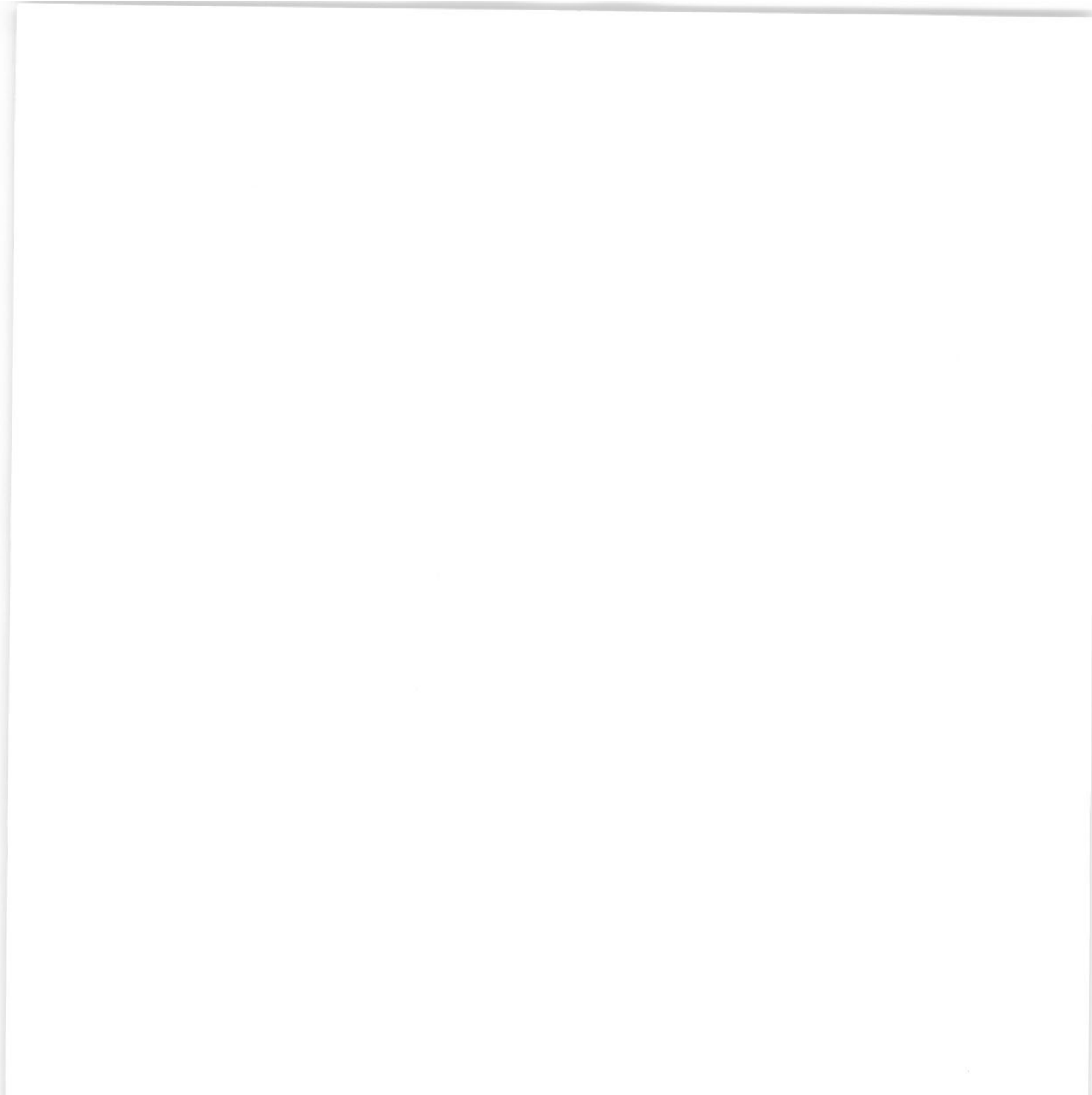


**Test van de ZWENDL-schematisatie
van de Overijsselse Vecht**

en

**Analyse afvoersysteem Vecht voor hoge afvoeren
met behulp van het waterbewegingsmodel ZWENDL**

Werkdocumentnr. 92.036X



Inleiding

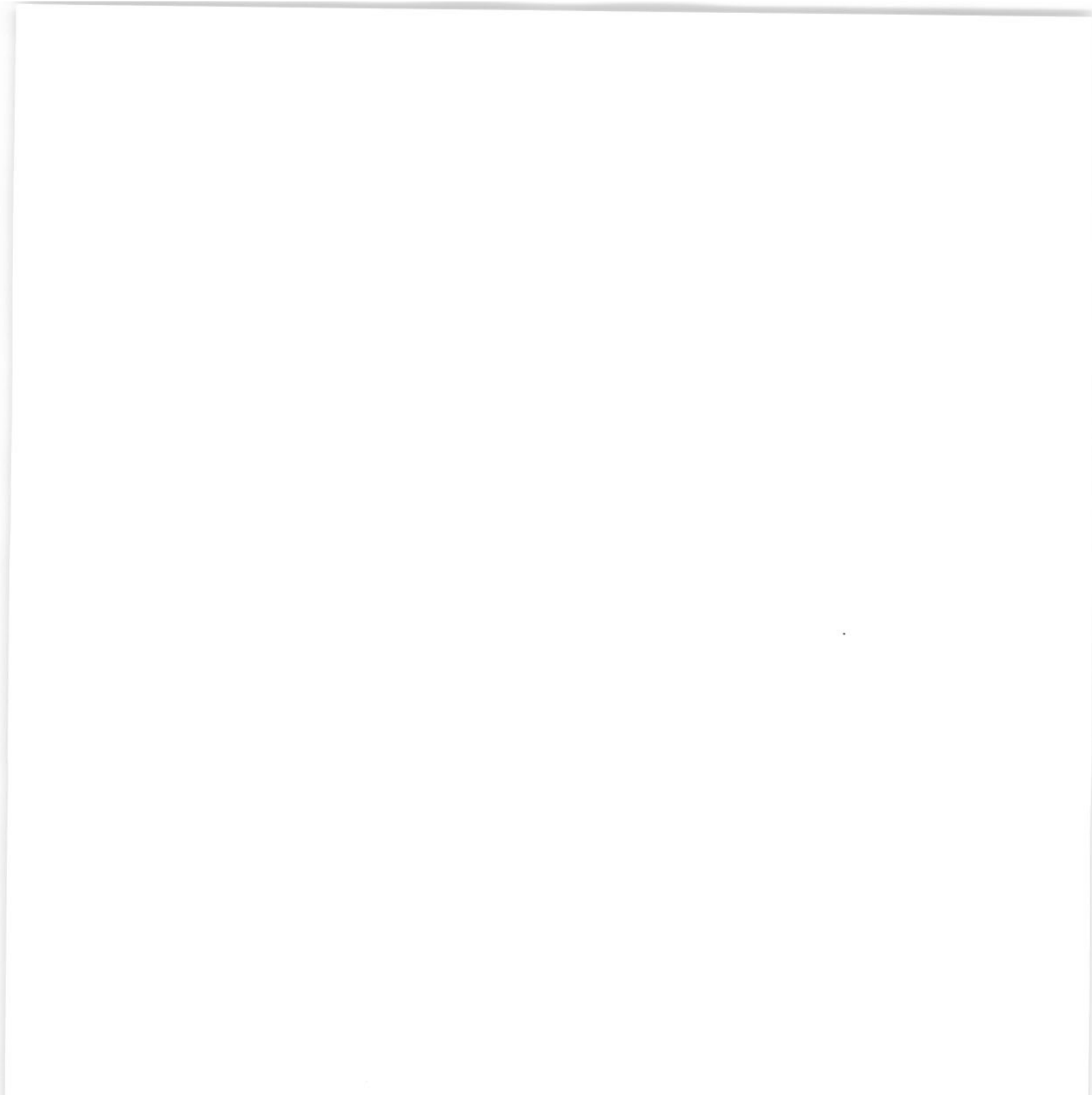
Direktie Overijssel van Rijkswaterstaat heeft in 1990 het Waterloopkundig Laboratorium Delft de opdracht gegeven een waterbewegingsmodel te ontwikkelen voor de Overijsselse Vecht en het Zwartewater. Dit model kwam in oktober 1990 gereed en is sindsdien bij de regionale direktie in gebruik. Het model wordt onder andere gebruikt als onderdeel van een hoogwatermodel [ref.]

In het kader van het project 'Frequentieonderzoek Overijsselse Vecht' is ook behoefte ontstaan om dit model te gaan gebruiken. Hier volgt een korte toelichting over de inhoud van dit project.

Het onderzoek naar frequenties van hoge afvoeren voor de Overijsselse Vecht en het Zwartewater heeft tot doel frequentiediagrammen samen te stellen voor een 10-tal punten langs de Vecht en het Zwartewater. Uit deze diagrammen kan direct worden afgelezen met welke frequentie een bepaalde hoge afvoer zal optreden. Doordat er geen reeksen met afvoergegevens van deze 10 punten langs de Vecht beschikbaar zijn, kunnen de diagrammen niet rechtstreeks worden afgeleid. Er is daarom gekozen voor een aanpak waarbij de gewenste frequentiediagrammen met behulp van het ZWENDL-model worden bepaald uit frequentiediagrammen voor afvoer van de zijleidingen. De resultaten hiervan zullen worden gepresenteerd in een RIZA-nota 'frequentieonderzoek afvoer Overijsselse Vecht'.

Alvorens aan te vangen met het maken van deze berekeningen lijkt het zinvol het ZWENDL-model grondig te testen en de nauwkeurigheid te kwantificeren. Het model zoals aangeleverd door het WL is namelijk alleen gecalibreerd, niet gevalideerd. Als reden hiervoor werd opgegeven het onvoldoende beschikbaar zijn van betrouwbare testgegevens. Bij nader onderzoek bleken er echter toch voldoende gegevens beschikbaar te zijn om een aantal testruns uit te voeren. Deze nieuwe reeksen zijn echter net als de calibratiereeks bij lange na nog niet ideaal voor een gedegen testprogramma. Als gevolg van de in dit onderzoek uitgevoerde testruns zijn verbeteringen in het model aangebracht. Daarnaast zijn bepaalde onderdelen van het model gehercalibreerd. De veranderingen in het model en de resultaten van de testruns worden in deel 1 van dit werkdokument behandeld.

In deel 2 van dit werkdokument worden de resultaten behandeld van een gevoeligheidsanalyse. Doel van deze analyse is meer inzicht te krijgen in het afvoersysteem 'Overijsselse Vecht', speciaal bij hoge afvoeren. Dit gebeurt enerzijds door de rand-



DEEL 1

TEST VAN DE
ZWENDL-SCHEMATISATIE
VAN DE OVERIJSSELSE VECHT

Inhoudsopgave deel 1

1. Aanpak	1.1
1.1 Voorgeschiedenis	1.1
1.2 Aanpassingen ten opzichte van WL-versie	1.1
1.2.1 Schematisatie	1.1
1.2.2 Vervanging oude schotstuwen door nieuwe klepstuwen	1.1
1.2.3 Afvoercoëfficiënten stuwen	1.2
1.2.4 Stuwprocedures	1.3
1.3 Niet meegenomen afvoer	1.3
1.4 Selectie testhoogwaters	1.4
2. Resultaten	1.5
2.1 Hoogwater maart 1981	1.5
2.2 Hoogwater december 1986 / januari 1987	1.7
2.3 Hoogwater januari 1988	1.9
2.4 Hoogwater december 1988	1.11
3. Conclusies	1.13

1. Aanpak

1.1 Voorgeschiedenis

De calibratie van het ZWENDL-model door het Waterloopkundig Laboratorium Delft (WL) is gebaseerd op 2 perioden, één met vol zomerbed (jan '82) en één met vol winterbed (maart '81). Zoals in de inleiding is gesteld werd door gebrek aan voldoende geschikte gegevens het model niet getest. Om toch enig inzicht te verschaffen in de nauwkeurigheid van het model is intensief gezocht naar afvoer- en waterstandsgegevens om zodoende alsnog een test van het model uit te kunnen voeren. Een deel van de gegevens is, zij het met de nodige inspanning, gevonden in DTBEST. Hoogwater-verslagen en speciale lijsten met visuele waarnemingen tijdens het hoogwater van 1986/1987 waren ook belangrijke bronnen. Een ander deel van de gegevens is afkomstig van waterschappen en Provincie Overijssel. Dit heeft al met al geleid tot een redelijke testset.

Bij het maken van de testruns zijn een aantal aanpassingen in de originele WL-schematisatie en randvoorwaarden aangebracht. De aangebrachte veranderingen worden in de volgende paragraaf behandeld. Voor een uitgebreide behandeling van de schematisatie en randvoorwaarden wordt verwezen naar het WL-rapport 'Eendimensionaal model voor het Zwartewater en de Overijsselse Vecht op basis van het programmapakket ZWENDL'

1.2 Aanpassingen ten opzichte van WL-versie

1.2.1 Schematisatie

Omwille van de duidelijkheid is alleen de schematisatie van de Vecht getest. Dit betekent dat de schematisatie van het Zwarte Water is afgekoppeld en in de hier volgende berekeningen niet is meegenomen. Als benedenstroomse randvoorwaarden zijn gemeten waterstanden ter hoogte van de Vechtmond aangehouden.

De schematisatie is niet uitgebreid nagelopen op eventuele invoerfouten. Toch is een klein foutje in de schematisatie ontdekt en verbeterd. Vak 141 gaat niet van knoop 039 naar knoop 041 maar van 039 naar 042.

In de WL-schematisatie is instroming van de Radewijkerbeek op dezelfde plaats als

klepstand wordt automatisch ingesteld aan de hand van de bovenwaterstand. De klepstuwen zijn geplaatst op de voormalige stuwdrempels. Indien de kleppen volledig gestreken zijn, zijn de stuwdrempels niet gelijk aan de oude drempel. De nieuwe drempelhoogten zijn met 0.30 m (= dikte klep) verhoogd. Doordat deze verandering pas in een later stadium is ontdekt zijn ze niet meegenomen in de hier uitgevoerde berekeningen. In de toekomst zal echter wel rekening gehouden moeten worden met deze verhoging. De invloed van deze hogere stuwdrempel werd voor maart '81 na een eerste berekening geraamd op ca. 8 cm van de bovenwaterstand. De benedenstand verandert nauwelijks.

De schematisatie door het WL is gecalibreerd voor de situatie, toen de oude stuwen er nog waren. Voor de nieuwe situatie zijn dan ook een aantal aanpassingen gedaan:

- afvoercoëfficiënten stuwen
- de stuwprocedures
- stuwdrempels (niet uitgevoerd)

In de volgende paragrafen worden deze veranderingen behandeld.

1.2.3 Afvoercoëfficiënten stuwen

In de conclusies van het WL-rapport wordt geadviseerd de afvoercoëfficiënten van de stuwen aan te passen. Dit advies is opgevolgd. Het gebruik van de nieuwe afvoercoëfficiënten geeft voor het hoogwater maart 1981 een geringe verslechtering van het resultaat. Er is gekozen voor een iets minder resultaat en uniforme stuwcoëfficiënten omdat er vanuit de theorie gezien geen aanleiding is om voor gelijksoortige stuwen verschillende coëfficiëntwaarden te kiezen.

In tabel 1.1 zijn de coëfficiëntwaarden weergegeven die bij de WL-calibratie zijn bepaald met daarnaast de geadviseerde waarden.

Afvoercoëfficiënten stuwen	calibratie WL		advies WL	
	volkomen	onvolko- men	volkomen	onvolko- men
De Haandrik	0.91	1.09	0.90	0.90
Hardenberg	0.98	0.53	0.80	0.80
Mariëenberg	0.80	0.73	0.80	0.80

1.2.4 Stuwprocedures

De 6 nederlandse stuwen in de Vecht zijn alle in de schematisatie van het WL opgenomen. De stuwen Hardenberg, Mariënborg en Junne liggen echter gedurende alle testruns plat. (Ze zijn niet getriggerd)

De andere stuwen, De Haandrik, Vilsteren en Vechterweerd zijn aan het begin van de run ingesteld op resp. 0.55, 1.50 en 1.73 m onder streefpeil. Zodra een bepaalde waterstand wordt overschreden daalt de klep in één tijdstap (=10 minuten) tot de stuw drempel. Voor de stuwen Vilsteren en Vechterweerd moeten bovenwaterstanden van respectievelijk 3.00 en 1.20 m +NAP worden overschrijden voordat de kleppen gaan dalen.

De stuwprocedure van De Haandrik is door het WL als volgt ingevoerd. De beginstand van de klep is 8.45 +NAP. Stijgt de benedenstand bij de Haandrik boven de 8.25 dan daalt de klep in één tijdstap tot de stuw drempel = 6.59 +NAP. Vervolgens stijgt de klep in 12 dagen lineair naar een stand van 8.30 +NAP. Dit is niet overeenkomstig met de werkelijkheid en de vraag is waarom het WL dit zo heeft gedaan.

Tijdens de hier uitgevoerde testruns zijn nieuwe uniforme stuwprocedures voor de drie stuwen ingevoerd. Als voorbeeld wordt hier de nieuwe procedure voor de Haandrik toegelicht: als de bovenwaterstand van de stuw de 9.30 m +NAP overschrijdt, daalt de klep in één dag (=1440 tijdstappen) van 8.45 m (=klepstand begin) naar 6.75 m +NAP (=stuw drempel). De stuw blijft gedurende de rest van de run plat.

Reden om een andere procedure te gebruiken zijn: 1. procedure komt niet overeen met werkelijkheid; 2. plotselinge verandering klepstand in WL-procedure veroorzaakte oneigenlijke sprong in bovenwaterstand van de getriggerde stuwen.

1.3 Niet meegenomen afvoer

Tijdens de calibratie en het testen van het ZWENDL-model voor alleen de Vecht is gebruik gemaakt van de afvoer van 6 zijleidingen, t.w. de Vecht te Emlichheim, het Afwateringskanaal Coevorden, de Radewijkerbeek, het Ommerkanaal en de Regge. Er zijn echter een aantal andere kleinere zijleidingen en delen van het stroomgebied niet in de berekeningen betrokken. Door het niet meenemen van deze debieten zal de waterbalans niet volledig hebben geklopt. In procenten van het stroomgebiedoppervlak is deze verwaarloosde afvoer voor de Vecht 10% en voor de Vecht en het Zwartewa-

1.4 Selectie testhoogwaters

In dit document zijn de resultaten weergegeven van 4 testruns. De tests zijn uitgevoerd in samenwerking met directie Overijssel. Als test-hoogwaters zijn geselecteerd:

1. maart 1981: Dit is de periode die ook gebruikt is voor de calibratie.
2. december 1986/januari 1987: Het grootste hoogwater van de afgelopen 20 jaar.
3. januari 1988:
4. december 1988:

Er is gekozen voor deze hoogwaters omdat ze allemaal, uitgezonderd maart '81, liggen na de aanleg van de nieuwe klepstuwen.

Van de testperioden zijn niet voor alle zijleidingen de afvoergegevens beschikbaar. De onbekende afvoeren zijn gelijk aan 0 gesteld.

Peilgegevens worden gebruikt om te kijken of de door ZWENDL berekende peilen overeenstemmen met de gemeten waarden. Ze zijn beschikbaar voor alle perioden voor een groot aantal meetpunten in de Vecht. Er zijn 3 gegevensbronnen voor peilgegevens, DTBEST, jaarlijsten tot '83, specifieke hoogwaterwaarnemingen in maart 1981 en december 1986/januari 1987. De gegevens uit de verschillende bronnen blijken af en toe flink te verschillen.

2. Resultaten

2.1 Hoogwater maart 1981

De resultaten van de calibratie uitgevoerd door het WL en de testrun van het hoogwater van maart '81 worden hier in tabel 1.2 gepresenteerd. In bijlage 1 zijn de grafische weergave van het peilverloop, gemeten en berekend, voor beide berekeningen gegeven. In de tabel zijn ook bodemniveaus weergegeven om daarmee een indruk te krijgen van de waterdiepten.

Resultaten hoogwater maart '81	gemeten top	berekende topwaterstanden				Bodemniveau
		WL		Test		
	(a)	(a)	(b)	(a)	(b)	(a)
Emlichheim	12.84	12.84	0	12.81	-3	8.40
Laar	10.96	10.96	0	10.93	-3	6.60
stuw De Haandrik bovenstrooms	10.33	10.36	+3	10.23	-10	6.00
benedenstrooms	10.06	10.06	0	10.09	+3	5.56
stuw Hardenberg bovenstrooms	8.29	8.30	+1	8.41	+12	3.77
benedenstrooms	8.23	8.20	-3	8.18	-5	3.26
stuw Mariënberg bovenstrooms	7.46	7.43	-3	7.31	-15	2.62
benedenstrooms	7.26	7.30	+4	7.20	-6	2.12
stuw Junne bovenstrooms	6.50	6.38	-12	6.38	-12	1.40
benedenstrooms	6.30	6.24	-6	6.25	-5	0.74
stuw Vilsteren bovenstrooms	4.06	4.03	-3	4.04	-2	-0.21
benedenstrooms	3.99	3.98	-1	3.99	0	-0.66
stuw Vechterweerd bovenstrooms	2.64	-	-	2.62	-2	-2.35
benedenstrooms	2.54	-	-	2.57	+3	-2.61

Naar aanleiding van de calibratie- en test-resultaten van hoogwater maart 1981 worden de volgende opmerkingen gemaakt:

- Resultaten calibratie door WL zijn positief; de gemeten en berekende peilstanden komen zeer goed overeen.
- Door het gebruik van de geadviseerde afvoercoëfficiënten van de stuwen is de fit bij het testen duidelijk minder dan de WL-versie. De verschillen, die voornamelijk bovenstrooms Junne optreden, zijn echter niet dermate groot dat dit leidt tot verwerping van de gebruikte coëfficiënten.
- De (menselijke) stuwmanipulaties in 1981 zijn een bron van een flink stuk onnauwkeurigheid en onduidelijkheid. Verwacht mag worden dat dit in de huidige situatie met automatische klepstuwen beter is.
- Zowel gemeten als berekende top passeren Mariëenberg eerder dan de Haandrik. Oorzaak hiervan is de hoge afvoer van het Afwateringskanaal in maart 1981. Dit verschijnsel doet zich vaker voor tijdens hoogwater.
- De stuwprocedure de Haandrik werkt nog niet goed.

2.2 Hoogwater december 1986 / januari 1987

De resultaten van de testrun van dit hoogwater zijn weergegeven in tabel 1.3 en bijlage 2.

Resultaten hoogwater december '86/ januari '87	gemeten top	berekende top		Bodem- niveau
	(a)	(a)	(b)	(a)
Emlichheim	12.98	13.01	+3	8.40
Laar	11.08	11.05	-3	6.60
stuw De Haandrik bovenstrooms	10.42	10.36	-6	6.00
benedenstrooms	10.20	10.20	0	5.56
stuw Hardenberg bovenstrooms	8.34	8.49	+15	3.77
benedenstrooms	8.30	8.26	-4	3.26
stuw Mariënborg bovenstrooms	7.42	7.39	-3	2.62
benedenstrooms	7.30	7.27	-3	2.12
stuw Junne bovenstrooms	6.43	6.45	+3	1.40
benedenstrooms	6.33	6.32	-1	0.74
stuw Vilsteren bovenstrooms	4.13	4.14	+1	-0.21
benedenstrooms	4.04	4.09	+5	-0.66
stuw Vechterweerd bovenstrooms	2.78	2.74	-4	-2.35
benedenstrooms	2.63	2.69	+6	-2.61

Tabel 1.3. Gemeten en berekende topwaterstanden tijdens HW december 1986 / januari 1987.

(a): waterstand in meters ten opzichte van NAP

(b): verschil in cm tussen gemeten en berekende waterstand.

Naar aanleiding van de testrun worden de volgende opmerkingen gemaakt:

Test ZWENDL-schematisatie Overijsselse Vecht

2.3 Hoogwater januari 1988

De resultaten van de testrun van dit hoogwater zijn weergegeven in tabel 1.4 en bijlage 3.

Resultaten hoogwater januari 1988	gemeten top (a)	berekende top (a) (b)		Bodem- niveau (a)
		(a)	(b)	
Emlichheim	11.94	11.89	-5	8.40
Laar	10.34	10.31	-3	6.60
stuw De Haandrik bovenstrooms	9.50	9.47	-3	6.00
benedenstrooms	9.36	9.36	0	5.56
stuw Hardenberg bovenstrooms	7.52	7.75	+23	3.77
benedenstrooms	7.10	7.58	+48	3.26
stuw Mariënberg bovenstrooms	6.60	6.63	+3	2.62
benedenstrooms	6.43	6.52	+9	2.12
stuw Junne bovenstrooms	5.29	5.57	+28	1.40
benedenstrooms	5.19	5.47	+28	0.74
stuw Vilsteren bovenstrooms	3.59	3.21		-0.21
benedenstrooms	3.21	3.16		-0.66
stuw Vechterweerd bovenstrooms	1.64	1.37		-2.35
benedenstrooms	1.49	1.30		-2.61

Tabel 1.4. Gemeten en berekende topwaterstanden tijdens HW januari 1988.

(a): waterstand in meters ten opzichte van NAP

(b): verschil tussen gemeten en berekende waterstand in cm.

Naar aanleiding van de testrun worden de volgende opmerkingen gemaakt:

Test ZWENDL-schematisatie Overijsselse Vecht

- Vilsteren en Vechterweerd worden te laag berekend omdat er geen Regge-afvoer is meegenomen in de berekening.
- de stuwprocedure de Haandrik functioneert nog niet goed. De stuw daalt te snel waardoor de bovenstroomse waterstand terugvalt tot $7.80 + \text{NAP}$. Voor de topstand maakt dit echter weinig uit.

2.4 Hoogwater december 1988

De resultaten van de testrun van dit hoogwater zijn weergegeven in tabel 1.5 en bijlage 4.

Resultaten hoogwater december '88	gemeten top (a)	berekende top (a) (b)	Bodem- niveau (a)
Emlichheim	12.24	12.05 -19	8.40
Laar	10.55	10.41 -14	6.60
stuw De Haandrik bovenstrooms benedenstrooms	9.48 9.39	9.55 +7 9.42 +3	6.00 5.56
stuw Hardenberg bovenstrooms benedenstrooms	7.30 7.15	7.60 +30 7.45 +30	3.77 3.26
stuw Mariënborg bovenstrooms benedenstrooms	6.21 6.02	6.46 +25 6.35 +33	2.62 2.12
stuw Junne bovenstrooms benedenstrooms	5.06 4.98	5.38 +32 5.29 +33	1.40 0.74
stuw Vilsteren bovenstrooms benedenstrooms	3.17 3.06	3.06 -11 3.01 -5	-0.21 -0.66
stuw Vechterweerd bovenstrooms benedenstrooms	1.64 1.49	1.36 -28 1.30 -19	-2.35 -2.61

Tabel 1.5. Gemeten en berekende topwaterstanden tijdens HW december 1988.

(a): waterstand in meters ten opzichte van NAP

(b): verschil tussen gemeten en berekende waterstand in cm

Naar aanleiding van de testrun worden de volgende opmerkingen gemaakt:

- de optredende verschillen in gemeten en berekende waterstanden zijn net als bij

Test ZWENDL-schematisatie Overijsselse Vecht

3. Conclusies

Het ZWENDL-model is getest voor 4 hoogwatersituaties, maart 1981, december 1986/januari 1987, januari 1988, december 1988. Het was niet mogelijk het model zeer uitgebreid en nauwkeurig te testen omdat de daarvoor benodigde gegevens ontbreken. Van de Vecht benedenstrooms Emlichheim zijn alleen peilgegevens bekend, geen afvoergegevens. Belangrijkste testcriterium was het verschil in gemeten topstand en berekende topstand. Er is verder ook gekeken naar het tijdstip van de top en de vorm van de golf. Het benedenstrooms deel, vanaf de monding van de Regge tot aan de monding van de Vecht kon slechts voor twee situaties worden getest. Oorzaak hiervan was dat de afvoergegevens van de Regge in 1988 ontbreken. In tabel 1.6 worden de resultaten weergegeven.

Resultaten Testruns ZWENDL	maart 1981		dec 1986/ jan 1987		jan 1988		dec 1988	
	(a)	(b)	(a)	(b)	(a)	(b)	(a)	(b)
Emlichheim	12.85	-4	12.98	+3	11.94	-5	12.24	-19
Laar	11.02	-9	11.08	-3	10.34	-3	10.55	-14
stuw De Haandrik bovenstrooms	10.33	-10	10.42	-6	9.50	-3	9.48	+7
benedenstrooms	10.04	+5	10.20	0	9.36	0	9.39	+3
stuw Hardenberg bovenstrooms	8.29	+12	8.34	+15	7.52?	+23	7.30	+30
benedenstrooms	8.23	-5	8.30	-4	7.10?	+48	7.15	+30
stuw Mariënborg bovenstrooms	7.44	-13	7.42	-3	6.60	+3	6.21	+25
benedenstrooms	7.24	-4	7.30	-3	6.43	+9	6.02	+33
stuw Junne bovenstrooms	6.48	-10	6.43	+3	5.29?	+28	5.06	+32
benedenstrooms	6.28	-3	6.33	-1	5.19?	+28	4.98	+33
stuw Vilsteren bovenstrooms	4.06	-2	4.13	+1	3.46?		3.17	
benedenstrooms	4.00	-1	4.04	+5	3.29?		3.06	
stuw Vechterweerd								

vorm van de hoogwatergolf komt ook niet goed overeen. De oorzaak van deze slechte testresultaten ligt enerzijds in de betrouwbaarheid van de gemeten waterstanden (uit DTBEST). Anderzijds is het mogelijk dat het model voor lagere hoogwaters nog niet goed geijkt is.

Voor de hoogwaters van maart '81 en dec '86/jan '87 is zowel vorm als tijdstip van de top redelijk goed berekend. Vooral het hoogwater '86/'87 geeft, ondanks een kleine tijdsverschuiving, goede resultaten. Vermeld dient te worden dat dit hoogwater niet werd gebruikt bij de calibratie. Algemeen kan worden geconcludeerd dat het ZWE-NDL-model speciaal voor hoge afvoeren goede resultaten geeft.

Voorafgaand aan de testruns zijn een aantal verbeteringen in het ZWENDL-model aangebracht. De verbeteringen worden hier kort opgesomd:

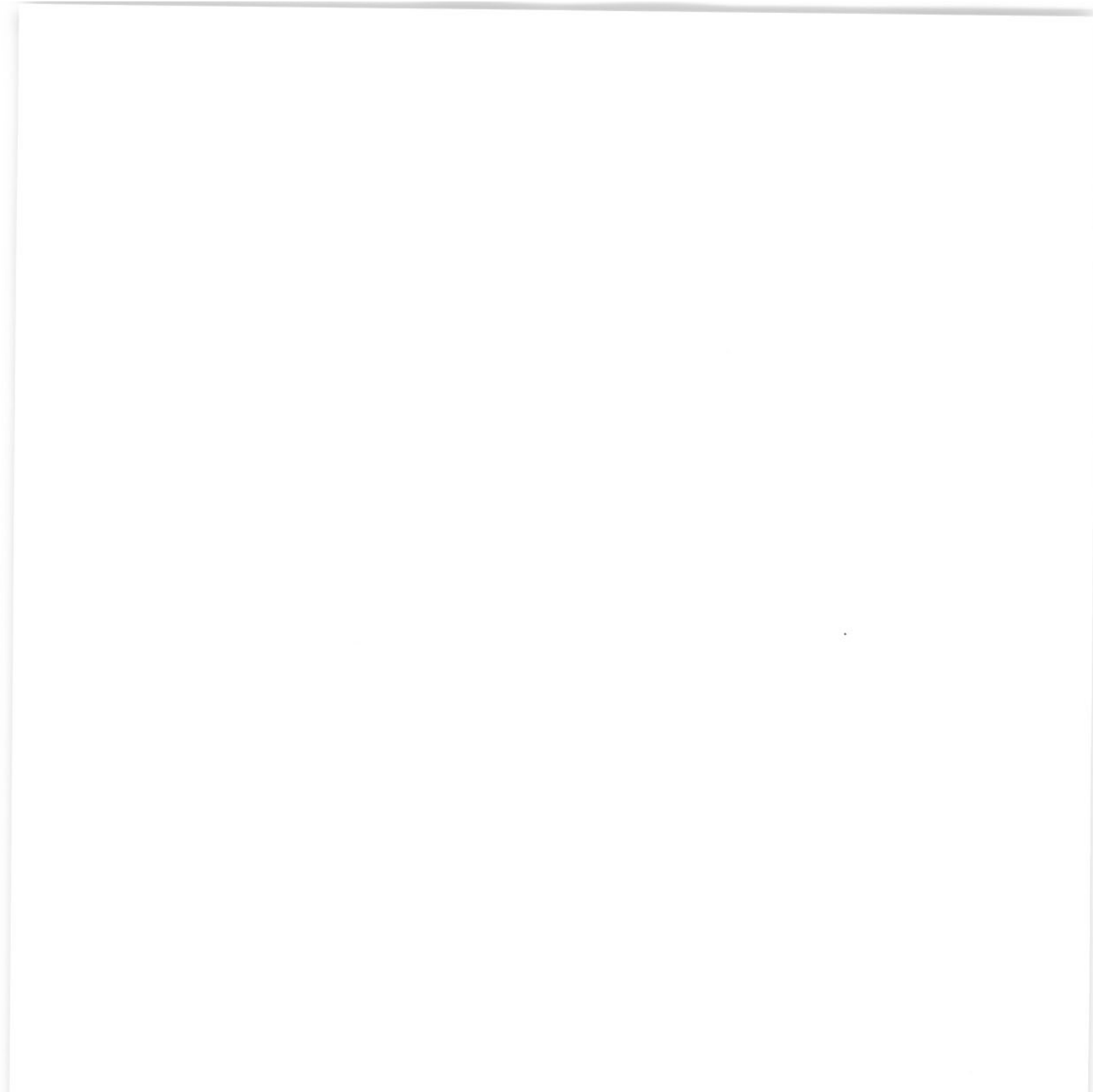
- fout uit schematisatie
- aparte invoer Radewijkerbeek
- door WL geadviseerde stuwcoëfficiënten gebruikt
- verandering stuwprocedures De Haandrik, Vilsteren en Vechterweerd

Een nog niet ingevoerde verbetering in de schematisatie is de verhoging van de stuwdrempels met 30 cm. Na de aanleg van de nieuwe klepstuwen is de drempelhoogte met deze lengte verhoogd. Deze aanpassing zal leiden tot een waterstandsstijging bovenstrooms de stuw. De benedenstroomse standen blijven na de aanpassing gelijk.

Peilgegevens van de Vecht van vòòr 1983 zijn voldoende beschikbaar en nauwkeurig. Na 1983 zijn ze echter onvoldoende beschikbaar en over het algemeen onbetrouwbaar (DTBEST-gegevens).

Advies

- verhoog drempels tot ware hoogte.
- breng vistrappen in in de schematisatie.
- verbeter de stuwprocedures voor alle stuwen
- bepaal nieuwe afvoercoëfficiënten stuwen
- hercalibreer het model voor hoge en lage situaties. Ook de situatie zoals hoogwaters januari en december 1988 dienen goed te passen.
- verzamel zeer gericht een volledige nauwkeurige gegevens-set om het model te testen/ calibreren. D.w.z., meet tijdens hoogwater om de 6 uur de afvoeren in de verschillende zijleidingen. Meet boven- en benedenwaterstanden bij alle stuwen 1 x per 6 uur. Tot slot, meet de afvoer van de Vecht te Vechterweerd of Berkum, i.v.m. de waterbalans.
- meer aandacht voor nauwkeurige peilgegevens d.m.v. controle meetpunten, adequate verwerking en opslaan buiten DTBEST.
- Zorg voor een goede Q/H-relatie van de afvoer van de hele Vecht (te Vilsteren of Vechterweerd) die ook regelmatig wordt gecontroleerd m.b.v. metingen.



DEEL 2

ANALYSE AFVOERSYSTEEM VECHT

VOOR HOGE AFVOEREN

M.B.V.

HET WATERBEWEGINGSMODEL ZWENDL

Inhoudsopgave deel 2

1. Inleiding	2.3
2. Invloed bovenstroomse Q-randvoorwaarden	2.4
2.1 Hoogte afvoergolf	2.4
2.2 Tijdstip afvoergolf	2.5
2.3 Vorm afvoergolf	2.8
3. Invloed benedenstroomse randvoorwaarde	2.22
4. Looptijden	2.23
5. Topvervlakking	2.24
6. Conclusies	2.26

1. Inleiding

Om meer inzicht te krijgen in het afvoersysteem van de Vecht bij hoge afvoeren is een analyse uitgevoerd. Een dergelijke analyse kan bestaan uit het interpreteren van opgetreden hoogwatergebeurtenissen met behulp van de historische peil- en afvoergegevens. Deze methode heeft echter als nadeel dat hij afhankelijk is van de meetinspanning in het verleden en een beperkte hoeveelheid gebeurtenissen. Voor de Vecht zijn de in het verleden opgetreden hoogwaters slecht bemeten.

Een tweede methode is het analyseren van resultaten van een simulatiemodel waarmee de waterbeweging van een hoogwatergolf in het Vechtsysteem kan worden nagebootst. Het voordeel van deze tweede methode is dat er eindeloos veel varianten kunnen worden doorgerekend. De factoren die de waterbeweging beïnvloeden kunnen daarbij afzonderlijk worden beschouwd. De gevoeligheid van het watersysteem op genoemde inputfactoren kan zodoende eenvoudig worden geanalyseerd. Het zwaartepunt van deze onderzoeking zal daarom liggen bij de tweede methode waarbij het ZWENDL-model zal worden gebruikt om de verschillende simulatie-runs uit te voeren.

De schematisatie die gebruikt is tijdens deze analyse, is gelijk aan de schematisatie uit deel 1 van dit document. Het betreft dus de verkorte schematisatie van de Vecht zonder het Zwarte Water.

De hoogwaters van maart 1981 en december 1986/januari 1987 zijn als uitgangspunt gekozen bij de berekeningen.

De opbouw van dit deel is thematisch. Hoofdstuk 2 tot en met 5 behandelen de methoden en resultaten van de verschillende analysestappen. In hoofdstuk 6 worden een aantal conclusies opgesomd. Tabellen waarnaar in de tekst verwezen wordt, staan aan het einde van ieder hoofdstuk.

2. Invloed bovenstroomse Q-randvoorwaarden

De ontwikkeling van een hoogwatergolf op de Vecht wordt grotendeels bepaald door 3 factoren namelijk: de hoogte, het tijdstip en de golfvorm van de afvoertoppen op de zijleidingen en de Vecht uit Duitsland. Hoe groot de invloed van de 3 factoren voor iedere zijleiding is, wordt door het maken van een groot aantal ZWENDL-runs onderzocht. Bij iedere run wordt de reeks van één Q-randvoorwaarde veranderd, de andere ZWENDL-randvoorwaarden blijven gelijk.

Voor de duidelijkheid: er zijn 5 Q-randvoorwaarden, 4 van de zijleidingen (Afwateringskanaal, Radewijkerbeek, Ommerkanaal en de Regge) en 1 van de Vecht te Emlichheim.

De berekende tophoogten van de waterstand in een 14-tal punten op de Vecht worden vergeleken met de tophoogten uit de referentieberekening. Het verschil in centimeters laat zien hoe groot de beïnvloeding op verschillende plaatsen in het systeem is geweest. De referentieberekeningen zijn de ZWENDL-testruns uit deel 1 voor de hoogwaters van 1981 en van 1986/1987.

In de komende drie paragrafen wordt de beïnvloeding van de tophoogte door achtereenvolgens de hoogte, het tijdstip en de vorm van afvoergolf van een randvoorwaarde behandeld.

De geometrie van het afwateringssysteem (=de schematisatie) is in alle gevallen gelijk verondersteld.

2.1 Hoogte afvoergolf

Om de invloed van de hoogte van de afvoer te onderzoeken wordt de afvoerwaarden van de oorspronkelijke reeks ($= Q_{ref}$) vermenigvuldigd met een bepaalde factor, in de tabel uitgedrukt als een percentage. De afvoeren van één randvoorwaarde worden dus alle in gelijke mate vergroot of verkleind.

In de tabellen 2.2 t/m 2.9 zijn de resultaten voor de verschillende zijleidingen weergegeven waarbij de hoogwaters van maart 1981 en van december 1986/januari 1987 als referentie zijn gekozen. In tabel 2.2 en 2.6 staan de resultaten van 3 extra runs waarbij de afvoer te Emlichheim met respectievelijk 2, 5 en 10 m³/s is verhoogd.

2.2 Tijdstip afvoergolf

Afvoergolven van zijleidingen komen over het algemeen niet gelijktijdig in de Vecht, meestal is er zal sprake van enig faseverschil. Leidingen in een kleine stroomgebiedje bereiken vaak eerder het maximale debiet dan die van grote stroomgebieden. In tabel 2.1 (blz 2.6) zijn de gemeten faseverschillen van de toevoerleidingen van de Vecht voor 4 hoogwaterperioden opgesomd. In de figuren 1 en 2 zijn de afvoergolven van de Vecht te Emlichheim en de zijleidingen uit twee perioden grafisch weergegeven. De toppen van de zijleidingen vallen in beide figuren gelijktijdig. Dit is niet verwonderlijk daar de stroomgebieden vrij klein zijn en de meetfrequentie 1x per 24 uur is. Indien de gegevens met grotere frequentie beschikbaar zouden zijn, zou er waarschijnlijk wel enige faseverschillen te herkennen zijn.

Tijdens het hoogwater van december 1986/januari 1987 zijn 2 toppen opgetreden. Er viel op 30 en 31 december ca. 50 mm neerslag, vervolgens 1 dag ca. 5 mm en op 2-1-87 nog eens 20 mm. Voor het werkelijke faseverschil moet gekeken worden naar top 1.

De top van de Vecht te Emlichheim valt tijdens beide hoogwaters 2 dagen later.

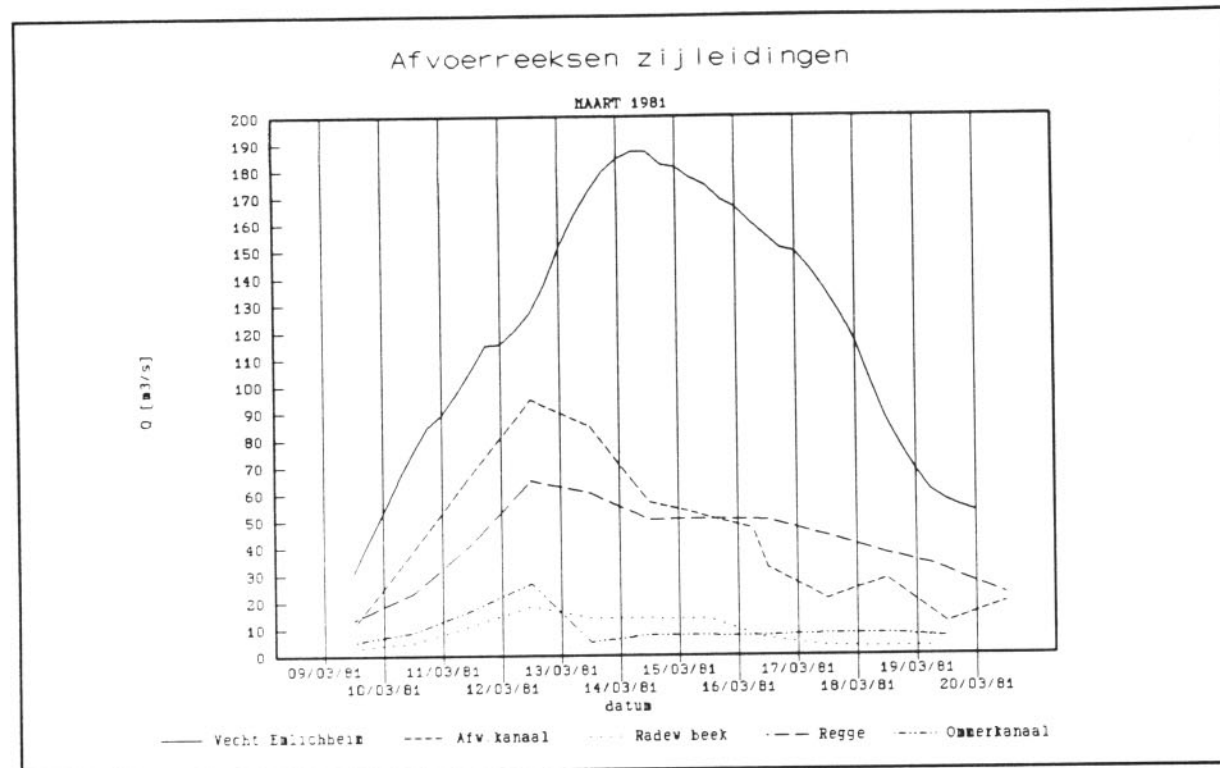
De invloed op de topontwikkeling is hier onderzocht door alleen de afvoergolf van de Vecht te Emlichheim (=randvoorwaarde Zwendl) respectievelijk 1 en 2 dagen in de tijd te verschuiven. Het tijdstip van de toppen van de zijleidingen blijven gelijk. Het resultaat is weergegeven in tabel 2.10.

recht m.b.v. ZWENDL

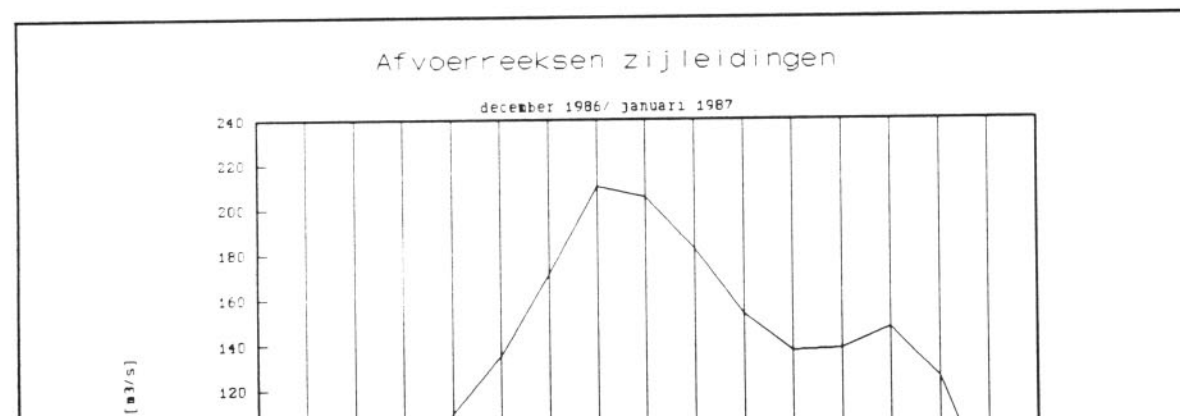
faseverschil [uren]	december '86/januari '87		januari 1988		december 1988		afstand Zw.p [km]
	datum	faseverschil [uren]	datum	faseverschil [uren]	datum	faseverschil [uren]	
0	2/1; 14.00	0	27/1; 14.00	0	22/12; 22.00	0	41.3
20?	31/12; 12.00	50	26/1; 11.00	27	20/12; 18.00	52	17.3
44	31/12; 0.00	62	25/1; 21.00	41	19/12; 18.00	74	10.6
37?	31/12; 12.00	50	25/1; 23.00	39	20/12; 2.00	68	17.6
44?	31/12; 12.00 ?	50?					37.4
44?	13/12; 12.00 ?	50?	26/1; 12.00 ?	26	20/12; 12.00?	58	25
44?	30/12; 22.00	64					35

optreden van topafvoer te Emlichheim en betreffende leiding
gebied tot monding in de Vecht
bekend

toertoppen van de verschillende toevoerleidingen

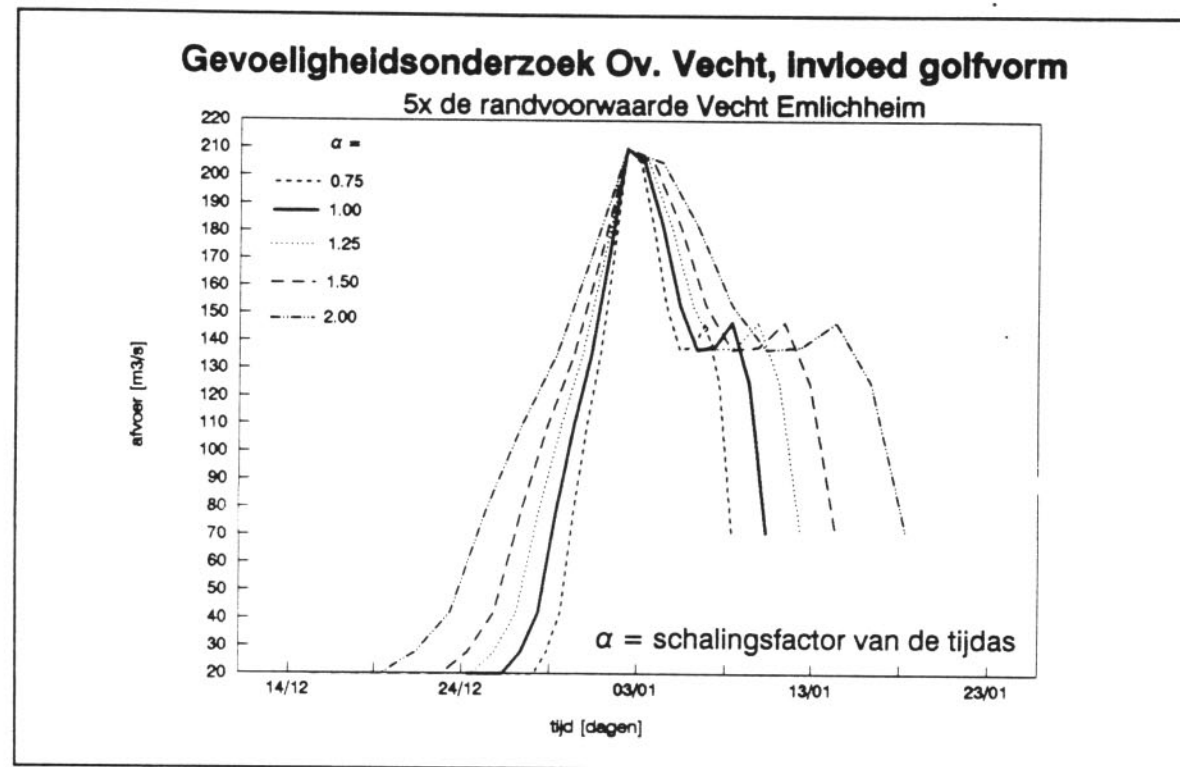


Afbeelding 1. Afvoerloop randvoorwaarden maart 1981



2.3 Vorm afvoergolf

De invloed van de vorm van de golf op de topontwikkeling in de Vecht is voor 2 randvoorwaarden, namelijk Vecht te Emlichheim en het Afwateringskanaal, onderzocht. De vorm van de golf is veranderd door de tijd α met een bepaalde factor α te vermenigvuldigen. Het nulpunt van de tijd α wordt tijdelijk op het tijdstip van de top gelegd. Het resultaat van de vervorming is in figuur 3 weergegeven. Tabel 2.11 en 2.12 geven de resultaten weer op de gebruikelijke manier.



Afbeelding 3. Vervorming afvoergolf december 1986/januari 1987

2.4 Combinatie vorm/tijdstip van de golf

Om een snelle indruk te krijgen van de topontwikkeling als gevolg van verandering van de vorm en het tijdstip van de golf van alle 5 randvoorwaarden, zijn de resultaten van de gevoeligheidsanalyse in figuur 4 weergegeven.

Hoogte afvoergolf Emlichheim

gevoeligheids- onderzoek ZWENDL	berekende topstanden met ZWENDL in m + NAP							
	ref.	varianten [cm verschil t.o.v. ref.-berekening]						
		1	2	3	4	5	6	7
Emlichheim	12.81	-18	-9	+8	+16	+1	+4	+
Laar	10.93	-12	-6	+5	+10	+1	+2	+
stuw De Haandrik bovenstrooms	10.23	-13	-6	+5	+11	+1	+3	+6
benedenstrooms	10.09	-12	-6	+5	+10	+1	+2	+5
stuw Hardenberg bovenstrooms	8.41	-7	-6	+3	+7	+1	+2	+4
benedenstrooms	8.18	-7	-6	+4	+7	+1	+2	+4
stuw Mariënborg bovenstrooms	7.31	-8	-4	+4	+8	+1	+2	+4
benedenstrooms	7.20	-8	-3	+4	+8	+1	+2	+5
stuw Junne bovenstrooms	6.38	-7	-4	+3	+6	+0	+1	+3
benedenstrooms	6.25	-7	-3	+3	+6	+1	+2	+3
stuw Vilsteren bovenstrooms	4.05	-5	-3	+3	+5	+1	+2	+3
benedenstrooms	3.99	-5	-3	+3	+5	+1	+2	+3
stuw Vechterweerd bovenstrooms	2.62	-7	-4	+4	+7	+1	+2	+4
benedenstrooms	2.57	-7	-3	+4	+7	+1	+2	+4

Tabel 2.2 Effect hoogte van de afvoergolf te Emlichheim (maart 1981)

varianten Vecht te Emlichheim

1 : $Q = 90\% Q_{ref}$ 2 : $Q = 95\% Q_{ref}$ 3 : $Q = 105\% Q_{ref}$

Hoogte afvoergolf Emlichheim

gevoeligheids- onderzoek ZWENDL	berekende topstanden met ZWENDL in m + NAP							
	ref.	varianten [cm verschil t.o.v ref.-berekening]						
		1	2	3	4	5	6	7
Emlichheim	13.01	-19	-9	9	17	1	4	8
Laar	11.05	-12	-6	5	11	1	2	5
stuw De Haandrik bovenstrooms	10.36	-13	-6	5	11	1	2	5
benedenstrooms	10.20	-11	-6	5	10	1	2	5
stuw Hardenberg bovenstrooms	8.49	-8	-4	4	8	1	2	4
benedenstrooms	8.26	-7	-3	4	7	1	2	4
stuw Mariënborg bovenstrooms	7.39	-8	-4	3	7	0	1	3
benedenstrooms	7.27	-7	-4	3	7	1	2	3
stuw Junne bovenstrooms	6.45	-7	-4	3	6	1	2	3
benedenstrooms	6.32	-7	-3	3	6	1	1	3
stuw Vilsteren bovenstrooms	4.14	-6	-3	3	6	1	2	3
benedenstrooms	4.09	-6	-3	3	6	1	2	3
stuw Vechterweerd bovenstrooms	2.74	-7	-4	4	7	1	2	4
benedenstrooms	2.69	-8	-4	3	7	1	2	3

Tabel 2.3 Effect hoogte van de afvoergolf te Emlichheim (december 1986/ januari 1987)

varianten Vecht te Emlichheim

1 : $Q = 90\% Q_{ref}$

Hoogte afvoergolf Afwateringskanaal

gevoeligheids- onderzoek ZWENDL	berekende topstanden met ZWENDL in m + NAP						
	ref.	varianten [cm verschil t.o.v. ref.-berekening]					
		1	2	3	4	5	6
Emlichheim	12.81	0	0	0	0	0	0
Laar	10.93	-1	0	0	0	+1	+2
stuw De Haandrik bovenstrooms	10.23	-5	-2	-1	+1	+3	+6
benedenstrooms	10.09	-7	-3	-2	+2	+4	+9
stuw Hardenberg bovenstrooms	8.41	-34	-15	-8	+8	+15	+30
benedenstrooms	8.18	-29	-14	-7	+8	+15	+30
stuw Mariënberg bovenstrooms	7.31	-33	-17	-8	+9	+18	+35
benedenstrooms	7.20	-33	-17	-8	+9	+18	+35
stuw Junne bovenstrooms	6.38	-30	-14	-7	+6	+12	+24
benedenstrooms	6.25	-28	-13	-6	+6	+12	+22
stuw Vilsteren bovenstrooms	4.05	-22	-12	-6	+5	+11	+23
benedenstrooms	3.99	-22	-11	-5	+7	+13	+25
stuw Vechterweerd bovenstrooms	2.62	-32	-15	-7	+8	+15	+30
benedenstrooms	2.57	-31	-15	-7	+8	+15	+29

Tabel 2.4 Effect hoogte van de afvoergolf Afwateringskanaal (maart 1981)

varianten Afwateringskanaal

1 : $Q = 0\% Q_{ref}$ 2 : $Q = 50\% Q_{ref}$ 3 : $Q = 75\% Q_{ref}$ Q_{ref} = gemeten afvoer van het Afwateringskanaal

Hoogte afvoergolf Afwateringskanaal

gevoeligheids- onderzoek ZWENDL	berekende topstanden met ZWENDL in m + NAP						
	ref.	varianten [cm verschil t.o.v ref.-berekening]					
		1	2	3	4	5	6
Emlichheim	13.01	0	0	0	0	0	0
Laar	11.05	-2	-1	-1	0	1	2
stuw De Haandrik bovenstrooms	10.36	-9	-5	-3	2	5	9
benedenstrooms	10.20	-11	-6	-3	3	6	12
stuw Hardenberg bovenstrooms	8.49	-26	-13	-6	6	12	22
benedenstrooms	8.26	-23	-11	-5	5	10	20
stuw Mariënborg bovenstrooms	7.39	-23	-11	-6	5	10	20
benedenstrooms	7.27	-22	-11	-5	5	10	20
stuw Junne bovenstrooms	6.45	-23	-10	-5	5	9	18
benedenstrooms	6.32	-22	-10	-5	4	8	16
stuw Vilsteren bovenstrooms	4.14	-20	-10	-5	5	9	18
benedenstrooms	4.09	-20	-10	-5	5	9	18
stuw Vechterweerd bovenstrooms	2.74	-27	-12	-5	6	11	21
benedenstrooms	2.69	-26	-12	-6	5	10	20

Tabel 2.5 Effect hoogte van de afvoergolf Afwateringskanaal (december 1986/ januari 1987)

varianten Afwateringskanaal

1 : $Q = 0\% Q_{ref}$

Hoogte afvoergolf Regge

gevoeligheids- onderzoek ZWENDL	berekende topstanden met ZWENDL in m + NAP						
	ref.	varianten [cm verschil t.o.v ref.-berekening]					
		1	2	3	4	5	6
stuw Junne							
bovenstrooms	6.38	0	-1	-1	0	0	0
benedenstrooms	6.25	0	0	0	0	0	0
stuw Vilsteren							
bovenstrooms	4.05	-14	-9	-4	+3	+7	+14
benedenstrooms	3.99	-13	-8	-4	+5	+8	+16
stuw Vechterweerd							
bovenstrooms	2.62	-21	-11	-5	+5	+10	+19
benedenstrooms	2.57	-20	-11	-5	+5	+10	+19

Tabel 2.6 Effect hoogte van de afvoergolf Regge (maart 1981)

varianten Regge

1 : $Q = 0\% Q_{ref}$ 2 : $Q = 50\% Q_{ref}$ 3 : $Q = 75\% Q_{ref}$ 4 : $Q = 125\% Q_{ref}$ 5 : $Q = 150\% Q_{ref}$ 6 : $Q = 200\% Q_{ref}$

ref. : referentieberekening = testresultaten hoogwater maart 1981

 Q_{ref} = gemeten afvoer van de Regge

Bovenstrooms de monding van de Regge worden de waterstanden minimaal beïnvloed

Hoogte afvoergolf Regge

gevoeligheids- onderzoek ZWENDL	berekende topstanden met ZWENDL in m + NAP						
	ref.	varianten [cm verschil t.o.v ref.-berekening]					
		1	2	3	4	5	6
stuw Junne							
bovenstrooms	6.45	0	0	0	0	0	0
benedenstrooms	6.32	-1	0	0	0	0	0
stuw Vilsteren							
bovenstrooms	4.14	-17	-9	-4	5	9	18
benedenstrooms	4.09	-18	-9	-4	5	9	18
stuw Vechterweerd							
bovenstrooms	2.74	-23	-11	-5	5	11	21
benedenstrooms	2.69	-22	-11	-5	5	10	20

Tabel 2.7 Effect hoogte van de afvoergolf Regge (december 1986/ januari 1987)
varianten Regge

1	: $Q = 0\% Q_{ref}$	$Q_{ref} =$ gemeten afvoer van de Regge
2	: $Q = 50\% Q_{ref}$	
3	: $Q = 75\% Q_{ref}$	
4	: $Q = 125\% Q_{ref}$	
5	: $Q = 150\% Q_{ref}$	
6	: $Q = 200\% Q_{ref}$	
ref.	: referentieberekening = testresultaten hoogwater '86/'87	

Bovenstrooms de monding van de Regge worden de waterstanden minimaal beïnvloed

Hoogte afvoergolf Radewijkerbeek en Ommerkanaal

gevoeligheids- onderzoek ZWENDL	berekende topstanden met ZWENDL in m + NAP				
	ref.	varianten [cm verschil t.o.v ref.- berekening]			
		1	2	3	4
Emlichheim	12.81	0	0	0	0
Laar	10.93	0	0	0	0
stuw De Haandrik bovenstrooms	10.23	-1	0	0	0
benedenstrooms	10.09	-2	-1	0	0
stuw Hardenberg bovenstrooms	8.41	-6	-3	0	0
benedenstrooms	8.18	-5	-2	0	0
stuw Mariënberg bovenstrooms	7.31	-6	-3	0	0
benedenstrooms	7.20	-6	-3	0	0
stuw Junne bovenstrooms	6.38	-6	-3	0	0
benedenstrooms	6.25	-5	-2	0	0
stuw Vilsteren bovenstrooms	4.05	-5	-3	-3	-2
benedenstrooms	3.99	-4	-2	-2	-2
stuw Vechterweerd bovenstrooms	2.62	-6	-3	-3	-1
benedenstrooms	2.57	-6	-3	-3	-1

Tabel 2.8 Effect hoogte van de afvoergolf Radewijkerbeek en Ommerkanaal
(maart 1981)

Hoogte afvoergolf Radewijkerbeek en Ommerkanaal

gevoeligheids- onderzoek ZWENDL	berekende topstanden met ZWENDL in m + NAP				
	ref.	varianten [cm verschil t.o.v ref.- berekening]			
		1	2	3	4
Emlichheim	13.01	0	0	0	0
Laar	11.05	0	0	0	0
stuw De Haandrik bovenstrooms	10.36	-1	0	0	0
benedenstrooms	10.20	0	0	0	0
stuw Hardenberg bovenstrooms	8.49	-4	-2	0	0
benedenstrooms	8.26	-7	-3	0	0
stuw Mariënborg bovenstrooms	7.39	-8	-4	0	0
benedenstrooms	7.27	-8	-4	0	0
stuw Junne bovenstrooms	6.45	-8	-4	0	0
benedenstrooms	6.32	-7	-4	0	0
stuw Vilsteren bovenstrooms	4.14	-7	-3	-5	-3
benedenstrooms	4.09	-7	-3	-5	-3
stuw Vechterweerd bovenstrooms	2.74	-8	-4	-3	-3
benedenstrooms	2.69	-8	-4	-3	-3

Tabel 2.9 Effect hoogte van de afvoergolf Radewijkerbeek en Ommerkanaal
(december 1986/ januari 1987)

varianten Radewijkerbeek

1

: Q = 0% Q_{max}

Q_{max} = gemeten afvoer van de Radewijkerbeek

Faseverschil

gevoeligheids- onderzoek ZWENDL	berekende topstanden met ZWENDL in m + NAP					
	ref. mrt '81	varianten [cm verschil]		ref. '86/'87	varianten [cm verschil]	
		1	2		3	4
Emlichheim	12.81	0	0	13.01	0	0
Laar	10.93	+1	+1	11.05	0	0
stuw De Haandrik bovenstrooms	10.23	+4	+5	10.36	0	0
benedenstrooms	10.09	+5	+7	10.20	0	0
stuw Hardenberg bovenstrooms	8.41	+7	+10	8.49	+2	0
benedenstrooms	8.18	+7	+10	8.26	+2	-1
stuw Mariënberg bovenstrooms	7.31	+8	+10	7.39	+2	-1
benedenstrooms	7.20	+7	+9	7.27	+2	-1
stuw Junne bovenstrooms	6.38	+7	+9	6.45	+2	-1
benedenstrooms	6.25	+6	+8	6.32	+2	-1
stuw Vilsteren bovenstrooms	4.05	+8	+12	4.14	+5	+3
benedenstrooms	3.99	+8	+12	4.09	+5	+3
stuw Vechterweerd bovenstrooms	2.62	+9	+14	2.74	+7	+5
benedenstrooms	2.57	+9	+14	2.69	+6	+4

Tabel 2.10 Effect van het tijdstip van de afvoergolf Emlichheim
(zie figuren 2 en 3 met grafische weergaven van het afvoerverloop van de zijleidingen)

Vorm

gevoeligheids- onderzoek ZWENDL	berekende topstanden met ZWENDL in m + NAP							
	ref.	varianten [cm verschil t.o.v ref.-berekening]						
		1	2	3	4	5	6	7
Emlichheim	12.81	0	0	0	0	0	0	0
Laar	10.93	0	0	0	0	0	0	0
stuw De Haandrik bovenstrooms	10.23	-1	0	0	0			
benedenstrooms	10.09	-1	0	0	0			
stuw Hardenberg bovenstrooms	8.41	-3	+2	+4	+6			
benedenstrooms	8.18	-2	+3	+4	+6			
stuw Mariënborg bovenstrooms	7.31	-2	+3	+4	+6			
benedenstrooms	7.20	-2	+2	+3	+5			
stuw Junne bovenstrooms	6.40	-2	+2	+4	+6			
benedenstrooms	6.25	-2	+2	+4	+5			
stuw Vilsteren bovenstrooms	4.05	-3	+2	+4	+7			
benedenstrooms	3.99	-3	+2	+4	+7			
stuw Vechterweerd bovenstrooms	2.62	-2	+4	+6	+10			
benedenstrooms	2.57	-2	+4	+6	+10			

Tabel 2.11 Effect vorm van de afvoergolf te Emlichheim (maart 1981)

α = factor waarmee tijdas van één randvoorwaarde is vermenigvuldigd. Het nulpunt van de tijdas ligt op het tijdstip van de top zodat de top tijdens alle varianten op het gelijke tijdstip valt. Zie ook figuur 1.

Vorm

gevoeligheids- onderzoek ZWENDL	berekende topstanden met ZWENDL in m + NAP							
	ref.	varianten [cm verschil t.o.v. ref.-berekening]						
		1	2	3	4	5	6	7
Emlichheim	13.01	0	0	0	0	0	0	0
Laar	11.05	0	0	0	0	0	0	0
stuw De Haandrik bovenstrooms benedenstrooms	10.36	0	0	+1	+1	0	+1	+1
	10.20	0	0	0	0	-1	0	+1
stuw Hardenberg bovenstrooms benedenstrooms	8.49	0	1	+1	+1	0	+1	+2
	8.26	0	0	+1	+1	-1	+1	+1
stuw Mariënborg bovenstrooms benedenstrooms	7.39	0	0	+1	+1	-1	+1	+1
	7.27	0	0	+1	+2	-1	+1	+1
stuw Junne bovenstrooms benedenstrooms	6.45	-1	+1	+1	+1	-1	+1	+1
	6.32	-1	0	0	+1	-1	0	+1
stuw Vilsteren bovenstrooms benedenstrooms	4.14	-2	+1	+2	+3	0	+1	+1
	4.09	-2	+1	+2	+3	-1	0	+1
stuw Vechterweerd bovenstrooms benedenstrooms	2.74	-2	+1	+2	+4	-1	0	+1
	2.69	-2	+1	+2	+3	-1	0	+1

Tabel 2.12 Effect vorm van de afvoergolf te Emlichheim (dec 1986/jan 1987)

α = factor waarmee tijdas van één randvoorwaarde is vermenigvuldigd. Het nulpunt van de tijdas ligt op het tijdstip van de top zodat de top tijdens alle varianten op het gelijke tijdstip valt. Zie ook figuur 2.

Faseverschil/Vorm

gevoeligheids- onderzoek ZWENDL	berekende topstanden met ZWENDL in m + NAP					
	ref.	varianten [cm verschil t.o.v ref.-berekening]				
		1	2	3	4	5
Emlichheim	12.81	0	0	0	0	0
Laar	10.93	0	0	0	0	0
stuw De Haandrik bovenstrooms	10.23	0	+2	0	0	0
benedenstrooms	10.09	0	+4	0	0	0
stuw Hardenberg bovenstrooms	8.41	0	+11	+1	0	0
benedenstrooms	8.18	0	+11	+2	0	0
stuw Mariënborg bovenstrooms	7.31	0	+13	+2	0	0
benedenstrooms	7.20	0	+13	+2	0	0
stuw Junne bovenstrooms	6.38	0	+10	+1	0	0
benedenstrooms	6.25	0	+9	+1	0	0
stuw Vilsteren bovenstrooms	4.05	0	+9	+1	+4	+6
benedenstrooms	3.99	0	+9	+1	+4	+6
stuw Vechterweerd bovenstrooms	2.62	0	+11	+1	+5	+8
benedenstrooms	2.57	0	+12	+2	+6	+8

Tabel 2.13 Effect tijdstip/vorm van de afvoergolf (maart 1981)

De varianten gaan alle uit van de randvoorwaarden van het testhoogwater maart 1981 tot aan de maximum afvoer. Telkens wordt van één zijleiding de maximum afvoer vastgehouden. De andere toevoeren dalen overeenkomstig maart 1981.

Gevoeligheidsanalyse Overijsselse Vecht m.b.v. ZWENDL

3. Invloed benedenstroomse randvoorwaarde

Voor het onderzoek naar de invloed van de benedenstroomse randvoorwaarde is de schematisatie gebruikt voor de Vecht én het Zwartewater (WL-versie met aanpassing zoals genoemd in paragraaf 1.2 van deel 1). De benedenstroomse randvoorwaarde van de hier gebruikte ZWENDL-schematisatie ligt bij de monding van het Zwartewater in het Zwartemeer. Er is geprobeerd de invloed van de benederand te kwantificeren door een aantal runs te draaien met verschillende constante benedenwaterstanden. De resultaten van deze runs staan vermeldt in tabel 2.14.

gevoeligheids- onderzoek ZWENDL	berekende topstanden met ZWENDL in m + NAP							
	ref.	varianten [cm verschil t.o.v ref.-berekening]						
		1	2	3	4	5	6	7
stuw Junne								
bovenstrooms	6.38	0	0	0	0	0	0	0
benedenstrooms	6.25	0	0	0	0	0	0	+1
stuw Vilsteren								
bovenstrooms	4.05	0	0	0	0	+1	+2	+12
benedenstrooms	3.99	0	+1	+1	+1	+1	+3	+14
stuw Vechterweerd								
bovenstrooms	2.62	0	+1	+2	+4	+10	+22	+76
benedenstrooms	2.57	0	+1	+2	+4	+10	+23	+78
monding Vecht	0.89	-12	+12	+26	+43	+80	+123	+219
Hasselt	0.67	-18	+15	+33	+53	+95	+140	+239
Zwartsluis	0.50	-25	+18	+40	+62	+108	+155	+255
Genemuiden	0.30	-30	+20	+45	+70	+150	+170	+273

Tabel 2.14 Invloed benedenstroomse randvoorwaarde
varianten benedenstrooms randvoorwaarde

1 : $H_{ben} = 0.00 \text{ cm + NAP}$

2 : $H_{ben} = 0.50 \text{ cm + NAP}$

3 : $H_{ben} = 0.75 \text{ cm + NAP}$

4 : $H_{ben} = 1.00 \text{ cm + NAP}$

4. Looptijden

Hoe snel een golf zich verplaatst is te onderzoeken aan de hand van het tijdstip van topstanden. De looptijd van A tot B is de tijd die verloopt tussen de maximum waterstand te A en de maximum waterstand te B. Dit kunnen de werkelijke looptijden zijn of looptijden die bepaald zijn met het ZWENDL-model. Beide soorten zijn hier bepaald.

De historische gegevens die zijn gemeten tijdens de hoogwaters 1981 en 1986/1987 geven echter een beperkt beeld van de werkelijke situatie. Er is slechts op een aantal plaatsen af en toe gemeten. De looptijden zijn zo nauwkeurig mogelijk uit deze gegevens bepaald. Doordat het waterstandsverloop rond de top zeer vlak is, is de looptijd niet zeer nauwkeurig te bepalen.

In tabel 2.15 zijn de zowel de gemeten als berekende looptijden voor beide hoogwaters weergegeven. Om de looptijd Emlichheim-monding te bepalen zonder invloed van de zijleidingen is een run gemaakt waarbij de zijleidingen geen debiet leveren. Het resultaat is als variant 2 in de tabel weergegeven.

gevoeligheids- onderzoek ZWENDL	Looptijden [uren] (looptijd Emlichheim = 0 uur)							
	maart 1981				december '86/januari '87			
	gemeten	1	2	3	gemeten	1	2	3
Laar	8	1	2	1	8	6	6	6
stuw De Haandrik	8	-2	2	1	10	6	6	6
stuw Hardenberg	8	-10	7	3	10	6	12	12
stuw Mariënborg	-24	-4	16	6		6	18	12
stuw Junne	10	-1	24	10	20	12	30	18
stuw Vilsteren	24	9	47	20	18	12	42	24
stuw Vechterweerd	32	14	54	24	24	18	54	36
monding Vecht		28	54	31				
Hasselt		27	54	33				
Zwartsluis		27	54	33				

5. Topvervlakking

Als laatste onderdeel van deze analyse wordt bekeken hoe groot de topvervlakking van de afvoergolf Emlichheim is. De debieten van de nederlandse zijleidingen zijn daartoe gelijk aan nul gesteld. Het resultaat is in figuur 4 weergegeven. Duidelijk is te zien dat de afvoertop afneemt in hoogte.

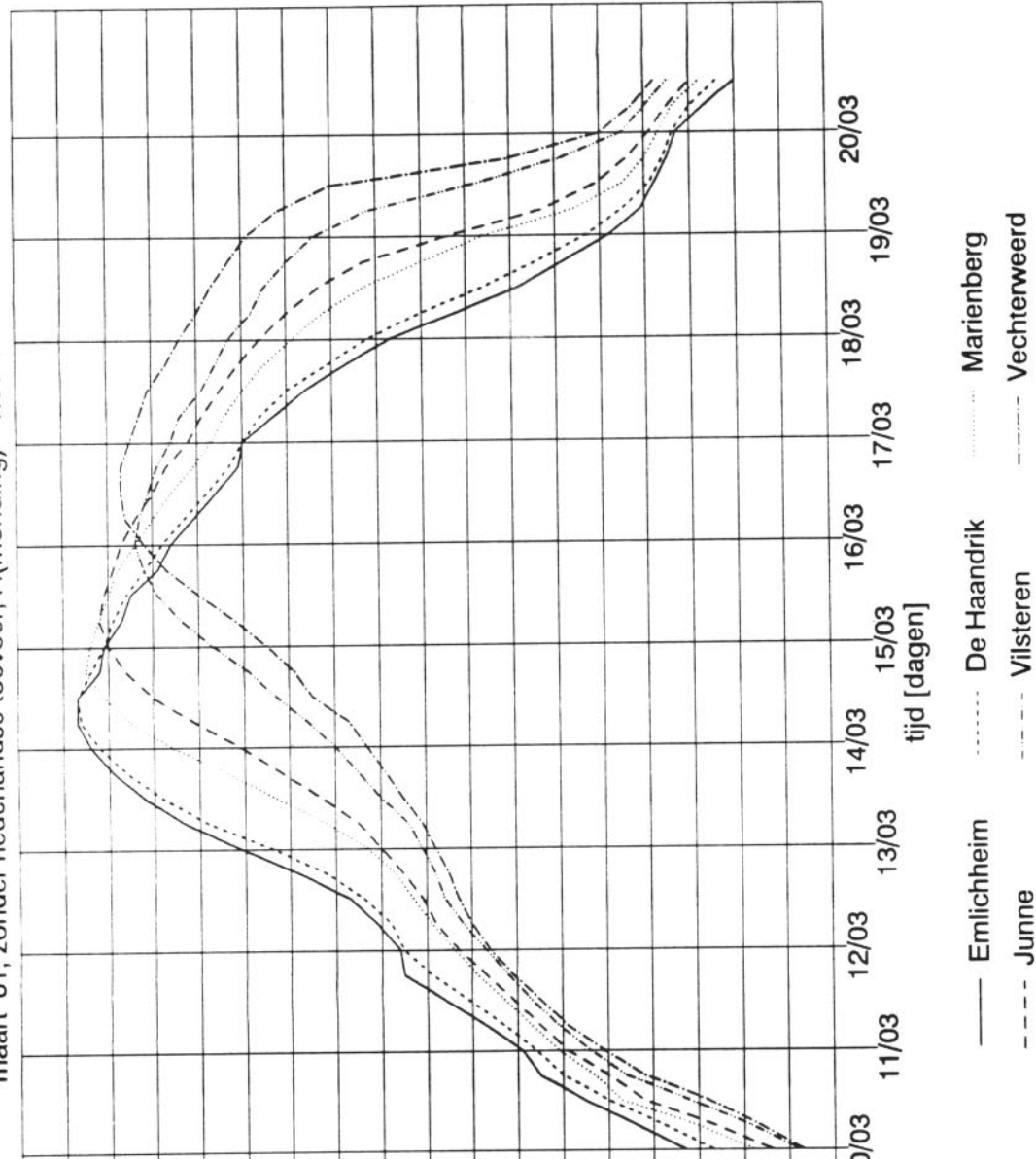
gevoeligheids- onderzoek ZWENDL	hoogte topafvoeren op de Vecht			
	maart 1981		december '86/januari '87	
	1	2	1	2
Emlichheim	187	375	210	420
stuw De Haandrik	187	375	209	418
stuw Hardenberg	186	373	209	417
stuw Mariënberg	185	373	207	416
stuw Junne	182	372	206	416
stuw Vilsteren	174	381	199	424
stuw Vechterweerd	177	368	202	413
Monding in Zwartew.	177	368	202	413

Tabel 2.16. Looptijden op de Vecht

varianten looptijden

- 1 : zonder afvoer zijleidingen, alleen randvoorwaarde Emlichheim
 2 : als variant 2 met 2x zo grote $Q_{\text{Emlichheim}}$

maart '81, zonder nederlandse toevoer, $H(\text{monding}) = 1.00 + \text{NAP}$



6. Conclusies

Naar aanleiding van het voorgaande zijn een aantal conclusies getrokken. Bij de behandeling van de conclusies is de indeling aangehouden die gebruikt werd om de hoofdstukken in te delen.

Invloed bovenstroomse randvoorwaarden

hoogte afvoertop

- De afvoergolf te Emlichheim bepaalt in sterke mate de hoogte van de top in Nederland. 10 m³/s extra afvoer te Emlichheim heeft bij hoge afvoeren een peilverhoging op de Vecht tot gevolg van 3 tot 6 cm. Dat de hoogte en het tijdstip van de top uitsluitend door de Duitse golf wordt bepaald is zeker niet waar. De toevoer van de Nederlandse zijleidingen is zeker zo belangrijk. Tijdens het hoogwater van maart 1981 viel de top te Hardenberg eerder dan de top te De Haandrik als gevolg van de hoge afvoer van het Afwateringskanaal.
- Debieten van de kleine zijleidingen (Radewijkerbeek en Ommerkanaal) zijn niet te verwaarlozen bij de topontwikkeling.
- Het debiet van een leiding heeft nauwelijks invloed op het bovenstrooms van zijn uitmonding gelegen deel van de Vecht.

Tijdstip afvoertop

- Faseverschillen tussen de toppen van de zijleidingen zijn door gebrek aan geschikte gegevens niet nauwkeurig te bepalen. Er is slechts een grove schatting op dagbasis mogelijk. Het gevolg is dat faseverschillen tussen de zijleidingen op het Nederlandse deel nauwelijks te herkennen zijn.
- Het faseverschil Emlichheim en de andere zijleidingen is ca. 2 dagen. Het verschil wordt veroorzaakt door de langzame Duitse golf en niet doordat de neerslag in Duitsland later valt.
- Het verschuiven van de top Emlichheim met 2 dagen heeft vooral invloed op de topontwikkeling van het hoogwater van 1981. Doordat tijdens hoogwater '86/'87 twee neerslagperiodes kort achter elkaar vielen ontstonden 2 afvoertoppen. Het gevolg was dat top 1 uit Duitsland versterkt werd door toppen 2 van de Nederlandse zijleidingen. Het verschuiven van de top Emlichheim tijdens dit hoogwater had hierdoor minder invloed op de topontwikkeling op de Vecht.
- Bij het verwaarlozen van het faseverschil tussen de top van Emlichheim en de toppen van de Nederlandse zijleidingen ontstaat een fout van ca. 2 dagen in de berekening van de topontwikkeling op de Vecht.

Invloed benedenstroomse randvoorwaarde

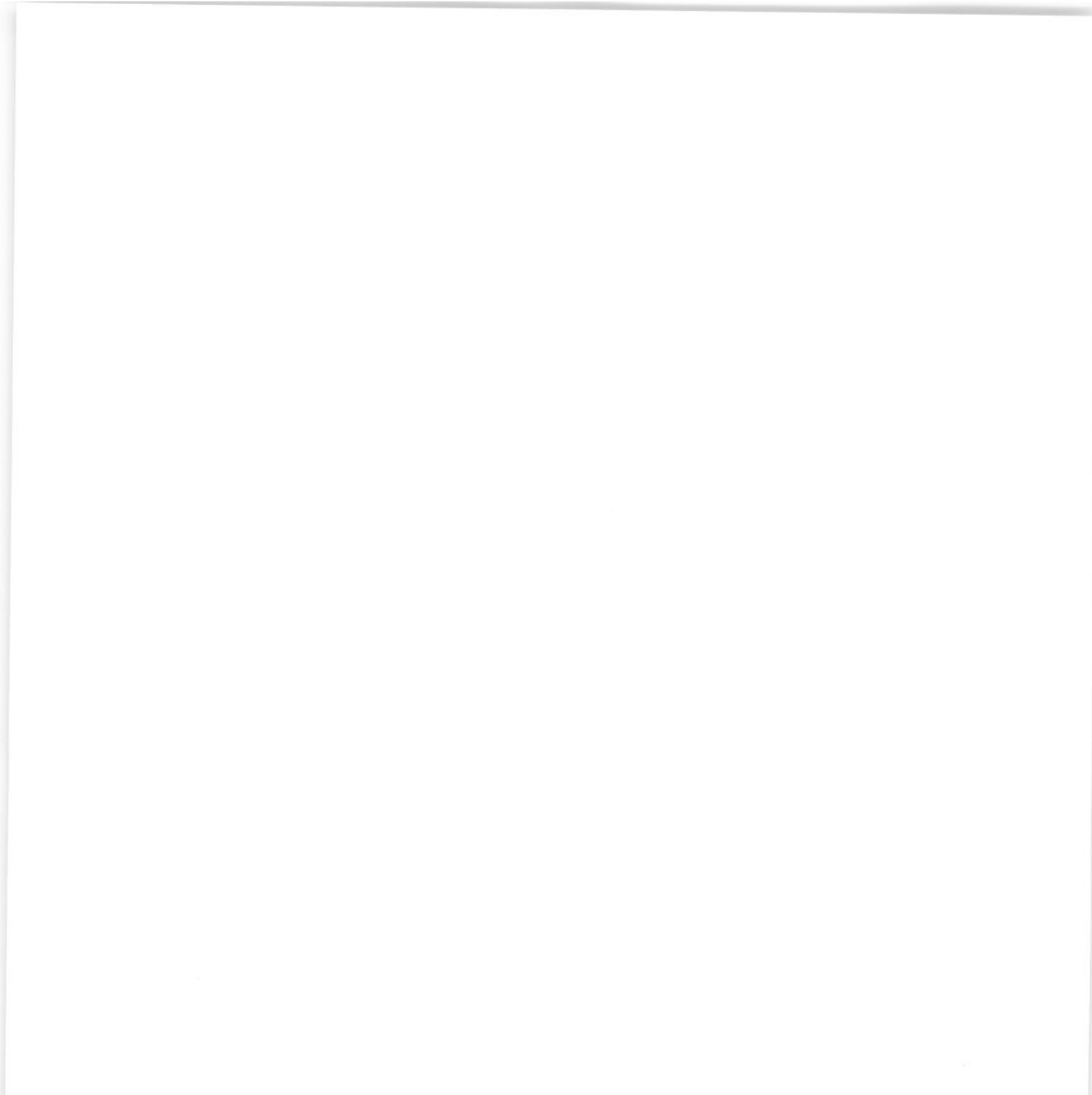
- De invloed van de benedenstroomse randvoorwaarde bij Genemuiden reikt tot aan Vilsteren. In zeer extreme gevallen waarbij de stand te Genemuiden boven 3.00 meter +NAP komt, zal de opstuwing tot bovenstrooms Vilsteren merkbaar zijn.

Looptijden

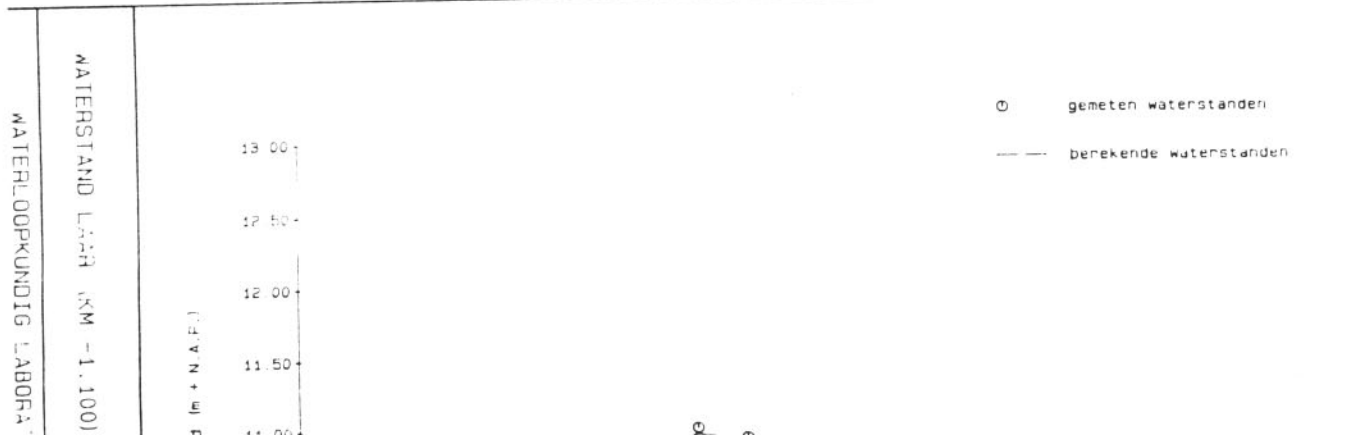
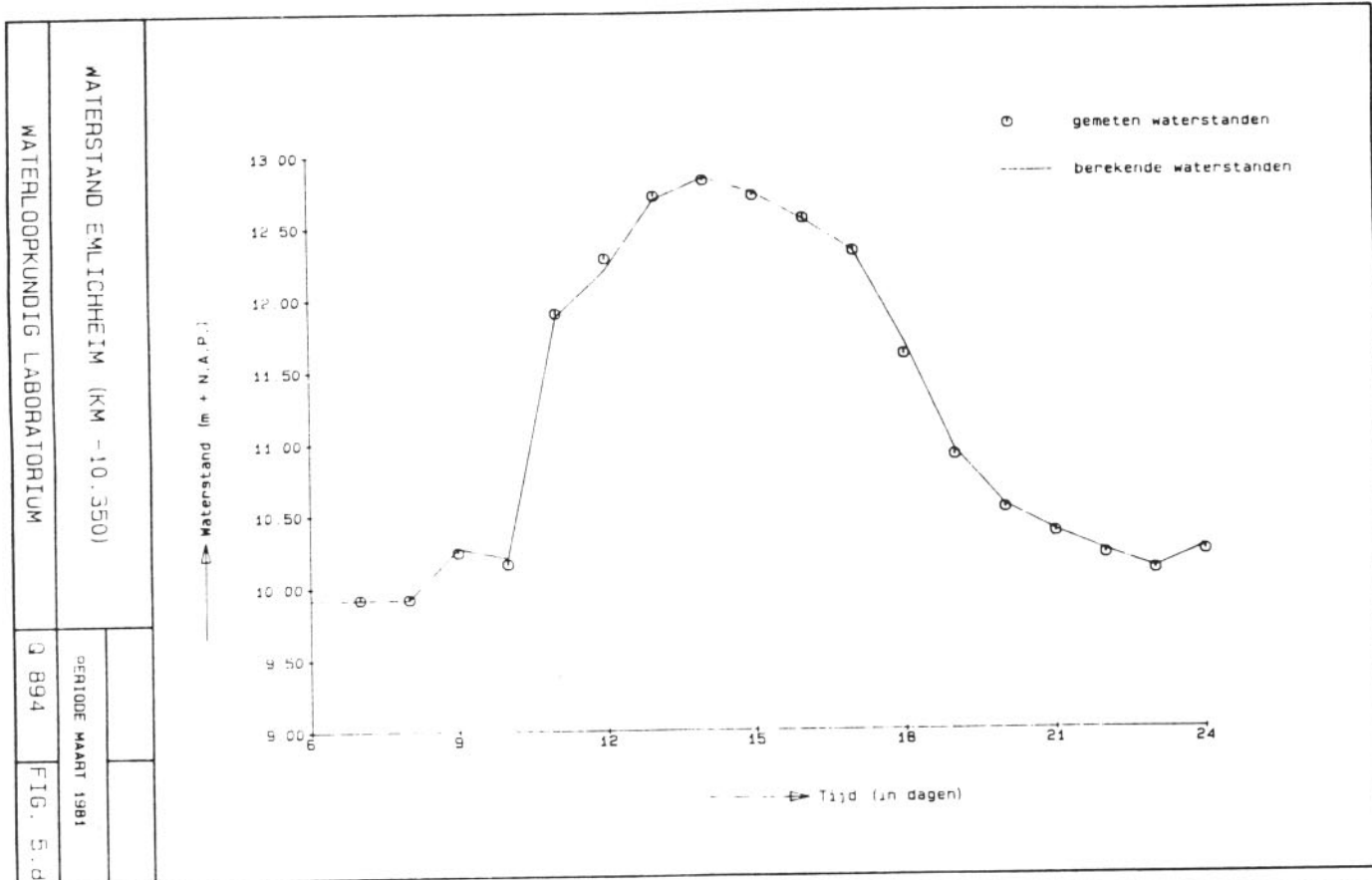
- Het waterstandsverloop rond de top is in alle punten zeer vlak. Dit maakt het moeilijk om een nauwkeurige looptijd bepaling te doen.
- De looptijden van de golf neemt drastisch toe indien de afvoer van de zijleidingen gelijk aan 0 gesteld wordt. De toevoer van de nederlandse zijleidingen zorgt dus voor een aanzienlijke verkorting (factor 2 en meer) van de looptijd.
- De looptijd is sterk afhankelijk van de hoogte van de afvoergolf. Hoe hoger de afvoer des kleiner de looptijd.

Topvervlakking

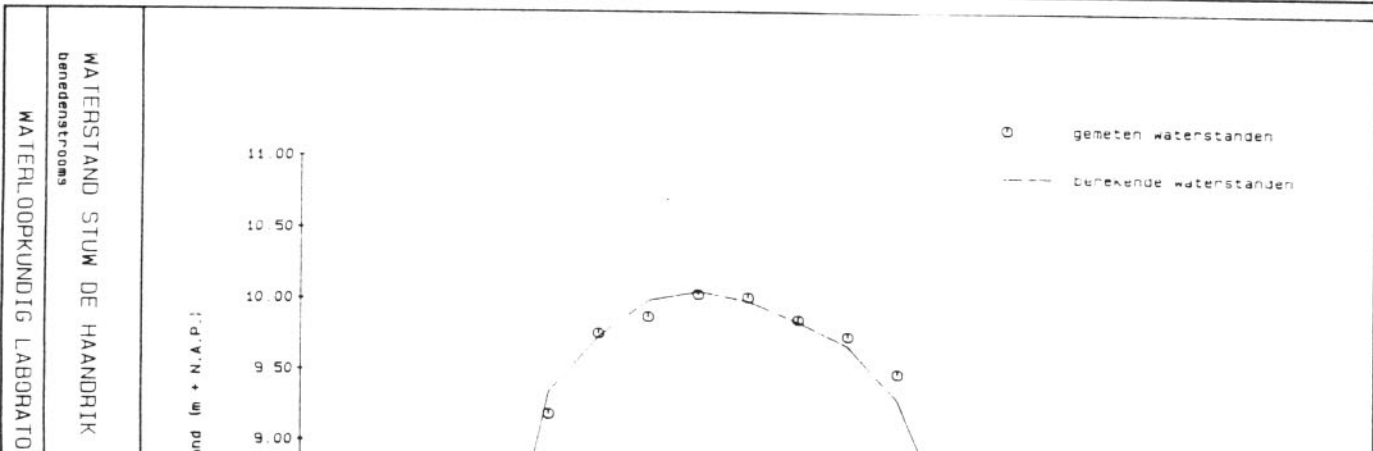
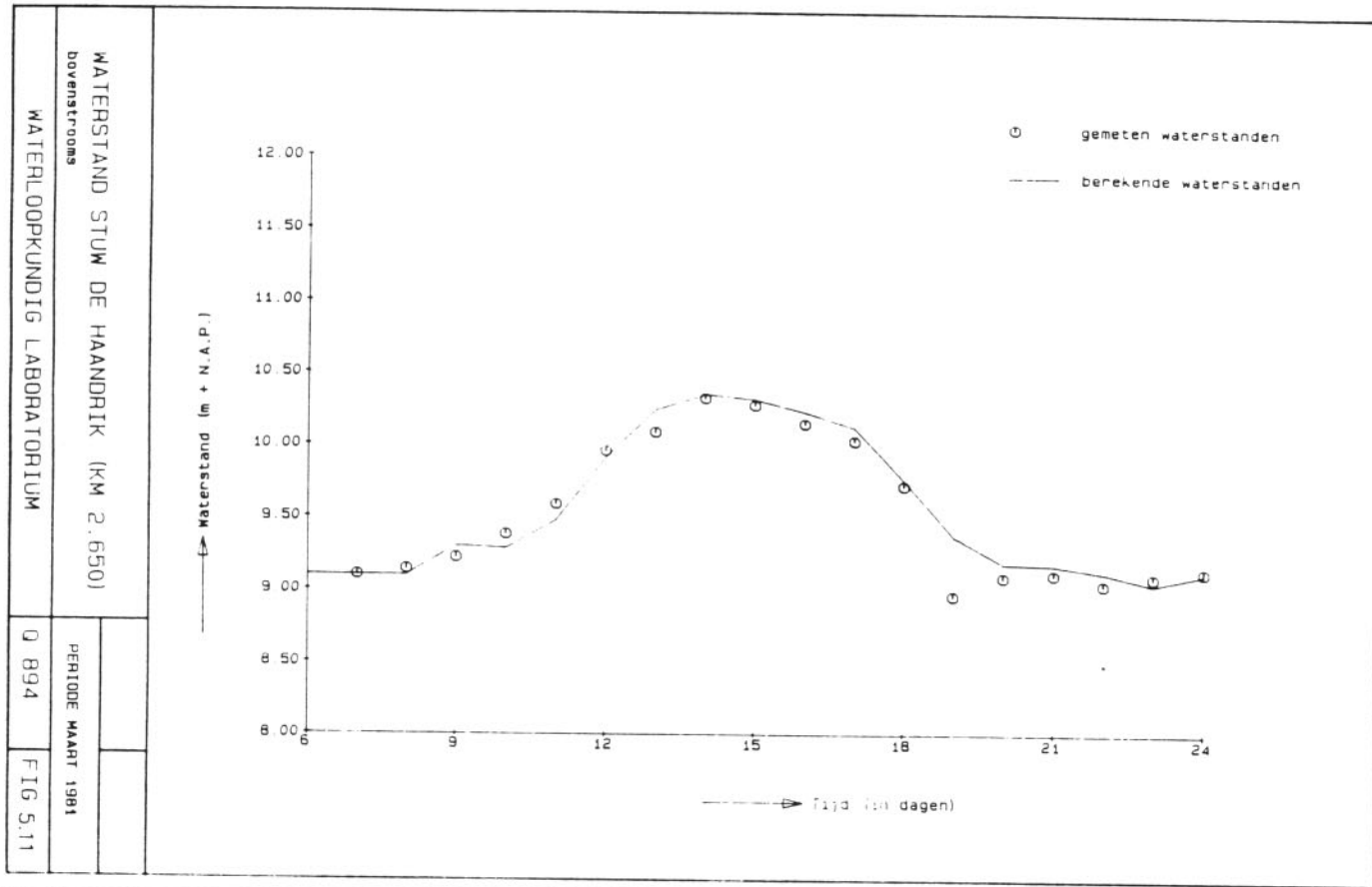
- De topvervlakking op het traject Emlichheim-monding Vecht is gering. Een afvoertop van 210 m³/s te Emlichheim vervlakt tot 202 m³/s aan de monding. Een tweemaal zo grote afvoergolf vlakt niet sterker uit.



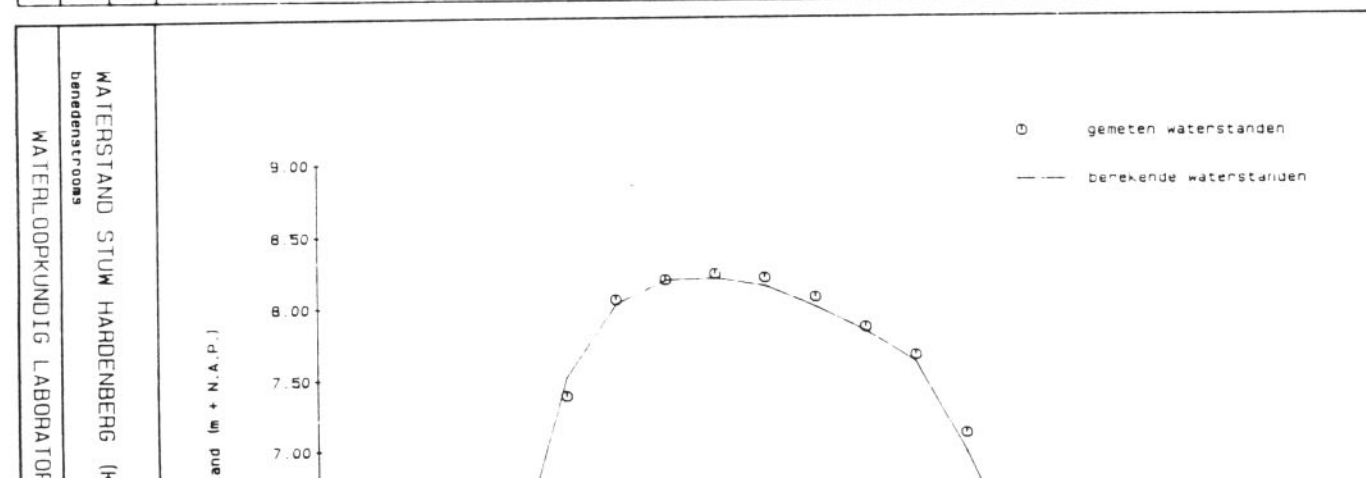
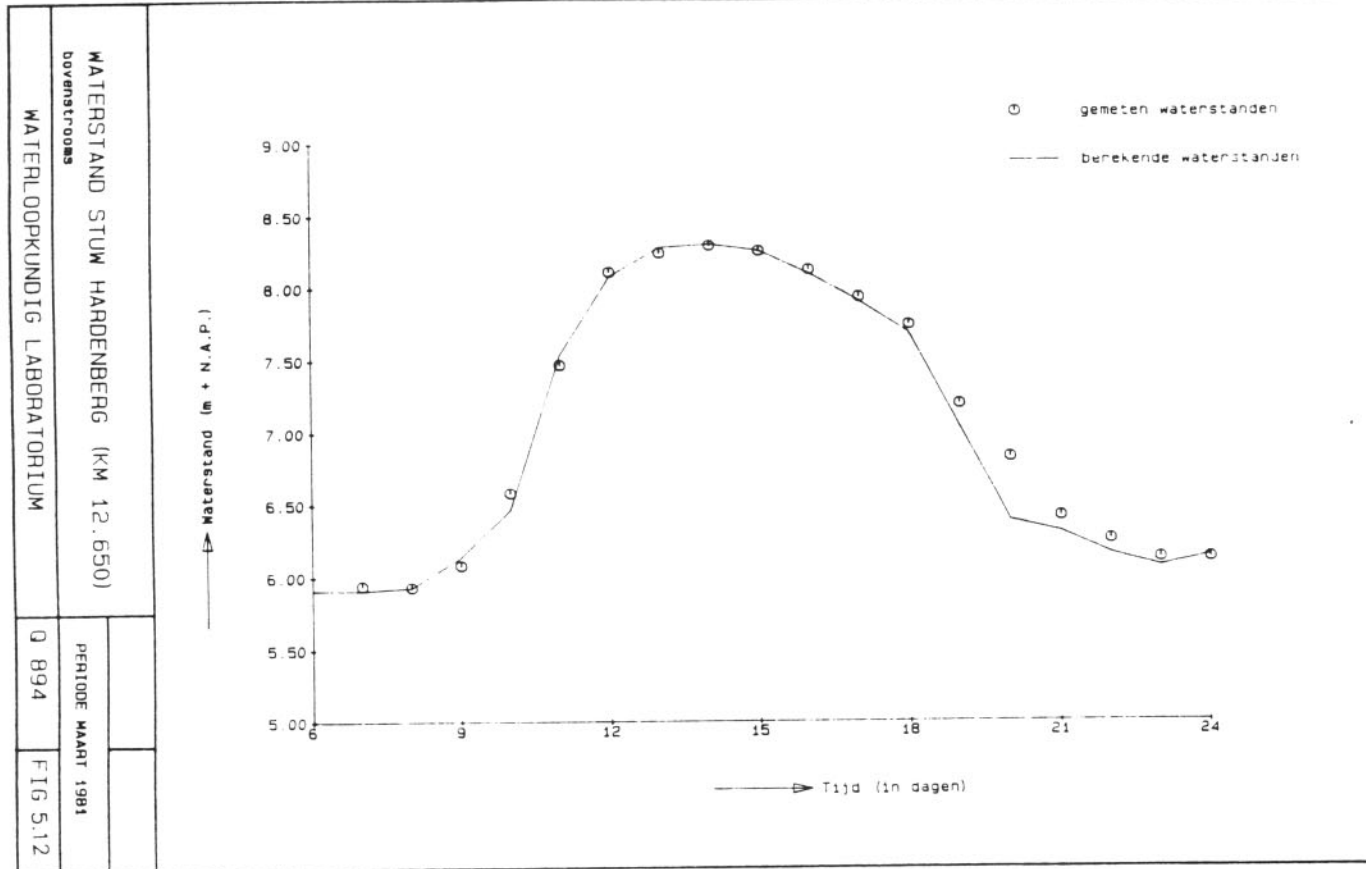
Bijlage 1A



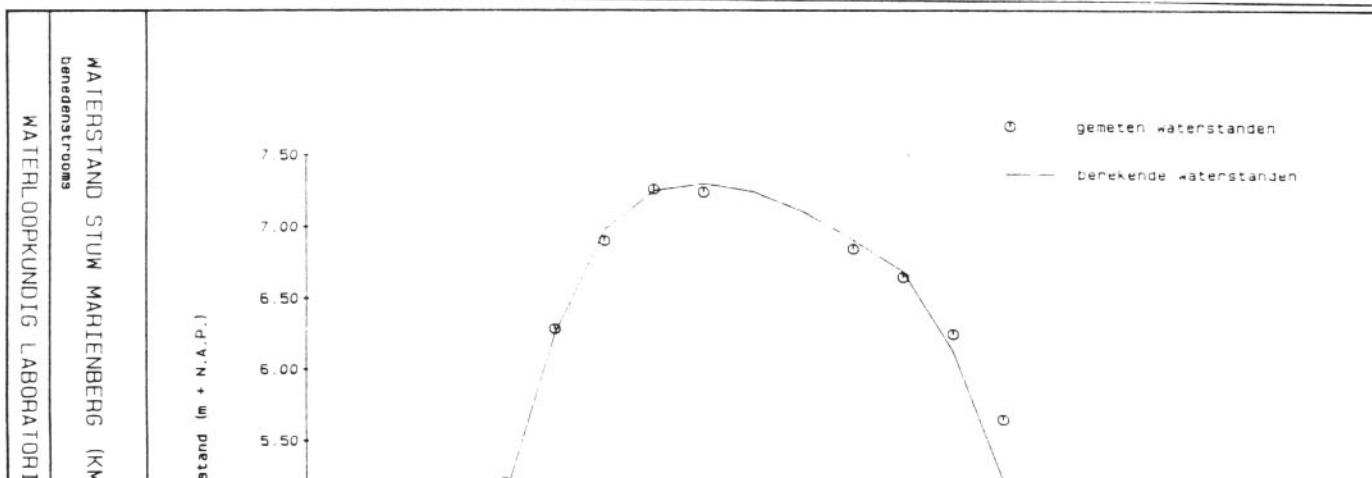
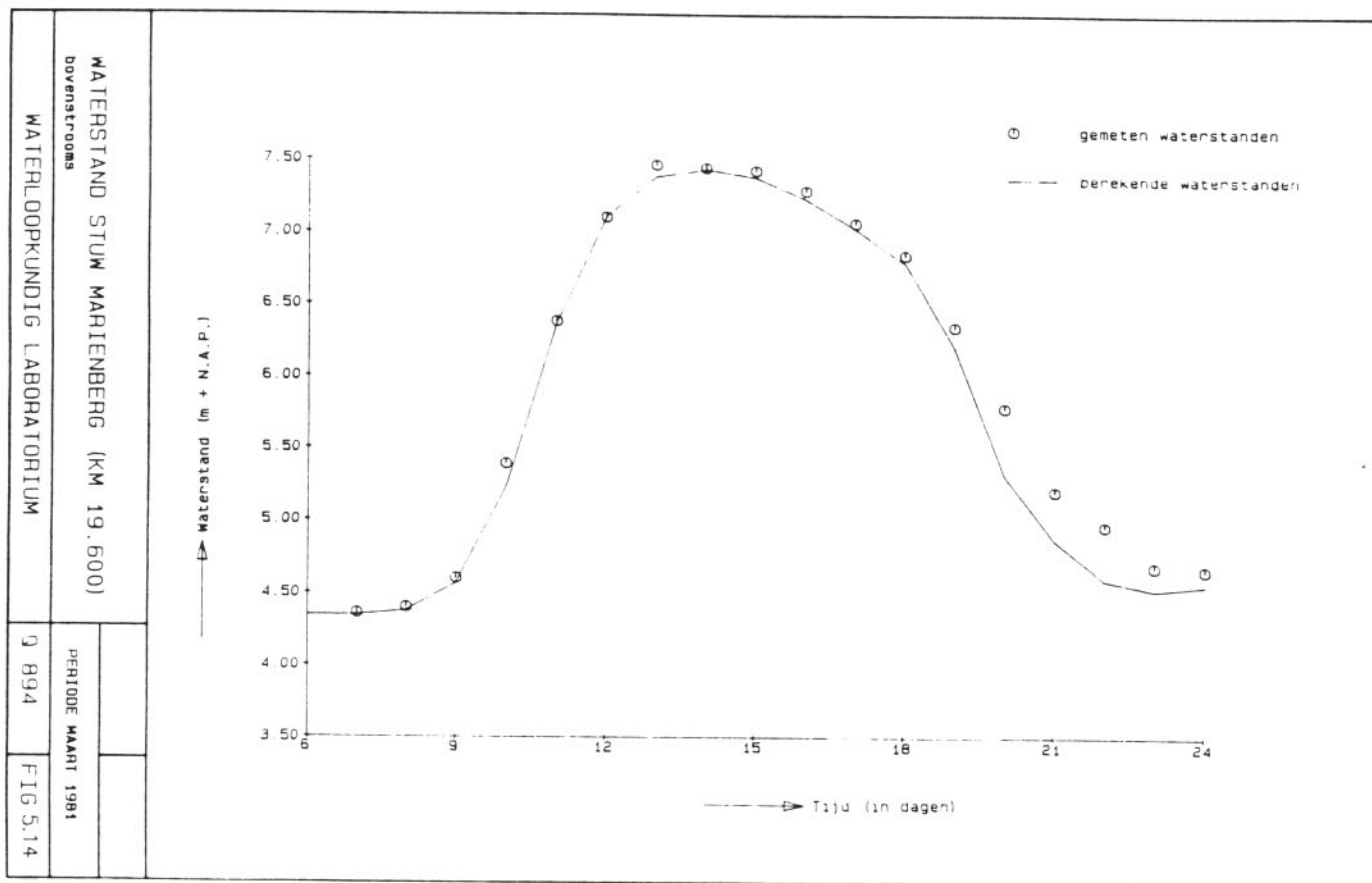
Bijlage 1A



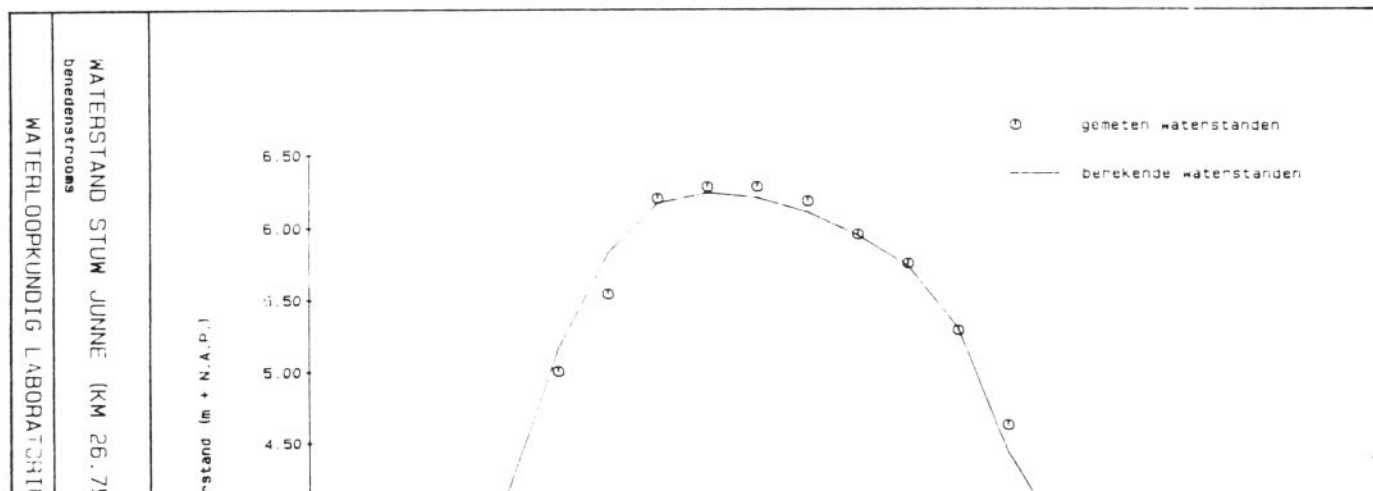
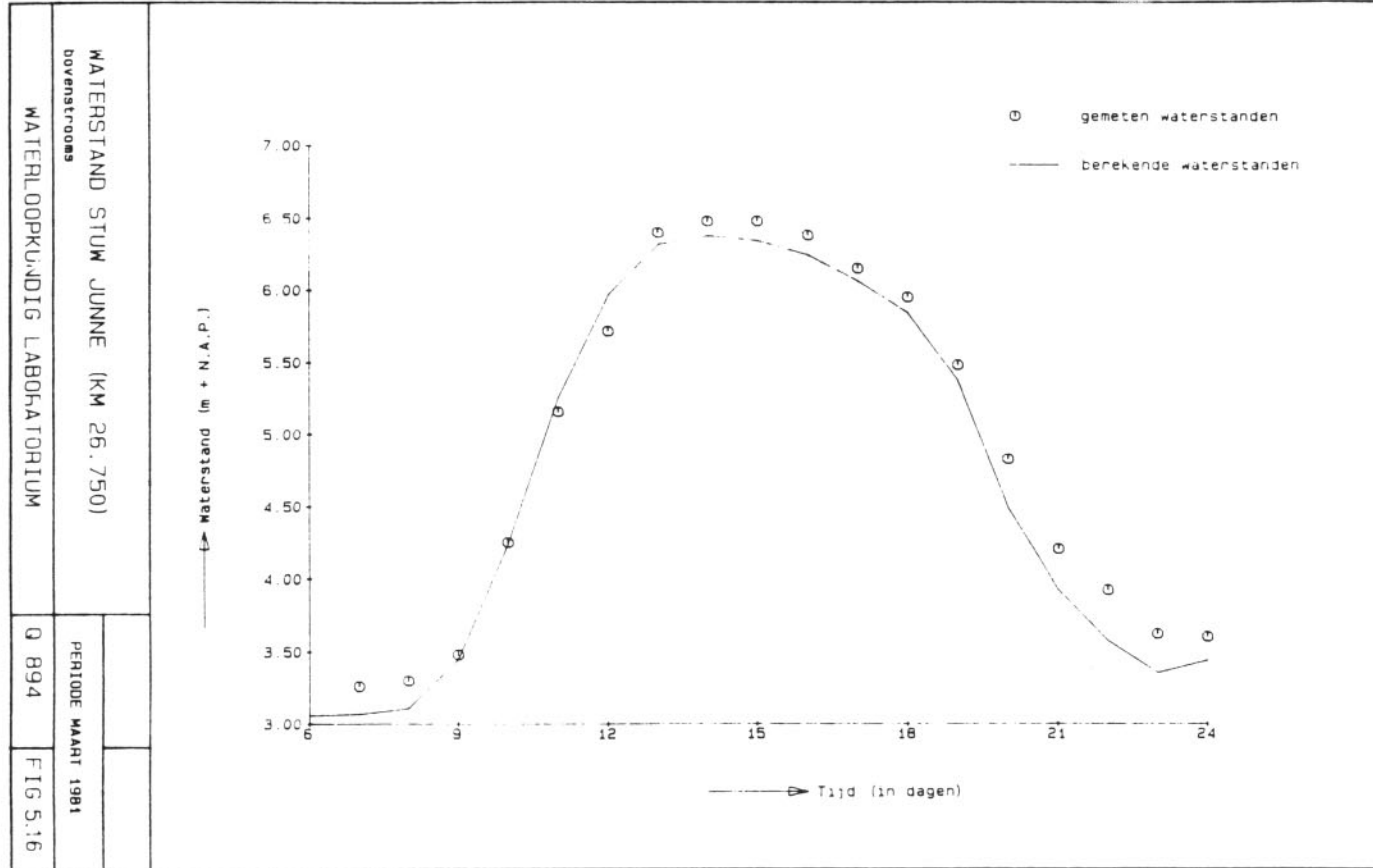
Bijlage 1A



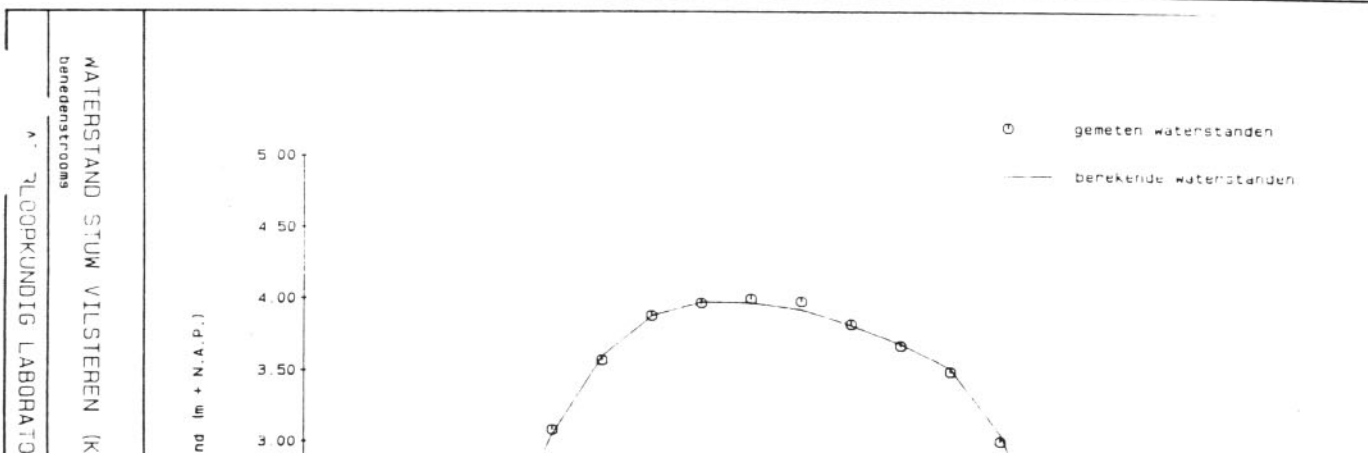
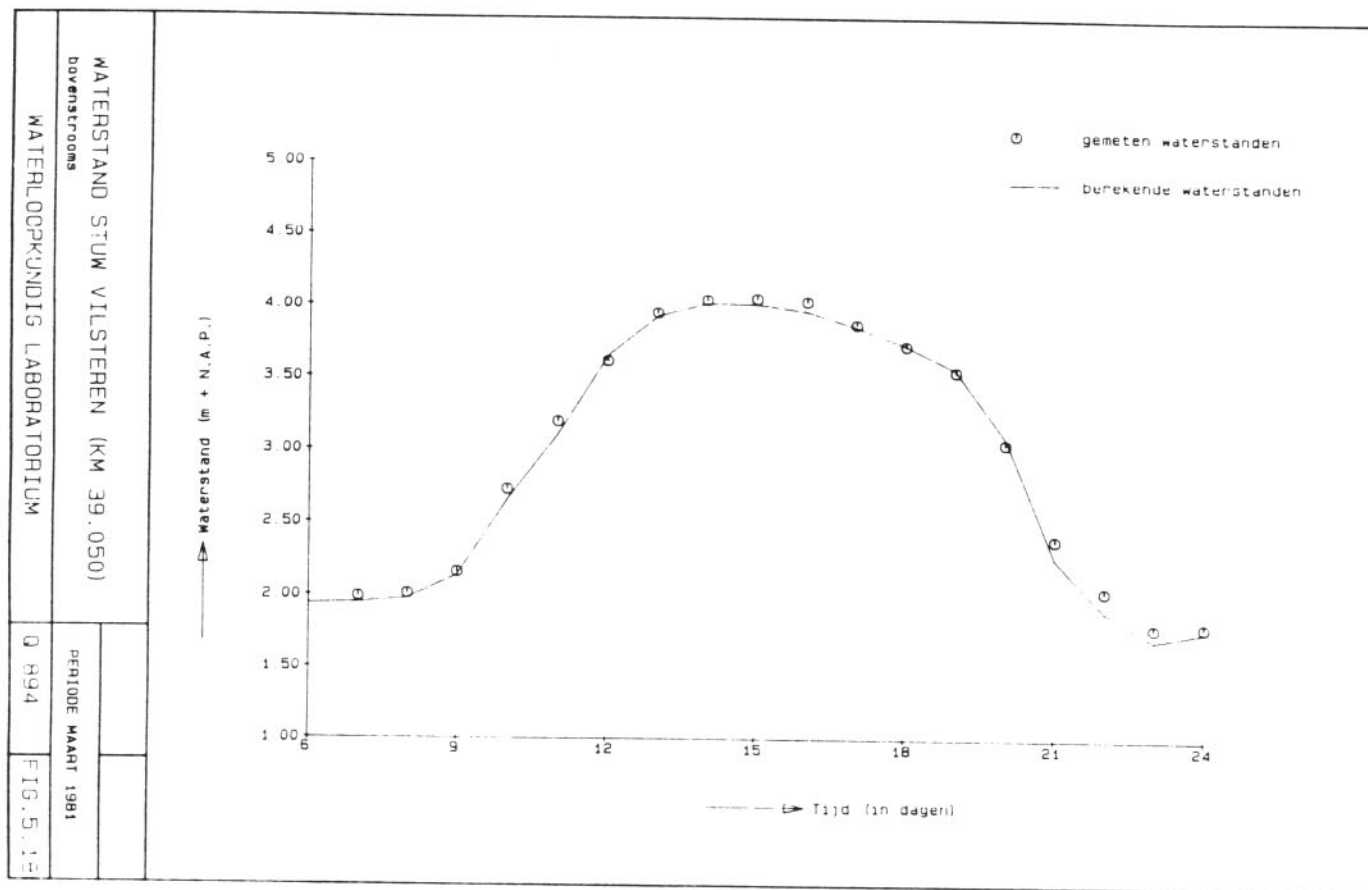
Bijlage 1A



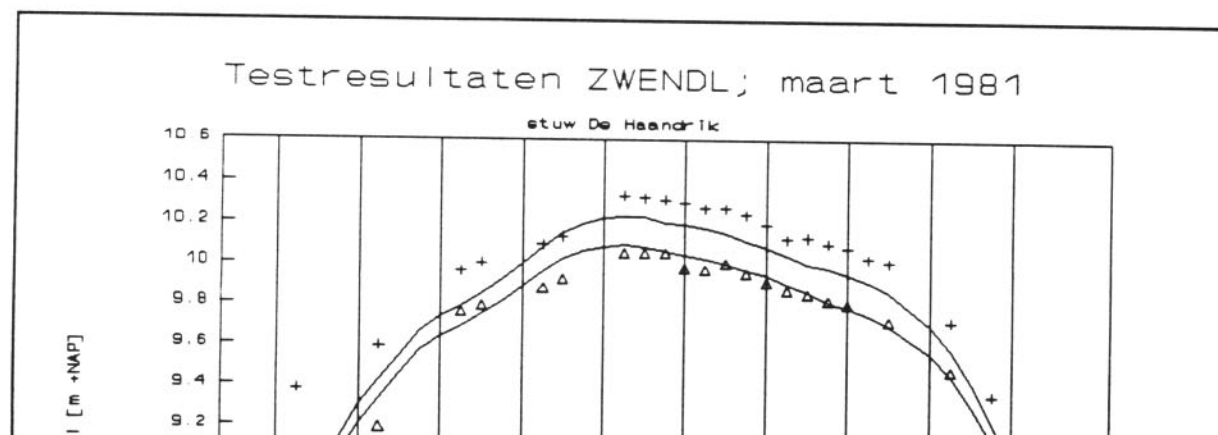
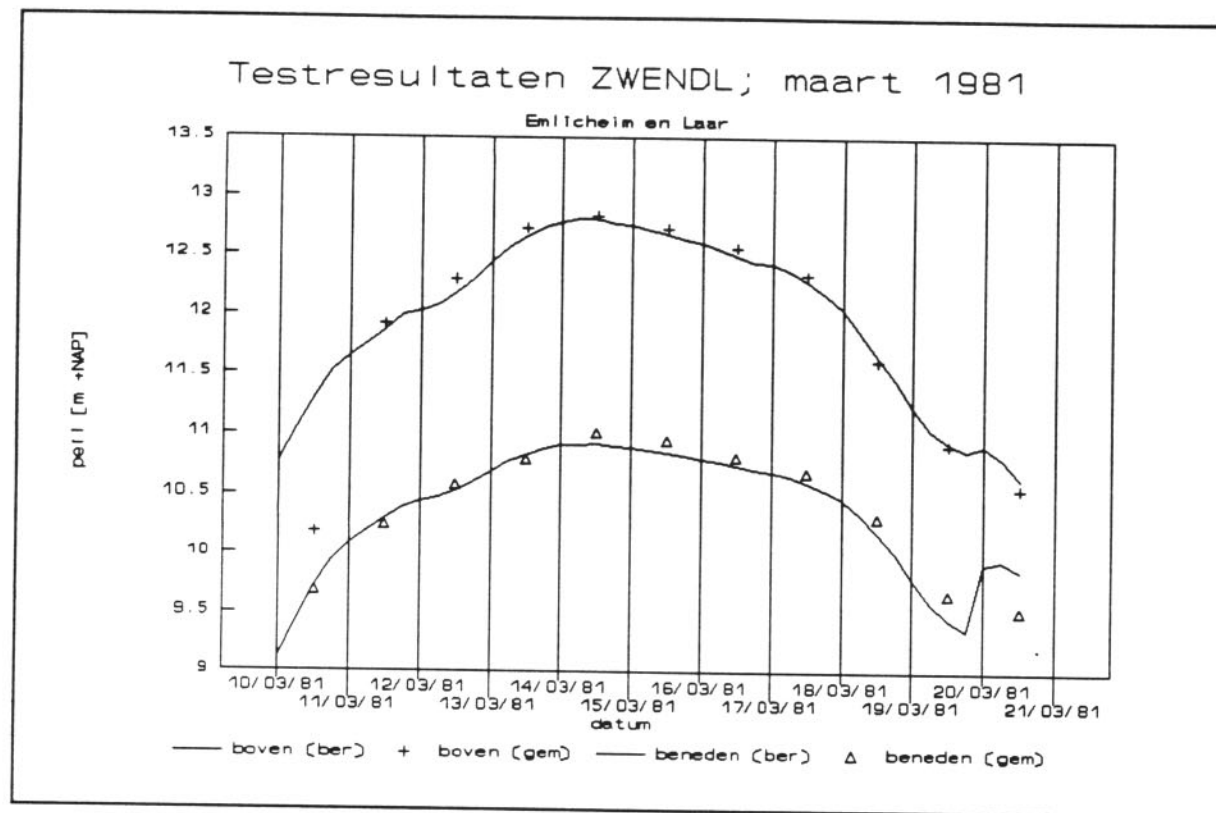
Bijlage 1A

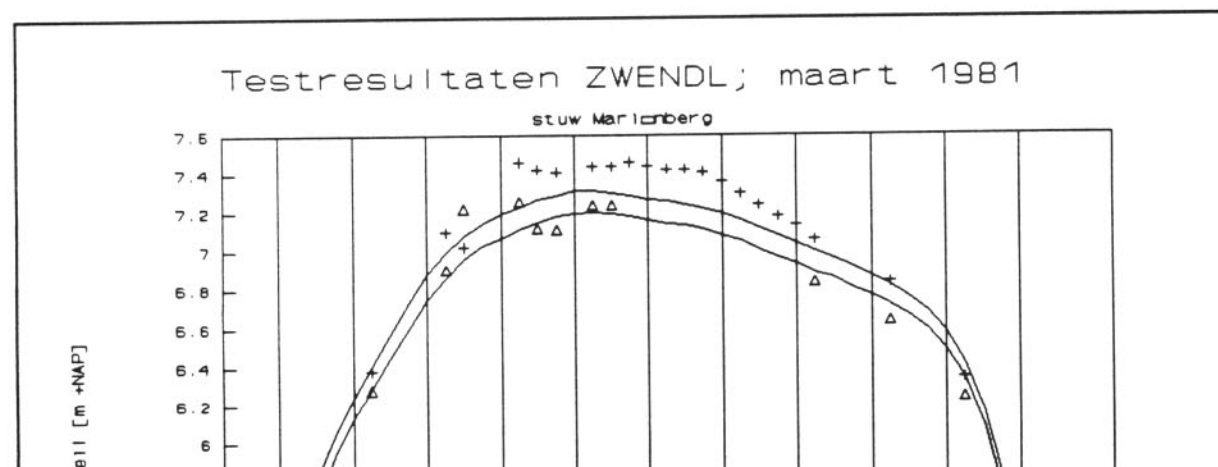
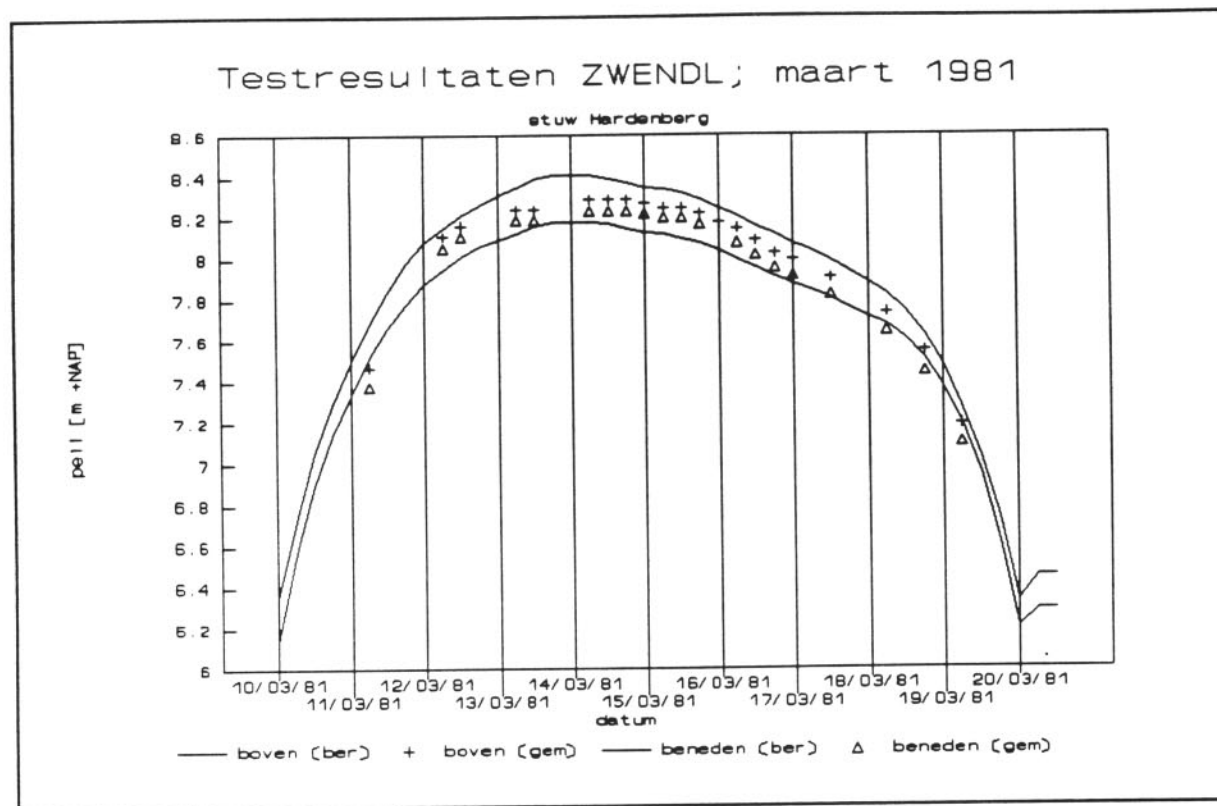


Bijlage 1A

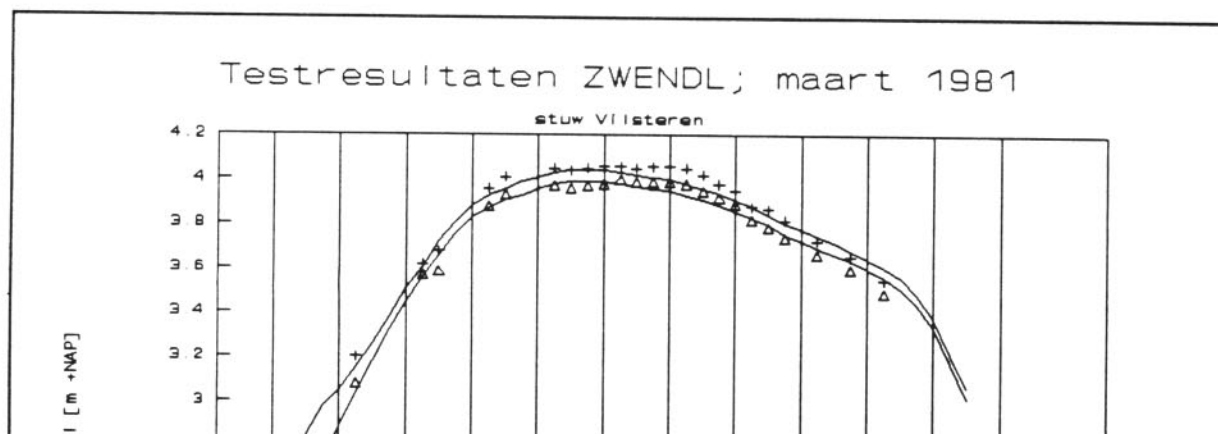
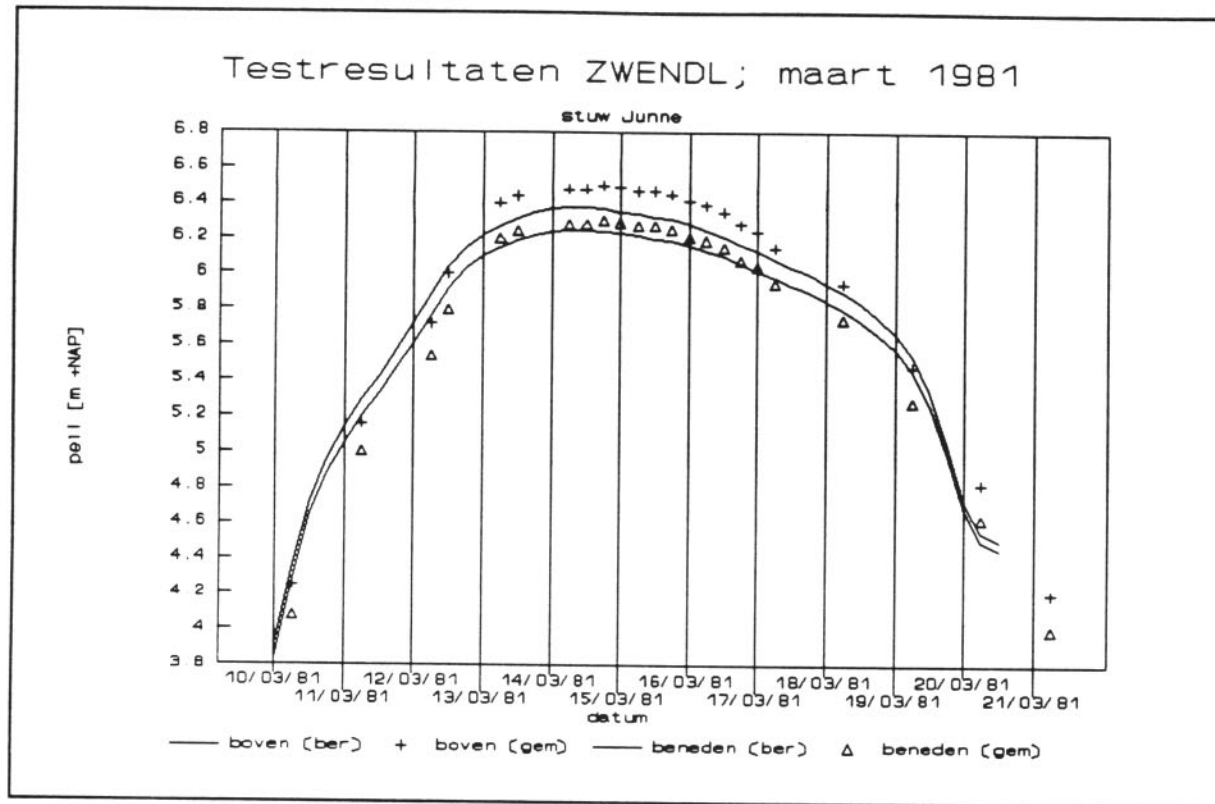


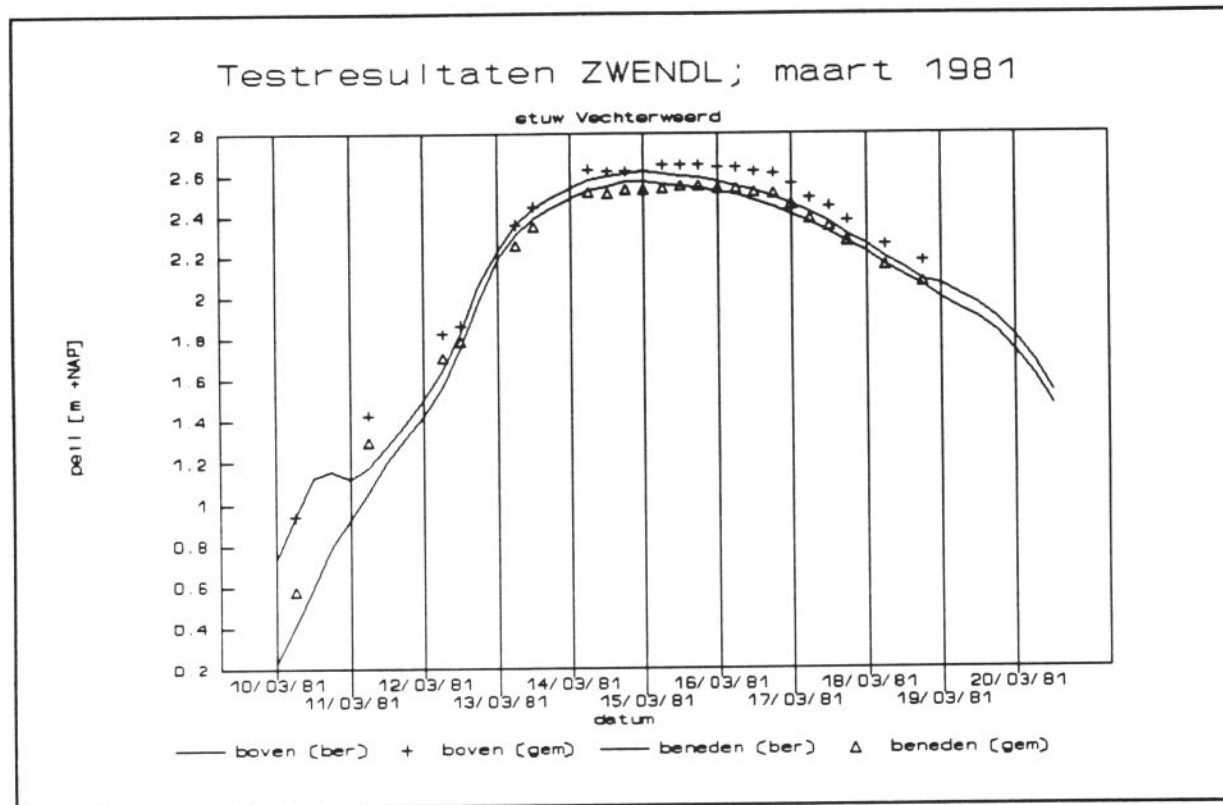
Bijlage 1B





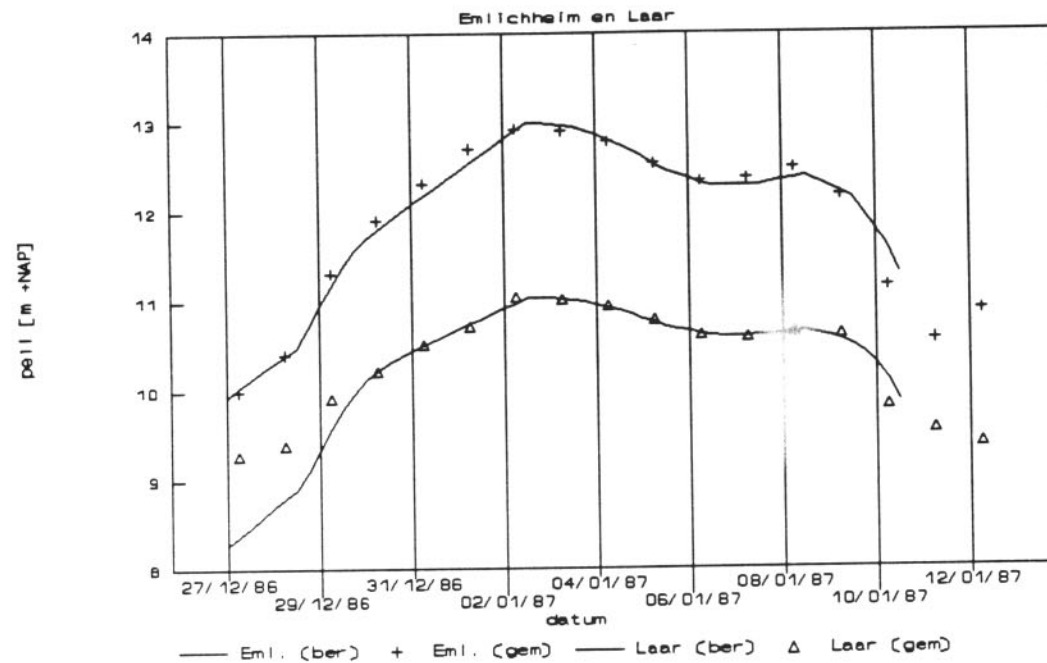
Bijlage 1B



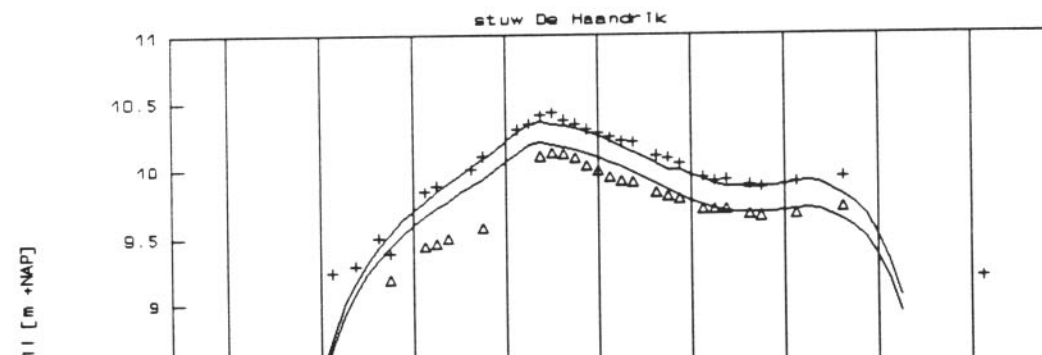


Bijlage 2

Testresultaten ZWENDL; december 1986/ januari 1987

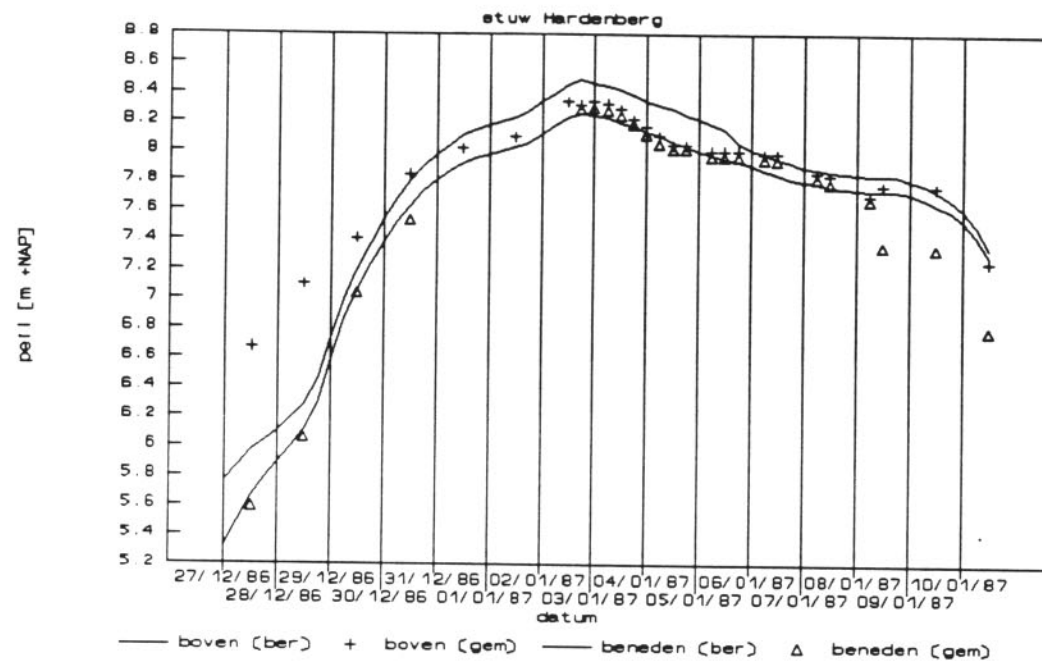


Testresultaten ZWENDL; december 1986/ januari 1987

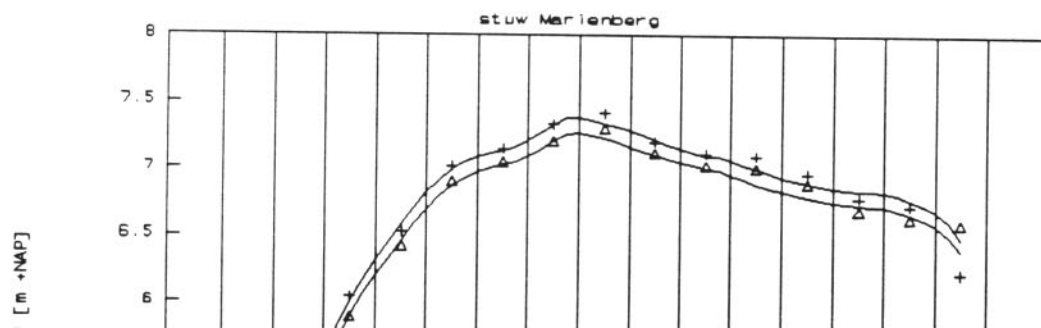


Bijlage 2

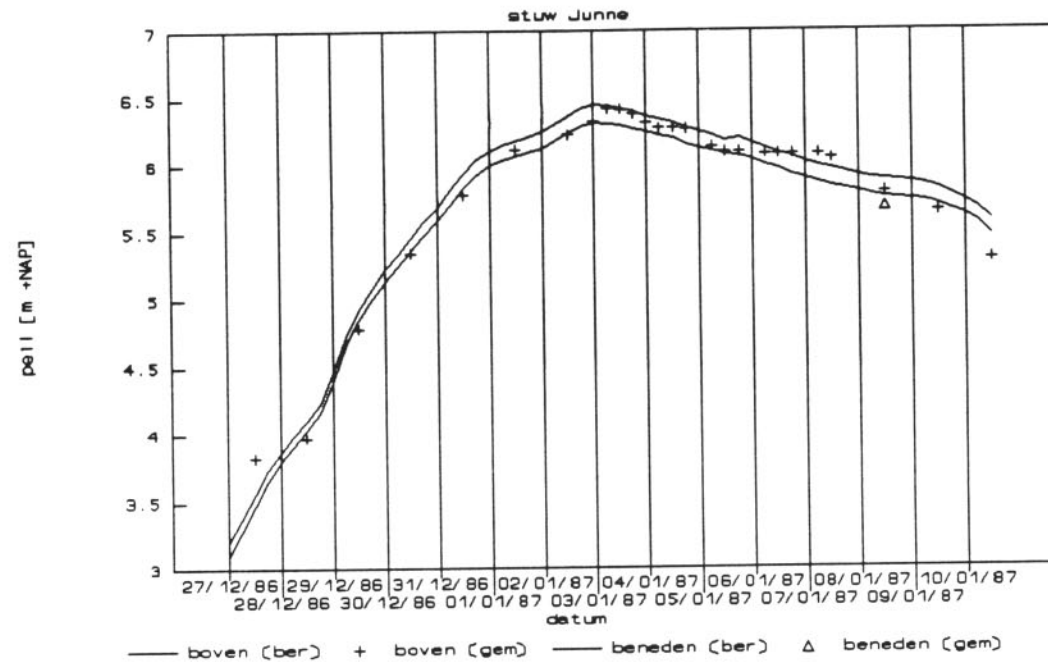
Testresultaten ZWENDL; december 1986/ januari 1987



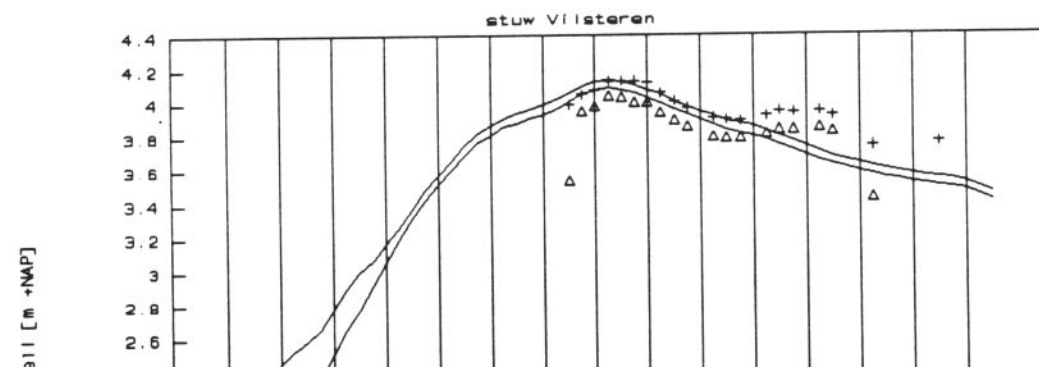
Testresultaten ZWENDL; december 1986/ januari 1987



Testresultaten ZWENDL; december 1986/ januari 1987

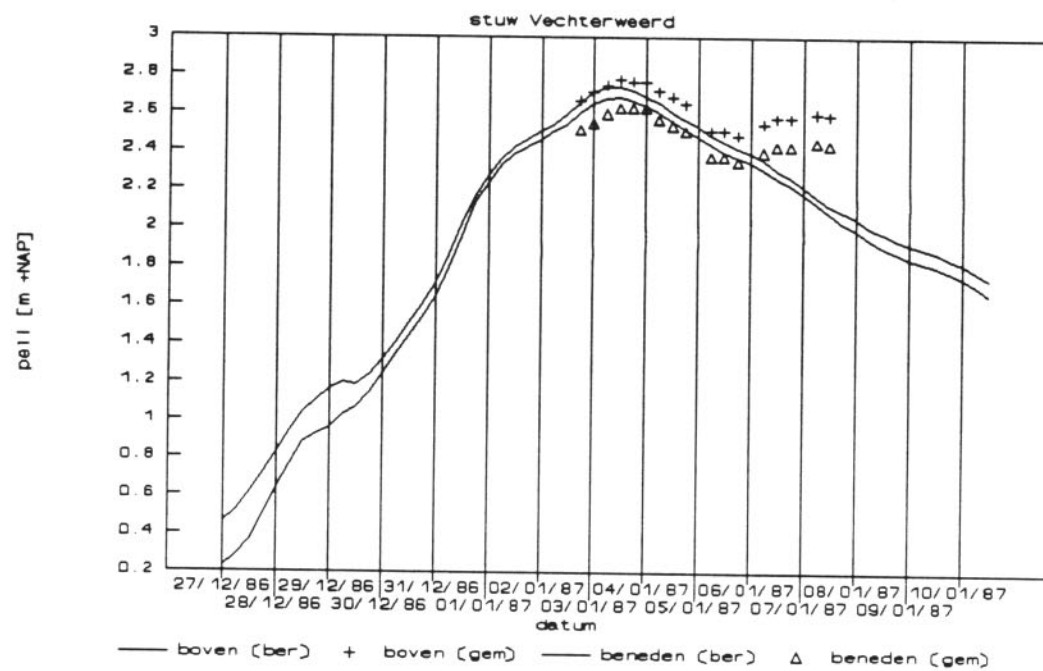


Testresultaten ZWENDL; december 1986/ januari 1987

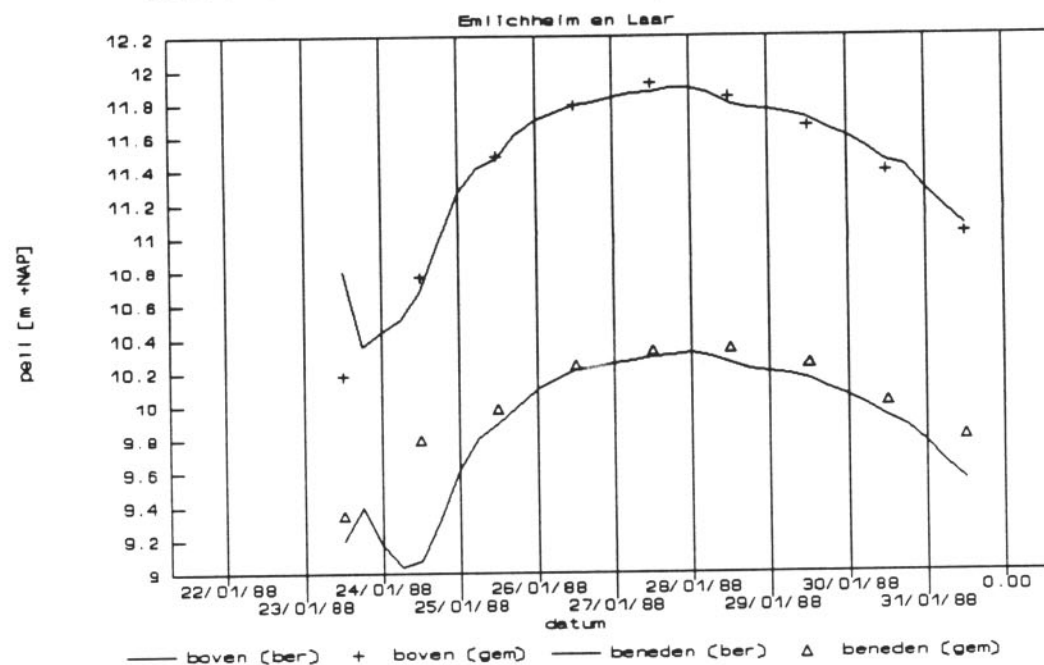


Bijlage 2

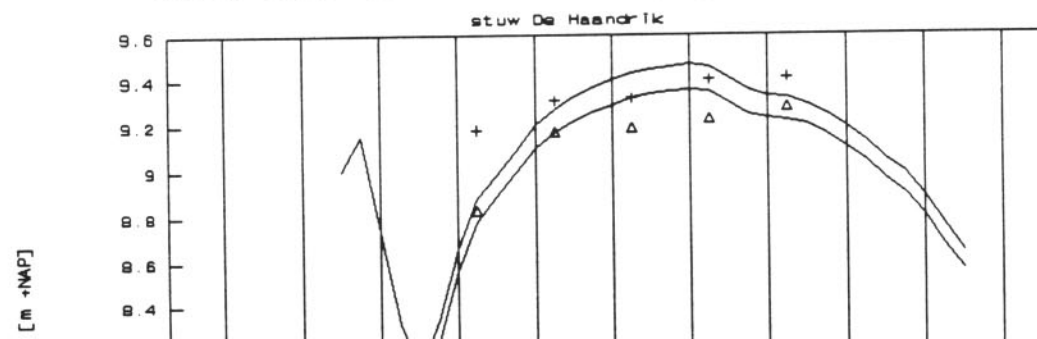
Testresultaten ZWENDL; december 1986/ januari 1987



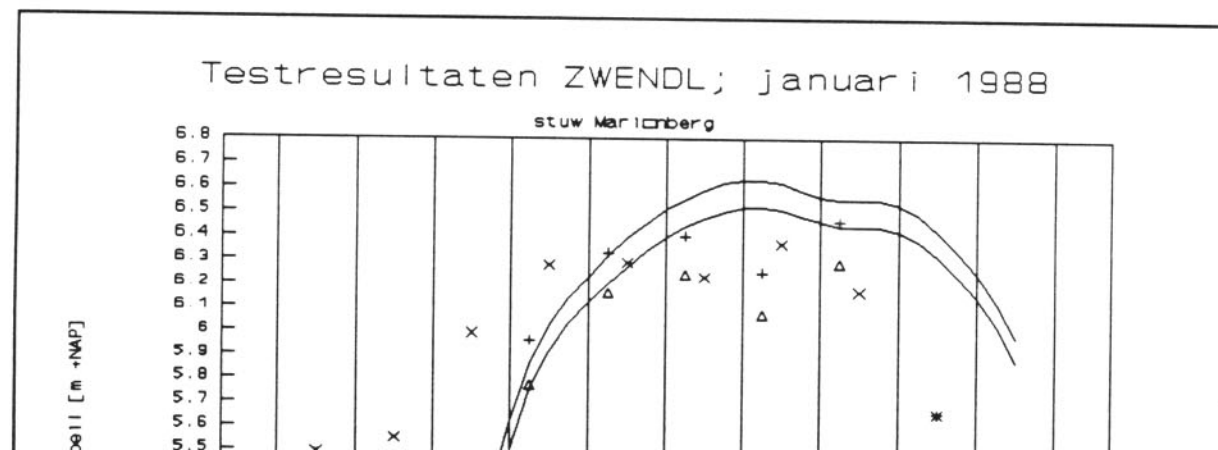
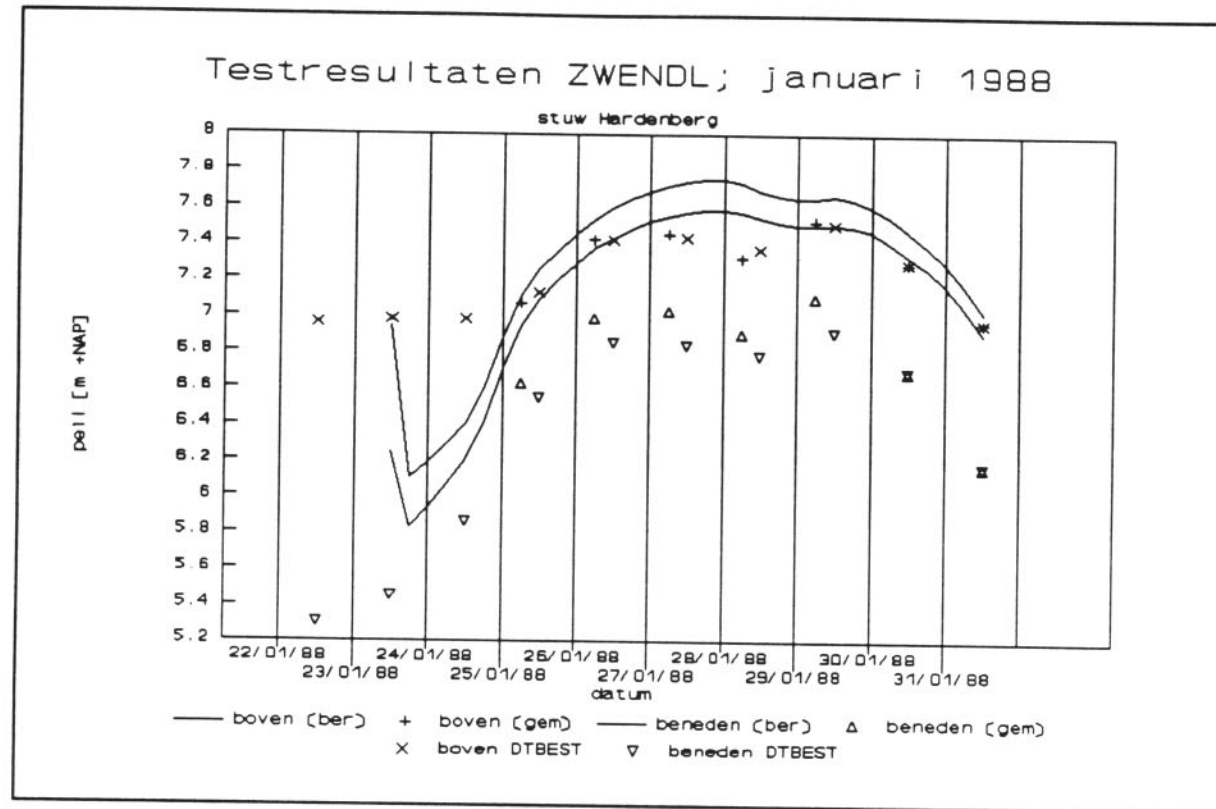
Testresultaten ZWENDL; januari 1988



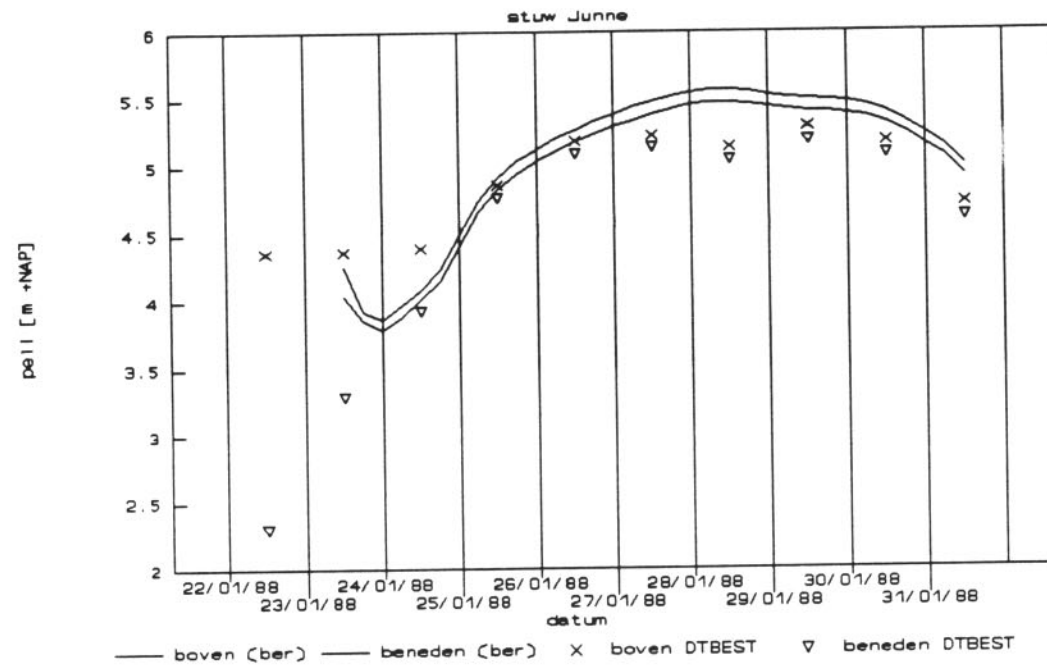
Testresultaten ZWENDL; januari 1988



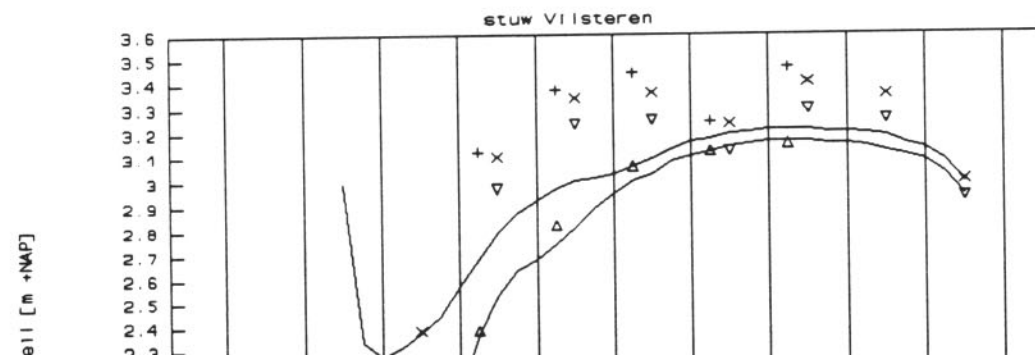
Bijlage 3



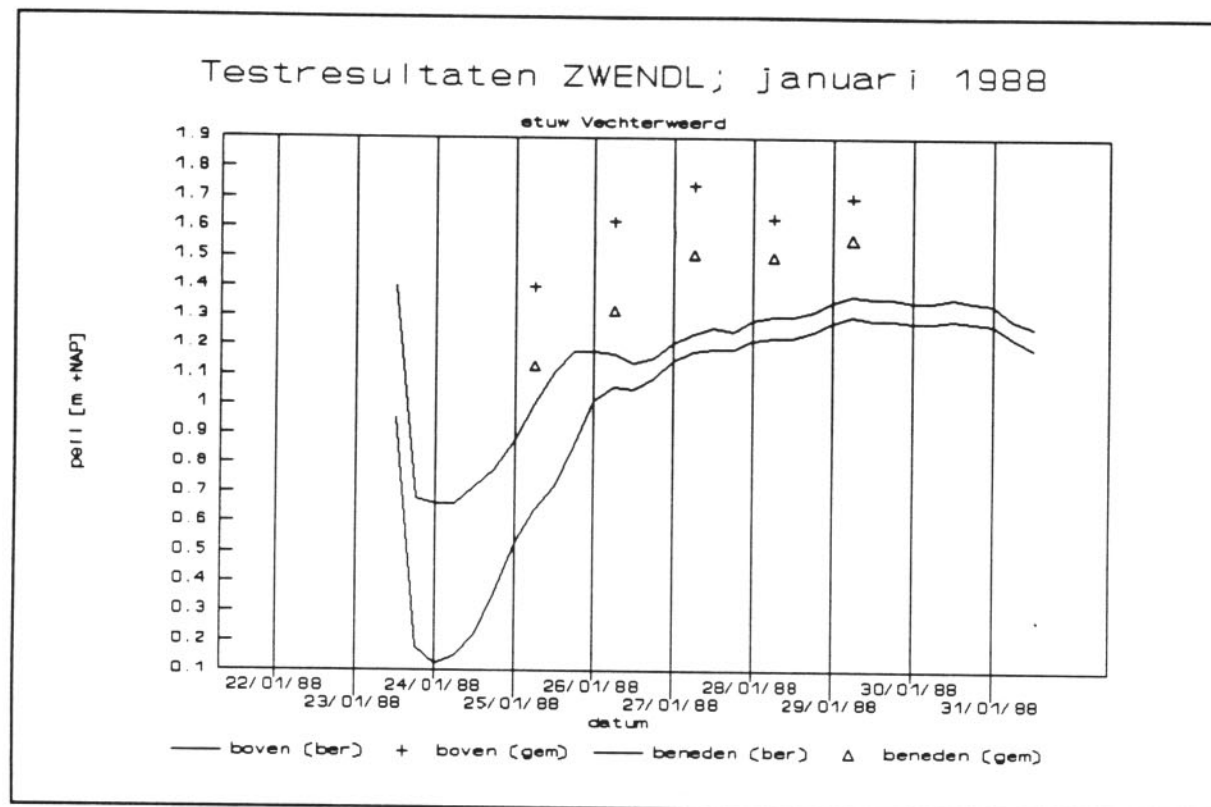
Testresultaten ZWENDL; januari 1988

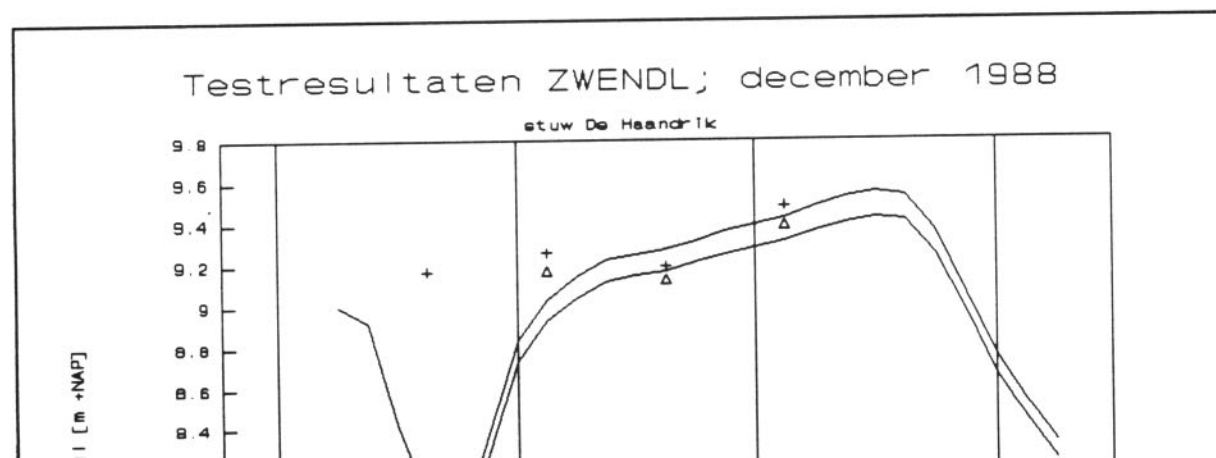
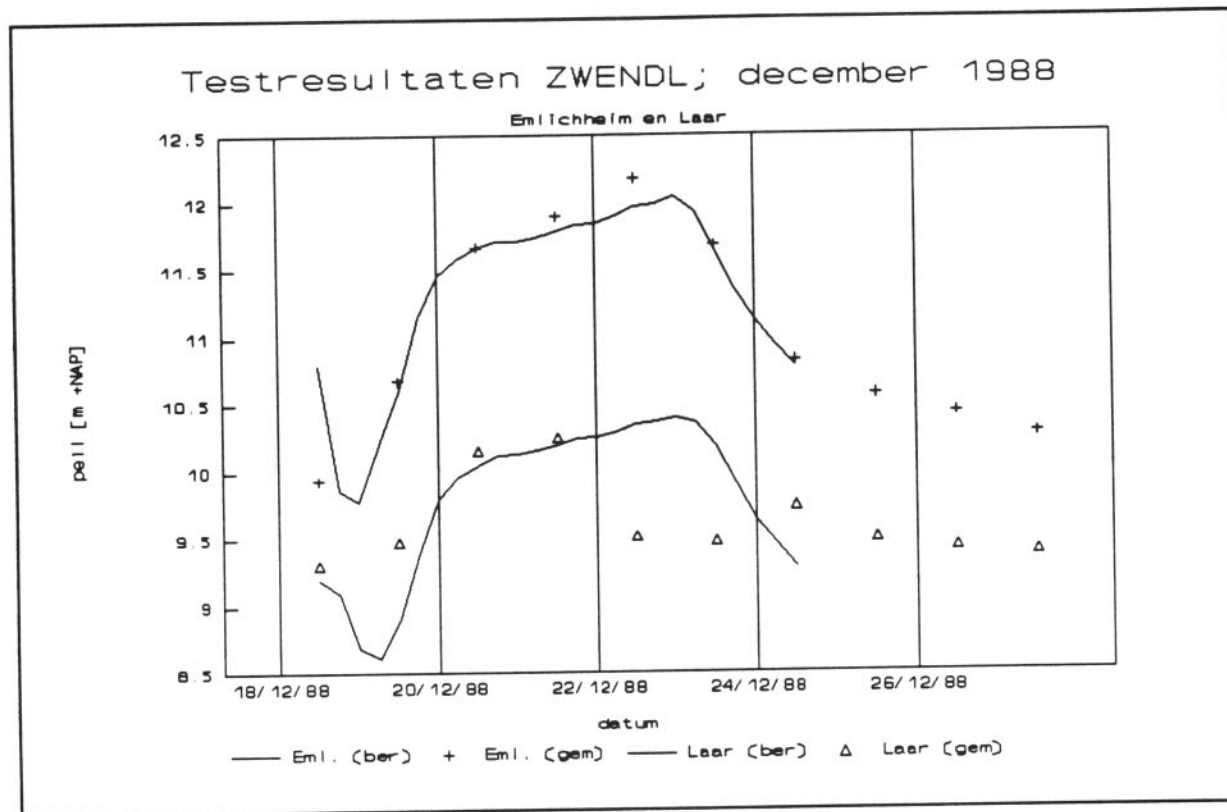


Testresultaten ZWENDL; januari 1988

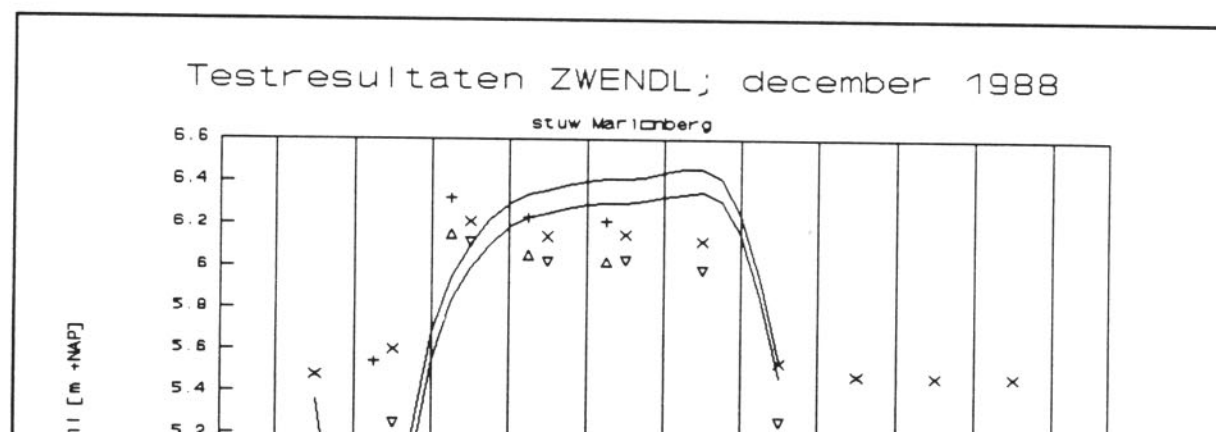
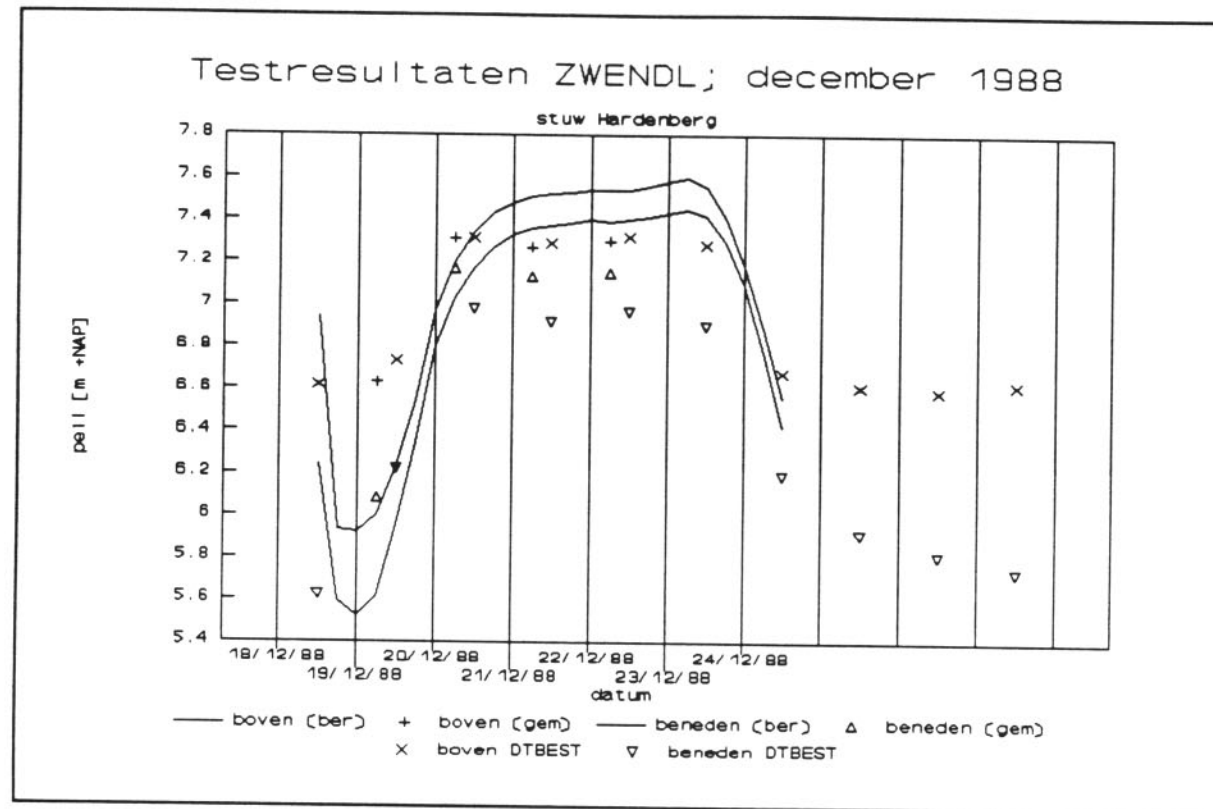


Bijlage 3

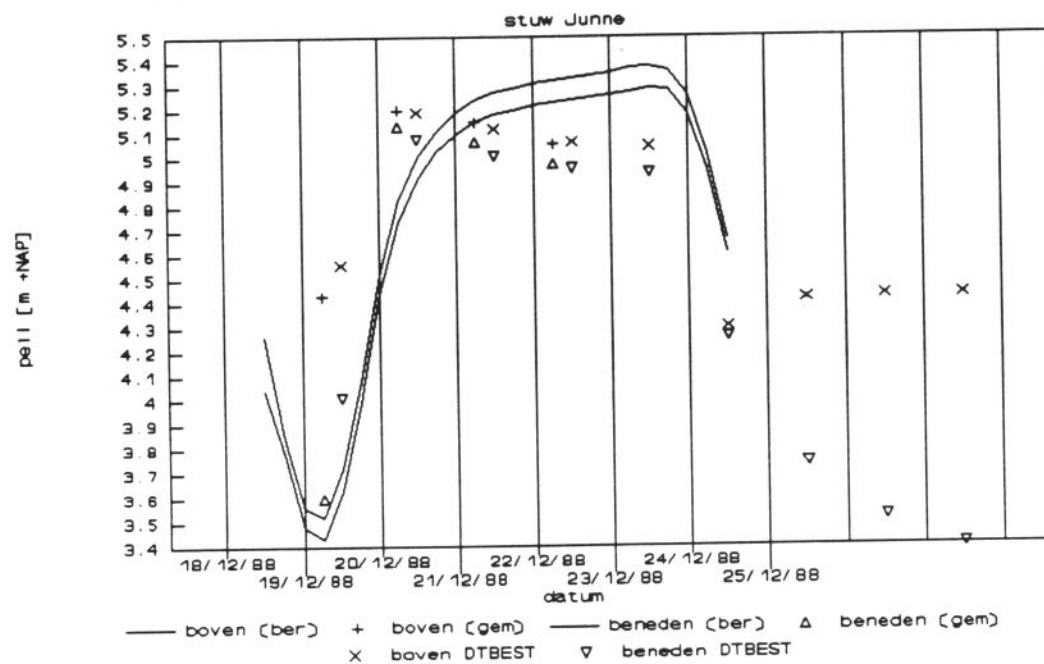




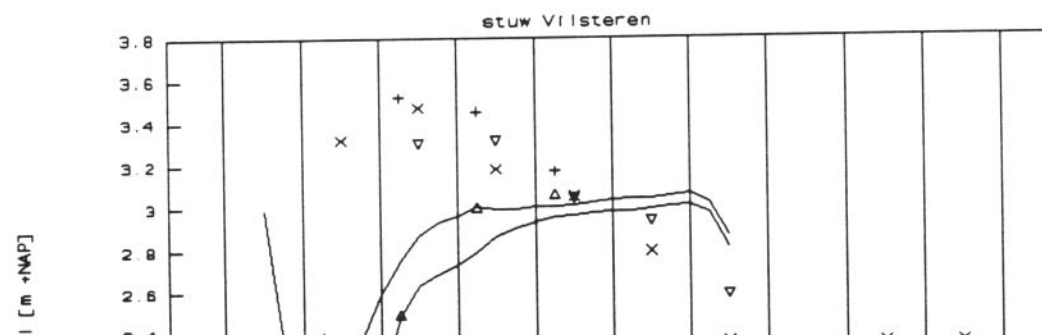
Bijlage 4



Testresultaten ZWENDL; december 1988



Testresultaten ZWENDL; december 1988



Bijlage 4

