ca. 750 mm langs de Waddenkust (Atsjetille ca. 765 mm) tot ca. 850 mm langs de oostkant van de provincie (Grouster Laagland ca. 825 mm).
Voor drie van de vier polders wordt de gebiedsneerslag bepaald uit het gemiddelde van drie omliggende meetstations, hetgeen voor de bepaling van een gemiddelde jaarsom een heel acceptabele benadering is. Voor buiige neerslag kan deze middeling echter tot grote fouten leiden: het is goed denkbaar dat een bui over twee van de drie omliggende KNMI stations trekt zonder enige neerslag in het meetgebied te brengen.
Plaatsing van één of twee meetstations in het gebied reduceert de fout aanzienlijk.

Inlaat

De inlaat wordt op één of meerdere locaties gemeten.

De debietmeting met meetstuwen is een zeer betrouwbare, mits de kruin van de stuw regelmatig wordt schoongehouden van plantaardige of dierlijke aanslag. Wordt dit genegeerd, dan leidt de meting altijd tot een overschatting (systematisch te veel) van het werkelijke debiet.

De debietmeting met een KWT afsluiter staat onder invloed van diverse foutenbronnen (zie Bijlage VIII). Als in het veld de afvoer achter de afsluiter gestuwd is (hoe verder de schuif getrokken is, hoe groter de kans), kan het

systeem als een hevel werken, hetgeen tot een sterke onderschatting leidt van het werkelijke debiet. Iets meer zekerheid hierover wordt verkregen door bij de vijf Rossum overlaten beide meetmethodes bij wijze van proef aan elkaar te vergelijken (debietbepaling met de Rossum overlaat en die met de afsluiter).

Kwel en wegzijging

- meetfouten
Bij het aflezen van peilen kunnen fouten worden gemaakt.
- foutenvoortplanting
Zowel het watertransport door de boezemdijk als ook de verticale flux worden berekend uit in peilbuizen gemeten waterstanden en een aangenomen bodemweerstand (KD voor dijkkwel en c voor de verticale flux). Met name de aangenomen weerstanden zijn zeer onzeker, waardoor de kans op forse systematische fouten (zowel overschatting als onderschatting zijn mogelijk) groot is.
Deze onzekerheid wordt kleiner door het uitvoeren van bodemonderzoek (boorstaten) op diverse locaties in de meetgebieden.
Met betrekking tot dijkkwel kan men zich afvragen of de berekeningsmethode (Darcy, Mazure) een goede keuze is en of de gekozen spreidingslengte van 100 m correct is.
- temporele variaties
Het is zeer de vraag of de gebruikelijke meet-intervallen (twee maal per maand) een getrouw beeld geven van de dynamiek van het systeem.
Dit kan goed gecontroleerd worden door in een aantal peilbuizen de waterstanden continu te meten met bijvoorbeeld de DIVER sensor. Dit reduceert tevens de kans op hiaten in meetreeksen.
- ruimtelijke variaties
De meetgebieden zullen zeker niet homogeen zijn qua bodemweerstand.
Metingen op meer locaties dan nu zal leiden tot afname van fouten.

Verdamping

In de waterbalansen van de vier polders zijn voor de jaren 1998 en 1999 de RS-technieken aangehouden voor de bepaling van de verdamping. In par. 4.6 is ingegaan op een aantal vragen rondom deze techniek. Gezien de substantiële bijdrage van de verdampingsterm aan de balansomzet verdient het aanbeveling nader onderzoek uit te voeren (op nationaal niveau, STOWA) naar de onzekerheid in de bepaling van de actuele verdamping met de gebruikte Remote Sensing technieken.

Uitlaat

De uitgeslagen hoeveelheden worden bepaald met behulp van gemaalcurves. Voor de schroefpompen zijn dit de in 1995 gecalibreerde curves. Voor de vijzels is dat de afvoerformule van Muysken. Voor beide types geldt dat de capaciteit in de loop der jaren afneemt door slijtage, hetgeen leidt tot de overschatting van het werkelijke debiet (een gestaag toenemende systematische fout).

Herijking van de gemalen (minstens éénmaal per 7 jaren) leidt tot betere resultaten.

Met betrekking tot de waterstanden voor en achter de gemalen het volgende:

Bij de schroefpompen wordt er van uitgegaan dat polderpeil en boezempeil beide de gewenste vaste standen hebben, waardoor met een constante opvoerhoogte wordt gerekend, en de pompen – ongeacht de werkelijke variaties in beide peilen – een constant debiet leveren. In principe leidt dit tot systematische fouten, die waarschijnlijk van geringe omvang zijn.

Bij de vijzels is er een grotere gevoeligheid voor beide waterstanden: een boezempeil hoger dan het tegenmaulpunt en een polderpeil lager dan het vulpunt leiden tot overschatting van de debieten. Het is onzeker of deze situaties onder extreem natte situaties steeds kunnen worden voorkomen.

Berging

Voor het opstellen van maandbalansen kan de bergingsverandering een belangrijke bijdrage leveren.

- foutenvoortplanting
De bergingscoëfficiënt (0,15) is een arbitraire aanname, die de werkelijke berging zowel kan overschatten als onderschatten. Het ligt ergens tussen 0,10 en 0,20.
- de fouten als gevolg van temporele en ruimtelijke variaties en meetfouten zijn reeds genoemd bij kwel en wegzijging.

Voor het opstellen van balansen met langere looptijden (jaARBalansen) is er veel voor te zeggen de bergingsverandering op nul te stellen. Bij kalenderjaarbalansen kunnen een bevroren ondergrond en de berging van sneeuw tijdens de jaarwisselingen dan een complicatie zijn.

7.3 Gewenste aanpassingen naar aanleiding van zwakke punten

Naar aanleiding van wat in de hoofdstukken 4, 5 en 6 en de paragrafen 7.1 en 7.2 is geschreven, worden in deze paragraaf aanpassingen in de meetnetten aanbevolen, om zwakke punten in de bepalingen van balanstermen zoveel mogelijk om te buigen naar sterke punten.

De volgende aanpassingen gelden voor elk der vier meetgebieden:

1. Plaats twee standaard opgestelde regenmeters in het meetgebied, zo goed mogelijk gebiedsdekkend.
2. Bij de inlaten, voorzien van meetstuwen, verdient het aanbeveling deze stuwen tijdens de inlaat-periode wekelijks te inspecteren en de kruin schoon te houden van aanslag. Ook kan het nuttig zijn de nulpuntsbepaling van tijd tot tijd te controleren, vooral na een vorstperiode.
3. Bij de inlaten, niet voorzien van een meetstuw is het nuttig te onderzoeken of het systeem bij de verschillende openingsstanden wel of niet hevelt. Mocht dit wel het geval zijn, dan verdient het aanbeveling de afvoerrelaties aan te passen met behulp van de goed gecalibreerde meetstuwen. Ook valt te overwegen, op locaties waar veel water wordt ingelaten, alsnog een meetstuw te plaatsen.
4. Nader onderzoek wordt aanbevolen naar de onzekerheid in de bepaling van de actuele verdamping met Remote Sensing technieken. Zo'n onderzoek zou goed passen in één van de STOWA taakvelden.
5. Bij kwel/wegzijging behoeft het vaststellen van de verticale flux de volgende aanpassingen:
 - een betrouwbare bepaling van de weerstand c op alle locaties waar peilbuizen met diepe filters staan en wellicht nog zullen worden bijgeplaatst, teneinde een gebiedsdekkende weerstand c te verkrijgen.
 - bij twijfel over de hoogte van een peilbuis, wordt geadviseerd, deze opnieuw in te meten.
 - uitbreiding van het aantal peilbuizen, bij voorkeur met DIVER sensoren, waarvan het meet-interval naar believen kan worden ingesteld. Wellicht is voor de diepe filters éénmaal per dag een goede keuze, en kan met de meetfrequentie voor het freatisch water worden geëxperimenteerd

tussen éénmaal per dag en éénmaal per uur. Om meer gebiedsdekkende informatie te verkrijgen, worden de volgende aantallen peilbuizen aanbevolen (zie par. 4.4 voor de huidige situatie):

Atsjetille 5, dat zijn 3 er bij naast 10BP9002 en 10EP9003

Edens 3, alle 3 nieuw

Rodenburg 3, dat is 1 er bij naast 10HP0060 en 10HP9001

Grouster Laagland 4, dat zijn 2 er bij naast 11AP9031 en 11AP7002.

6. Bij kwel/wegzijging behoeft het vaststellen van de dijkkwel de volgende aanpassingen:
 - een betrouwbare bepaling van de doorlatendheid kD langs de kwelweg in de bestaande en de wellicht nog extra in te richten meetraaien.
 - bij twijfel over de hoogte van een peilbuis, wordt geadviseerd deze opnieuw in te meten.
 - het plaatsen van meerdere (3 of 4) buizen in een meetraai geeft de transportberekening volgens Darcy een hogere betrouwbaarheid.
 - uitbreiding van het aantal meetraaien haaks op de dijk van één per meetgebied nu naar twee in de toekomst.
7. Om de bergingsverandering nauwkeuriger te bepalen is het aan te bevelen de bergingscoëfficiënt nauwkeuriger vast te stellen op alle locaties waar het freatisch water wordt gemeten, teneinde een gebiedsdekkende bergingscoëfficiënt te verkrijgen.
8. Hiaten in meetreeksen dienen zo veel mogelijk te worden voorkomen. Dit wordt voor een groot deel bereikt door de meetstations wekelijks te inspecteren.

7.4 Naschrift

1. De loop van het project

In de zomer van 1994 werden de eerste voorbereidingen getroffen om te komen tot de gegevensverwerking en het opstellen van de waterbalansen voor vier Friese polders: Atsjetille, Edens, Rodenburg en Grouster Laagland. In 1995 werden twee gemalen gecalibreerd en in 1996 volgde de installatie van zes meetstuwen.

Nu in 2002 worden de waterbalansen gepresenteerd over de kalenderjaren 1997, 1998 en 1999.

2. De opzet van de waterbalans

De gebiedswaterbalans voor een kalenderjaar is als volgt gedefinieerd:

$$P + Q_{in} + G - (ET + Q_{uit} + \Delta S) = R$$

waarin alle termen zijn uitgedrukt in millimeters waterschijf:

P gebiedsneerslag, gemiddeld uit drie omliggende KNMI regenmeters (behalve bij Edens)

Q_{in} inlaat van water uit de Friese boezem

G kwel: dijkkwel en verticale flux. Een positieve waarde duidt op kwel, een negatieve waarde duidt op wegzijging

ET de verdamping: 1997 volgens Makkink (potentiële verdamping) 1998 en 1999 met Remote Sensing technieken (actuele verdamping).

Q_{uit} via gemalen uitgeslagen oppervlaktewater op de Friese boezem

ΔS toename verzadigde berging. Een positieve waarde duidt op bergingstoename, een negatieve waarde duidt op bergingsafname.

Al deze balanstermen zijn gemeten of afgeleid uit metingen. Bij hiaten in meetreeksen zijn waarden bepaald door interpolatie of uit schattingen.

De restterm R heeft uitsluitend de betekenis van een sluitfout.

3. *Kwaliteit van de 12 waterbalansen*

Tabel 2 op pagina 6 toont de jaarbalansen voor de vier meetgebieden.

De restterm R als percentage van de balansomzet (de som van de absolute waarden van alle balanstermen, gedeeld door twee) is als volgt:

| | Atsjetille | Edens | Rodenburg | Grouster LI. |
|------|------------|-------|-----------|--------------|
| 1997 | 11 | 27 | 6 | -2 |
| 1998 | 5 | 0 | 16 | 10 |
| 1999 | 21 | 16 | -3 | -21 |

In zes van de twaalf gevallen is $R \leq 10\%$ van de omzet: redelijk goed.

In de overige zes gevallen is $R > 10\%$ van de omzet: slecht resultaat.

4. *Waar moeten de zwakke punten worden gezocht?*

Een foutenanalyse in hoofdstuk 6 heeft duidelijk gemaakt dat het niet mogelijk is, systematische fouten te onderscheiden van toevallige fouten. Jammer, want dat maakt het gericht opsporen en aanpakken van systematische onvolkomenheden in één bepaalde balanstern lastig. Niettemin is in par. 7.2 een zoektocht gedaan naar de aard van fouten: foute metingen, foutenvoortplanting, temporele fouten en ruimtelijke fouten. Voor alle balansternen is de foutgevoeligheid geanalyseerd, en is de kans op systematische fouten (zowel overschattingen als onderschattingen) in kaart gebracht.

Hoewel niet aangetoond, wordt vermoed dat kwel en verdamping de zwakste punten zijn:

- bij de bepaling van kwel/wegzijging zijn veel onzekere parameters gebruikt, en zijn betrekkelijk veel hiaten opgevuld
- bij het vaststellen van de term verdamping met Makkink (gedaan voor 1997) weten we dat de actuele verdamping wordt overschat. Bij toepassing van RS-technieken (gedaan voor 1998 en 1999) kunnen diverse storingen in onnauwkeurige bepalingen resulteren.

5. *Voldoende reden, maar ook mogelijkheden om het beter te doen*

In paragraaf 7.3 worden aanpassingen genoemd om zwakke punten in de bepaling van de balansternen zo veel mogelijk om te buigen naar sterke punten. Deze aanbevelingen behelzen zowel het nauwkeuriger meten en berekenen van parameters, als ook het beter elimineren van fouten door temporele en ruimtelijke variaties: soms frequenter meten en vooral meer gebiedsdekkend meten.

6. *De zin van een redelijk sluitende waterbalans*

De waterbeheerder, die er in slaagt, een redelijk sluitende waterbalans te produceren, beschikt daarmee over de kennis en het inzicht in de dynamiek van het watersysteem, hetgeen de basis vormt voor een goed onderbouwd integraal waterbeheer.

Lijst met tabellen**Pag.**

| | | |
|----------|--|----|
| TABEL 1 | LEVERANCIERS VAN GEGEVENS | 4 |
| TABEL 2 | JAARBALANSEN VOOR DE MEETGEBIEDEN | 6 |
| TABEL 3 | MEETSTATIONS WAARMEE GEBIEDSNEERSLAGEN ZIJN BEREKEND | 11 |
| TABEL 4 | MEETMETHODEN VAN DE INLAAT VAN WATER IN DE POLDERS | 12 |
| TABEL 5 | MAKKINK GEWASFACTOREN PER MAAND EN PER POLDER | 15 |
| TABEL 6 | PEILBUIZEN GEBRUIKT BIJ DE BEREKENING VAN DIJKKWEL 1998/1999 | 20 |
| TABEL 7 | OVERZICHT GEMALEN | 23 |
| TABEL 8 | MAANDELIJKSE WATERBALANS ATSJETILLE 1997, 1998 EN 1999 | 27 |
| TABEL 9 | ZOMER EN WINTER WATERBALANS ATSJETILLE | 28 |
| TABEL 10 | KALENDERJAAR WATERBALANS ATSJETILLE | 28 |
| TABEL 11 | MAANDELIJKSE WATERBALANS EDENS 1997, 1998 EN 1999 | 29 |
| TABEL 12 | ZOMER EN WINTER WATERBALANS EDENS | 30 |
| TABEL 13 | KALENDERJAAR WATERBALANS EDENS | 30 |
| TABEL 14 | MAANDELIJKSE WATERBALANS RODENBURG 1997, 1998 EN 1999 | 31 |
| TABEL 15 | ZOMER EN WINTER WATERBALANS RODENBURG | 32 |
| TABEL 16 | KALENDERJAAR WATERBALANS RODENBURG | 32 |
| TABEL 17 | MAANDELIJKSE WATERBALANS GROUSTER LAAGLAND 1997, 1998 EN 1999 | 33 |
| TABEL 18 | ZOMER EN WINTER WATERBALANS GROUSTER LAAGLAND | 34 |
| TABEL 19 | KALENDERJAAR WATERBALANS GROUSTER LAAGLAND | 34 |
| TABEL 20 | DE RESTTERM ALS PERCENTAGE VAN DE BALANSOMZET | 35 |
| TABEL 21 | DE WAARDEN VAN R_{\min} VOOR DE VIER POLDERS | 39 |
| TABEL 22 | OVERZICHT VAN DE VARIANTIES PER BALANSTERM | 42 |
| TABEL 23 | GEGEVENS VAN DE GEBRUIKTE PEILBUIZEN | 60 |
| TABEL 24 | GEBRUIKTE PEILBUIZEN BIJ DE BEREKENING VAN DE TERMEN G EN ΔS | 61 |
| TABEL 25 | BELANGRIJKSTE GEGEVENS INLAAT MEETSTUWEN | 67 |
| TABEL 26 | OVERZICHT INLAATPUNTEN, WAARACHTER GEEN MEETSTUW | 74 |

Lijst met figuren

Pag.

| | | |
|-----------|--|----|
| FIGUUR 1 | DE LIGGING VAN DE VIER POLDERS IN FRYSLÂN | 7 |
| FIGUUR 2 | SCHEMATISATIE METHODE VAN DARCY VOOR BEREKENING VAN DIJKKWEL..... | 21 |
| FIGUUR 3 | MEETGEBIED ATSJETILLE | 56 |
| FIGUUR 4 | MEETGEBIED EDENS | 57 |
| FIGUUR 5 | MEETGEBIED RODENBURGPOLDER..... | 58 |
| FIGUUR 6 | MEETGEBIED GROUSTER LAAGLAND | 59 |
| FIGUUR 7 | TEMPERATUREN KNMI STATION LEEUWARDEN – JAREN 1998 EN 1999..... | 62 |
| FIGUUR 8 | DOUBLE MASS PLOT VAN DE CUMULATIEVE NEERSLAG – GEMAAL EDENS EN KNMI STATION SKRINS – SEPTEMBER 1998 T/M DECEMBER 1999 | 63 |
| FIGUUR 9 | VERSCHIL IN DAGNEERSLAG TUSSEN KNMI MEETSTATION EN METING OP GEMAAL EDENS – SEPTEMBER 1998 T/M DECEMBER 1999 | 63 |
| FIGUUR 10 | ONTWERP ROSSUM OVERLAAT VOOR VIJF DEBIETMEETSTATIONS..... | 65 |
| FIGUUR 11 | ONTWERP SCHERP V-SCHOT, INLAAT DE VISSERWEI..... | 66 |
| FIGUUR 12 | AFVOERRELATIE ROSSUM OVERLAAT $B = 0,418$ M..... | 69 |
| FIGUUR 13 | AFVOERRELATIE SCHERP MEETSCHOT, INLAAT DE VISSERWEI | 70 |
| FIGUUR 14 | DEBIET OVER DE MEETSTUW ARUM.I1 – JAREN 1998 EN 1999..... | 71 |
| FIGUUR 15 | DEBIET OVER DE MEETSTUW KIMS.I1 – JAREN 1998 EN 1999..... | 71 |
| FIGUUR 16 | DEBIET OVER DE MEETSTUW EDEN.I1 – JAREN 1998 EN 1999 | 72 |
| FIGUUR 17 | DEBIET OVER DE MEETSTUW BOOR.MS – JAREN 1998 EN 1999 | 72 |
| FIGUUR 18 | DEBIET OVER DE MEETSTUW GROU.MS – JAREN 1998 EN 1999..... | 73 |
| FIGUUR 19 | DEBIET OVER DE MEETSTUW EAGU.MS – JAREN 1998 EN 1999 | 73 |
| FIGUUR 20 | DE RELATIEVE OPPERVLAKTE ONDER EEN KWT AFSLUITER ALS FUNCTIE VAN DE RELATIEVE OPENINGSHOOGTE A/D | 76 |
| FIGUUR 21 | DE AFVOERCOËFFICIËNT C_1 VAN DE KWT AFSLUITER ALS FUNCTIE VAN A/D EN H_1/D VOOR $S \geq 2,5\%$ | 77 |
| FIGUUR 22 | PEILBUIS 10EP9003 POLDER ATSJETILLE – JAREN 1998 EN 1999..... | 78 |
| FIGUUR 23 | PEILBUIS 10BP9002 POLDER ATSJETILLE – JAREN 1998 EN 1999..... | 78 |
| FIGUUR 24 | PEILBUIS 10EL9005 POLDER EDENS – JAREN 1998 EN 1999..... | 79 |
| FIGUUR 25 | ET: MAKKINK EN RS-TECHNIEKEN – ATSJETILLE – 1998..... | 80 |
| FIGUUR 26 | ET: MAKKINK EN RS-TECHNIEKEN – ATSJETILLE – 1999..... | 80 |
| FIGUUR 27 | ET: MAKKINK EN RS-TECHNIEKEN – EDENS – 1998 | 81 |
| FIGUUR 28 | ET: MAKKINK EN RS-TECHNIEKEN – EDENS – 1999 | 81 |
| FIGUUR 29 | ET: MAKKINK EN RS-TECHNIEKEN – RODENBURG – 1998 | 82 |
| FIGUUR 30 | ET: MAKKINK EN RS-TECHNIEKEN – RODENBURG – 1999 | 82 |
| FIGUUR 31 | ET: MAKKINK EN RS-TECHNIEKEN – GROUSTER LAAGLAND – 1998..... | 83 |
| FIGUUR 32 | ET: MAKKINK EN RS-TECHNIEKEN – GROUSTER LAAGLAND – 1999..... | 83 |
| FIGUUR 33 | RELATIE NEERSLAGOVERSCHOT EN UITLAAT – ATSJETILLE | 84 |
| FIGUUR 34 | RELATIE NEERSLAGOVERSCHOT EN UITLAAT – EDENS..... | 84 |
| FIGUUR 35 | RELATIE NEERSLAGOVERSCHOT EN UITLAAT – RODENBURG..... | 85 |
| FIGUUR 36 | RELATIE NEERSLAGOVERSCHOT EN UITLAAT – GROUSTER LAAGLAND | 85 |

Lijst met fotobladen

| | | |
|---------------|--|----|
| FOTOBLOED I | GROUSTER LAAGLAND, WATERINLAAT EN BEMALING..... | 86 |
| FOTOBLOED II | CALIBRATIE GEMAAL RODENBURG IN APRIL 1995 | 87 |
| FOTOBLOED III | WATERINLAAT NAUWE GALLE, GROUSTER LAAGLAND..... | 88 |
| FOTOBLOED IV | INLAAT, GEMETEN MET MEETSTUWEN, INSTALLATIE ZOMER 1996 | 89 |

- I GROUWSTER LAAGLAND, WATERINLAAT EN BEMALING
- II CALIBRATIE GEMAAL RODENBURG IN APRIL 1995
- III WATERINLAAT NAUWE GALLE, GROUWSTER LAAGLAND
- IV INLAAT GEMETEN MET MEETSTUWEN, INSTALLTIE ZOMER 1996

Literatuurlijst

Bastiaanssen, W.G.M., Soeterik, K.L., 1999: De satelliet als meetinstrument voor het waterbeheer. In: Het Waterschap 99/14. Pag. 646-649.

Bierkens, M.F.P., 2001: PHLO-cursus "Water- en stoffenbalans". Fouten in meetgegevens en modeluitkomsten. Wageningen UR, Alterra. Wageningen.

Boiten, W., 1985: De Rossumstuw. In: Polytechnisch tijdschrift. Editie Civiele techniek, (40)2.

Boiten, W., 1997: Verslag over de gegevensverwerking en de waterbalansen van de meetplichtige gebieden binnen het waterschap Marne-Middelsee. periode 4e kwartaal 1996. Landbouwuniversiteit Wageningen. Vakgroep Waterhuishouding. Wageningen.

Boiten, W., 1999: Voortgangsrapportage over de gegevensverwerking en de waterbalansen van de meetplichtige gebieden binnen het waterschap Marne-Middelsee, Landbouwuniversiteit Wageningen. Vakgroep Waterhuishouding. Wageningen.

Boiten, W., 2000: Hydrometry. A.A. Balkema Publishers. Rotterdam.

Boiten, W., Dommerholt, A., Soet, M., 1995: Handboek debietmeten in open waterlopen. Stowa publicatie 94-13.

Busch, S., Zijlstra, R., Buyse, S.S., 1999: Grondwaterrapportage meetgebieden Fryslan Deel 1. Algemene inleiding meetgebieden. Iwaco 2248240. Iwaco, Adviesbureau voor water en milieu. Groningen. Opdrachtgever: Provincie Fryslan, Milieu en Water.

Engelen, A.F.V. van, 1997: Neerslagmeetnet van het KNMI.

Jellema, P., 2001: Peilbuisgegevens. Door TNO aangeleverde gegevens en metingen van de in de vier polders aanwezige peilbuizen.

KNMI¹, 1998: Jaaroverzicht neerslag en verdamping in Nederland. Jaar 1998. Koninklijk Nederlands Meteorologisch Instituut. De Bilt. Jaargang 67. Nummer 13. ISSN 0935-3009.

KNMI¹, 1999: Jaaroverzicht neerslag en verdamping in Nederland. Jaar 1999. Koninklijk Nederlands Meteorologisch Instituut. De Bilt. Jaargang 68. Nummer 13. ISSN 0935-3009.

KNMI², 1998: Jaaroverzicht van het weer in Nederland. Jaar 1998. Koninklijk Nederlands Meteorologisch Instituut. De Bilt. Jaargang 95. Nummer 13. ISSN 0167-8248.

KNMI², 1999: Jaaroverzicht van het weer in Nederland. Jaar 1999. Koninklijk Nederlands Meteorologisch Instituut. De Bilt. Jaargang 96. Nummer 13. ISSN 0167-8248.

KNMI³, 1998: Maandoverzicht neerslag en verdamping in Nederland. Jaar 1998. Koninklijk Nederlands Meteorologisch Instituut. De Bilt. Jaargang 67. Nummers 1-12. ISSN 0935-3009.

KNMI³, 1999: Maandoverzicht neerslag en verdamping in Nederland. Jaar 1999. Koninklijk Nederlands Meteorologisch Instituut. De Bilt. Jaargang 68. Nummers 1-12. ISSN 0935-3009.

Ritsema, I.L., 1983: Geo-electrisch onderzoek. Sneek-Heerenveen. Dienst grondwater verkenning. TNO. Gf 136. Delft-Oosterwolde.

Warmerdam, P.M.M., 1981: De invloed van de wind op regenwaarnemingen; een vergelijkend regenmeteronderzoek. In: H₂O. (14) 1981 nr.1.

WaterWatch, 2002: Nauwkeurigheid actuele verdamping. Website WaterWatch. Internetadres: <http://www.waterwatch.nl/php/startvalidation-nl.php3>

Bijlagen

| | | |
|--------------|---|----|
| BIJLAGE I | DE MEETGEBIEDEN..... | 55 |
| BIJLAGE II | GEGEVENS VAN DE GEBRUIKTE PEILBUIZEN..... | 60 |
| BIJLAGE III | PEILBUIZEN GEBRUIKT BIJ DE TERMEN G EN ΔS | 61 |
| BIJLAGE IV | TEMPERATUREN LEEUWARDEN 1998 EN 1999..... | 62 |
| BIJLAGE V | VERGELIJK NEERSLAG KNMI - EDENS | 63 |
| BIJLAGE VI | ONTWERP MEETSTUWEN | 64 |
| BIJLAGE VII | DEBIETEN STUWEN IN 1998 EN 1999..... | 71 |
| BIJLAGE VIII | CALIBRATIE AFSLUITERS..... | 74 |
| BIJLAGE IX | PEILEN IN POLDER ATSJETILLE..... | 78 |
| BIJLAGE X | PEILEN IN POLDER EDENS | 79 |
| BIJLAGE XI | VERDAMPING: MAKKINK EN RS-TECHNIEKEN..... | 80 |
| BIJLAGE XII | RELATIE TUSSEN NEERSLAGOVERSCHOT EN UITGESLAGEN HOEVEELHEID WATER ⁸⁴ | |

Bijlage I De meetgebieden

In deze bijlage zijn de kaarten van de volgende vier meetgebieden te vinden:

Atsjetille (fig. 3)

Edens (fig. 4)

Rodenburg (fig. 5)

Grouster Laagland (fig. 6)

Bijlage II Gegevens van de gebruikte peilbuizen

Tabel 23 Gegevens van de gebruikte peilbuizen

| | | | | | | | | | | |
|----------|---|---------------|--------|--------|------|------|-------|-------|----------|----------|
| 05DL0010 | 1 | 05DL001001 | 158610 | 575100 | 6 | 2 | -138 | -188 | 15-10-84 | 14-9-00 |
| 10BL0003 | 1 | 10BL000301 | 159350 | 572260 | 57 | 106 | -154 | -204 | 17-4-97 | |
| 10BL9003 | 1 | 10BL900301 | 159325 | 573550 | 10 | -7 | -107 | -207 | 7-9-95 | |
| 10BL9004 | 1 | 10BL900401 | 158262 | 574050 | 71 | 54 | -46 | -146 | 7-9-95 | |
| 10BP7002 | 1 | 73151217B002A | 157020 | 574350 | -12 | 65 | -212 | -312 | 1-11-92 | |
| 10BP7002 | 2 | 73151217B002B | 157020 | 574350 | -12 | 56 | -382 | -492 | 1-11-92 | |
| 10BP7003 | 1 | 73151217B003A | 157405 | 574300 | 3 | 84 | -97 | -197 | 1-11-92 | |
| 10BP7003 | 2 | 73151217B003B | 157405 | 574300 | 3 | 79 | -377 | -477 | 1-11-92 | |
| 10BP7004 | 1 | 73151217B004A | 157825 | 573655 | -54 | 23 | -154 | -254 | 1-11-92 | |
| 10BP7004 | 2 | 73151217B004B | 157825 | 573655 | -54 | 14 | -454 | -554 | 1-11-92 | |
| 10BP9002 | 1 | 10BP900201 | 159500 | 574675 | -16 | -31 | -131 | -231 | 18-9-95 | |
| 10BP9002 | 2 | 10BP900202 | 159500 | 574675 | -16 | -34 | -934 | -1034 | 18-9-95 | |
| 10BS7005 | 1 | 73151217S001 | 157925 | 574045 | | 0 | | | 1-11-92 | |
| 10BS7006 | 1 | 73151217S002 | 157395 | 574135 | | 0 | | | 1-11-92 | |
| 10BS7007 | 1 | 73151217S003 | 157695 | 574210 | | 0 | | | 1-11-92 | |
| 10BS7008 | 1 | 73151217S004 | 157150 | 573995 | | 0 | | | 1-11-92 | |
| 10EL9002 | 1 | 10EL900201 | 162000 | 573050 | 34 | 19 | -81 | -181 | 7-9-95 | |
| 10EL9004 | 1 | 10EL900401 | 168825 | 570550 | 5 | -9 | -179 | -279 | 31-10-95 | |
| 10EL9005 | 1 | 10EL900501 | 169800 | 570800 | 40 | 32 | -268 | -368 | 14-7-96 | |
| 10EL9006 | 7 | 10EL900601 | 169875 | 570450 | 21 | -8 | -279 | -379 | 14-7-96 | |
| 10EP9003 | 1 | 10EP900301 | 161385 | 571975 | -18 | -39 | -139 | -239 | 25-9-95 | |
| 10EP9003 | 2 | 10EP900302 | 161385 | 571975 | -18 | -43 | -743 | -843 | 25-9-95 | |
| 10EP9008 | 1 | 10EP900801 | 169863 | 570475 | | | | | 14-2-97 | |
| 10EP9008 | 2 | 10EP900802 | 169863 | 570475 | | | | | 14-2-97 | |
| 10EP9009 | 1 | 10EP900901 | 169925 | 570400 | | | | | 14-2-97 | |
| 10EP9009 | 2 | 10EP900902 | 169925 | 570400 | | | | | 14-2-97 | |
| 10HL0019 | 1 | 10HL001901 | 178380 | 555500 | | | | | 9-10-92 | 28-12-00 |
| 10HL9002 | 1 | 10HL900201 | 176508 | 554725 | -71 | -95 | -295 | -395 | 7-9-95 | |
| 10HL9003 | 1 | 10HL900301 | 176712 | 554712 | -78 | -110 | -210 | -310 | 8-9-95 | |
| 10HL9004 | 1 | 10HL900401 | 176668 | 554650 | -64 | -83 | -183 | -283 | 8-9-95 | |
| 10HP0060 | 1 | 10HP006001 | 178000 | 555580 | -10 | 33 | -750 | -850 | 21-9-94 | |
| 10HP0060 | 2 | 10HP006002 | 178000 | 555580 | -10 | 33 | -1400 | -1500 | 21-9-94 | |
| 10HP0060 | 3 | 10HP006003 | 178000 | 555580 | -10 | 33 | -3800 | -3900 | 21-9-94 | |
| 10HP0060 | 4 | 10HP006004 | 178000 | 555580 | -10 | 32 | -8000 | -8100 | 21-9-94 | |
| 10HP9001 | 1 | 10HP900101 | 177175 | 555187 | -73 | -95 | -195 | -295 | 8-9-95 | |
| 10HP9001 | 2 | 10HP900102 | 177175 | 555187 | -73 | -94 | -394 | -494 | 8-9-95 | |
| 10HP9005 | 1 | 10HP900501 | 176587 | 554575 | -72 | -85 | -235 | -335 | 22-9-95 | |
| 10HP9005 | 2 | 10HP900502 | 176587 | 554575 | -72 | -87 | -1037 | -1137 | 22-9-95 | |
| 11AL9029 | 1 | 11AL902901 | 186475 | 569475 | -125 | -142 | -342 | -442 | 8-9-95 | |
| 11AL9030 | 1 | 11AL903001 | 186487 | 569325 | -126 | -140 | -340 | -440 | 8-9-95 | |
| 11AL9032 | 1 | 11AL903201 | 186075 | 569800 | -121 | -127 | -421 | -521 | 14-7-96 | |
| 11AP0040 | 1 | 11AP004001 | 184960 | 568520 | 1 | -6 | -156 | -206 | 28-10-87 | 14-9-00 |
| 11AP0040 | 2 | 11AP004002 | 184960 | 568520 | 1 | -11 | -579 | -679 | 28-10-87 | 14-9-00 |
| 11AP7002 | 1 | 72152414B002A | 186740 | 570320 | -219 | -153 | -359 | -409 | 28-7-96 | |
| 11AP7002 | 2 | 72152414B002B | 186740 | 570320 | -219 | -156 | -509 | -559 | 28-7-96 | |
| 11AP9031 | 1 | 11AP903101 | 186512 | 569300 | -85 | -109 | -209 | -309 | 11-9-95 | |
| 11AP9031 | 2 | 11AP903102 | 186512 | 569300 | -85 | -107 | -407 | -507 | 11-9-95 | |
| 11AS7001 | 1 | 72152414L001 | 186820 | 570300 | -315 | -289 | | | 28-7-96 | |

(Jellema, 2001)

Bijlage III Peilbuizen gebruikt bij de termen G en ΔS

Tabel 24 Gebruikte peilbuizen bij de berekening van de termen G en ΔS

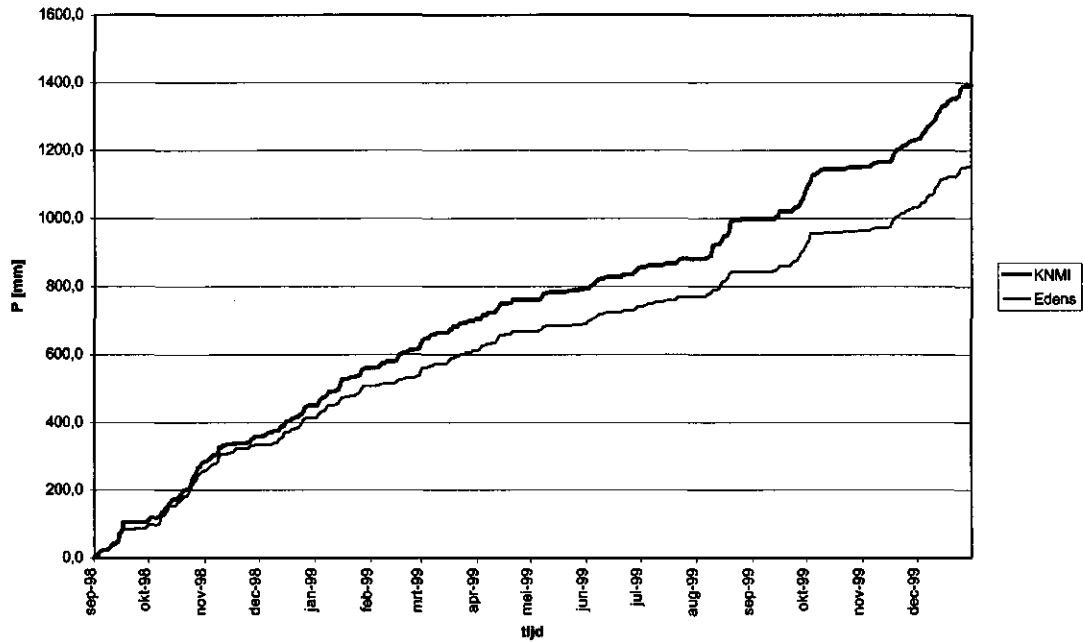
| Gebruikte peilbuizen in 10 jaren 1997 | | | | |
|---|--|-----------|-------------------------------------|--------------------|
| | Edn | Edn | Raap | Raap |
| Oppervlakte A (ha) | 929 | 217 | 202 | 298 |
| Randlengte L (m) | 14820 | 8560 | 4700 | 6230 |
| Dijkkwel methode: | Darcy | Darcy | Mazure | Darcy |
| Doorlaatendheid kD (m ² /d) | 30 | 50 | 30 | 15 |
| Peilbuis | EL 9002 | EL 9006 | HP 9005 | AL 9029 |
| Verticale flux, buis | BP 9002 | geschat 0 | HP 9001 | geschat 0 |
| Weerstand c (dagen) | 400 | 400 | 400 | 800 |
| Berging, peilbuizen | EP 9003 BL 9003 BL 9004 BP 9002 | EL 9006 | HP 9001 HP 9005 HP 0060 | AL 9029 AL 9030 |
| Bergingscoefficient | 0,15 | 0,15 | 0,15 | 0,15 |
| Gebruikte peilbuizen in 10 jaren 1998 en 1999 | | | | |
| | Edn | Edn | Raap | Raap |
| Oppervlakte A (ha) | 929 | 217 | 202 | 298 |
| Randlengte L (m) | 14820 | 8560 | 4700 | 6230 |
| Dijkkwel methode: | Darcy | Darcy | Darcy | Darcy |
| Doorlaatendheid kD (m ² /d) | 30 | 50 | 30 | 15 |
| Peilbuis | 10EL 9002 | 10EL 9005 | 10HL 9003 10HL 9004 | 11AL 9029 |
| Afstand tot boezem | 100 m | 200 m | 201 m 61 m | 100 m |
| Verticale flux, buis | 10BP 9002 10EP 9003 | geschat 0 | 10HP 0060 | 11AP 9031 |
| Weerstand c (dagen) | 400 | 400 | 400 | 800 |
| Berging, peilbuizen | 10BL 9003 10BL 9004 10EL 9002 10EP 9003 | 10EL 9006 | 10HP 9001 10HP 9005 10HP 0060 | 11AL 9032 |
| Bergingscoefficient | 0,15 | 0,15 | 0,15 | 0,15 |

Bijlage IV Temperaturen Leeuwarden 1998 en 1999

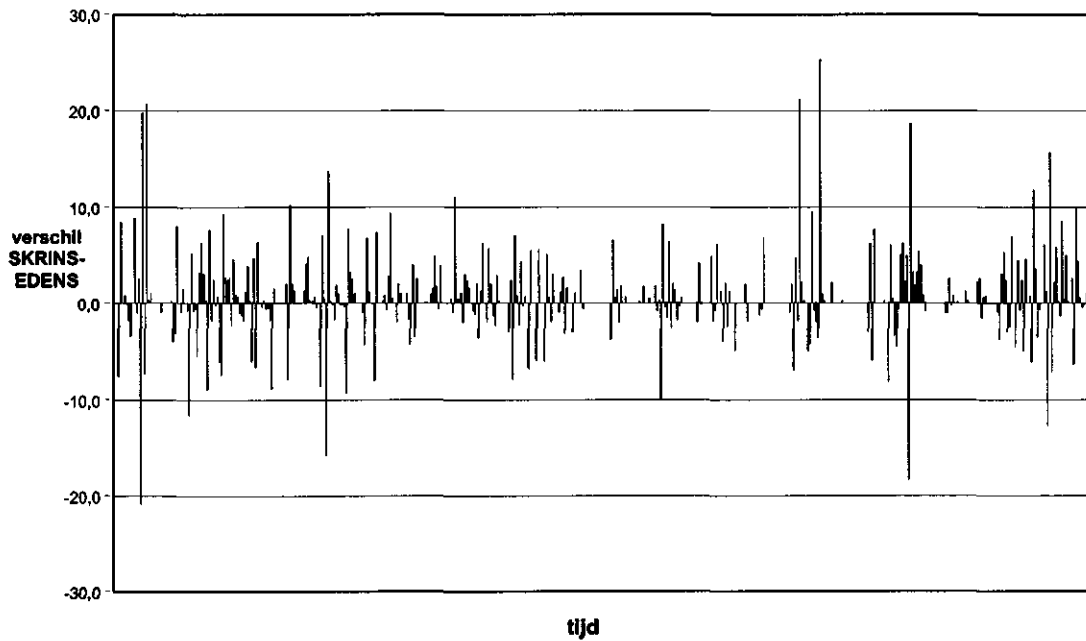


Figuur 7 Temperaturen KNMI station Leeuwarden – jaren 1998 en 1999
(KNMI², 1998 en KNMI², 1999)

Bijlage V Vergelijk neerslag KNMI - Edens



Figuur 8 Double mass plot van de cumulatieve neerslag – gemaal Edens en KNMI station Skrins – september 1998 t/m december 1999



Figuur 9 Verschil in dagneerslag tussen KNMI meetstation en meting op gemaal Edens – september 1998 t/m december 1999

Bijlage VI Ontwerp meetstuwen

In elk van de vier polders kan water vanuit de boezem worden ingelaten met behulp van afsluiters in een korte kunststoffen buis. Deze buizen – in diameter variërend van 0,16 m tot 0,30 m – verbinden de boezem met één der watergangen in de polder. De afsluiter bevindt zich aan de bovenstroomse kant langs de boezem en kan in een aantal standen worden geplaatst. De uitmonding van de buizen is ongeveer op polderpeil.

In mei-juni 1995 zijn direct benedenstrooms van de belangrijkste inlaatpunten meetstuwen ontworpen, waarmee de inlaatdebieten continue worden gemeten. De installatie van de meetstuwen heeft plaats gevonden in de zomer van 1996. Het gaat om de volgende inlaatpunten:

| Inlaatpunt | | Meetgebied | Tek. no. |
|--------------------|-----|-------------------|-----------|
| Arumervaart | (1) | Atsjetille | NB – 9502 |
| Harlingervaart | (2) | Atsjetille | NB – 9503 |
| Spannummer Opvaart | (3) | Edens | NB – 9501 |
| Rodenburg | (4) | Rodenburgpolder | Mrt. 95 |
| Nauwe Galle | (5) | Grouster Laagland | 05/04/95 |
| De Visserwei | (6) | Grouster Laagland | 05/04/95 |

De inlaatdebieten verschillen per inlaat. Niettemin is terwille van de gewenste uniformiteit voor de inlaatpunten 1 t/m 5 één en hetzelfde ontwerp aangehouden, een Rossum stuw, en is voor de inlaat J.W. de Visserwei voor een V-vormig meetschot gekozen. In Tabel 255 zijn de belangrijkste gegevens samengevat van de inlaatpunten en de daarachter ontworpen meetstuwen. Ter toelichting het volgende:

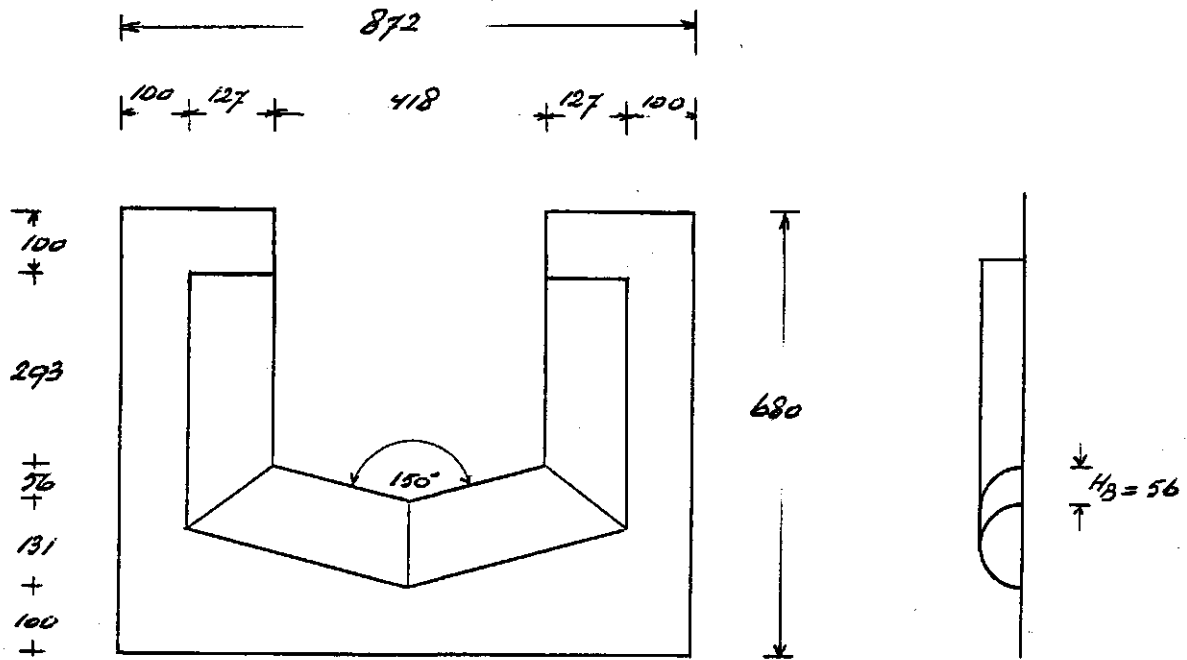
- type meetstuw

De Rossum stuw bestaat uit een samengesteld profiel: onderin V-vormig met $\alpha = 150^\circ$ (goed voor het nauwkeurig meten van lage debieten) en daarboven rechthoekig. De meetrans besta uit halve buizen (goed voor het afvoeren van drijvend vuil). De afvoerende breedte bedraagt $B = 0,418$ m waarmee debieten tot $Q = 0,150 \text{ m}^3/\text{s}$ kunnen worden gemeten (bijbehorende overstorthoogte $h_1 = 0,325$ m). Het ontwerp is gebaseerd op (Boiten, 1985).

Figuur 10 geeft de maatvoering van de Rossum stuw.

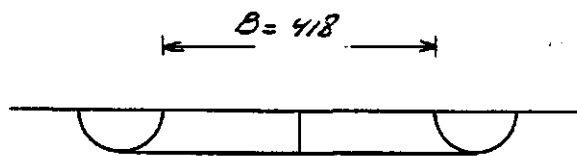
Een V-vormige scherpe overlaat is gekozen achter de inlaat J.W. de Visserwei. De openingshoek is klein gehouden, $\tan \alpha/2 = 0,25$, vanwege de veel lagere inlaatdebieten. Bij het ontwerpdebiet $Q = 0,007 \text{ m}^3/\text{s}$ wordt de overstorthoogte $h_1 = 0,208$ m.

Figuur 11 geeft de maatvoering van dit meetschot.

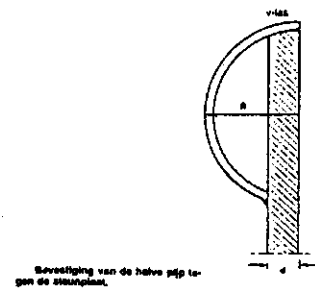


Voor aanzicht

dwars dsn.



Boven aanzicht



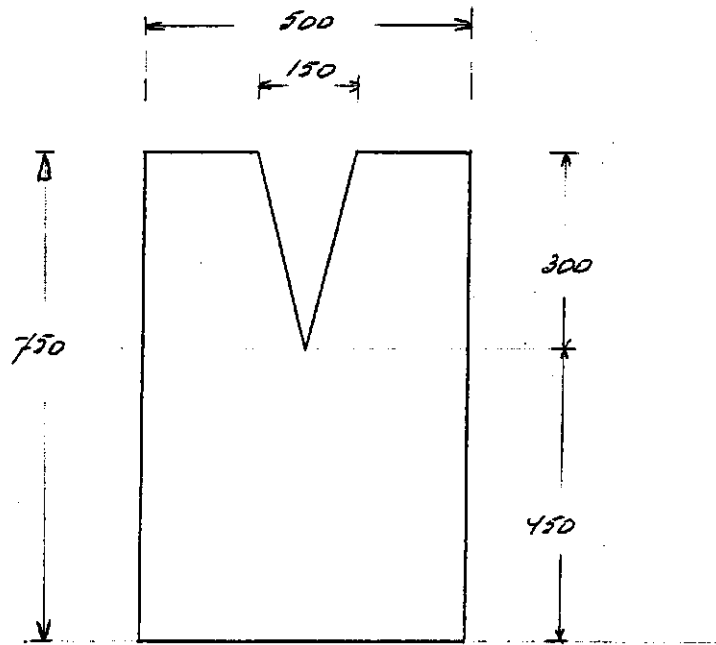
maten in mm

Schaal 1:10

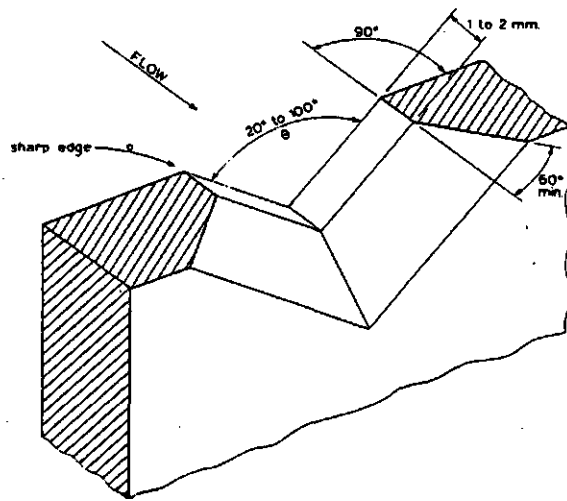
Stalen buis (127x4)

$R_{uitw} = 63,5 \text{ mm}$

Figuur 10 Ontwerp Rossumoverlaat voor vijf debietmeetstations



voorzicht



Figuur 11 Ontwerp scherp V-schot, inlaat de Visserwei

Tabel 25 Belangrijkste gegevens inlaat meetstuwen

| Gegevens inlaat en meetstuw | Inlaatpunt | | | | | |
|---|------------|---------|---------|---------|---------|---------|
| | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 |
| • inlaat | Arum.v. | Harl.v. | Sp.opv. | Rod.b. | N.Galle | V.wei |
| - buisdiameter (m) | 0,30 | 0,25 | 0,30 | 0,25 | 0,16 | 0,25 |
| - type afsluiter | | HKS | HKS | TBS | KWT | KWT |
| - waterstand bovenstr. (m NAP) | -0,52 | -0,52 | -0,52 | -0,52 | -0,52 | -0,85 |
| - max. inlaatdebiet (m ³ /s) | 0,156 | 0,104 | 0,117 | 0,155 | 0,056 | - |
| • ontwerp meetstuw | | | | | | |
| - geschat ontw. debiet Q_{\max} (m ³ /s) | 0,101 | 0,073 | 0,052 | 0,112 | 0,042 | 0,007 |
| - type meetstuw | Ross. | Ross. | Ross. | Ross. | Ross. | V-stuw |
| - ontwerp kruinhoogte h_k (m NAP) | -1,00 | -1,00 | -0,75 | -1,45 | -1,30 | -1,20 |
| - overstorhoogte h_1 (m) bij Q_{\max} | 0,258 | 0,214 | 0,177 | 0,273 | 0,158 | 0,208 |
| - benedenstroomspeil (m NAP) | -1,05 | -1,05 | -0,80 | -2,00 | -1,60 | var. |
| - afstand buiseinde-meetstuw X (m) | 7,70 | 6,40 | 5,30 | 8,20 | 4,70 | 3,00 |
| • meetstuw gerealiseerd | | | | | | |
| - codering meetstuw | ARUM.I1 | KIMS.I1 | EDEN.I1 | BOOR.MS | GROU.MS | EAGU.MS |
| - kruinhoogte h_k (m NAP) | -0,983 | -0,996 | -0,762 | -1,446 | -1,346 | -1,197 |

- kruinhoogte

Voor de eerste drie stuwen is de kruinhoogte op een peil dat 0,05 m hoger ligt dan het zomerpeil achter de inlaat. Een geringe verhoging van het gewenst zomerpeil leidt dan niet meteen tot versterking van de afvoerrelatie.

Voor de inlaat Rodenburg, die reeds een overcapaciteit heeft, is de kruinhoogte 0,20 m boven de buisuitlaat gehouden.

Voor de inlaat Nauwe Galle is de kruinhoogte gelijk aan peil bovenkant buisuitlaat.

Voor de inlaat de Visserwei is de kruinhoogte op NAP -1,20 m gehouden om te voorkomen dat de waterstand bovenstrooms van de meetstuw ooit lager komt te staan dan NAP -1,20 m.

- het inlaatdebiet

Door het bouwen van een meetstuw achter de reeds bestaande inlaat is de capaciteit van het systeem (inlaat + meetstuw) geringer dan die van de inlaat zonder meetstuw. In alle gevallen is het geschat ontwerp debiet lager dan de oorspronkelijke capaciteit van in de inlaat.

- afstand buiseinde – meetstuw

Terwille van een rustige aanstroming naar de meetstuw, is deze op een minimale afstand X (m) achter de achterkant van de inlaatbuis geïnstalleerd volgens de ISO-norm $X \geq 30 h_{\max}$.

De peilbuis, waarin de bovenwaterstand wordt gemeten, bevindt zich voor alle zes ontwerpen op een afstand van 0,80 m bovenstrooms van de meetstuw.

- kruinhoogte h_k na uitvoering

Na installatie van de zes meetstuwen zijn de kruinhoogtes via een nauwkeurige waterpassing exact vastgesteld ten behoeve van de berekening van de debieten.

De afvoerrelaties

Het debiet over een meetstuw wordt berekend met behulp van een afvoerrelatie, waarin het debiet Q (m^3/s) is gerelateerd aan de overstorthoogte h_1 (m).

$$h_1 = WS1 - h_k$$

met $WS1$ waterstand gemeten ca. 0,80 m bovenstrooms van de stuw (m NAP)
 h_k ingemeten kruinhoogte (m NAP)

Figuur 12 geeft de afvoerrelatie van de Rossum stuw, die als volgt in formule is gebracht:

$$Q = 7,24 * h_1^{2,60} \quad \text{voor } h_1 \leq 0,083 \text{ m}$$

$$Q = 0,9210h_1^2 + 0,1983h_1 - 0,0116 \quad \text{voor } h_1 > 0,083 \text{ m}$$

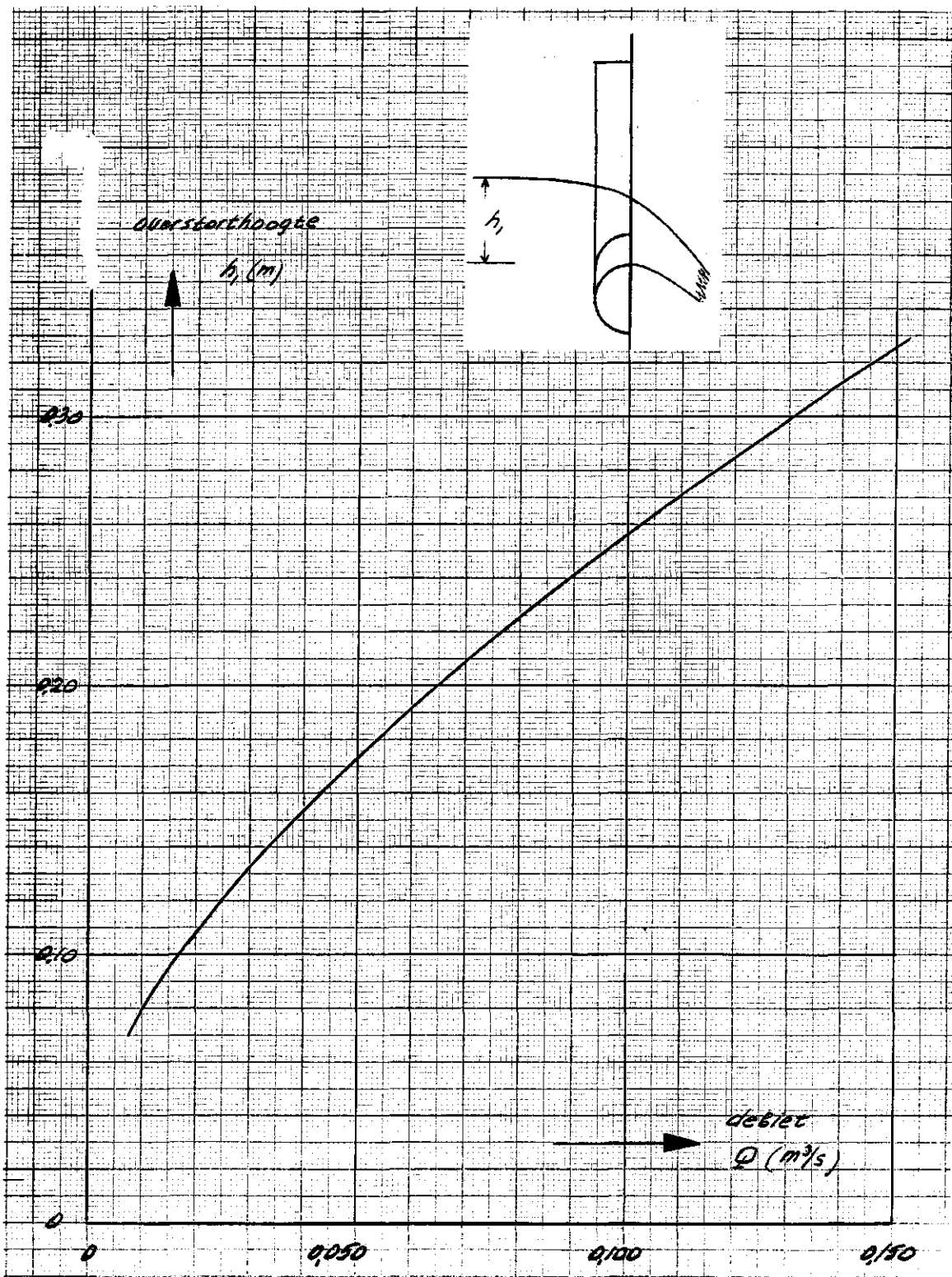
Figuur 13 geeft de afvoerrelatie van het meetschot, die als volgt in formule is gebracht:

$$Q = 0,3467 * (h_1 + 0,0023)^{2,50} \quad \text{voor } h_1 \geq 0,050 \text{ m}$$

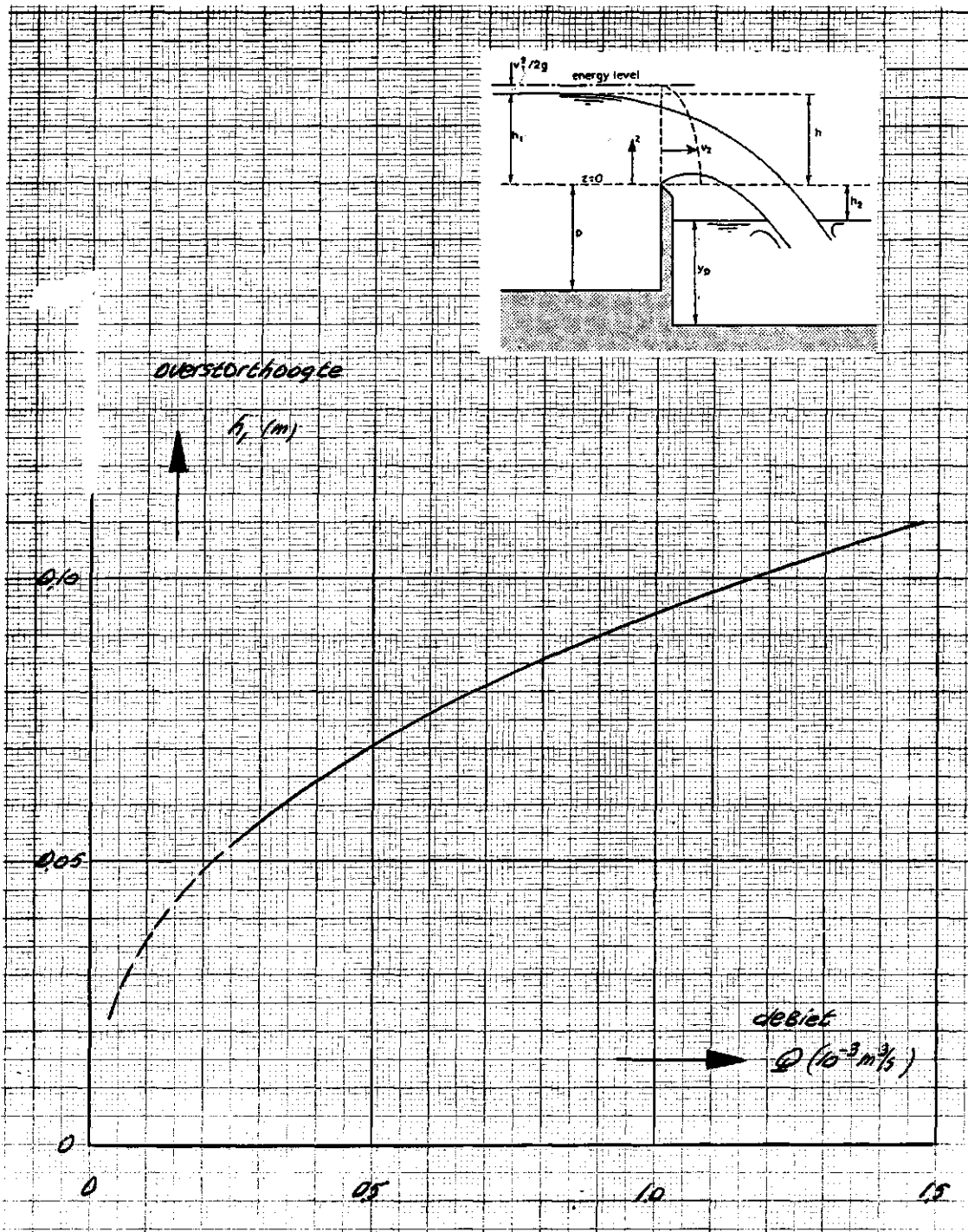
De toevallige meetfout in deze afvoerrelaties is groot voor geringe overstorthoogtes en neemt af voor toenemende overstorthoogtes.

Deze fout X_Q wordt in overheersende mate bepaald door de onzekerheid in de gemeten overstorthoogte h_1 , uitgedrukt als $X_{h_1} = 100 \delta_h/h_1$. Hierin is δ_h de te verwachten onzekerheid in h_1 . Een gangbare inschatting is $\delta_h = 0,003$ m.

Voor de Rossum stuw geldt dan in het lage bereik: $X_Q = 2,60 + 0,3/h_1$. Hieruit volgt dat de onzekerheid in het debiet $X_Q < 10\%$ bedraagt voor overstorthoogtes $h_1 \geq 0,078$ m.



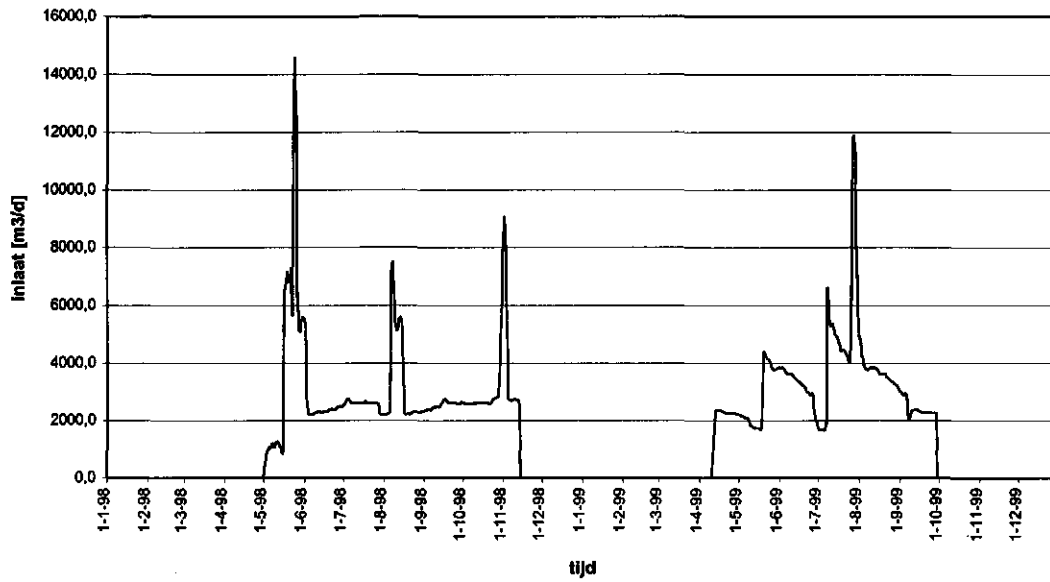
Figuur 12 Afvoerrelatie Rossum overlaat B = 0,418 m



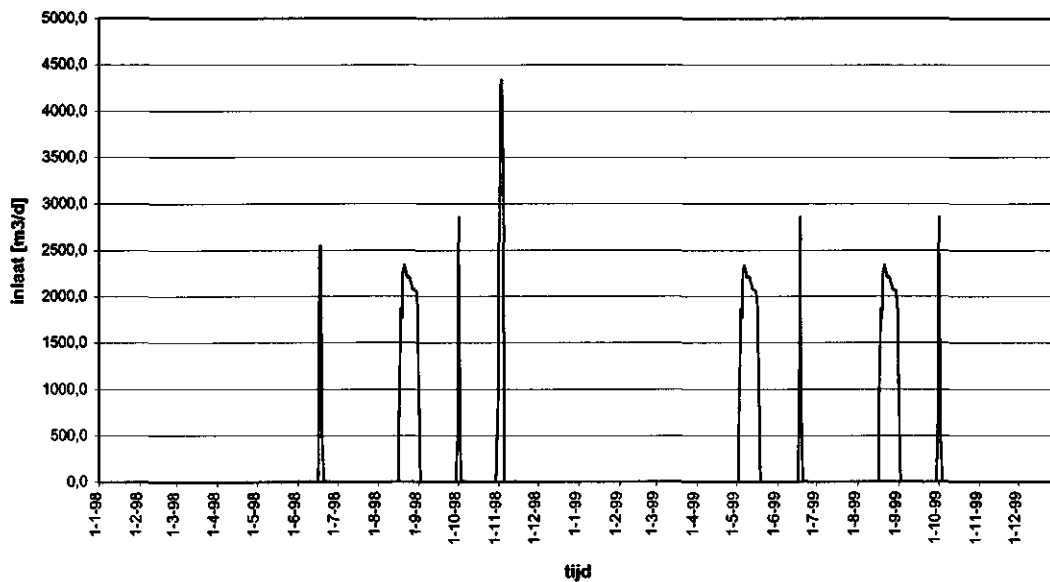
Figuur 13 Afvoerrelatie scherp meetschot, inlaat de Visserwei

Bijlage VII Debielen stuwen in 1998 en 1999

Atsjetille

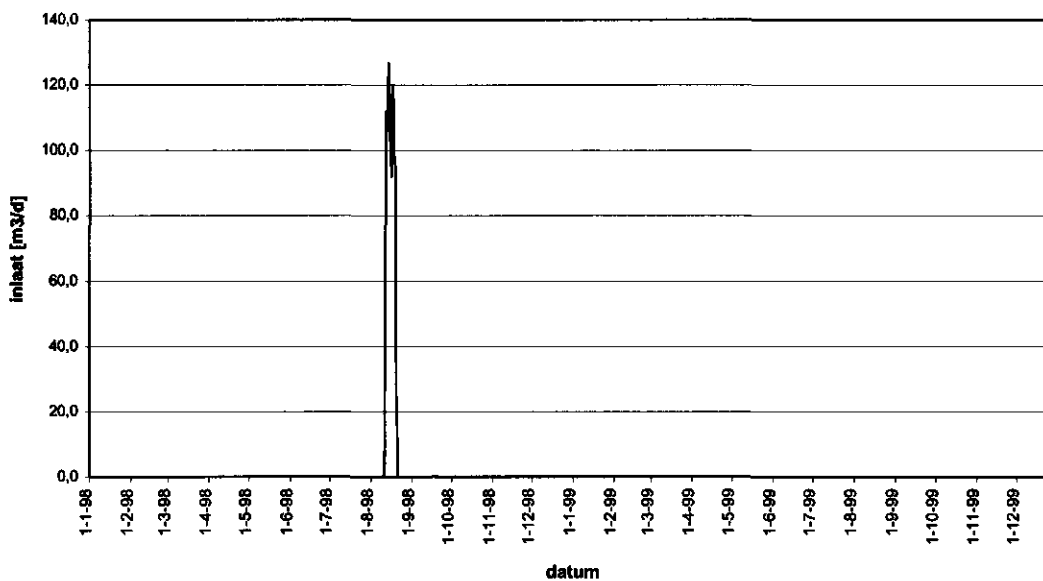


Figuur 14 Debiet over de meetstuw ARUM.i1 – jaren 1998 en 1999



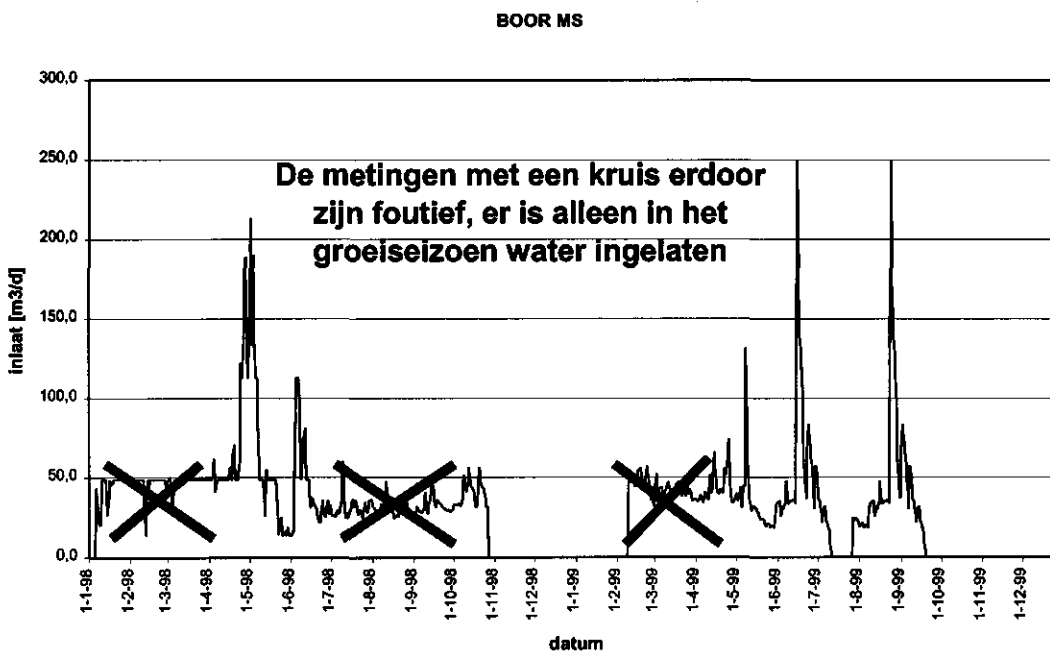
Figuur 15 Debiet over de meetstuw KIMS.i1 – jaren 1998 en 1999

Edens



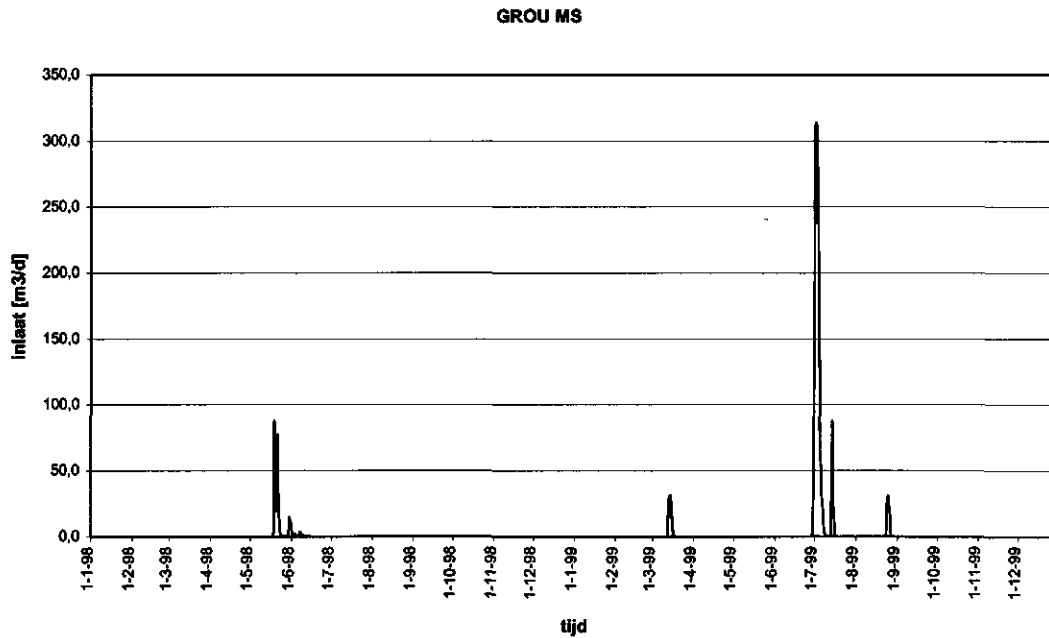
Figuur 16 Debiet over de meetstuw EDEN.i1 – jaren 1998 en 1999

Rodenburg

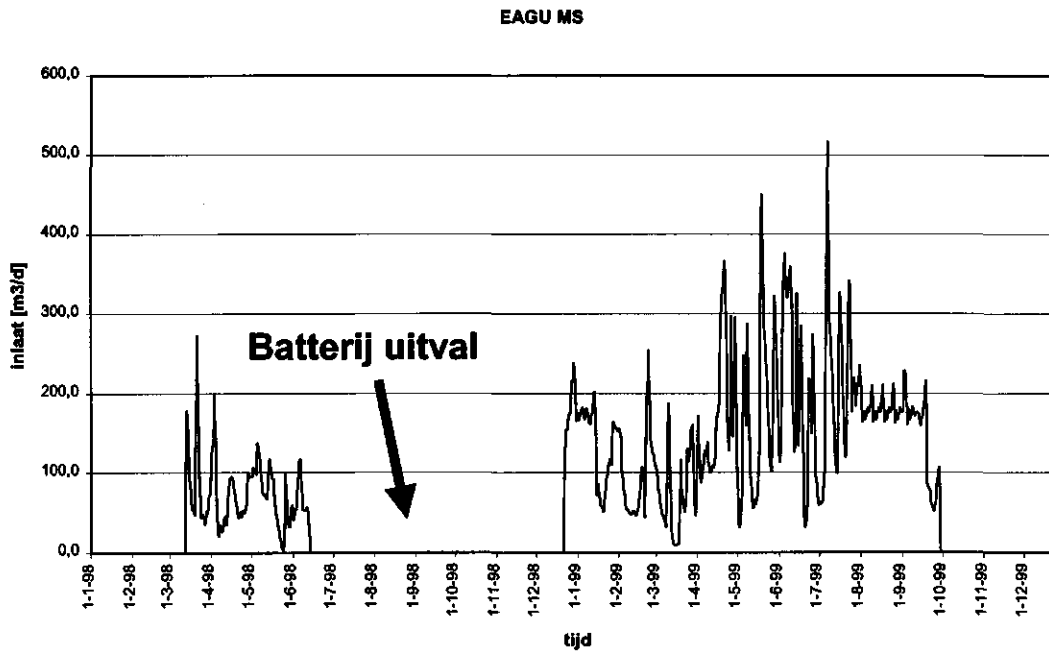


Figuur 17 Debiet over de meetstuw BOOR.MS – jaren 1998 en 1999

Grouster Laagland



Figuur 18 Debiet over de meetstuw GROU.MS – jaren 1998 en 1999



Figuur 19 Debiet over de meetstuw EAGU.MS – jaren 1998 en 1999

Bijlage VIII Calibratie afsluiters

In de polders Atsjetille, Edens en Grouster Laagland kan ook nog water vanuit de boezem worden ingelaten met behulp van afsluiters in een korte kunststoffen buis, waarachter niet een meetstuw is ingebouwd.

Het gaat om de volgende inlaatpunten:

Tabel 26 Overzicht inlaatpunten, waarachter geen meetstuw

| polder | codering inlaat | diameter D (m) | B.o.k. (m NAP) | WS1 (m NAP) | h ₁ (m) | WS2 (m NAP) |
|-------------------|-----------------|----------------|----------------|-------------|--------------------|-------------|
| Atsjetille | KIMS.i2 | 0,25 | -1,55 | -0,52 | 1,03 | -1,05 |
| Edens | EDEN.i2 | 0,16 | -1,50 | -0,52 | 0,98 | -0,75 |
| | EDEN.i3 | 0,15 | -1,50 | -0,52 | 0,98 | -1,25 |
| | EDEN.i4 | 0,15 | -1,50 | -0,52 | 0,98 | -1,25 |
| Grouster Laagland | EAGU.i1 | 0,16 | -1,10 | -0,85 | 0,25 | -1,15 |
| | EAGU.i3 | 0,16 | -1,22 | -0,85 | 0,37 | -1,45 |
| | EAGU.i4 | 0,16 | -1,15 | -0,85 | 0,30 | -1,35 |
| | GROU.i1 | 0,16 | -0,75 | -0,52 | 0,23 | -1,70 |
| | GROU.i2 | 0,16 | -0,80 | -0,52 | 0,28 | -1,85 |
| | GROU.i3 | 0,16 | -0,85 | -0,52 | 0,33 | -1,70 |
| | GROU.i4 | 0,16 | -0,80 | -0,52 | 0,28 | -1,35 |

Ter toelichting op dit overzicht het volgende:

- alle inlaten zijn aan de bovenstroomse kant voorzien van een KWT afsluiter met een schuif die aan de onderkant horizontaal is. De schuif kan in een aantal standen worden gezet al naar gelang het gewenste inlaatdebiet.
- B.o.k. is de hoogte van de binnen-onderkant van de buis t.p.v. de afsluiter.
- WS1 is de waterstand in de boezem
- h₁ is de waterhoogte voor de afsluiter gedefinieerd als h₁ = WS1 – B.o.k.
- WS2 is de waterstand in de poldersloot

Het debiet door de inlaat is uitgedrukt in de volgende afvoerformule:

$$Q = C_1 \cdot A_1 \cdot \sqrt{2gh_1}$$

Hierin zijn:

- Q het debiet (m^3/s)
 C_1 een afvoercoëfficiënt in de hoedanigheid van een contractie coëfficiënt (-)
 $C_1 = f(h_1/D, a/D)$
 D de buisdiameter (m)
 a de openingshoogte onder de afsluiter (m)
 A_1 oppervlakte van de doorstroom-opening (m^2)

Figuur 20 geeft de relatieve oppervlakte $A_1 / \frac{\pi}{4} D^2$ als functie van de relatieve

openingshoogte a/D . Hiermee wordt A_1 berekend uit D en a .

Figuur 21 geeft de afvoercoëfficiënt C_1 van de KWT afsluiter als functie van h_1/D en a/D voor $S \geq 2,5\%$ (S is de buishelling). Bij deze buishelling $S > 2,5\%$, die voor elk der inlaten van toepassing is, wordt aangenomen dat er ongestuwde afvoer optreedt door de schuifopening. Figuur 21 is het resultaat van de calibratie van een KWT afsluiter $D = 0,150$ m in het Hydraulica Laboratorium van de Sectie Waterhuishouding te Wageningen.

De toevallige meetfout in deze afvoerrelatie wordt geschat te liggen in een orde van grootte $X_Q = 10$ à 20% . De volgende foutenbronnen spelen daarin een rol:

- variatie in de waterstand WS1
- binnen-onderkant hoogte van de buizen B.o.k. niet exact bekend.
- onnauwkeurigheid in de oppervlakte A_1 van de doorstroomopening

Mocht er achter de afsluiter geen ongestuwde afvoer optreden (speelt zich af in het onzichtbare) dan zal er een extra systematische fout zijn. Enige zekerheid hierover wordt verkregen door bij de zes meetstuwen de debieten volgens de afsluiter en volgens de meetstuw onderling te vergelijken.

Ter illustratie het volgende rekenvoorbeeld:

De afsluiterinlaat EAGU i4 is in augustus 1997 zonder onderbreking voor 50% open geweest van 21/8 om 16.30 uur tot en met 31/8 om 24.00 uur.

- uit tabel 26: $D = 0,16$ m en $h_1 = 0,30$ m.
- uit figuur 20: $A = 0,0201$ m^2 (geheel open)

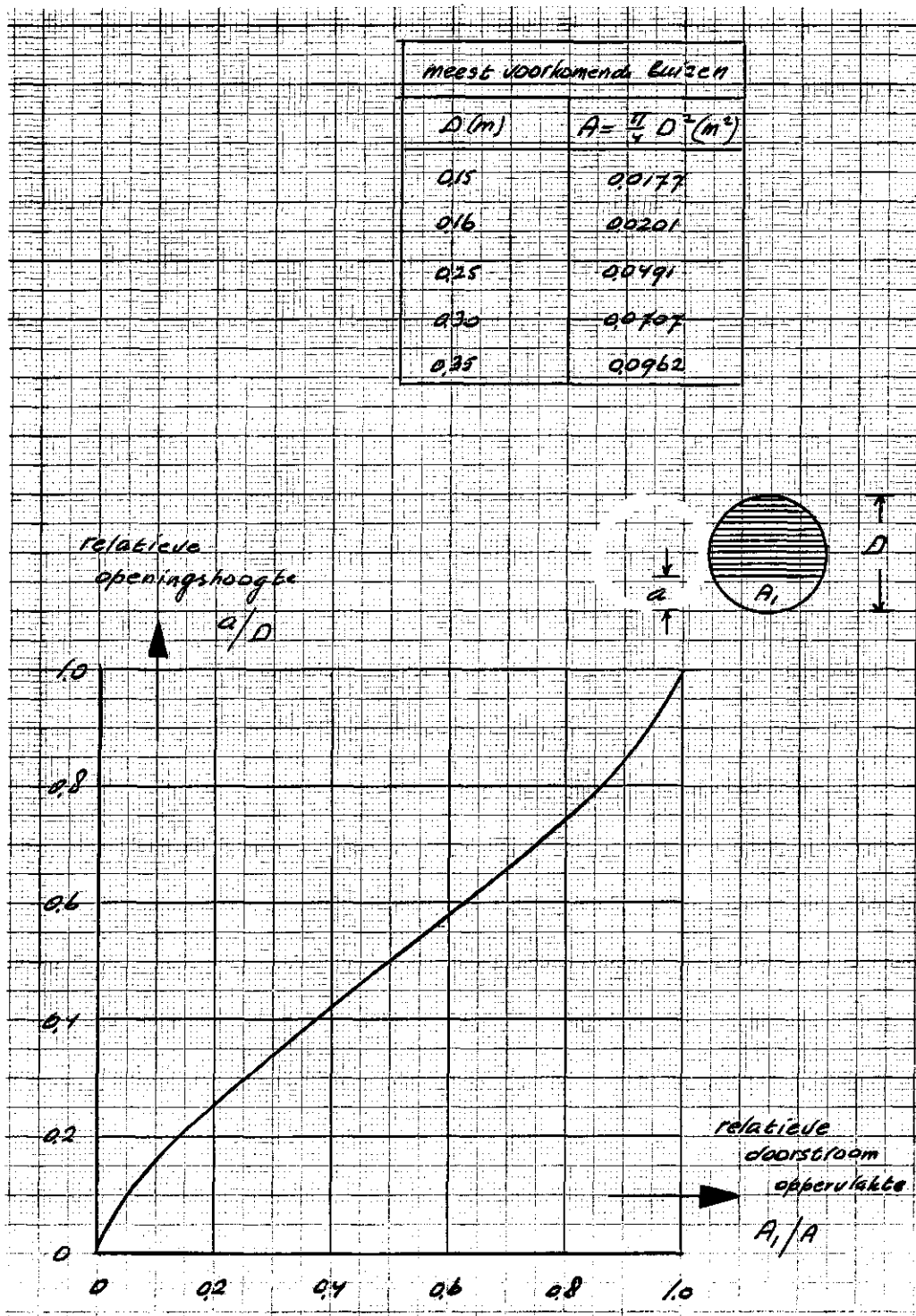
$$a/D = 0,5 \rightarrow A_1 / \frac{\pi}{4} D^2 = 0,5 \rightarrow A_1 = 0,01005 \text{ m}^2$$

- uit figuur 21: $h_1/D = 0,30/0,16 = 1,88 \rightarrow C_1 = 0,74$

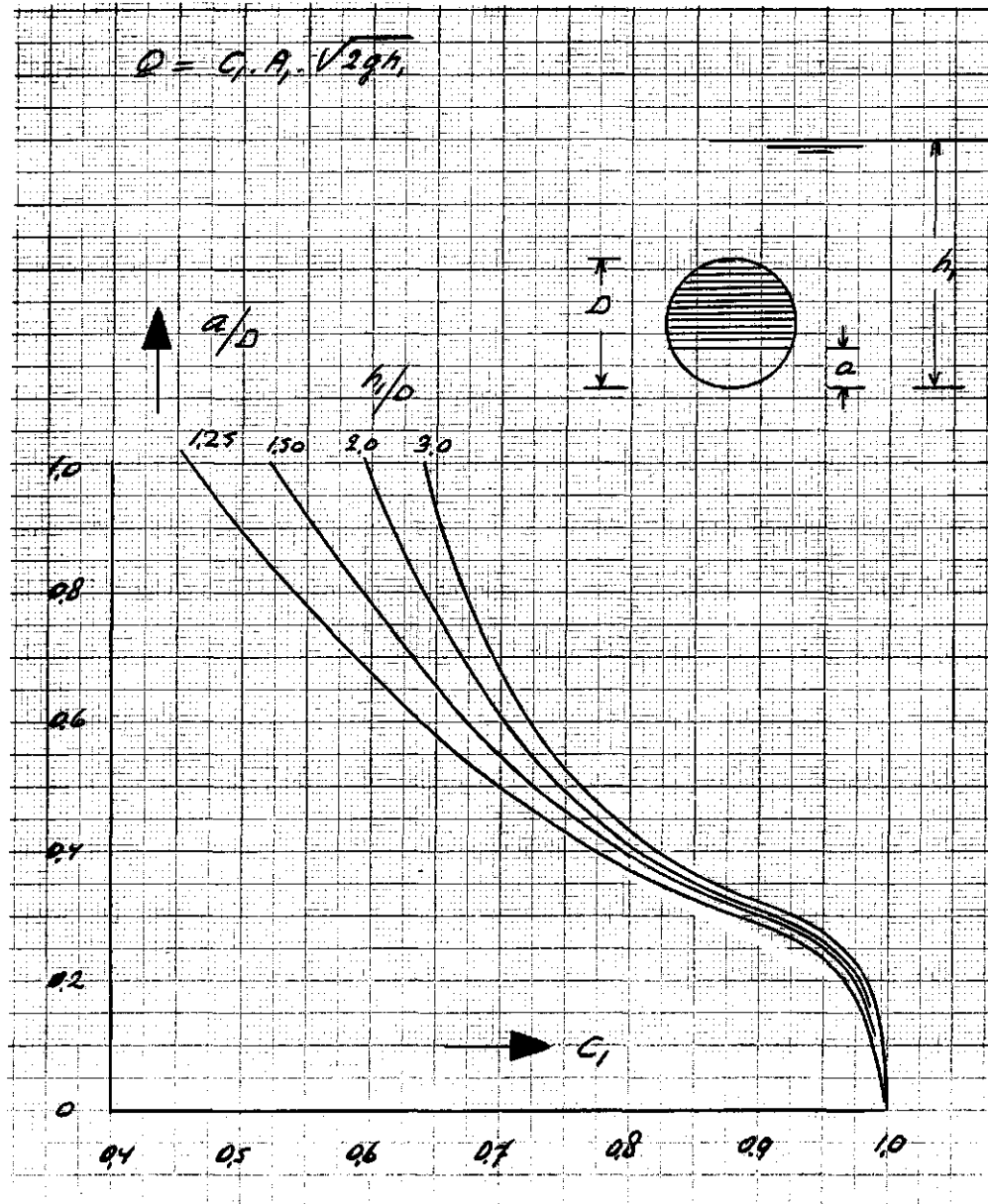
Nu is $Q = C_1 \cdot A_1 \cdot \sqrt{2gh_1} = 0,74 * 0,01005 * \sqrt{19,62 * 0,30} = 0,018$ m^3/s

tijdsduur 247,5 uren = $891 * 10^3$ seconden.

Ingelaten hoeveelheid $0,018 * 891 * 10^3 = 16.038$ m^3 voor augustus 1997.

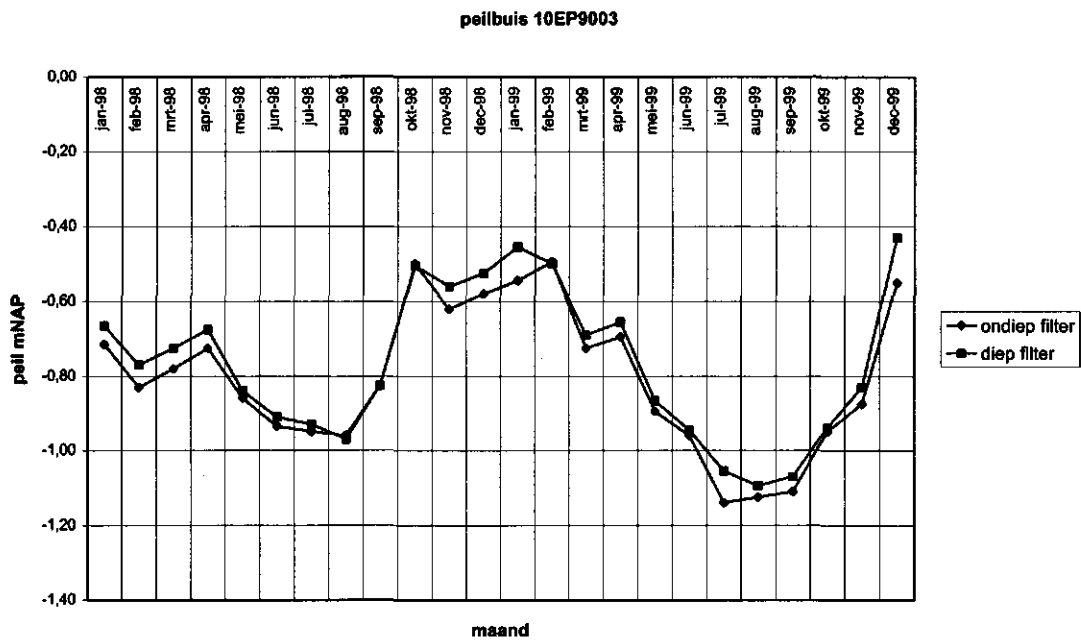


Figuur 20 De relatieve oppervlakte onder een KWT afsluiter als functie van de relatieve openingshoogte a/D

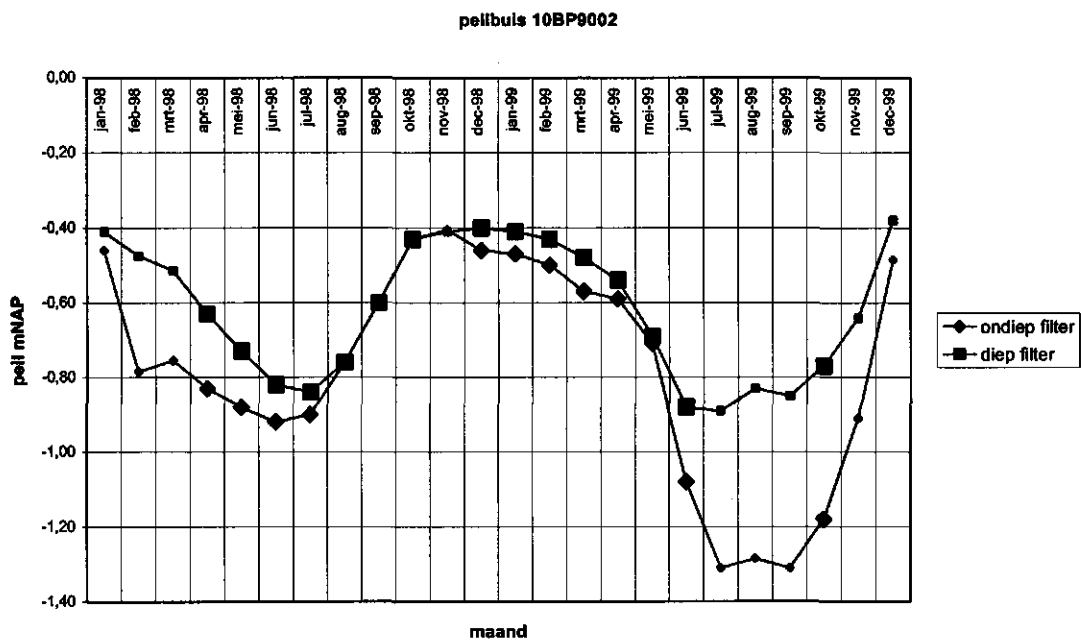


Figuur 21 De afvoercoëfficiënt C_1 van de KWT afsluiter als functie van a/D en h_1/D voor $S \geq 2,5\%$

Bijlage IX Peilen in polder Atsjetille



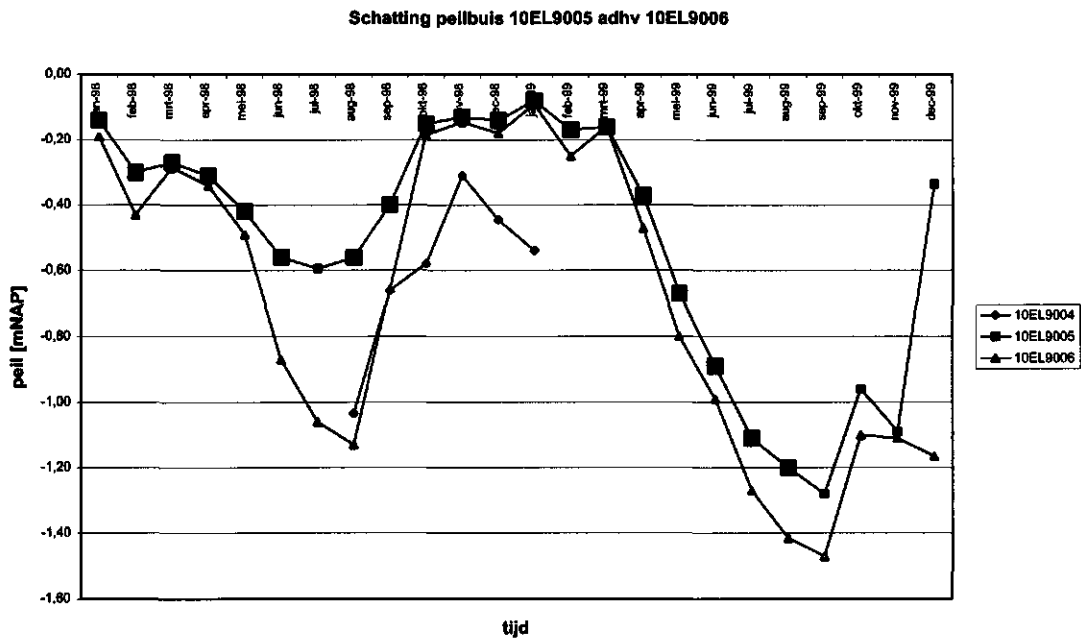
Figuur 22 Peilbuis 10EP9003 polder Atsjetille – jaren 1998 en 1999



Figuur 23 Peilbuis 10BP9002 polder Atsjetille – jaren 1998 en 1999

In Figuur 23 zijn de geschatte peilmetingen met dikke tekens gemarkeerd.

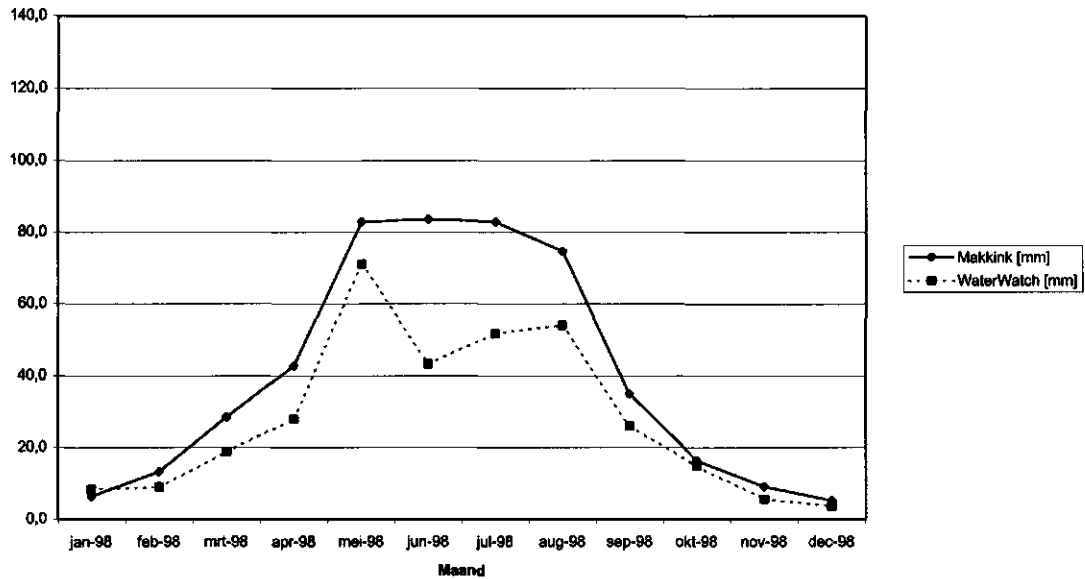
Bijlage X Peilen in polder Edens



Figuur 24 Peilbuis 10EL9005 polder Edens – jaren 1998 en 1999
In Figuur 24 zijn de geschatte peilmetingen met dikke tekens gemarkeerd.

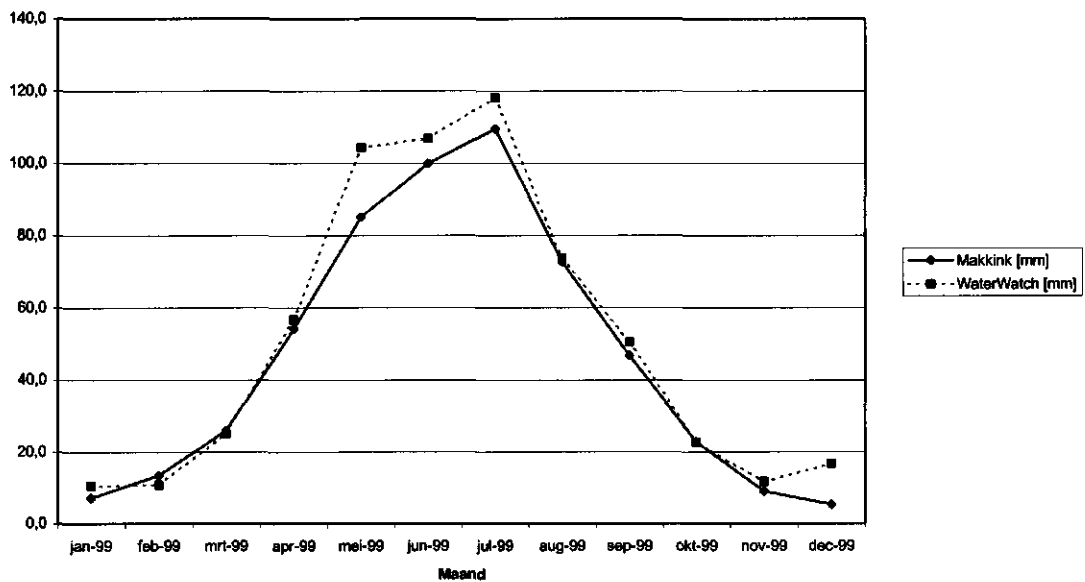
Bijlage XI Verdamping: Makkink en RS-technieken

Atsjetille 1998: Verdamping volgens Makkink en WaterWatch



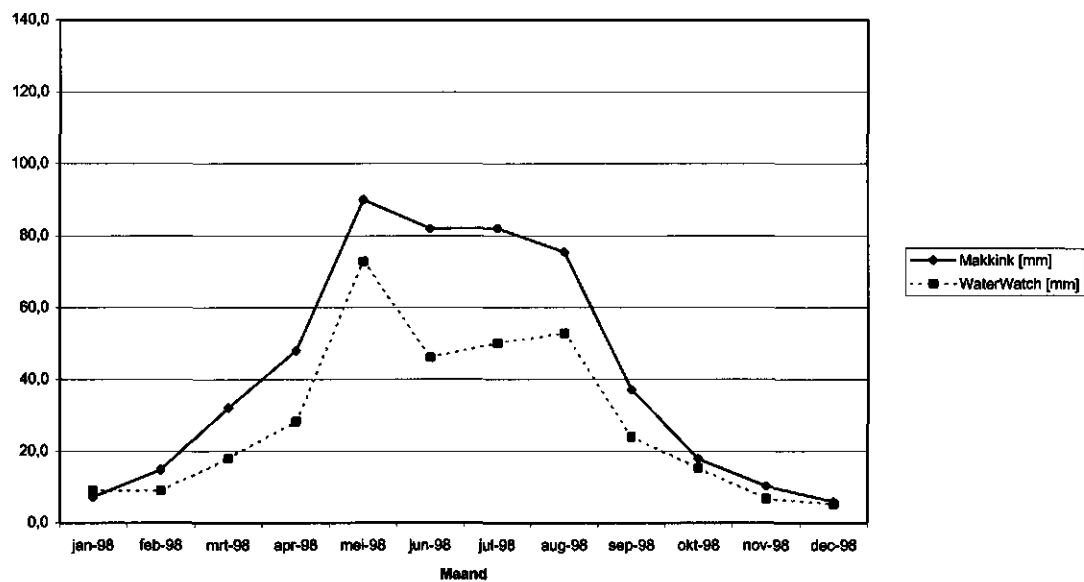
Figuur 25 ET: Makkink en RS-technieken – Atsjetille – 1998

Atsjetille 1999: Verdamping volgens Makkink en WaterWatch



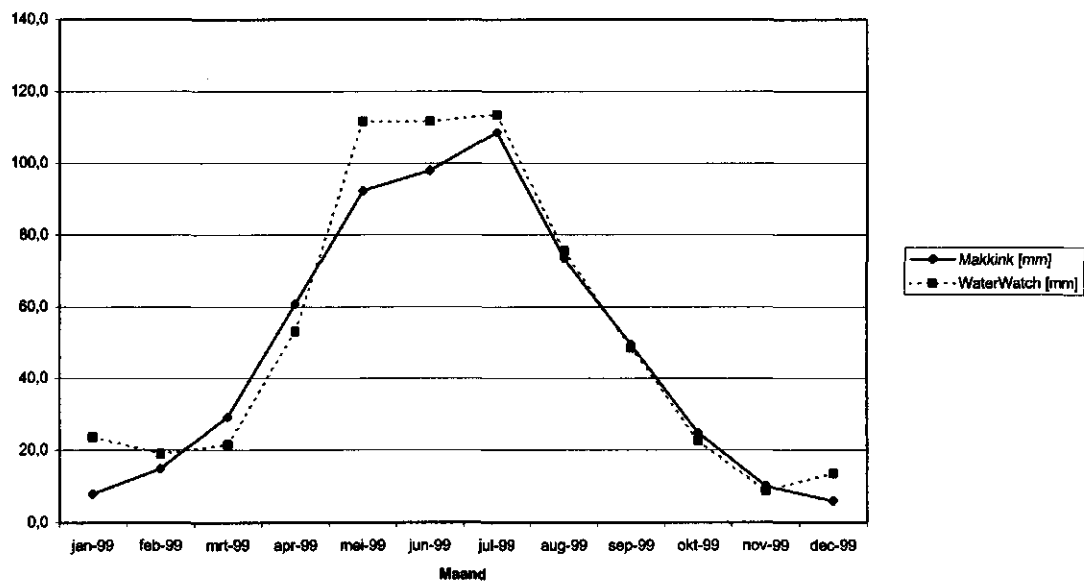
Figuur 26 ET: Makkink en RS-technieken – Atsjetille – 1999

Edens 1998: Verdamping volgens Makkink en WaterWatch



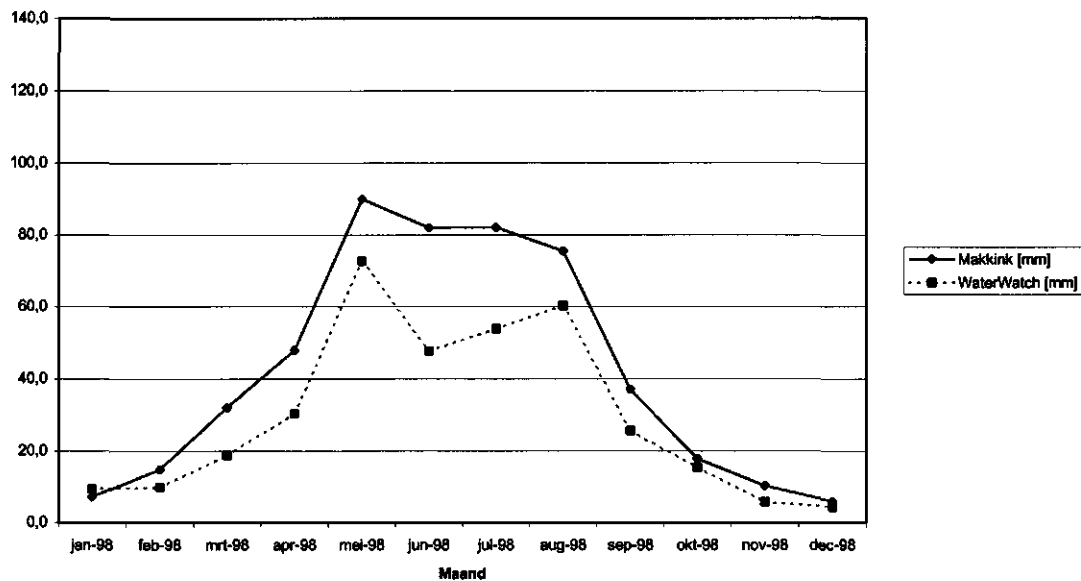
Figuur 27 ET: Makkink en RS-technieken – Edens – 1998

Edens 1999: Verdamping volgens Makkink en WaterWatch



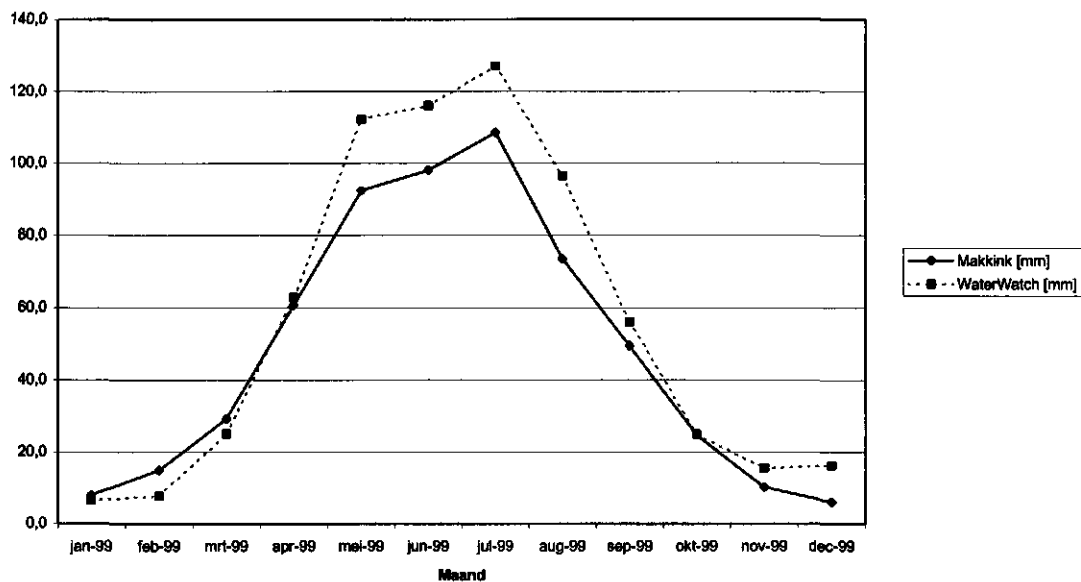
Figuur 28 ET: Makkink en RS-technieken – Edens – 1999

Rodenburg 1998: Verdamping volgens Makkink en WaterWatch

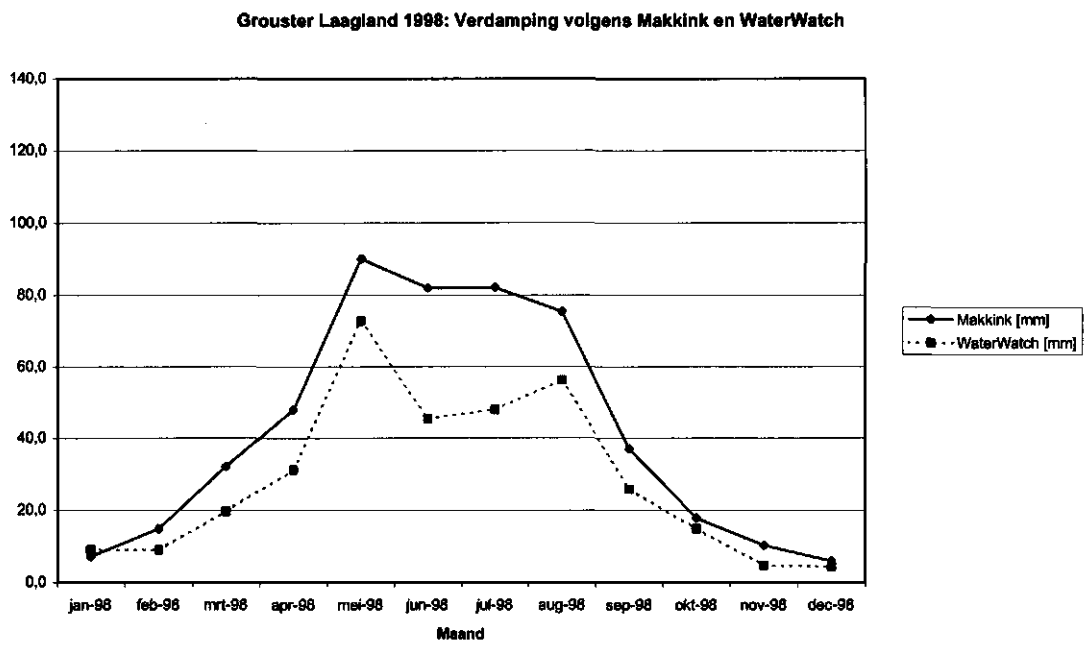


Figuur 29 ET: Makkink en RS-technieken – Rodenburg – 1998

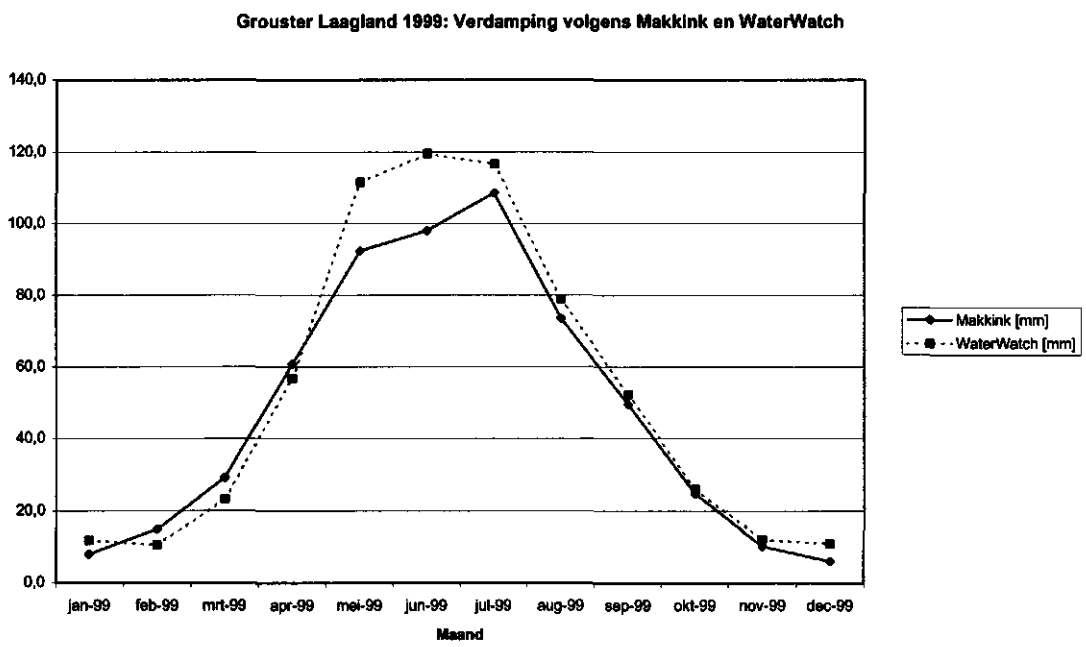
Rodenburg 1999: Verdamping volgens Makkink en WaterWatch



Figuur 30 ET: Makkink en RS-technieken – Rodenburg – 1999

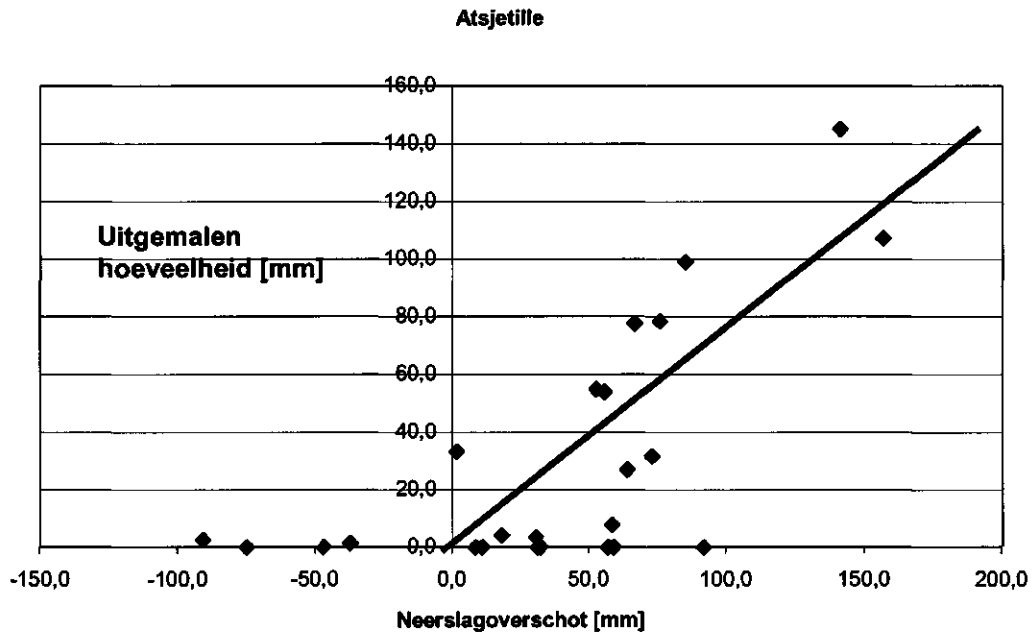


Figuur 31 ET: Makkink en RS-technieken – Grouster Laagland – 1999

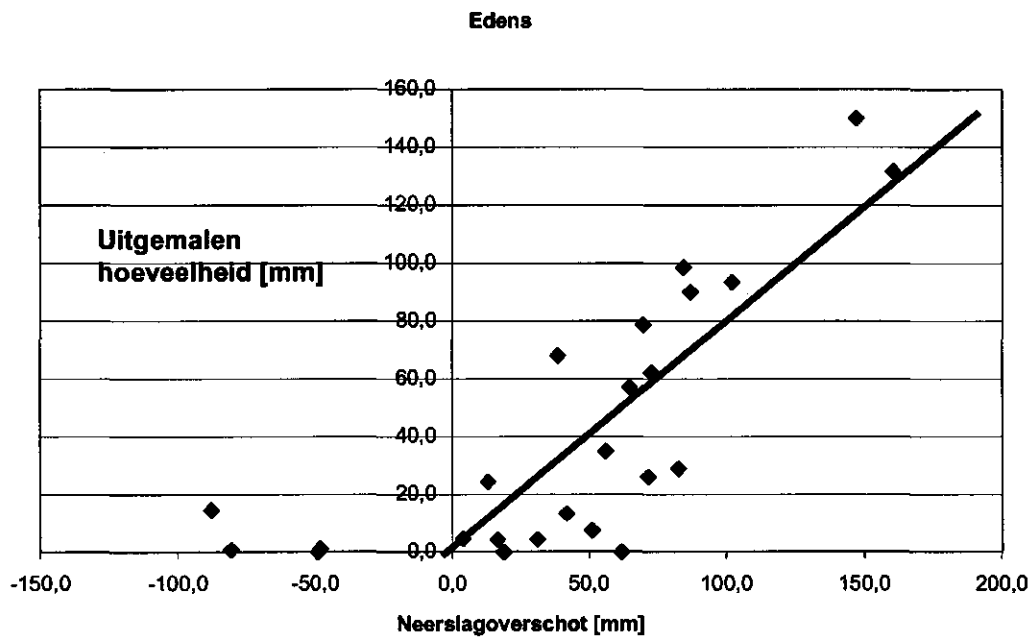


Figuur 32 ET: Makkink en RS-technieken – Grouster Laagland – 1999

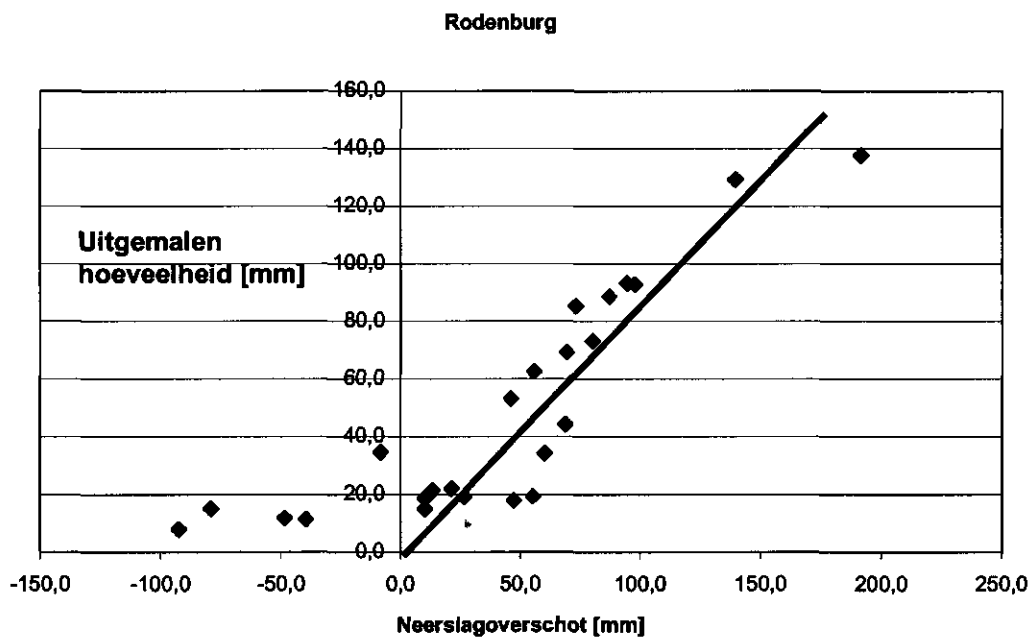
Bijlage XII Relatie tussen neerslagoverschot en uitgeslagen hoeveelheid water



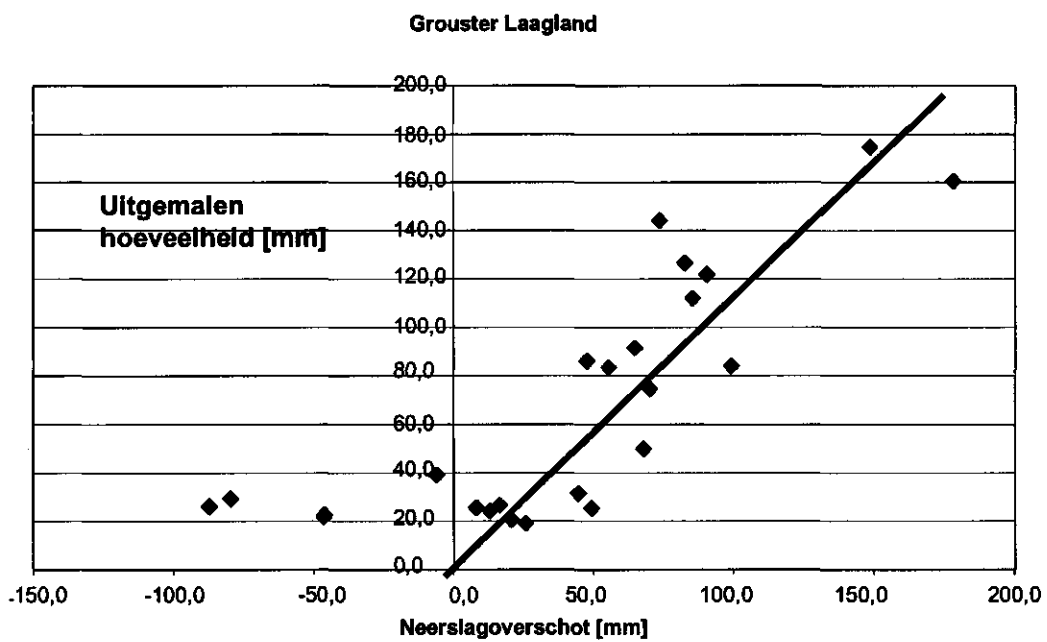
Figuur 33 Relatie neerslagoverschot en uitlaat – Atsjetille



Figuur 34 Relatie neerslagoverschot en uitlaat – Edens



Figuur 35 Relatie neerslagoverschot en uitlaat – Rodenburg



Figuur 36 Relatie neerslagoverschot en uitlaat – Grouster Laagland



Eén van de boerderijen, die water inlaten vanuit de Friese Boezem

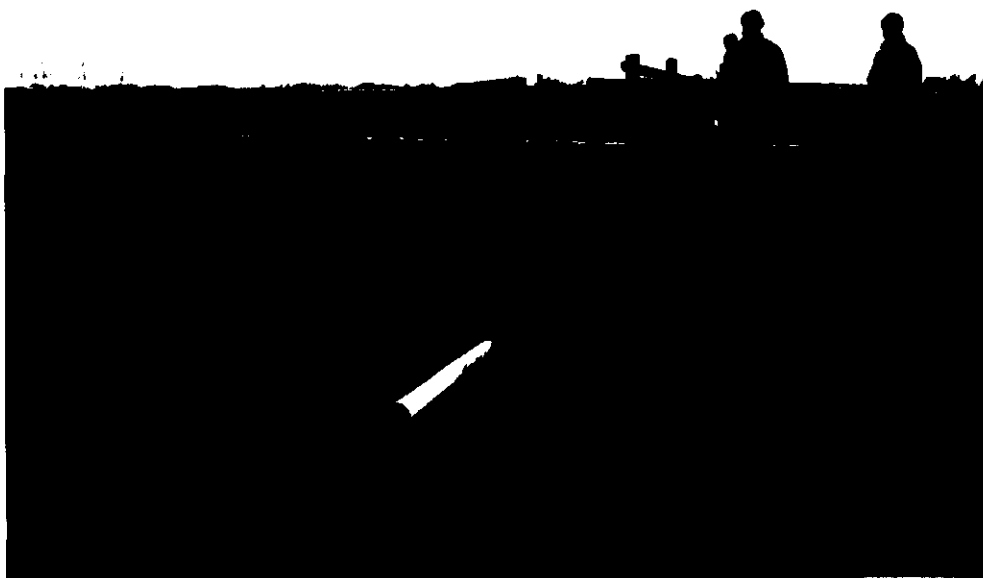


Vijzelgemaal aan het Biggemeer

Fotoblad I Grouster Laagland, waterinlaat en bemaling



De schuif is hier geheel getrokken



Op deze locatie is zomer 1996 een Rossumstuw geplaatst

Fotoblad III Waterinlaat Nauwe Galle, Grouster Laagland



Debietmeting in een meetraai vóór het gemaal



De snelheden werden gemeten met een electro-magnetische sensor

Fotoblad II Calibratie gemaal Rodenburg in april 1993



Eén van de vijf identieke Rossumstuwen



Scherpe overlaat achter inlaat de Visserwei

Fotoblad IV Inlaat, gemeten met meetstuwen, installatie zomer 1996