

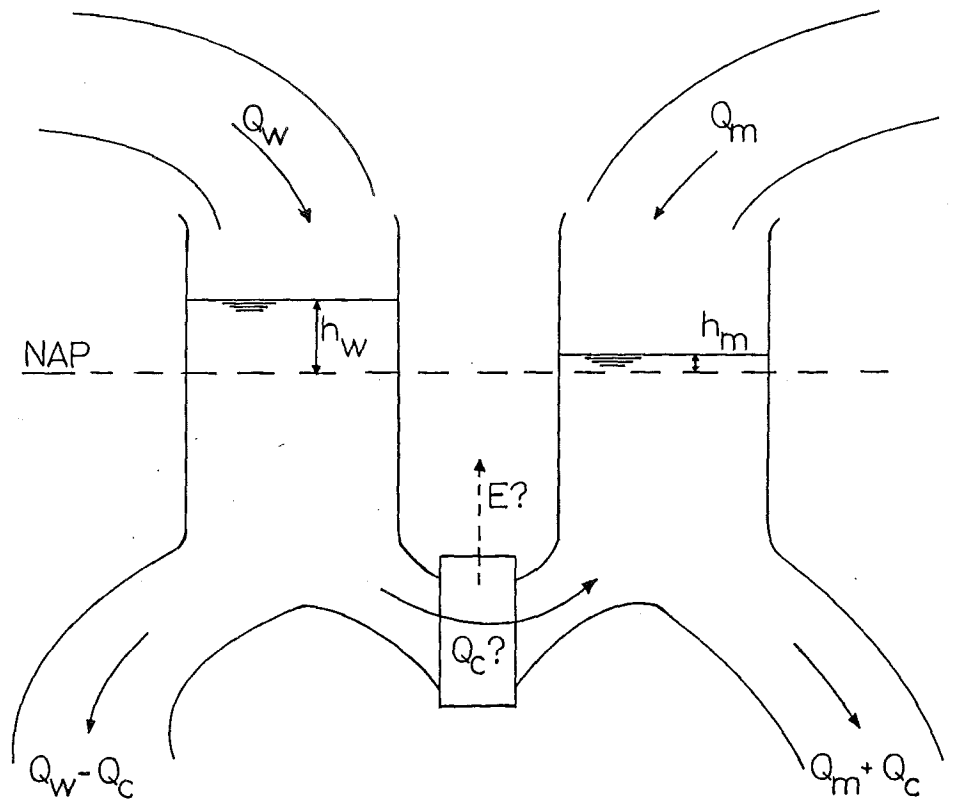
# WITTE STEENKOOL TUSSEN WAAL EN MAAS?

14.16.a

Verkenndend onderzoek naar de technische en economische haalbaarheid van de winning van energie uit waterkracht in de omgeving van Heerewaarden.

R. Nieuwpoort & M. Hauer

TEKST



## Vakgroep Waterbouwkunde

Hierbij worden belangstellenden uitgenodigd tot het bijwonen van de afstudeervoordracht van M. Hauer, te houden op:

Donderdag 18 augustus 1988,  
13.00 uur, zaal G, gebouw Civiele Techniek

### Omschrijving van de opdracht:

Met het oog op de werkloosheidsproblematiek te Heerewaarden (Utrecht) verzocht de industriebond FNV om een onderzoek naar de rentabiliteit van waterkrachtwinning in de omgeving van Heerewaarden. Het betrof hier met name de mogelijkheid van benutting van verval tussen Waal en Maas, die hier op amper een kilometer afstand van elkaar voorbij stromen.

### Verloop afstudeerproject:

Vrijwel alle reeds onderzochte locaties voor waterkrachtwinning in Nederland betreffen locaties bij stuwen, waar een deel van het debiet over de stuw zonder grote gevolgen door een centrale gevoerd kan worden. In het land van Maas en Waal lagen de zaken minder eenvoudig.

Gemiddeld is er te Heerewaarden een verval van ca. 2,25 m. aanwezig (Waalwaterstand hoger dan Maaswaterstand). Een onderschrijdingslijn voor dit verval was niet voor handen, dus moesten er uitgebreide hydrologische studies aan te pas komen om deze lijn zelf te construeren. Het debiet door de centrale was hier geen vast gegeven: door het laten stromen van een debiet van Waal naar Maas ontstaan stuwkrommes die het oorspronkelijke verval verkleinen. Debiet en verval beïnvloeden elkaar wederzijds. In de loop der tijd zullen morfologische veranderingen op beide rivieren het verval weer vergroten. In tegenstelling tot de situatie bij de gebruikelijke "stuwcentrales" was hier sprake van zeer grote omgevingsinvloeden op o.a. scheepvaart, drinkwaterwinning uit de Maas (Waal is vuiler dan Maas), hoogwaterbestrijdingsbelangen, etc., wat leidde tot enerzijds beperkende voorwaarden voor het gebruik van de centrale en anderzijds moeilijk bepaalde kostenposten voor schade aan genoemde belangen.

Na een groffe kladberekening rees de verwachting dat de hele zaak verre van rendabel zou zijn, waarna besloten werd tot het berekenen van een bovengrens voor de rentabiliteit. De omvangrijke problematiek werd hanteerbaar gemaakt middels tal van ruwe aannames, die de meest gunstige situatie weergaven. Zelfs deze maximaal gunstige waarde voor de rentabiliteit bleek voor alle onderzochte varianten nog zo negatief te zijn, dat diepgaander onderzoek overbodig was.

### Conclusies:

De onderzochte waterkrachtwinning is niet rendabel. Misschien liggen er nog mogelijkheden bij opname ervan in een multipurposeproject, waardoor kosten gedrukt kunnen worden (bijv. tweede Maas-Waal kanaal in de omgeving van Heerewaarden). Ondergetekende acht dit echter niet waarschijnlijk gezien de wel zeer ongunstige uitkomsten van zijn onderzoek.

M. Hauer

DEEL 1 : INLEIDING

## HOOFDSTUK 1: INLEIDING

---

### 1.1. PROBLEEMSTELLING

-----

Dit rapport is geschreven naar aanleiding van een verzoek van het afdelingsbestuur Heerewaarden van de industriebond F.N.V., district Utrecht.

Zij formuleerden hun wensen als volgt:

1. *Onderzoek naar de technische en economische haalbaarheid van een waterkrachtcentrale in de Maas bij Lith en het perspectief daarvan op de werkgelegenheid.*
2. *Technisch en economisch onderzoek naar de mogelijkheden van een waterkracht centrale naast de sluis van Spijk Sint-Andries en het perspectief daarvan op de werkgelegenheid.*
3. *Het van de grond tillen van een mini-turbine werkplaats in Heerewaarden.*
4. *Technisch en economisch onderzoek naar het rendabele gebruik van drijvende waterkracht-turbines bij de brug over de Waal ter hoogte van Zaltbommel.*
5. *Onderzoek naar de (on-)mogelijkheden van koppeling van het gestelde onderpunt 1 en 2 aan plaatselijke zandputten (de Sahara) en het gebruik van windkracht.*

De gedachte achter deze wensen is het creëren van werkgelegenheid.

Het werkloosheidspercentage in deze streek ligt namelijk ruim boven het landelijk gemiddelde.

Voor het grootste gedeelte betreft het hier ongeschoolde arbeidskrachten. Zij zijn afkomstig uit de steenfabrieken, die hier traditioneel in de uiterwaarden gevestigd zijn. De arbeidsprocessen werden veelal overgedragen van vader op zoon.

Door de groei van de woningbouw na de oorlog leverde dit geen problemen op.

Echter bij de doorvoering van de mechanisatie en automatisering werd de vraag naar menselijke arbeidskrachten steeds kleiner.

Velen kwamen daardoor in de bouw terecht.

De crisis in de bouw zorgde voor nog minder werk in de steenfabrieken, terwijl ook in de bouw zelf steeds meer arbeidsplaatsen overbodig werden. Hierdoor ontstond de huidige werkeloosheid.

Om de plaatselijke werkgelegenheid enige impulsen te geven, is het noodzakelijk de randvoorwaarden te scheppen die de industrie nodig heeft om zich in Heerewaarden te vestigen.

De situering van Heerewaarden tussen Waal en Maas, waar deze elkaar tot op 2 kilometer naderen, en het feit dat er gedurende het grootste deel van het jaar een waterstandverschil tussen deze beide rivieren bestaat, heeft de gedachte doen ontstaan om een onderzoek te laten uitvoeren naar de mogelijkheid om op deze plaats een energie-waterkrachtcentrale te exploiteren. Voor de aanleg zou het dan allicht mogelijk zijn om plaatselijke arbeidskrachten in te schakelen.

Bovendien kan het een regionale uitstraling hebben.

De opgewekte energie kan, indien voordelig genoeg, een positieve vestigingsvoorwaarde voor de industrie zijn.

Reden genoeg om nadere studie naar deze mogelijke waterkrachtwinning te verrichten.

In dit rapport zullen de punten 2 en 5 nader bestudeerd worden, alsmede een niet genoemde variant.

Bij deze variant is er sprake van een koppeling van de punten 1 en 2, te realiseren met één centrale in plaats van twee.

De beperking in punt 2, dat de centrale naast de sluis bij Spijk St. Andries gesitueerd zou moeten worden, zal daarbij tevens verlaten worden.

Dit zal in een ruimer gebied, n.l. vanaf de sluis tot aan Heerewaarden, bekeken moeten worden.

Hierdoor kunnen meerdere alternatieven ontstaan, waaruit een optimale keuze gemaakt kan worden.

Van punt 5 zullen de mogelijkheden m.b.t. windkracht slechts zeer globaal bezien worden.

Punt 1 was al eens onderzocht door R. H. van Terwisga, en de punten 3 en 4 kunnen wellicht nog eens bekeken worden door andere afstudeerders.

De invloed van diverse alternatieven op de werkgelegenheid kan hier slechts globaal aangegeven worden. Diepgaander onderzoek hieromtrent zal geschieden door K. Koopal, economisch medewerker aan de Universiteit van Amsterdam. Deze zal ook de eventuele uitstraling op de omgeving van diverse alternatieven bezien (met het oog op het aantrekken van industrie).

Refererend aan bovengenoemde overwegingen, kan de probleemstelling als volgt geformuleerd worden:

*Onderzoek naar de technische en economische haalbaarheid van een waterkrachtcentrale tussen de Waal en de Maas in de buurt van Heerewaarden, waarbij een mogelijke koppeling op afstand met een centrale naast de stuw bij Lith, ofwel een directe koppeling leidende tot één centrale en eventuele accumulatiemogelijkheden, niet uit de weg worden gegaan.*

Wat betreft het onderzoek naar windkracht wordt hier nog eens gezegd, dat er slechts globaal naar gekeken zal worden. De nadruk zal liggen op onderzoek naar de mogelijkheden voor het winnen van energie uit stromend water.

## 1.2. PROBLEEMANALYSE

Er is momenteel al veel onderzoek gaande naar waterkrachtwinning in Nederland. Deze onderzoeken betreffen voornamelijk rentabiliteitsbeschouwingen voor centrales gesitueerd bij bestaande stuwen in de grote rivieren. Deze onderzoeken onderscheiden zich zeer duidelijk van dit onderzoek, doordat de centrale in dit geval niet bij een stuw is gesitueerd, wat waterkrachttechnisch een andere benaderingsmethode vraagt.

Er is hier sprake van een grote invloed van een centrale op de directe omgeving, terwijl dit op landelijke schaal niet of veel minder het geval is.

Bij situering van een centrale bij een stuw zijn deze invloeden meestal gering, en spelen zij alleen in de nabije omgeving een rol.

Bij een dergelijke centrale laat men het water in plaats van over de stuw door de centrale stromen. Men verandert dus niets of weinig aan het bestaande regime, het afvoerverloop en de waterstanden van de rivier.

Alhier is het de bedoeling om een bepaald debiet van de Waal naar de Maas te laten stromen, terwijl er tevens een nieuwe stuw gebouwd zou moeten worden. Om met het geringe verval nog optimaal energie te kunnen winnen zal dit debiet niet gering zijn; het zal in de orde van grootte van 100-400 m<sup>3</sup>/sec. liggen. Op de gemiddelde Waalafvoer van 1400 m<sup>3</sup>/sec. is dit 7-28,5%; op de gemiddelde Maasafvoer van 330 m<sup>3</sup>/sec. is dit 30-120%!!

Dit impliceert met name op de Maas zeer grote invloeden van een dergelijke ingreep.

Op bijlage 121 is een globaal overzicht van de diverse invloeden op landelijke belangen gegeven.

Op bijlage 122 is een globaal overzicht van de invloeden op de directe omgeving gegeven.

In de volgende hoofdstukken zullen deze invloeden nader beschouwd worden.

In Hoofdstuk 2 zullen landelijke belangen en aspecten worden behandeld;

In Hoofdstuk 3 zal aandacht worden besteed aan invloeden op de directe omgeving.

Zoals eerder vermeld, is dit onderzoek waterkracht-technisch gesproken ook verschillend van de onderzoeken naar centrales bij stuwen.

Immers bij stuwen bestaat er een bepaalde samenhang tussen beschikbaar debiet en beschikbaar verval (bij een bepaald debiet hoort een bepaald verval over de stuw).

In dit geval is het verval een van nature aanwezig verval, dat niet door een technische ingreep geregeld is. Het beschikbaar debiet is in theorie beperkt tot de gehele afvoer van de Waal (hierbij is natuurlijk wel invloed op het verval, immers de waterstanden van Waal en Maas veranderen), maar in de praktijk zal men zich beperken tot een (landelijk bezien) toelaatbaar debiet, waarbij de randvoorwaarden van de rivierbedding en de scheepvaartsituatie een belangrijke rol zullen spelen.

Essentieel is dat men hier in wezen binnen een range van 100-400 m<sup>3</sup>/sec. dat debiet altijd tot zijn beschikking heeft (de minimale afvoer van de Waal is 650 à 750 m<sup>2</sup>/sec., terwijl bij stuwen, zoals bijvoorbeeld in de Maas, men ook de situatie zal aantreffen dat het beschikbare debiet in droge tijden te klein is voor de ontworpen centrale.

In de praktijk komen deze overwegingen er op neer dat in dit geval een andere benaderingsmethode gehanteerd zal moeten worden voor de bepaling van het aanwezige potentieel.

Dit is nader uitgerwerkt in hoofdstuk 3.

### 1.3. PROBLEEMBENADERING

-----

Om de gesignaleerde problemen systematisch te beschouwen staan er verschillende invalshoeken open:

1. Beschouwing op landelijk niveau: de haalbaarheid wordt landelijk bekeken, met inachtneming van alle invloeden en met de bijbehorende kosten en baten die hieruit voortvloeien.
2. Beschouwing op lokaal niveau: de haalbaarheid wordt bekeken met betrekking tot de kosten en baten die direct uit de bouw van de centrale, en uit de energieproductie ervan, voortvloeien.
3. Een mengvorm van 1 en 2 (zie bijlage 131).

In wezen is hier sprake van een landelijke ingreep en is benaderingsmethode 1 de enige juiste.

Benaderingsmethode 2 gaat voorbij aan belangrijke invloeden op landelijke belangen en overziet niet het totaal.

In het kader van dit onderzoek is het echter ondoenlijk alle invloeden op landelijke belangen nauwkeurig in te schatten - het zijn er teveel.

De vraag komt nu naar boven of het wel nodig is om zo diepgaand hierop in te spelen.

Zoals in hoofdstuk 2 nog zal worden uitgewerkt, is te verwachten dat de invloeden op landelijk niveau voornamelijk van negatieve aard zijn.

Door nu benaderingsmethode 2 te gebruiken, kan men vrij snel tot een conclusie komen: Is de centrale op lokaal niveau niet haalbaar, dan is verder onderzoek niet meer nodig. Is de centrale op lokaal niveau haalbaar en vergelijkbaar met andere centrales die uit onderzoeken als haalbaar te voorschijn zijn gekomen, dan verdient het de voorkeur deze andere (mits deze verder weinig negatieve invloeden op de omgeving hebben) eerst te bouwen.



Is de centrale op lokaal niveau zelfs gunstiger dan andere centrales, dan is het de moeite waard om omvangrijk, diepgaand onderzoek volgens benaderingsmethode 1 te starten, om een definitieve uitspraak te kunnen doen.

Een tweede aspect is het volgende:

Door landelijke invloeden zullen er zeker grenzen aan het toelaatbare debiet door de centrale gesteld worden.

Voor de lokale benadering zal er echter van worden uitgegaan, dat er geen grenzen zijn. Later kunnen deze grenzen dan als toetsingscriteria dienen voor een eventueel te kiezen oplossing.

Het eerste voordeel hiervan is dat de lokale benadering niet zal berusten op een onzeker uitgangspunt: immers, voor een juiste vaststelling van deze grens aan het toelaatbaar debiet is diepgaand onderzoek nodig op gebieden van morfologie, waterkwaliteit, scheepvaartbelangen, invloeden op kustwerken benedenstrooms etc.

Deze kunnen onmogelijk alle uitvoerig uitgezocht worden binnen het kader van dit rapport zodat deze grens vooralsnog onzeker blijft. Een tweede voordeel van deze aanpak is dat het mogelijk is gelijktijdig aan zowel de lokale haalbaarheid als de landelijke invloeden te werken: zou de genoemde grens als uitgangspunt dienen, dan zou de lokale benadering pas na het onderzoek naar alle landelijke invloeden plaats kunnen vinden, hetgeen onnodige vertraging oplevert.

Resumerend:

*Er is gekozen voor een werkmethode waarbij in eerste instantie voorbij wordt gegaan aan randvoorwaarden opgelegd door landelijke invloeden met de daaraan verbonden kosten en deze kunnen dan in een later stadium als toetsingscriteria voor optimale oplossingen op lokaal niveau dienen.*

*Door deze werkmethode is een snelle vordering verzekerd. Tevens zal snel kunnen blijken of diepgaander onderzoek gewenst is, en zal het rapport achteraf niet waardeloos worden wanneer uit dat diepgaander onderzoek blijkt dat randvoorwaarden volgend uit invloeden op landelijk niveau anders zijn dan aanvankelijk werd verondersteld.*

VERKENNEND ONDERZOEK NAAR DE TECHNISCHE EN ECONOMISCHE  
HAALBAARHEID VAN DE WINNING VAN ENERGIE UIT WATERKRACHT  
IN DE OMGEVING VAN HEEREWAARDEN (ST.ANDRIES).

TEKST

Door : R.Nieuwpoort en M.Hauer

Begeleider : de heer Bouwmeester, vakgroep Waterbouwkunde.

TU Delft , februari 1987.

DEEL 1	:	INLEIDING
DEEL 2	:	LANDELIJKE (NATIONALE) ASPECTEN
DEEL 3	:	LOCALE HAALBAARHEID
DEEL 4	:	EINDEVALUATIE

## Voorwoord

Voor U ligt het resultaat van de gemeenschappelijke inspanningen van de heer R.Nieuwpoort en ondergetekende die verricht zijn in het kader van een verkennend onderzoek naar de technische en economische haalbaarheid van de winning van energie uit waterkracht in de omgeving van Heerewaarden. Deze materie bleek al snel van een dusdanige omvang te zijn, dat ertoe overgegaan is een ongebruikelijke manier van afwegen van baten en kosten toe te passen middels welke met relatief weinig werk toch met voldoende zekerheid conclusies getrokken konden worden. Veel belangen die in het geding komen bij installatie van waterkrachtequipment te Heerewaarden zijn niet verder onderzocht dan de inschatting van hun invloed als negatief dan wel positief op de rentabiliteit van de waterkrachtwinning, zonder enige quantificering. Ook de wel kwantitatief onderzochte aspecten zijn volgens een ongebruikelijke aanpak benaderd. Deze aanpak kwam voort uit de volgende gedachte: 'als de rentabiliteit nog negatief uitpakt terwijl alle veronderstellingen en aannames zodanig zijn dat zij de rentabiliteit te gunstig voorstellen, dan kan met voldoende zekerheid geconcludeerd worden dat de onderzochte waterkrachtwinning niet realiseerbaar is'. Deze gedachte kwam al snel op na een eerste, zeer globale indruk hierover gevormd te hebben. Achteraf bleek deze benadering de juiste: de te gunstig berekende rentabiliteit bleek inderdaad te negatief om zelfs maar diepgaander onderzoek te rechtvaardigen. Gevolg van deze werkwijze is dat de lezer niet mag verwachten in dit rapport een nauwkeurige weergave van de werkelijkheid aan te treffen; de lezer zal slechts een bovengrensbepaling van de rentabiliteit aantreffen, welke de meest gunstige verwachtingswaarde hiervoor representeert. Door deze bijzondere benadering van de problematiek is het rapport moeilijk leesbaar voor niet in de materie ingewijden geworden, ondanks al onze pogingen telkens vooraf duidelijk de gevolgde werkwijze te omschrijven alvorens tot berekeningen over te gaan. Het verdient aanbeveling eerst de eindevaluatie te lezen alvorens de studies zelf te bestuderen, zodat men al enigszins ingewijd is in de materie. Deze wijze van bestudering maakt dit werk eenvoudiger te begrijpen.

Dan rest het mij nog mijn dank uit te spreken aan de heer Bouwmeester, die ons met goede raad en geduld terzijde heeft gestaan bij het verrichten van deze studies.

Delft, februari 1987

M. Hauer

DEEL 2 : LANDELIJKE (NATIONALE) ASPECTEN

## Inhoudsopgave deel 2 : Landelijke aspecten

pag.	
1-	2.1. : Inleiding
2-	2.2. : Watervervuiling algemeen
3-	2.3. : Wetgeving
4-	2.4. : Waterkwaliteit
4-	2.4.1. : Waterkwaliteit algemeen
5-	2.4.2. : Drinkwater en huishoudelijk water
6-	2.4.3. : Industriewater, koelwater
7-	2.4.4. : Irrigatiewater land- en tuinbouw, veeteelt
8-	2.4.5. : Waterrecreatie
8-	2.4.6. : Verversing van boezem en polderwateren
9-	2.4.7. : Visserij
9-	2.4.8. : Ontvanger voor zelfreiniging
10-	2.4.9. : Scheepvaart
11-	2.5. : De Rijn
11-	2.5.1. : De vervuiling van de Rijn
12-	2.5.2. : Het zoutgehalte van de Rijn
13-	2.5.3. : Kalamiteiten op de Rijn
15-	2.6. : De Maas
15-	2.6.1. : De vervuiling van de Maas
17-	2.6.2. : Kalamiteiten op de Maas
18-	2.6.3. : De Maas als drinkwaterleverancier
19-	2.7. : Centrale in werking
25-	2.8. : Nabeschouwing deel 2
26-	Literatuurlijst

## HOOFDSTUK 2: LANDELIJKE ASPEKTEN

### 2.1. INLEIDING

-----

In dit hoofdstuk komen de landelijke effecten van de aanleg van een waterkrachtcentrale tussen de Waal en de Maas aan de orde.

Dat de aanleg van deze centrale zulke grote effecten kan hebben, vindt zijn oorzaak in het feit dat het hier gaat om een kortsluiting van twee stroomgebieden.

Bij een "gewone" waterkrachtcentrale wordt er een rivier afgedamd waarbij het water, nadat het door de centrale gestroomd is, weer in het oorspronkelijke bed wordt geloosd. De hoeveelheid water in de rivier blijft hierbij gelijk en er zijn geen verliezen. De verdeling van het debiet in de tijd verandert dan meestal wel; de mate waarin is onder andere afhankelijk van de opslag capaciteit achter de centrale.

Alhier ontstaan problemen door het kortsluiten van twee rivieren met beiden hun eigen karakteristieken. De Rijn is vuiler dan de Maas, wat betekent dat water uit de Rijn de vervuiling over een deel van zijn traject zal doen toenemen.

Binnen de functies van dit laatste deel van de Maas kan dit beperkingen geven. Hiervoor zullen de functies van dit watergebruik nader toegelicht worden.

De Maas en een deel van het debiet van de Waal komen uiteindelijk samen in het Hollands Diep. Dit is te ver van de centrale en doordat de Waal zich dan reeds heeft gesplitst in Boven- en Beneden Merwede wordt de debiet verdeling over de verschillende takken en mondingen gewijzigd. Dit kan vergaande gevolgen hebben. Binnen het globale karakter van deze studie wordt hier niet verder op in gegaan. Het zwaartepunt zal bij de waterkwaliteit komen te liggen. Dit omdat vanuit de Maas een groot deel van Zuid-West Nederland, na zuivering weliswaar, van drinkwater wordt voorzien.

Op bijlage 1.2.1. werden reeds vele landelijke invloeden weergegeven. Verscheidene daarvan zijn in dit hoofdstuk terug te vinden, waarbij ze soms apart, ten aanzien van hun specifieke eigen eisen, en soms gebundeld, met betrekking tot hun interacties, behandeld worden.

## 2.2. WATERVERVUILING ALGEMEEN

---

Zoals gezegd in de inleiding komt het zwaartepunt bij de waterkwaliteit te liggen.

De waterkwaliteit is sterk afhankelijk van de vervuiling die zich in allerlei vormen manifesteert; er zal dan ook eerst eens algemeen naar watervervuiling gekeken worden.

Watervervuiling wordt tot op zekere hoogte maatschappelijk aanvaard. De mens heeft er al door de eeuwen heen mee te maken gehad, zeker daar waar zich grote bevolkingsconcentraties bevinden. Het betrof dan hoofdzakelijk de organische, bacteriologische en natuurlijke vervuiling. Heden ten dage komt daar ook een sterke anorganische vervuiling bij en soms zelfs een radiologische.

De vervuiling uitte zich vroeger veelal in epidemieën. Het drinkwater dat aan het oppervlaktewater onttrokken werd, werd niet gezuiverd, wat eigenlijk wel nodig was, omdat het oppervlaktewater tevens als riool dienst deed.

Tot het eind van de 19<sup>e</sup> eeuw konden zo in West Europa de nodige epidemieën hun vernietigende werk doen. Denk hierbij bijvoorbeeld aan de cholera-epidemie in Hamburg in 1892, waarbij ± 7600 doden vielen.

Met de aanvang van de industriële revolutie nam de vervuiling steeds grotere vormen aan. Veel industrieën hadden water nodig bij hun productieproces, maar hadden zodoende ook steeds meer afvalwater. Door de bloei van de industrie die arbeiders nodig had, groeiden de steden, waarmee de vraag naar water in een kleingebied enorm toe nam - evenals de vervuiling van het oppervlaktewater in datzelfde gebied.

Tot de 2<sup>e</sup> Wereldoorlog leidt dit slechts tot plaatselijke problemen. Echter na de 2<sup>e</sup> Wereldoorlog, met de enorme industriële groei en de doorbraak van de petrochemische industrie, neemt de vervuiling zulke vormen aan dat er een onhoudbare situatie begint te ontstaan. In de zestiger jaren worden we dan ook op grote schaal geconfronteerd met massale vissterften, stinkende beken en rivieren, zwemverboden etc. Hierdoor groeit het besef, dat er nu toch paal en perk aan de vervuiling gesteld moet gaan worden.

De milieu-beweging wordt steeds aktiever, waardoor overheden geprikkeld worden tot het nemen van maatregelen. Er begint dan zowel nationale als internationale wetgeving te ontstaan met als doel de watervervuiling een halt toe te roepen en terug te dringen.



Lozers krijgen te maken met vergunningenstelsels waarvoor zij, om in aanmerking te komen, aan allerlei verplichtingen en/of normen moeten voldoen. Men had de vervuiling inmiddels te lang toegelaten om hem van vandaag op morgen kwijt te raken. Voordat positieve effecten zichtbaar worden gaan daar jaren overheen.

De bouw van zuiveringsinstallaties kost tijd en geld, zodat hiervoor een lange overgangperiode nodig is. Nu, in de tachtiger jaren, beginnen zich de positieve effecten van deze wetgeving op kleine schaal af te tekenen. Op allerlei plaatsen is de vervuiling afgenomen of tot staan gebracht. Nederland als deltaland zit aan het einde van vele waterlopen, en is als zodanig voor een (groot) deel van de vervuilingsbestrijding afhankelijk van het buitenland.

Denk hierbij bijvoorbeeld aan de Franse Kalimijnen, met hun zoutlozingen welke hun invloed hebben in de tuinbouwgebieden van Z.W.-Nederland.

### 2.3. WETGEVING

-----

In Nederland kennen we de Wet Verontreiniging Oppervlaktewater en op internationaal niveau hebben we te maken met het Europees Handvest voor het Water van de Raad van Europa.

In dit handvest wordt sterk aangedrongen op een actieve bestrijding van de watervervuiling. De Nederlandse wet beoogt regelend te zijn door middel van een vergunningen-stelsel, zoals vermeld in art. 1.1 :

*"Het is verboden zonder vergunning met behulp van een daarvoor bestemd werk afvalstoffen, verontreinigde of schadelijke stoffen, in welke vorm dan ook te brengen in het oppervlaktewater"*

Aan deze vergunningen kunnen volgens art. 1.5 tevens voorschriften verbonden worden. Te denken valt hier onder andere aan lozingsnormen t.a.v. concentraties van stoffen of het aangeven van toegestane lozingsperioden, het toepassen van een bepaald type zuivering etc.

Ook voor onze waterkrachtcentrale tussen de Waal en de Maas is deze wet van belang.

Art. 2.2. zegt:

*"Indien uit enig oppervlaktewater verontreinigd of schadelijk water in een ander oppervlaktewater wordt geloosd, hetzij op natuurlijke wijze, hetzij op kunstmatige wijze kan het met betrekking tot het ontvangende water, .....het bevoegde gezag ..... een verklaring van ongenoegzaamheid uitreiken"*

Dit betekent dat het te lozen water eventueel eerst genoegzaam verbeterd dient te worden, voordat het geloosd mag worden. Indien aan de centrale een zuiveringsinstallatie gekoppeld zou moeten worden, dan is het duidelijk dat dit nogal problematisch zal zijn. Bovendien zal dit de rentabiliteit van de centrale sterk aan kunnen tasten.

Een andere mogelijkheid is dat er aan het te lozen debiet beperkingen worden gesteld op grond van de kwaliteitseisen. Ook dit zal de rentabiliteit geen goed doen.

N.B. Voor de volledige wetstekst van de Wet Verontreiniging Oppervlaktewater: zie bijlage 2.3.1.

Voor het Europees Handvest van het Water: zie bijlage 2.3.2.

## 2.4. WATERKWALITEIT

### 2.4.1. Waterkwaliteit Algemeen

Aan de kwaliteit van het water worden verschillende eisen gesteld. Deze eisen zijn mede afhankelijk van de gebruiksvorm. Dit wil echter niet zeggen, dat aan water dat geen gebruiksvorm kent, geen eisen gesteld hoeven te worden.

Enkele gebruiksvormen zijn:

- Drinkwater en huishoudelijk gebruik (par. 2.4.2.)
- Industriewater, koelwater (par. 2.4.3.)
- Irrigatie-water land- en tuinbouw, veeteelt (par. 2.4.4.)
- Waterrecreatie (par. 2.4.5.)
- Verversing boezem- en polderwater (par. 2.4.6.)
- Visserij (par. 2.4.7.)
- Ontvanger voor zelfreiniging (open riool) (par. 2.4.8.)
- Scheepvaart (par. 2.4.9.)

Deze gebruiksvormen zullen verderop afzonderlijk nog nader worden toegelicht.

Daarbij moet wel bedacht worden dat het water niet slechts voor één van deze doeleinden gebruikt hoeft te worden; er zijn vele combinaties mogelijk.

Water dat bijvoorbeeld voor de visserij gebruikt wordt, kan ook als scheepvaartweg en irrigatiewater dienen.

Hoe scherp de kwaliteitseisen voor de afzonderlijke doelen gesteld worden is mede afhankelijk van de financiële en technische mogelijkheden die er zijn, om uiteindelijk ook aan die eisen te kunnen voldoen.

Dit betekent dat overal de gestelde eisen anders zullen zijn, mede gezien in het licht van de prioriteiten die gesteld worden aan de verschillende gebruiksvormen. De eisen die gesteld worden moeten natuurlijk wel reëel zijn. Zij zullen veelal bestaan uit het aangeven van boven- en ondergrenzen van stofconcentraties. De ondergrens is hierbij veelal een natuurlijk gegeven. Indien het water van een rivier van nature  $25 \text{ mg Cl}^-/\text{l}$  bevat, dan heeft het geen zin om de eis te stellen, dat bij lozing het  $\text{Cl}^-$ -gehalte lager moet zijn dan  $25 \text{ mg/l}$ .

Voor drinkwater en industriewater kan die eis echter wel lager zijn dan de eventueel van nature aanwezige concentratie. Bij het stellen van de eisen speelt het financiële element vaak een grote rol; zuivering is duur.

Ter illustratie: in de jaren 1985-1987 zal er door de verschillende overheden minimaal 2 miljard geïnvesteerd worden in de zuivering van het oppervlaktewater. De "rijke" landen kunnen zich deze investeringen getroosten. Voor de "arme" landen is dit veelal een stuk moeilijker. Zij zullen dan ook geneigd zijn, om hogere bovengrenzen te accepteren om te voorkomen dat de door hun te produceren produkten te duur worden, waarmee hun economische positie nog moeilijker wordt.

Dit doet vrezen voor de toekomst van het milieu in bepaalde derde wereld-landen.

#### 2.4.2. Drinkwater en huishoudelijk water

Met deze gebruiksvorm hebben we allemaal direkt te maken. In Nederland kennen we geen gescheiden waterleidingsstelsel voor drinkwater en huishoudelijk water.

Hierdoor zijn eisen ontstaan die niet voor beide doeleinden van nut hoeven te zijn. Algemeen kan gesteld worden dat drinkwater onschadelijk moet zijn voor de gezondheid, aangenaam in het gebruik en onschadelijk voor leidingen en huishoudelijke apparaten.

Noch het grondwater, noch het oppervlaktewater voldoet, op een enkele uitzondering na, aan deze eisen.

In het drinkwater mogen binnen bepaalde grenzen bepaalde stoffen voorkomen, zonder dat zij afbreuk doen aan de kwaliteit. Zie voor die grenzen van hygiënische betrouwbaarheid, chemische giftigheid, radiologische giftigheid en andere ongewenste stoffen in het drinkwater de tabellen in bijlage 2.4.2.1.

Het aan de grond of aan open water onttrokken water zal zodanig gezuiverd moeten worden, dat het binnen de hierin gestelde grenzen komt. Hoe slechter nu de kwaliteit van het "ruwe" water, hoe meer zuivering nodig zal zijn en hoe meer kosten dit met zich mee brengt.

Daar water een primaire levensbehoefte is, is het van belang dat de zuiveringskosten niet de pan uit rijzen. De Nederlandse huishoudens verbruikten in 1980  $\pm$  600 miljoen  $m^3$  water, ofwel  $\pm$  115 liter per persoon per dag.

Tellen we hier het industrieel water bij dat via de drinkwatermaatschappijen geleverd wordt, dan komen we op 1050 miljoen  $m^3$  water per jaar.

Indien nu de zuiveringskosten met  $f$  0,10 per  $m^3$  zouden stijgen, betekent dit dat er 105 miljoen gulden extra op tafel moet komen.

#### 2.4.3. Industriewater, Koelwater

Vele industrieën hebben water nodig bij hun produktieproces. De bier- en frisdrankenindustrie zijn, evenals de papierindustrie, grote watergebruikers. Voor elk proces worden eigen kwaliteitseisen gesteld. Deze kwaliteitseisen kunnen zeer verschillend zijn en variëren dan ook van "kwaliteit is onbelangrijk" tot "veel beter dan drinkwater". Voor bepaalde produktieprocessen zijn bepaalde stoffen in het water taboe. Hierdoor zal, indien men drinkwater afneemt, dit nog nagezuiverd moeten worden.

Afhankelijk van de benodigde hoeveelheid worden zelfs wel aparte industriewaterleidingen aangelegd, als het drinkwaterleidingbedrijf de gewenste kwaliteit kan en wil leveren.

Door de gevariëerdheid aan eisen voorziet de industrie ook wel in z'n eigen watervoorziening. Zij wint dan water uit de grond of uit open water, waarna zij zelf de zuivering ter hand neemt.

Voor koelwater doet de chemische kwaliteit niet altijd terzake; er mogen alleen geen grove delen in zitten die verstoppingen van het koelsysteem met zich mee kunnen brengen. De temperatuur bij inname is wel van belang, evenals de beschikbare hoeveelheid. Tussen de temperatuur en de hoeveelheid bestaat een verband. Hoe minder het open water door lozing van koelwater opgewarmd mag worden, hoe meer water nodig is en omgekeerd. Meestal is deze situatie niet direkt te bewerkstelligen en zijn dan koeltorens en/of koelmeren noodzakelijk.

#### 2.4.4. Irrigatiewater land- en tuinbouw, veeteelt

Deze drie agrarische sectoren stellen elk hun eigen eisen aan het water. Voor de landbouw gaat het vooral om irrigatiewater in droge perioden. Er hoeft dan slechts voldoende water aanwezig te zijn van redelijke kwaliteit. In de tuinbouw, en dan hoofdzakelijk in de glastuinbouw, moet er dagelijks geïrrigeerd worden. Dit betekent voor de glastuinbouw dat er zo min mogelijk zouten in aanwezig moeten zijn, omdat de grond die gebruikt wordt niet door regenwater schoongespoeld kan worden en de gewassen die in de kassen geteeld worden veelal zeer zoutgevoelig zijn. Reden waarom de tuinders in het Westland zo ageren tegen de lozingen van de Franse kali-mijnen in de Rijn. Dit is namelijk één van de redenen van het hoge zoutgehalte in hun irrigatiewater.

Voor de veeteelt is het zoutgehalte van het water veel minder van belang. Het mag gerust een stuk hoger zijn dan in het drinkwater - het totale zoutgehalte mag zelfs oplopen tot max. 5000 g/m<sup>3</sup>. 's-Zomers drinkt het vee veelal uit sloten en poelen, in de winter op stal krijgen ze, als de stal is aangesloten op de waterleiding, gewoon drinkwater.

N.B. Zie bijlage 2.4.4.1. voor kwaliteitseisen voor irrigatiewater  
& kwaliteitseisen voor veedrenking.

#### 2.4.5. Waterrecreatie

De gewenste waterkwaliteit opdat het water geschikt is voor recreatie is afhankelijk van de recreatievorm. Recreëren op of aan het water is veelal verbonden met zwemmen. Het zwemmen wordt hiermee de maatgevende recreatievorm. Recreatiewater moet dus als zwemwater gekwalificeerd kunnen worden. Als zodanig moet het dus een kwaliteit hebben die de gezondheid niet aantast. Bovendien moeten het aanblik en de geur van het water niet afstotend zijn, daar dit de recreatievreugde danig zal bederven. Getuige de elke zomer gepubliceerde gegevens over de Nederlandse recreatiewateren, is de kwaliteit over het algemeen niet om over naar huis te schrijven. De kwaliteitseisen voor openbaar recreatiewater staan vermeld in bijlage 2.4.5.1., waarbij wel een onderscheid wordt gemaakt tussen zwem- en vaar-recreatie.

#### 2.4.6. Verversing van boezem- en polderwateren

In het westen en noorden van ons land dringt op verschillende manieren zout water binnen.

Bij open mondingen als de Nieuwe Waterweg in de vorm van een zouttong, bij zeesluizen als in IJmuiden tijdens het schutten en als kwel in de polders. Indien hier niets aan gedaan zou worden, dan zouden vele binnenwateren brak of zelfs zout kunnen worden. Daarmee is dit water niet erg bruikbaar meer, vooral niet als irrigatiewater of als spoelwater voor de grond. Het zal dan ook geregeld ververst dienen te worden. Het is dan wel zaak dat het water waarmee ververst wordt van een betere kwaliteit is dan het aanwezige water. Vooral in droge perioden is dit belangrijk, daar de landbouw dan juist veel water ter irrigatie nodig heeft. Door de lage waterstanden krijgt dan juist de zoute kwel een extra kans om op te stijgen. De glastuinbouw heeft het hele jaar zoet water nodig. Reden ook waarom tuinders meer en meer zelf buffervoorraden van zoetwater aanleggen. Deze worden veelal gevuld met regenwater dat door het kasoppervlak is opgevangen en vervolgens daarheen geleid is.

#### 2.4.7. Visserij

Onder visserij wordt zowel de hengelsport als de beroepsvisserij verstaan. Om te kunnen vissen zal het water geschikt moeten zijn als leefmilieu voor vis. Het zal moeten voldoen aan de in bijlage 2.4.7.1. gestelde normen. Belangrijk is hierbij het zuurstofgehalte van het water dat voldoende moet zijn, overdadige algengroei kan dit zuurstofgehalte zodanig naar beneden trekken dat er grote vissterften optreden. Dit heeft zich al meer dan eens gemanifesteerd in de zomermaanden. Bovendien zal het water niet toxisch voor vis mogen zijn, wat ook vissterfte kan veroorzaken. Wat vaker geschiedt is dat het tot misvormingen leidt, zeker als deze stoffen ook nog eens carcinogeen zijn.

De vis die door de beroepsvisserij gevangen wordt, moet geschikt zijn voor consumptie. Deze vis mag niet slecht van smaak zijn en niet teveel schadelijke stoffen in zich hebben; bovendien mag de vis geen lichamelijke afwijkingen vertonen. De achteruitgang van de beroepsvisserij op de binnenwateren is dan ook hoofdzakelijk toe te schrijven aan de vervuiling van deze wateren.

Voor de schelp- en schaaldier-culturen is het bovendien van belang dat het water bacteriologisch aan de eisen voldoet. Schaal- en schelpdieren concentreren veelal virussen en bacteriën in zich; vaak worden zij rauw gegeten, zodat het risico van het overbrengen van ziekten vrij groot is.

Het gehalte aan coli-bacteriën in het water moet dan ook beperkt blijven tot  $0,5 \cdot 10^6/m^3$ , met incidentele waarden tot  $2 \cdot 10^6/m^3$ .

#### 2.4.8. Ontvanger voor zelfreiniging

Al sinds mensenheugenis worden afvalstoffen en afvalwater op het oppervlaktewater geloosd. Dit was vroeger nooit zo'n probleem. De toegevoegde hoeveelheden waren veelal zodanig klein dat dit gemakkelijk door het zelfreinigende vermogen van het water opgevangen kon worden. Bij "grote" bevolkingsconcentraties bestonden de problemen echter wel, maar deze lagen zo ver van elkaar, dat de ene bevolkingsconcentratie de andere niet of nauwelijks bezwaarde. De zelfreiniging van het oppervlaktewater geschiedt zowel op biologische, als op chemische wijze.

Biologisch geschiedt het door allerlei organismen die zich in het water bevinden. Doordat er bepaalde stoffen meer in het water terechtkomen ten gevolge van lozingen etc. kunnen bijvoorbeeld algen als gevolg van een hoog fosfaatgehalte zodanig gaan overwoekeren, dat ze 's-nachts zoveel zuurstof

uit het water onttrekken, dat er te weinig zuurstof achterblijft. Dit kan o.a. een grote vissterfte tot gevolg hebben.

Chemische zelfreiniging geschiedt veelal door het aangaan van een reactie met zuurstof. Bij beide processen speelt zuurstof dus een belangrijke rol. Dit zal dan ook op voldoende wijze moeten kunnen optreden.

Hierbij is stromend water in het voordeel in vergelijking met stilstaand water.

Stilstaande binnenwateren zullen dan ook indien mogelijk doorgespoeld moeten worden.

Deze twee zelfreinigingsprocessen kunnen echter niet alles. Een belangrijke factor is tijd. Ze gaan slechts langzaam. Bovendien kunnen ze ook niet alle stoffen afbreken - denk bijvoorbeeld aan de PCB's.

Bij de huidige vervuilingsgraad van vele wateren heeft de zelfreiniging dan ook nog slechts een geringe invloed, maar alle beetjes helpen.

#### 2.4.9. Scheepvaart

Voor de scheepvaart doet de specifieke kwaliteit van het water er niet zo toe, op voorwaarde dat de in het water aanwezige stoffen de scheepshuid niet extra aantasten. Meestal zal dit niet direkt het geval zijn. Het aanblik van het water en de afkomende lucht zal men als nadeliger ervaren. Varen in de stank doe je niet voor je plezier. Grote drijvende delen of grote delen op de bodem als boomstammen, autowrakken, touw en dergelijke zijn gevaarlijker.

Zij kunnen het schip direkte averij bezorgen of in het aandrijvingsmechanisme gaan zitten, met alle gevolgen van dien. De kwaliteit van het water zal echter de scheepvaart niet zo snel belemmeren. Zij maakt zich er zelf ook niet zoveel zorgen om, gezien de lozingen van bilge-olie en ander afval dat overboord gezet wordt door diezelfde scheepvaart.

Voor de scheepvaart is de hoeveelheid water, en de daarmee gepaard gaande diepgang en stroomsnelheden, van veel groter belang in verband met de bevaarbaarheid en de mogelijke beladingsgraad.

Elk schip heeft zijn eigen specifieke afmetingen en stelt als zodanig zijn eisen, om tot optimale benutting te komen.

Voor diverse scheepsafmetingen zie bijlage 2.4.9.1. De zeskaks duwstollen komen hier nog niet in voor. Of zij op bepaalde Nederlandse vaarwegen toegelaten zullen gaan worden is nog in onderzoek.



## 2.5. DE RIJN

-----

### 2.5.1. De vervuiling van de Rijn

Betreffende de vervuiling van de Rijn zullen twee zaken een nadere aandacht krijgen, namelijk het zoutgehalte en kalamiteiten.

Het zoutgehalte is namelijk zo extreem, dat dit van invloed op het mogelijke debiet door de waterkrachtcentrale kan zijn.

Kalamiteiten kunnen, indien deze veel voorkomen, voor incidentele sluitingen van de centrale zorgen.

Hier wordt nu verder ingegaan op de algemene vervuiling van de Rijn en de ontwikkeling daarvan in de tijd. Hoe de vervuiling in de jaren 1980 t/m 1983 is geweest is te zien in bijlage 2.5.1.1., waarin de maandgemiddelde gehalten voor een groot aantal stoffen in die jaren gegeven wordt.

Vergelijken we deze gehalten met de door de IAWR gestelde A normen (zie bijlage 2.5.1.2.) dan zien we dat daar niet voor alle stoffen aan voldaan wordt.

Bezien we echter de ontwikkeling van de vervuiling over een langere termijn, dan valt op dat er zich toch wel positieve ontwikkelingen voordoen. Door de sanering van vele grote lozingen van industrieën en gemeenten is er voor veel stoffen geen toename van de concentraties meer maar zelfs een afname. Het duidelijkst is dit zichtbaar bij de zware metalen die voor een groot deel een sterke afname te zien geven en zelfs onder de IAWR norm gekomen zijn (zie bijlage 2.5.1.3.).

Het is te hopen dat dit zich zo voort blijft zetten, evenals de daling van de organische vervuiling en de vervuiling met orthofosfaat dat na een zeer sterke stijging in het begin van de zeventiger jaren van 0,4 tot 1,3 mg/l nu weer een daling vertoont naar 1,0 mg/l (zie bijlage 2.5.1.4.). De zoutbelasting, die erg hoog is, blijkt zich te stabiliseren rond de 350 kg/s (hier wordt nog nader op ingegaan in par. 2.5.2.).

Over het algemeen zou geconcludeerd kunnen worden, dat de vervuiling van de Rijn aan het afnemen is. Dat er verbeteringen zijn opgetreden vindt zijn grondslag voornamelijk in de sanering van vele grote lozingen door industrieën en gemeenten, die nu beginnen door te werken. Maar er is nog veel te doen voordat van alle stoffen gezegd kan worden dat ze aan de IAWR-A norm voldoen.

De in 1950 ingestelde Rijncommissie heeft een zwarte lijst opgesteld, waarin ± 200 stoffen genoemd worden.

Het is zaak dat deze in het Rijn-Chemie-Verdrag van 1978 worden opgenomen. Het probleem is echter, dat hierin pas eind 1983 voor slechts twee stoffen, zijnde kwik en cadmium, lozingsnormen zijn vastgesteld.

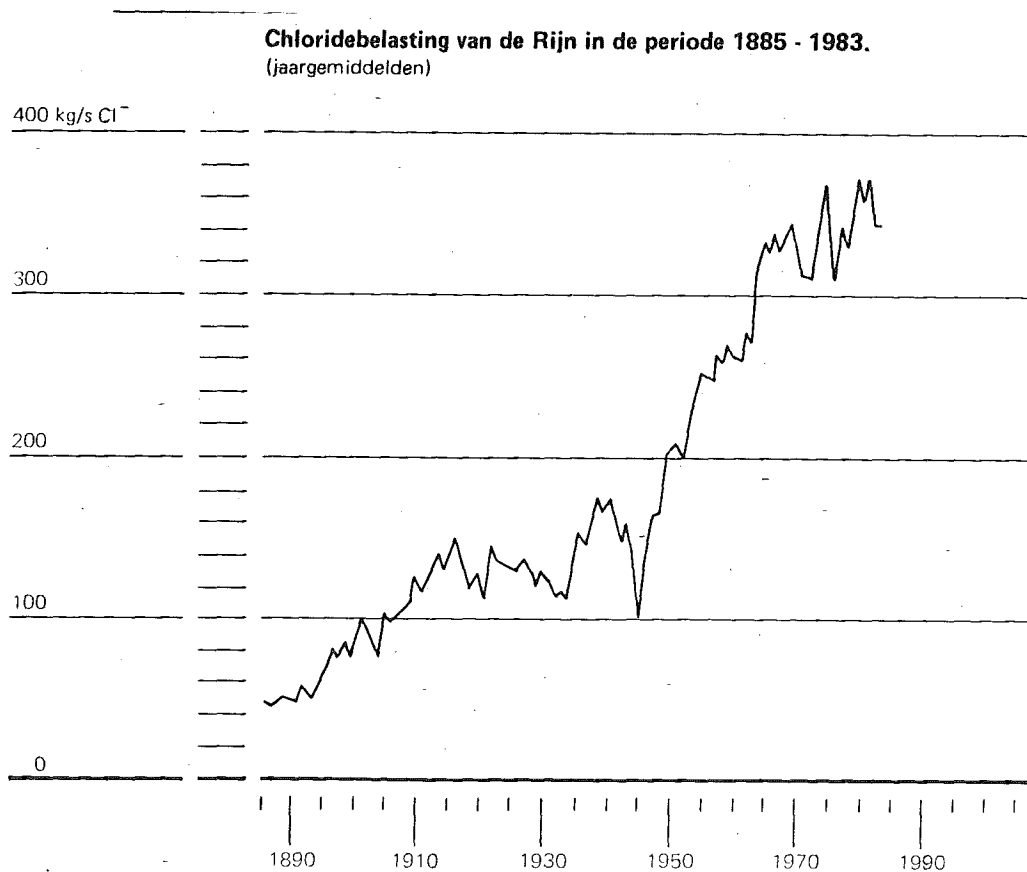
Dit vraagt dus om een krachtiger beleid van de diverse Rijn-oeverstaten die het Rijn-Chemie-Verdrag hebben ondertekend.

Een snelle oplossing voor de zoutlozingen van de Franse Kalimijnen zou hier een goede impuls aan kunnen geven.

#### 2.5.2. Het zoutgehalte van de Rijn

Het zoutgehalte van de Rijn vormt een groot probleem voor velen, zoals daar zijn drinkwaterleveranciers, tuinders etc.

Het probleem sleept zich dan ook al enige tientallen jaren voort. Zoals te zien in de onderstaande figuur ligt de zoutlast van de Rijn de laatste 10 jaar rond de 350 kg/s  $\text{Cl}^-$ .



De oorzaak van dit hoge zoutgehalte ligt voor een groot deel bij de Franse kalimijnen, welke in het totaal van zoutlozingen op de Rijn een aandeel hebben van  $\pm$  40%.

Reeds lange tijd wordt er gezocht naar oplossingen door gezamenlijk overleg tussen de Rijnsoeverstaten.

Enige oplossingen zijn: injectie in de ondergrond van de Elzas, bovengrondse opslag, opslag in oude mijngangen, produktie-vermindering en vervoer per schip naar de Noordzee. Het streven bij deze oplossingen is om onder alle omstandigheden het chloorgehalte van de Rijn uiteindelijk onder de 200 mg/l te brengen.

Dit is echter onmogelijk zonder ook de andere zoutlozers aan te pakken, zoals bijvoorbeeld de Duitse mijnen, welke grote hoeveelheden zout mijnwater op de Rijn lozen.

Door de diverse regeringen van de Rijnsoeverstaten is een begin gemaakt, door een Rijn-zout-verdrag overeen te komen. Hierin worden de Franse kalimijnen gesommeerd in een anderhalf jaar durende eerste fase, door middel van deepwell lozingen, een vermindering van lozingen te bewerkstelligen van 20 kg  $\text{Cl}^-$ /s, direkt daarop gevolgd door een fase van twee jaar, waarin een vermindering van nog eens 60 kg  $\text{Cl}^-$ /s bewerkstelligd moet worden. Dit in 1976 overeengekomen besluit is pas 7 jaar later, en wel op 7 oktober 1983, door de Franse Assemblée Nationale geratificeerd, wat echter nog niet betekent dat ook daadwerkelijk met de uitvoering gestart wordt. Hoe lang dit nog zal duren is de grote vraag, vooral als je ziet dat door de Franse Prefectuur steeds weer grootschalige lozingsvergunningen worden verstrekt. Dit ondanks de door rechters gedane uitspraken, zowel in Frankrijk als in Nederland, welke verwijzen naar het feit dat op grond van het internationaal en volkenrecht, het een staat verboden is zijn grondgebied zodanig te laten gebruiken, dat hierdoor aanzienlijke schade in het buitenland optreedt.

### 2.5.3. Kalamiteiten op de Rijn

De Rijn als levensader van Europa herbergt vele activiteiten. Hierdoor kan er ook veel gebeuren en dat er nogal eens wat gebeurt hebben we afgelopen winter (1985) nog kunnen zien, toen bij de extreem lage waterstanden, binnen 14 dagen tijd, zo'n 10 min of meer ernstige scheepsongelukken zijn gebeurd.

Echte rampen zijn het niet geweest, maar gezien de stoffen die er zoal vervoerd worden (veelal is niet eens bekend wat er vervoerd wordt), mag dit een wonder heten.

De roep om een goede ladingsregistratie is groot. Hierdoor wordt het onderzoekers van de kwaliteit van het Rijnwater ook iets gemakkelijker gemaakt om de stoffen die bij ongelukken in het water terecht komen te traceren. Bedrijven die water uit de Rijn innemen kunnen dan op het goede moment tot de eventueel benodigde actie overgaan.

In de loop van de tijd hebben zich al vele ernstige ongevallen voorgedaan, waarbij het water op zodanige wijze vergiftigd werd, dat de waterinname gestopt moest worden. Ongevallen zijn meestal snel bekend. De echte problemen zitten bij de illegale lozingen, welke eerst ontdekt moeten worden door de waterbeheerders of controleurs (veelal de waterinnemers), welke vervolgens onderling de gegevens moeten uitwisselen. Het vinden van de illegale lozer is vaak niet mogelijk en de eventuele schade is dan ook moeilijk te verhalen.

Voor een overzicht van bekende kalamiteiten over de periode 1980-1983: zie bijlage 2.5.3.1.

Soms is de kalamiteit van dien aard, dat de waterinname geheel stopgezet moet worden.

Bij de styreen vervuiling van 21 december 1980 werd tot 27 december de inname van water stopgezet, en werden tevens de sluizen van op de Rijn uitkomende kanalen voor 2 dagen gesloten. In 1982 werd de waterinname maar liefst voor 11 dagen gestopt. De N.V. "Watertransport maatschappij Kennemerland" ontdekte een hoge concentratie chloornitrobenzeen als eerste, terwijl deze stof n.b. naar later bleek ergens op de Main geloosd moest zijn.

Dit geeft wel aan hoe moeilijk het kan zijn bepaalde stoffen tijdig te traceren.

Ook in 1983 werd voor enkele dagen de waterinname onderbroken in verband met een lozing door BASF van chloorisobutylether.

Het zal duidelijk zijn dat een kalamiteit tot gevolg kan hebben dat de centrale stilgelegd moet worden, omdat anders de waterwinning vanuit de Maas onmogelijk zou kunnen worden gedurende een zekere periode.

## 2.6. DE MAAS

### 2.6.1. De vervuiling van de Maas

De vervuiling van de Maas staat, omdat deze rivier een grote drinkwaterleverancier is, geregeld in de belangstelling van allerlei organisaties. Sommigen van hun verrichten kwaliteitsonderzoek en komen dan tot eigen conclusies. Dit leidt nogal eens tot strijdigheid in de conclusies van de verschillende onderzoeken. Een voorbeeld hiervan is het tumult dat pas nog ontstond omtrent de conclusies van het onderzoek uitgevoerd door de Stichting Rijnwater. Zij bestreed voor een deel de conclusies van de RIWA en stelde de vervuiling van de Maas veel ernstiger voor en als niet meer geschikt voor drinkwaterwinning. Dit is inmiddels weerlegd.

De vervuiling van de Maas is echter wel zorgwekkend gezien het belang van deze rivier voor de drinkwatervoorziening.

Het gehalte aan zware metalen is met name vanaf het Luikse industriegebied ernstig te noemen. Als bij hoge waterstanden de uiterwaarden onderlopen, komt het na afloop van zo'n hoogwaterperiode geregeld voor (in hoofdzaak in het zuiden van Limburg) dat vee, dat vervolgens in die uiterwaarden komt te grazen, vergiftigingsverschijnselen vertoont. De oorzaak ligt dan met name bij lood, zink en cadmium, dat zich aan slib gehecht in de uiterwaarden afzet. Zware metalen zijn echter niet de enige oorzaak.

Het oliegehalte in de Maas is ook problematisch. Olie wordt geloosd door de industrie, via het huishoudelijk afvalwater en als bilge-olie door de scheepvaart. Olie geeft voor de drinkwater-bereiding grote moeilijkheden in verband met de smaak en de reuk, evenals door de PAK's (Polyaromatische Koolwaterstoffen) welke vrijkomen bij de onvolledige verbranding van organisch materiaal. PAK's worden met name geloosd door de cokesfabrieken in de Luikse regio. Aldaar worden wel gehalten gemeten van 680 ng/l terwijl de IAWR-norm 200 ng/l is.

Verschillende PAK's hebben bovendien een mutageen karakter, wat inhoudt dat ze erfelijk materiaal aan kunnen tasten.

Bacteriologisch gezien is de Maas van begin tot eind sterk vervuild. Dit vindt zijn oorzaak vooral in de zeer geringe zuivering van het huishoudelijk afvalwater, zowel in Frankrijk als in België. Het afvalwater van bijvoorbeeld de stad Luik wordt in het geheel niet gezuiverd en verder staan er in België slechts enkele zeer kleine zuiveringsinstallaties (2500 i.e.).

Bovendien kent de Maas een aantal zijrivieren en beken. Deze zijn vaak uitermate smerig. Neem bijvoorbeeld de Kogbeek dit is eigenlijk een anaëroob open riool, met bovendien een zoutgehalte tot boven de 700 mg/l. Zo wordt het zoutgehalte van de Maas bepaald door de lozingen op de zijrivieren en met name de Sambre en de Roer, welke laatste een gehalte kent van  $\pm 150$  mg/l NaCl.

Dit is in hoofdzaak uit de mijnen afkomstig zout water. Bovendien bevat dit water een hoog gehalte aan PCB's (PolyChloorBifenylen). Zij zijn afkomstig uit de hydraulische apparatuur die gebruikt wordt in de mijnen en die nogal eens wil bezwijken. Het gevolg is, dat het inmiddels verboden is om paling uit de Maas te eten vanwege het hoge PCB gehalte. Het is namelijk een nauwelijks afbreekbare stof die zich in het lichaam accumuleert. Een andere geregeld in het oog springende vervuiling is die van cyanide, dat geregeld gepaard gaat met grote vissterften. Dit wordt hoofdzakelijk geloosd door de staalindustrie in de buurt van Luik. Gelukkig wordt cyanide snel afgebroken in water en is het voor de Nederlandse drinkwatervoorziening niet echt gevaarlijk, omdat de concentratie bij de inname-punten dan al zodanig gereduceerd is dat deze onder de IAWR-norm komt.

Het is wel duidelijk uit het voorgaande, dat het overgrote deel van de vervuiling van het Maaswater z'n oorsprong vindt in de Luikse regio. Het is zaak dat daar een flinke sanering van lozingen plaats gaat vinden. Dit is belangrijk omdat de Maas, wat een regenrivier is, een sterk flucturerende afvoer heeft en de lozingen ongecontroleerd plaatsvinden. Hierdoor is er geen sprake van een regelmatige en voorspelbare vervuilingsgraad waarop de drinkwaterbedrijven in zouden kunnen spelen.

Een ander punt dat nog enige aandacht vraagt zijn de kerncentrales, die in Frankrijk bij Chooz en in België bij Tihange gebouwd zijn of nog gepland staan. Zij brengen Tritium in het water via het koelwatersysteem. Tritium is een zwak radioactief waterstof isotoop, dat ook in regenwater voorkomt. Bij Heusden is momenteel het Tritium-gehalte  $\pm 20$  Bq/l, terwijl de IAWR-norm op 200 Bq/l ligt. Wanneer alle geplande centrales (8) uitgevoerd zijn, zal dit naar verwachting op lopen tot 100 Bq/l. Tritium is echter niet de enige radio-actieve stof die geloosd wordt. Ook Mangaan 54, Cesium 134, Cesium 137, Cobalt 60 en Jodium 131 zitten daarbij. De hoeveelheden daarvan zijn echter zo klein, en eenvoudig via absorptie te verwijderen, dat dit geen problemen oplevert. Er zullen pas echt problemen kunnen ontstaan als er met één van de centrales iets echt mis gaat. Er zullen dus voldoende veiligheidsmaatregelen genomen moeten worden om het drinkwater van miljoenen niet in gevaar te brengen.

Op de Maas als drinkwaterleverancier zal in par. 2.6.3. nader worden ingegaan, maar eerst zullen de kalamiteiten op de Maas nader bekeken worden.

#### 2.6.2. Kalamiteiten op de Maas

Op de Maas vinden evenals op de Rijn de nodige kalamiteiten plaats. Het merendeel betreft hier echter lozingen zoals te zien is in bijlage 2.6.2.1. en vindt zijn oorsprong in de Luikse regio, alwaar zich veel zware industrie bevindt - in hoofdzaak metaalindustrie. Deze metaalindustrie loost veel cyanide tezamen met koper, zink en ijzer bij het verschonen van de elektrolysebaden. Dit gebeurt meestal in het weekend. Het openbaart zich vaak door de optredende vissterfte. Vooral het cyanide is hiervoor verantwoordelijk, maar gelukkig is dit niet erg consistent in water en wordt het vrij snel afgebroken, zodat we er in Nederland niet altijd meer iets van merken.

Een ander probleem vormen de vele afvalstorten die zich langs de Maas bevinden. Veelal zijn zij op illegale wijze voorzien van chemisch afval. Bij hoge waterstanden komen deze storten nogal eens onder water, waarna de gifstoffen de kans krijgen in het water te komen.

Daar deze afvalstorten alleen bij hoog water en dus bij grote debieten in het water liggen brengt dit niet altijd een concentratie-verhoging met zich mee - wel een verhoging van de totale last. Het is echter niet denkbeeldig dat dit in de toekomst nog eens tot problemen kan leiden als vele van deze storten niet verwijderd worden.

Een ander gevaar voor de Maas is de toename van het aantal kerncentrales langs zijn stroombed, met name in Frankrijk, alwaar er nog een aantal in aanbouw zijn ofwel gepland staan. Tot nog toe heeft dit nog niet tot ernstige problemen geleid. Eenmaal bijna, namelijk op 5 november 1982, toen er koelwater uit de kerncentrale van Tihange ontsnapte. Dit kon echter in een spaarbekken opgevangen worden, om vervolgens gezuiverd te worden. Er zullen voldoende beveiligingsmaatregelen genomen moeten worden om ernstiger ongelukken te voorkomen.

Kalamiteiten op de Maas zijn natuurlijk wel hinderlijk voor de waterwinning vanuit de Maas; voor de waterkrachtcentrale echter zullen kalamiteiten op de Maas geen probleem zijn. Door de lozing van de waterkrachtcentrale op de Maas wordt het Maasdebiet vergroot. Er treedt dan menging op met een concentratie-verlaging als gevolg, wat voor de waterwinning juist gunstig kan zijn.

### 2.6.3. De Maas als drinkwaterleverancier

Uit de Maas wordt het drinkwater onttrokken voor 5 à 6 miljoen mensen in Nederland en België. Zij wonen in de agglomeraties van Rotterdam, Den Haag, Brussel en Antwerpen. Om aan de drinkwaterbehoefte van deze mensen te kunnen blijven voldoen, worden op veel plaatsen spaarbekkens aangelegd, om perioden van slechte kwaliteit Maaswater en droogte te overbruggen. De bekendste spaarbekkens zijn die in de Biesbosch, met een totale nuttige inhoud van  $78,5 \cdot 10^6 \text{ m}^3$ , wat nog uitgebreid kan worden met  $45 \cdot 10^6 \text{ m}^3$ . In de huidige situatie is er een leveringsvermogen van  $250 \cdot 10^6 \text{ m}^3/\text{jaar}$ . Hiervoor was een investering nodig van 431 miljoen, exclusief rente. Het inname punt van Maaswater bevindt zich bij Keizersveer. Dit is benedenstrooms van de eventueel in te richten waterkrachtcentrale. Het is echter niet het enige inname punt benedenstrooms. Bij Heusden bevindt zich het innamepunt van de Haagse Duinwaterleiding. Dit waterleidingbedrijf had eerst zijn innamepunt bij Vreeswijk, maar met de toenemende vervuiling van de Rijn is deze uiteindelijk verlegd naar de Maas bij Heusden. Hierdoor kan een betere kwaliteit drinkwater geleverd worden, hoewel deze door infiltratie in duinen al niet zo slecht was. Voor Rotterdam was de overgang van Rijn op Maaswater helemaal een grote vooruitgang. Wie herinnert zich niet de verhalen over de vieze smaak die het drinkwater voorheen had; men had niet de mogelijkheid om het water eerst te infiltreren in duinen of anderssoortige infiltratiegebieden. De Biesbosch spaarbekkens brachten uitkomst. Het zal duidelijk zijn dat vanwege de grote drinkwaterbelangen de kwaliteit van het Maaswater niet zodanig achteruit mag gaan dat dit invloed heeft op de drinkwaterkwaliteit, of dat dit grote kosten met zich mee gaat brengen in het zuiveringsvlak.



## 2.7. CENTRALE IN WERKING

---

Op de momenten dat de centrale in werking is, stroomt er een aanzienlijke hoeveelheid water van de Waal in de Maas. Dit zal zijn gevolgen voor de kwaliteit van het Maaswater hebben. Bij de alhier uit te voeren berekening, aan de hand van cijfers over de jaren 1980, 1981, 1982 en 1983 (zie bijlage 2.5.1.1. en 2.6.1.1.), zal uitgaande van vier randvoorwaarden, bekeken worden hoe lang een eventuele centrale in werking zou zijn geweest gedurende die jaren. De gehanteerde randvoorwaarden welke zeer hoogst waarschijnlijk de belangrijkste (maar niet de enige) zullen zijn, zijn:

- 1) Een maximum Chloorgehalte in de Maas
- 2) Een minimum Waaldebiet
- 3) Een maximum toelaatbaar Maasdebiet
- 4) Een minimum debiet door de Centrale.

Ad 1) Het maximum Chloorgehalte voor in te nemen water wordt door de IAWR gegeven en is gesteld op 100 mg/l (zie bijlage 2.7.1.1.). Bij de berekening wordt er vanuit gegaan dat er volledige menging is opgetreden, wat de situatie ten aanzien van de waterinname-punten stroomafwaarts gunstig beïnvloedt, daar deze aan dezelfde oever liggen als de uitlaat van de centrale.

Zij zullen dan ook een hogere concentratie meten dan door berekening alhier gegeven wordt.

Ter berekening van het nieuwe Chloorgehalte is gebruik gemaakt van de volgende formule:

$$c = \frac{Q_c \cdot c_r + Q_m \cdot c_m}{Q_c + Q_m}$$

waarin:

c	=	nieuwe chloorgehalte na lozing door centrale	mg/l
Q <sub>c</sub>	=	debiet door centrale	m <sup>3</sup> /s
Q <sub>m</sub>	=	debiet in de Maas	m <sup>3</sup> /s
c <sub>r</sub>	=	chloorgehalte van de Rijn	mg/l
c <sub>m</sub>	=	chloorgehalte van de Maas	mg/l

In eerste instantie wordt er echter gebruik gemaakt van de omgeschreven vorm om aan de hand van de IAWR-norm van 100 mg/l een mogelijk debiet door de centrale te bepalen. Dit geeft

$$Q_c = Q_m \frac{100 - c_m}{c_r - 100}$$

Ad 2) De Waal is een drukbevaren rivier. De scheepvaart stelt als zodanig de eis van voldoende diepgang. Indien dit op natuurlijke wijze niet gehaald wordt, wordt dat al morrend aanvaard; echter wanneer dit op kunstmatige wijze tot problemen leidt, dan zal men van zich laten horen.

De gemiddelde Rijnvaart vraagt om een diepgang van  $\pm 2,7$  m.

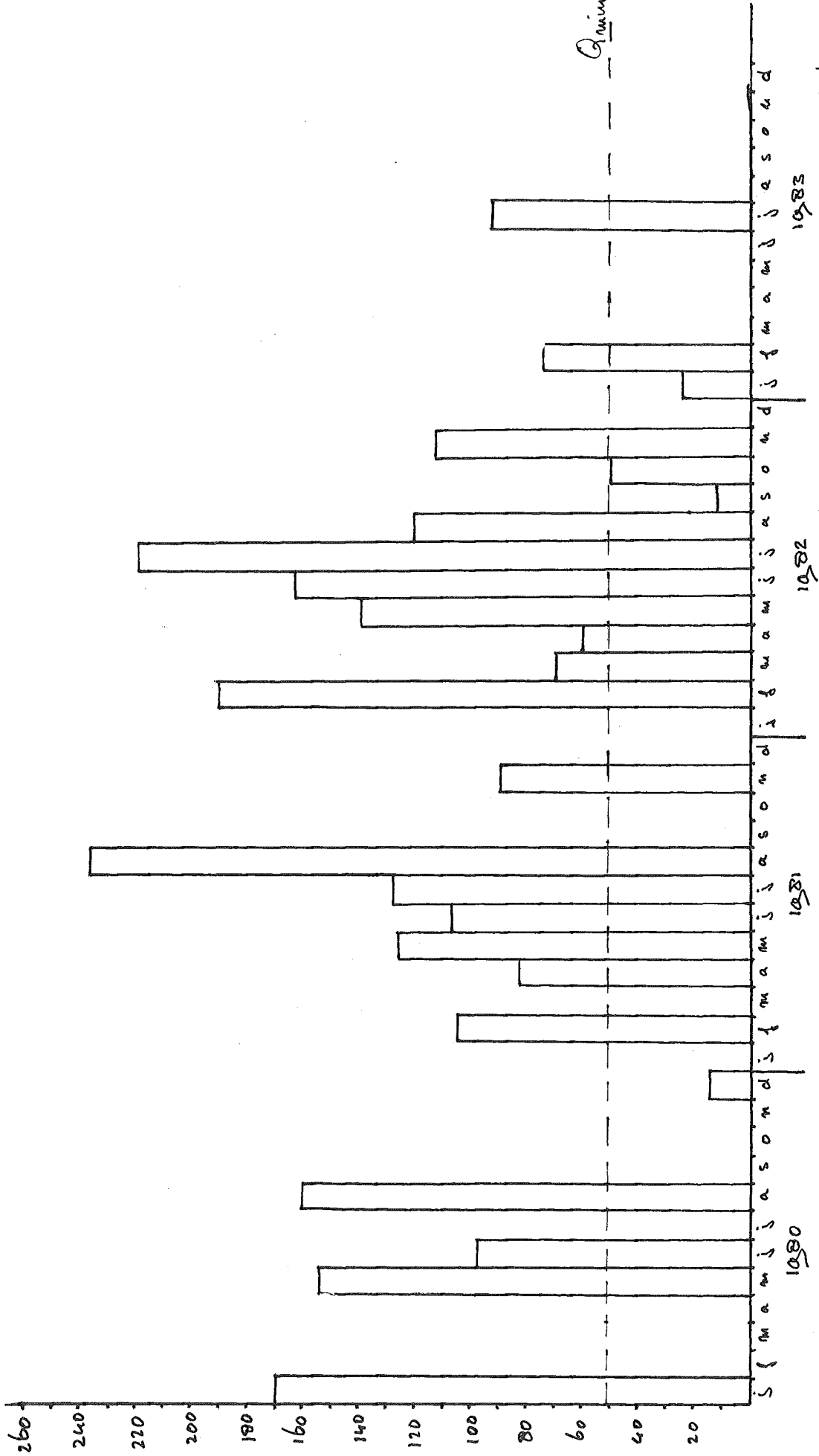
De duwvaart zal hierbij reeds met geringer ladingsgraad moeten gaan varen, zie ook bijlage 2.4.9.1.

De diepte van 2,7 m wordt gehaald bij  $\pm 1250$  m<sup>3</sup>/s welk debiet als garantie-debiet aangehouden zal worden. Het debiet van de Waal wordt overigens op 2/3 van dat van de Rijn bij Lobith gesteld.

Ad 3) De Maas is een rivier met een beperkt afvoerend vermogen, wil hij binnen zijn oevers blijven. Oeverlanden en uiterwaarden hebben in het droge seizoen veelal een recreatieve of een agrarische functie. Om deze functies niet te verstoren zal het debiet tussen 1 april en 1 november niet boven de 400 m<sup>3</sup>/s mogen komen. Na 1 november kan het vervolgens oplopen tot 700 m<sup>3</sup>/s per 1 december, waarna het weer daalt per 1 maart.

In de figuur 2.7.1. op de volgende bladzijde, waarin de onderschrijdingslijnen gegeven zijn, is dit regiem ingetekend. In het najaar stijgt het nieuwe regiem veel eerder, wat mogelijk is omdat vele gebuiken van oeverlanden en uiterwaarden dan stilliggen. Bij daling in het voorjaar wordt de 50% lijn gevolgd, omdat oeverlanden en uiterwaarden zich dan moeten kunnen herstellen om weer in gebruik te kunnen worden genomen.

Oct <sup>1921</sup>/<sub>s</sub> ↑



Mogelijke debieten door de centrale.

fig 272

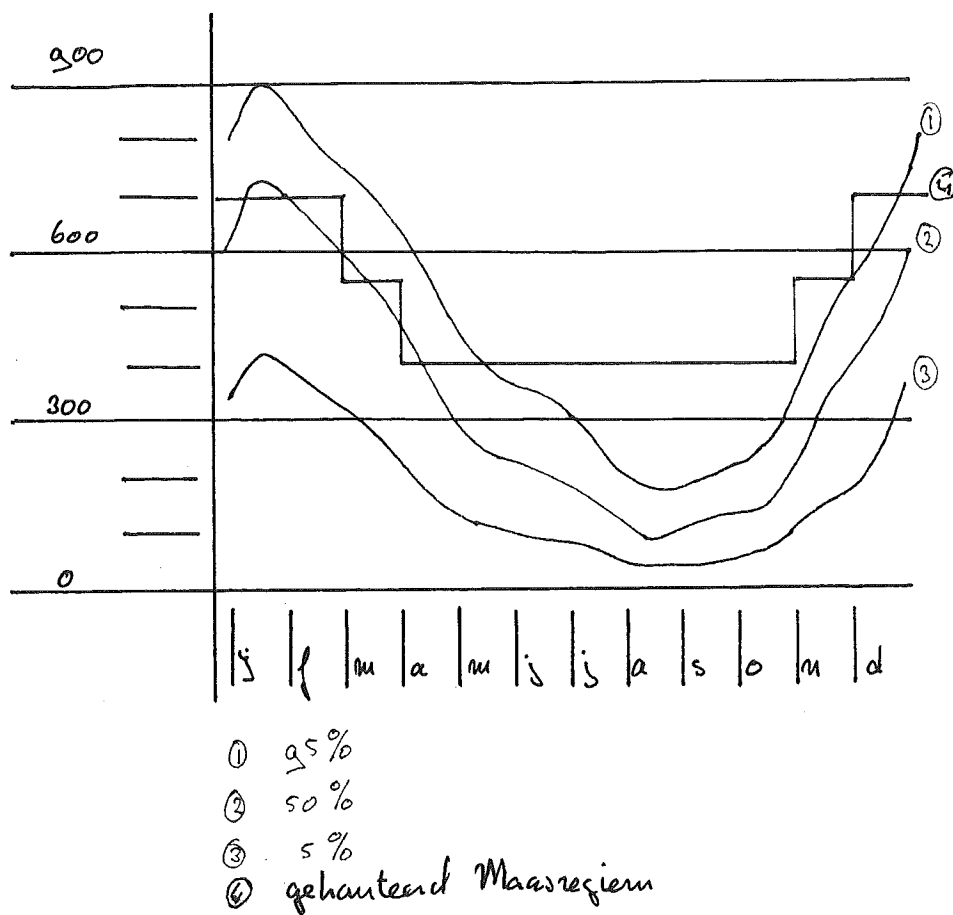


fig. 271

Ad 4) Het minimaal benodigde debiet om de turbine te kunnen laten draaien kan welgevoeglijk op  $50 \text{ m}^3/\text{s}$  gesteld worden.

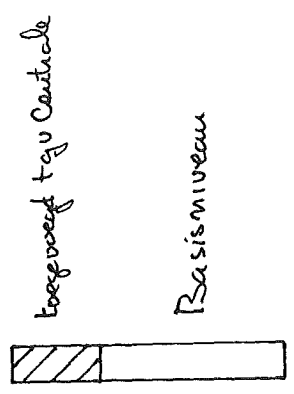
Aan de hand van deze randvoorwaarden zijn de uiteindelijk mogelijke debieten door de centrale bepaald en uitgezet in figuur 2.7.2. op de volgende bladzijde. Uit deze figuur is af te leiden dat de centrale gedurende deze vier jaar 27 maanden zou hebben stilgelegen.

De volledige berekening is te vinden in Bijlage 2.7.1.

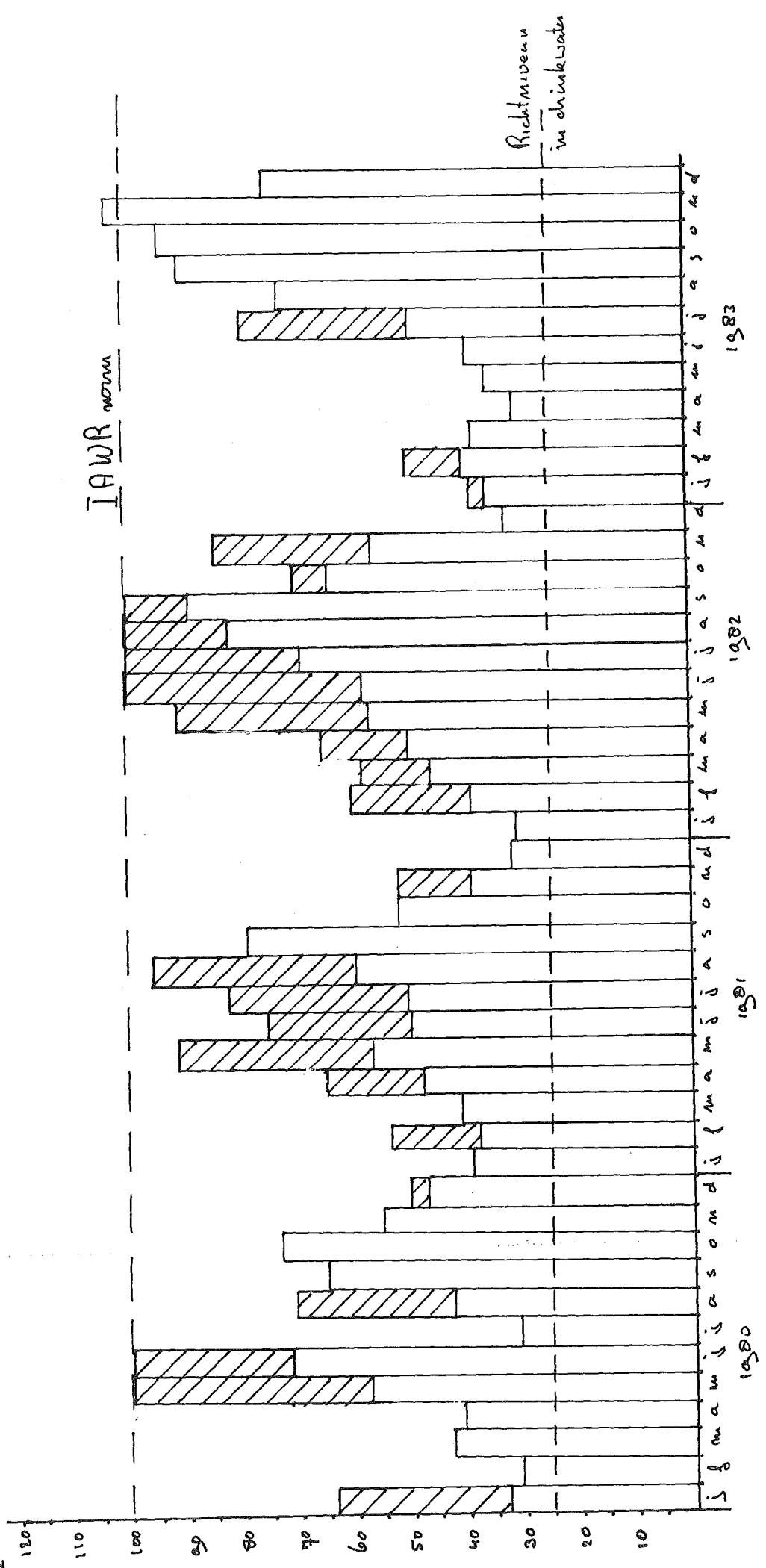
In figuur 2.7.3. is het chloorgehalte van de Maas uitgezet. Te zien is dat het chloorgehalte slechts een beperkte rol speelt in het vastleggen van het debiet. De IAWR-norm wordt namelijk slechts in 6 maanden bereikt. Het totale chloorgehalte neemt wel toe, wat extra zuiveringskosten met zich mee zal brengen - en ontzouting is een zeer kostbare aangelegenheid. Door de berekening ook voor andere stoffen uit te voeren, zullen weer andere perioden maatgevend kunnen worden voor het debiet, waardoor het debiet dat de centrale kan passeren, en de bedrijfstijd van de centrale, nog verder zullen afnemen.

Daar komen tevens de dagen bij, die de centrale gesloten moet zijn als gevolg van kalamiteiten op de Rijn of Waal. Het debiet dat door de centrale gaat zal ook nog moeten stromen, en hiervoor is een bepaald verval nodig.

Dit komt echter in een volgend hoofdstuk aan de orde.



%  
m<sup>2</sup>



Chloonghalteverloop

fig. 2.7.3.

## 2.8. NABESCHOUWING DEEL 2

Het onderzoek naar landelijke aspecten is in dit deel aan de orde geweest.

In hoofdzaak is daarbij gekeken naar vormen van watergebruik met de daarvoor aan het water te stellen eisen.

Verder is er gekeken naar de vervuiling van de Waal en de Maas.

Bij de berekening gemaakt in par. 2.7. komen ook enkele randvoorwaarden aan de orde, namelijk het minimumdebiet benodigd om de centrale te laten functioneren, de minimum benodigde scheepvaartdiepte op de Waal en een te hanteren Maasregiem.

Dit is slechts een zeer beperkte keuze uit mogelijk te hanteren randvoorwaarden. Deze begrenzen het functioneren van de centrale al zodanig, dat deze 27 van de 48 in ogenschouw genomen maanden stil komt te liggen.

Aan de gehanteerde randvoorwaarden voor het Maas-regiem is misschien nog wel wat bij te stellen.

Hier is echter niet zoveel van te verwachten, dat daardoor de bedrijfstijd sterk zal toenemen.

Als algemene conclusie aan het eind van dit deel kan dus wel gesteld worden dat beter niet tot uitvoering van de centrale kan worden overgegaan.

## L I T E R A T U U R L I J S T

- Diktaten N2n  
van Prof. Ir. L. Huisman en Prof. Ir. A. C. J. Koot
  
- Jaaroverzichten R I W A
  
  
- Ons Welzijn en de Watervervuiling  
van Ir. F. E. Samson (1970)
  
  
- Spaarbekkens in de Biesbosch  
N.V. Waterwinbedrijf Brabantse Biesbosch (1983)



DEEL 3

LOCALE HAALBAARHEID

RENTABILITEITSBESCHOUWING VAN EEN WATERKRACHTCENTRALE TE  
ST.ANDRIES OP GROND VAN ALLEEN DE DIRECTE KOSTEN

Inhoudsopgave deel 3 : Locale haalbaarheid.

	pag.
Hfst. 3.1 : Inleiding, Werkwijze.	- 1
Hfst. 3.2 : Waterkracht.	- 2
3.2.1 : Waterkracht in Nederland.	- 2
3.2.2 : Grondbegrippen van Waterkracht.	- 5
3.2.3 : Turbines.	- 7
3.2.4 : Rendement.	- 9
3.2.5 : Bouwkosten.	- 11
Hfst. 3.3 : Alternatieven.	- 20
3.3.1 : Werkmethode.	- 20
3.3.2 : Centrale zonder koppeling.	- 21
3.3.3 : Centrale met koppeling.	- 25
3.3.4 : Accumulatiemogelijkheden.	- 29
3.3.5 : Windkracht.	- 35
Hfst. 3.4 : Hydrologie.	- 37
3.4.1 : Werkmethode.	- 37
3.4.2 : Inleiding Maas en Waal.	- 38
3.4.3 : Afvoeren en waterstanden Maas en Waal.	- 39
3.4.4 : Berekende waarden voor het verval.	- 41
3.4.5 : Meetwaarden voor het verval.	- 45
3.4.6 : Vergelijking berekende en gemeten waarden.	- 48
3.4.7 : Vervalverkleining.	- 52
3.4.8 : Samenvatting hoofdstuk 3.4 .	- 80
Hfst. 3.5 : Locale haalbaarheid centrale zonder koppeling.	- 82
3.5.1 : Methodiek.	- 82
3.5.2 : Resultaten.	- 91
Hfst. 3.6 : Locale haalbaarheid centrale met koppeling.	- 94
3.6.1 : Methodiek.	- 95
3.6.2 : Resultaten.	- 102
Hfst. 3.7 : Nabeschouwing deel 3. (+ aanvullende opmerkingen)	- 106
Geraadpleegde literatuur deel 3.	- 109

HOOFDSTUK 3.1 : INLEIDING, WERKWIJZE.

HOOFDSTUK 3.2 : WATERKRACHT.

## DEEL 3 : LOCALE HAALBAARHEID.

### Hoofdstuk 3.1 : Inleiding, werkwijze.

Het begrip locale haalbaarheid kan als volgt toegelicht worden: door de energieproductie per jaar te berekenen voor de hier beschouwde alternatieven voor een waterkrachtcentrale en deze af te wegen tegen alleen de kosten die gemaakt moeten worden om die centrale te bouwen en te exploiteren ( dus niet inbegrepen zijn de kosten van indirecte invloeden van het laten stromen van een debiet van Waal naar Maas op landelijke belangen ( zie deel 1 ) ) is een prijs per geleverde KWh te berekenen. Door deze te vergelijken met berekende KWh-prijzen voor waterkrachtcentrales die beschouwd zijn in andere studies is een indruk te krijgen van de gunstige dan wel ongunstige economische haalbaarheid van de in deze studie beschouwde alternatieven voor een waterkrachtcentrale in de omgeving van Heerewaarden, nog afgezien van de invloeden van deze centrale op landelijke belangen.

De op deze wijze verkregen indruk van de locale haalbaarheid zal zeker gunstig moeten zijn om verder ,diepgaander onderzoek te rechtvaardigen, gezien het feit dat de invloeden op landelijke belangen in dit geval zeer grootschalig en voornamelijk negatief zullen zijn ( dit in tegenstelling tot centrales naast stuwen waar deze invloeden doorgaans verwaarloosbaar zijn ).

In hoofdstuk 3.2 zal eerst algemeen worden ingegaan op het begrip waterkracht in Nederland .In hoofdstuk 3.3 zullen verschillende mogelijkheden voor de winning van waterkrachtenergie en de situering van centrales in de omgeving van Heerewaarden worden beschouwd. Dit zal plaatsvinden binnen een globaal kader waarin het zwaartepunt van de aandacht zal liggen op de invloeden op de directe omgeving en de extra te maken kosten ( =de kosten naast de kosten van de turbines, het centralegebouw, hulp-apparatuur en civiele werken bij de centrale, die voor elke situering gelijk zijn ), waarbij te denken valt aan te graven kanalen, bruggen voor de kruisingen van het kanaaltracé met bestaande wegen, in- en uitlaatwerken plus eventuele stroomgeleidingswerken bij de aansluitingen van het kanaaltracé aan Waal en Maas. In dit hoofdstuk zal ook enige aandacht worden besteed aan mogelijkheden voor accumulatie en windkracht.

In hoofdstuk 3.4 zal een verkennend onderzoek worden gedaan naar het beschikbare verval te St. Andries. Aangezien hiervan geen gegevens direct beschikbaar zijn ( een overschrijdingslijn voor dit verval is nog niet

eerder in een andere studie beschouwd ), zal in dit rapport een relatief uitgebreide studie hiernaar plaatsvinden.

In hoofdstuk 3.5 en 3.6 worden de energieproductie en de bouwkosten voor een tweetal mogelijkheden bepaald, waarbij de invloed van variatie van enige parameters ook beschouwd zal worden. Er zullen in deze hoofdstukken ook conclusies ten aanzien van de locale haalbaarheid van deze twee mogelijkheden voor waterkrachtwinning in de omgeving van Heerewarden getrokken worden.

In hoofdstuk 3.7 zal dan nog een nabeschuiving van de resultaten van het in deel 3 uitgevoerde onderzoek gehouden worden.

Hoofdstuk 3.2 : Waterkracht.

§ 3.2.1 : Waterkracht in Nederland

Al geruime tijd geleden zijn studies verricht naar de eventuele benutting van waterkracht in Nederland. Uit deze studies blijkt dat de aanwending van waterkracht destijds niet rendabel was, de valhoogtes waren te gering om met de toen aanwezige technieken genoeg energie te winnen om de investeringskosten tegen de toen geldende KWh-prijzen terug te verdienen.

In de afgelopen jaren zijn de olieprijsen, gasprijsen en steenkoolprijzen sterk gestegen en ten gevolge hiervan de KWh-prijs ook. Daarnaast of wellicht als gevolg hiervan heeft de turbinetechniek zich verder ontwikkeld en zijn er turbinetypen op de markt verschenen die speciaal geschikt zijn voor kleine valhoogten en grote, sterk variërende debieten ( zoals in Nederland de situatie is ). Deze factoren samen met het milieuvriendelijke karakter van waterkracht ( dit in tegenstelling tot thermische centrales ) zijn aanleiding geweest voor de recente opleving van onderzoek naar waterkrachtbenutting in Nederland.

Uit deze recente onderzoeken komt naar voren dat op sommige locaties in de Nederlandse rivieren waterkrachtcentrales tegenwoordig een reële concurrent voor de thermische centrales geworden zijn. Dit geldt met name centrales die naast bestaande stuwen zijn geprojecteerd ( waar dus relatief geringe investeringen voor nodig zijn ). Vooral naar benutting van waterkracht uit de Maas is nu al veel onderzoek gedaan en is nog steeds onderzoek gaande. Ook naar de Rijn en zijn vertakkingen in Nederland is nu steeds meer onderzoek gaande.

Tot grootschalige uitvoering van waterkrachtprojecten is het in Nederland nog niet gekomen. Uitzonderingen hierop zijn de proefturbine in de stuw bij Hagestijn ( 6 GWh per jaar ) en de centrale bij Maurik in de Rijn, die

thans in uitvoering is. De proefturbine in de stuw bij Hagestijn is al van oudere datum; de turbine is lange tijd buiten werking geweest wegens gebrek aan interesse, maar onlangs is hij weer in gebruik genomen als een proefmodel voor eventuele verdere ontwikkelingen op waterkrachtgebied in Nederland.

Recente ontwikkelingen lijken er op te wijzen dat het niet lang meer zal duren voordat er tot uitvoering van meer waterkrachtplannen elders in Nederland zal worden overgegaan. In dit kader kunnen de onderzoeken worden aangehaald van een samenwerkingsverband van de PLEM ( Provinciale Limburgse Electriciteits-Maatschappijen ), de NEOM en Rijkswaterstaat, dat 10 denkbare locaties onderzocht heeft voor de Maas. Hiervan is momenteel de aandacht vooral gevestigd op de locatie Heel. Uitgangspunt daarbij is dat in Heel de meeste energie kan worden gewonnen ( 80 GWh per jaar ). Ook de locatie Lith staat in de belangstelling ( 51 GWh per jaar ). De PGEM ( Provinciale Gelderse Electriciteits-Maatschappijen ) heeft recentelijk onderzoek gedaan naar waterkrachtmogelijkheden voor de Rijn. Ook hun uitgangspunt was: zoveel mogelijk energie 'pakken' op de eerste plaats. Economische rentabiliteit fungeert dan als beslissingscriterium ( wel of niet doen ), als vergelijkingscriterium tussen alternatieven wordt de hoeveelheid winbare energie beschouwd. Uit deze onderzoeken kwam Maurik als gunstige locatie voor de Rijn naar voren ( 25 GWh per jaar ). Zoals eerder reeds gezegd is: de centrale te Maurik is thans in uitvoering.

( thans=juni 1985).

De rentabiliteit van een waterkrachtcentrale binnen de Nederlandse Electriciteitsproductie is afhankelijk van het 'gegarandeerde vermogen' dat een centrale kan leveren. Gegarandeerd vermogen is het vermogen dat een centrale vrijwel ten allen tijden kan leveren. Slechts een kleine kans ( eens in enkele jaren ) op onvermogen wordt geaccepteerd. Over het algemeen zal een waterkrachtcentrale over een zeer gering ( verwaarloosbaar ) gegarandeerd vermogen beschikken, tenzij men accumulatie van energie in een bekken of door peilverhoging van een stuwpand toepast. In dat geval zal een hoeveelheid energie 'opgespaard' kunnen worden ten tijde van een overmaat aan energieaanbod om weer gebruikt te kunnen worden bij een gering energieaanbod. Op dezelfde wijze kan men ook energie opsparen in de tijd dat deze niet gevraagd is om deze dan te leveren in zgn. piekperioden, wanneer juist zeer veel energie gevraagd wordt. In dat geval heeft de centrale meer het karakter van een pieklastcentrale. Wat in dat geval ook van belang is, is de snelle opstarttijd van een waterkrachtcentrale ( enkele minuten ). Hierdoor is het mogelijk de opgespaarde energie zeer snel te leveren, zodat men een plotselinge piek in de energievraag makkelijk kan volgen.

Wanneer men de waterkrachtcentrale uitvoert als pieklastcentrale, zal de rentabiliteit op andere gronden beschouwd moeten worden dan de criteria die gelden voor uitvoering als basis- of middenlastcentrale ( zonder accumulatie, gering gegarandeerd vermogen ).Uitvoering als basis- of middenlastcentrale betekent geen toevoeging aan het totaal geïnstalleerd gegarandeerd vermogen.Om de rentabiliteit te beschouwen,moeten dan de bouwen productiekosten van de waterkrachtcentrale vergeleken worden met de brandstof- en productiekosten per KWh van de (reeds bestaande) thermische centrales.Uitvoering als pieklastcentrale betekent dat men kan besparen op de investeringen van thermische centrales:men heeft immers nu een hoeveelheid gegarandeerd vermogen waardoor die hoeveelheid gegarandeerd vermogen niet als thermisch vermogen aanwezig hoeft te zijn.Dit wordt in rekening gebracht door de hoeveelheid gegarandeerd vermogen een investeringsvergoeding ( of vermogensvergoeding ) toe te kennen die afgetrokken kan worden van de investeringskosten voor de waterkrachtcentrale.Om zich een indruk hierover te vormen: in 1980 was de prijs van brandstof- en productiekosten per KWh ± 11 cent en de vermogensvergoeding ± 1300 gulden per geïnstalleerde KW.

Overigens dient men in het oog te houden dat de diverse KWh-prijzen voor waterkrachtcentrales,zoals die in de verscheidene onderzoeken naar voren komen,slechts een vergelijkend karakter bezitten.Hiermee kan men locaties voor waterkracht onderling met elkaar vergelijken.Meestal zijn deze prijzen bepaald aan de hand van groffe benaderingsformules voor de bouwkosten van de waterkrachtcentrale.Om deze prijzen te kunnen vergelijken met de brandstof- en productiekosten van een thermische centrale,zouden de bouwkosten van deze waterkrachtcentrales veel nauwkeuriger bepaald moeten worden.

Op bijlage 3211 is een overzicht gegeven van resultaten uit andere onderzoeken naar waterkracht in Nederland.Onderlinge vergelijking van deze resultaten laten de betrekkelijkheid van de resultaten al duidelijk zien: Haskoning <sup>(5)</sup> berekent voor Lith een KWh-prijs van 16 cent en voor Grave 15 cent, Terwisga <sup>(1)</sup> berekent voor Lith 9 cent en van Bochove <sup>(3)</sup> berekent voor Grave 12 cent.De conclusie mag luiden dat resultaten uit één onderzoek te vergelijken zijn,maar resultaten uit verschillende onderzoeken niet.Vergelijking met thermische centrales is niet mogelijk.De verschillen in KWh-prijs uit verschillende onderzoeken liggen aan de voor elk van deze onderzoeken verschillende benaderingen van de bouwkosten en verschillende methoden om de uitvoering van de centrale economisch bezien te optimaliseren.Zowel bij Haskoning als bij Terwisga blijken echter de locaties onderling dezelfde prioriteitenvolgorde te hebben:Born en Maasbracht de meest economisch rendabele locaties,Heel met de meeste winbare energie en Grave en Lith rela-

NB: ( (i) duidt op literatuurverwijzing:zie bij literatuur (i) )

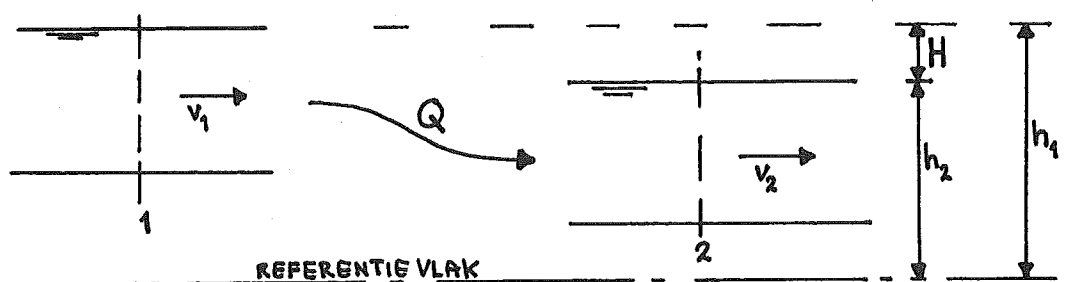
tief het ongunstigst. In dit rapport zal gebruik gemaakt worden van de methodes en formules die ook door van Bochove<sup>(3)</sup> zijn toegepast. Door de resultaten van dit rapport uiteindelijk te vergelijken met de resultaten voor de locatie Grave zoals die door van Bochove zijn berekend en te bedenken welke prioriteit Grave ten opzichte van andere locaties bezit, zal het mogelijk zijn St. Andries in deze prioriteitenlijst in te passen.

### § 3.2.2 : Grondbegrippen van waterkracht

In het kader van dit rapport zal hier een globaal overzicht gegeven worden van de begrippen die voor de hier uitgevoerde studie van belang zijn. Voor een uitgebreide beschouwing van waterkracht op zich wordt verwezen naar de literatuur op dit gebied.

In de waterkracht is vaak sprake van een kunstmatig verval, gecreëerd door de mens zelf ( met behulp van stuwen bijvoorbeeld ). In deze studie is daarentegen sprake van een natuurlijk verval. Wat dit voor verschil maakt voor de probleemaanpak zal verduidelijkt worden nadat eerst iets nader wordt ingegaan op de winbare energie uit een verval.

De hoeveelheid energie die theoretisch winbaar is uit een verval  $H$  volgt uit de volgende beschouwing:



Tussen doorsnede 1 en doorsnede 2 wordt een waterkrachtcentrale gebouwd. Door deze centrale laat men een debiet  $Q$  stromen van dsn. 1 naar dsn. 2. In de centrale staat het water een hoeveelheid energie af van:

( wrijving is hierbij verwaarloosd )

$$\Delta E = E_1 - E_2 = mg(h_1 + \frac{v_1^2}{2g}) - mg(h_2 + \frac{v_2^2}{2g})$$

$$\Rightarrow \Delta E = mg(H + ((v_1^2 - v_2^2)/2g))$$

Vaak is de term  $(v_1^2 - v_2^2)/2g$  klein ten opzichte van de term  $H$ . Reële waarden zijn bijvoorbeeld  $H = 2.5 \text{ m.}$ ;  $v_1 = 0.7 \text{ m/s}$ ;  $v_2 = 0.5 \text{ m/s}$ .

Dan is  $(v_1^2 - v_2^2)/2g = 0.012$  ( met  $g = 9.81 \text{ m/s}^2$  ).



Verwaarlozing van deze term zou een fout van 0.5 % betekenen, wat acceptabel geacht kan worden binnen de nauwkeurigheid van de gehele berekening. Bij verwaarlozing resteert:

$$\Delta E = mgH$$

Het vermogen is dan groot:

$$P = \frac{dE}{dt} = gH \left\{ \frac{dm}{dt} \right\} = \rho g QH$$

In de praktijk is hiervan haalbaar:

$$P = \eta \rho g QH$$

In deze formule hebben de parameters de volgende betekenissen en dimensies:

$$\begin{aligned} \rho &= \text{soortelijke massa in } \text{kg/m}^3 \\ g &= \text{gravitatieconstante} = 9.81 \text{ m/s}^2 \\ Q &= \text{debiet in } \text{m}^3/\text{s} \\ H &= \text{verval in } \text{m}. \\ \eta &= \text{rendement} \\ P &= \text{vermogen in Watt} \end{aligned}$$

Voor een beschouwing van het rendement wordt verwezen naar § 3.2.4.

In het geval van een kunstmatig gecreëerd verval bij een stuw is met deze laatste formule een vermogensduurlijn te berekenen. Men heeft dan duurlijnen voor het verval over de stuw en het debiet in de rivier tot zijn beschikking, waarbij de onderschrijdingswaarden voor verval en debiet gekoppeld zijn ( d.w.z. een 100 dagen onderschreden verval hoort bij een 100 dagen onderschreden debiet ).

In dit geval heeft men een duurlijn voor het van nature aanwezige verval tot zijn beschikking, maar geen duurlijn voor het debiet. Het debiet wordt in dit geval bepaald door de grootte van de doorstroomopening in de waterkrachtcentrale. Een berekening van een vermogensduurlijn is hier geen zinvolle zaak.

Juist dit aspect van deze studie heeft er toe geleid dat in dit rapport een andere benaderingswijze gevolgd wordt dan het geval is bij een studie naar waterkrachtmogelijkheden met een kunstmatig verval. Hierop wordt verder ingegaan in § 3.5.1.

### § 3.2.3 : Turbines

Voor een uitgebreide beschouwing van turbines wordt verwezen naar literatuur op dat gebied.<sup>(9)</sup> Hier zal slechts worden ingegaan op de hier van belang zijnde aspecten van turbines.

Voor toepassing van turbines in gevallen van vervallen in de orde van grootte 1-10 m. en vermogens 1-3 Megawatt (zoals in deze studie het geval is) komen axiale stromingsturbines met horizontale as het meest in aanmerking. Binnen deze groep komen poolrad- en bolturbines het meest in aanmerking voor valhoogtes kleiner dan 4 meter. Voor deze turbines gelden de volgende grenzen voor hun toepasbaarheid:

Toelaatbare waaierdiameter:

poolrad: minimaal 0 m. , maximaal 4 m.

bol : minimaal 3 m. , maximaal 6 m.

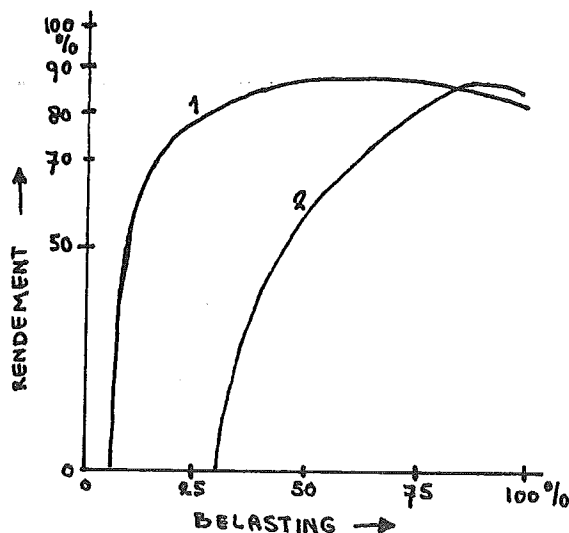
Ontwerpvermogen(effectief) :

poolrad : minimaal 1 MW , maximaal 2 MW.

bol : minimaal 1 MW , maximaal 50 MW.

In dit geval zullen de vermogens per turbine variëren van 1 -- 2 MW. Poolrad- en bolturbines zijn dus beiden even goed toepasbaar in dit opzicht. De kleinere maximaal toe te passen waaierdiameter van de poolradturbines zal echter leiden tot installatie van meer kleinere turbines. Later in deze studie zal blijken dat dit een zeer ongunstige invloed op de rentabiliteit heeft. Daarom zal uitgegaan worden van bolturbines.

Deze turbines kunnen worden uitgevoerd met vaste of verstelbare leidschoepen. Het verschil hiertussen is dat men door de leidschoepen verstelbaar te maken, de turbine geschikt maakt om optimaal rendement te halen bij variërende stroomsnelheden van het aanstromende water, dus bij een wisselende belasting (zie figuur hieronder).



1 = bolturbine met verstelbare bladen

2 = bolturbine met vaste bladen

Als men dus in de situatie verkeert dat de belasting sterk wisselt ( in het hier beschouwde geval varieert de belasting van  $0.4 \cdot P_r$  tot  $1.3 \cdot P_r$ , waarin  $P_r$  het ontwerpvermogen van de turbine is ) is het meestal verstandiger uit te gaan van verstelbare leidschoepen. In sommige gevallen kan het gebruik van meerdere kleine turbines met vaste leidschoepen die telkens volgens een bepaald systeem in- en uitgeschakeld worden toch voordeliger zijn. In dit geval is echter sprake van een relatief klein winbaar vermogen waarbij de inzet van meer en kleine turbines juist onvoordelig is. Er wordt dan ook gekozen voor een uitvoering van de centrale met bolturbines met verstelbare leidschoepen ( Kaplan bulbturbines ).

Voor dimensionering van deze turbines zijn de volgende factoren van belang:

- Het uitbouwdebiet  $Q_{at}$  van de turbine. Dit is het maximumdebiet dat door de turbine geleid kan worden.
- De constructievalhoogte  $H_t$ . Dit is de valhoogte waarbij de leidschoepen van de turbine geheel geopend dienen te worden om nog juist het uitbouwdebiet  $Q_{at}$  van de turbine geheel door de turbine te kunnen voeren. Als de valhoogte kleiner wordt dan  $H_t$ , dan kan slechts een deel van het uitbouwdebiet verwerkt kunnen worden, waardoor het vermogen daalt. Naar Ludin<sup>(10)</sup> zal hier dit effect in rekening worden gebracht door het vermogen voor onveranderd debiet  $Q_{at}$  te berekenen met een gereduceerde valhoogte  $H_{red}$  voor  $H < H_t$  :

$$H_{red} = 1.5 \cdot H - 0.5 \cdot H_t \quad ; \quad P = \eta \cdot \rho \cdot g \cdot Q_{at} \cdot H_{red}$$

voor  $H < H_t/3$  wordt in het geheel geen vermogen meer opgewekt.

In wezen is er voor de vermogensbepaling nog een beperkende factor: als het beschikbare debiet kleiner is dan het ontwerp debiet, zal de turbine niet meer optimaal werken, gesteld kan worden dat bij een beschikbaar debiet van  $\pm 30\%$  van het uitbouwdebiet en kleiner in het geheel geen vermogen meer kan worden opgewekt. In dit geval is deze factor niet verder beschouwd: er is aangenomen dat het gekozen uitbouwdebiet altijd uit de Waal kan en mag worden onttrokken.

De factoren uitbouwdebiet en constructievalhoogte staan met elkaar in het volgende verband:

$$Q_{at} = M \cdot A_{netto} \cdot \sqrt{2 \cdot g \cdot H_t} \quad ( 1 )$$

(afvoerformule voor gesloten leidingen)

A<sub>netto</sub> zal uitgedrukt worden in de waaierdiameter van de turbine. De naaf-diameter van de bulb wordt gesteld op 1/3 van de waaierdiameter. De over-blijvende ringvormige doorsnede moet nog gecorrigeerd worden wegens de aan- wezigheid van de waaierbladen. De reductiefactor wordt gesteld op 0.9 .

Dan geldt:

$$A_{netto} = 0.9 * ( 0.25*\pi*D^2 - 0.25*\pi*(D/3)^2 ) = 0.63*D^2 \quad ( 2 )$$

Invullen van ( 2 ) in ( 1 ) levert:

$$Q_{at} = 2.78 * D^2 * \sqrt{H_t}$$

Voor een centrale met n turbines, alle met waaierdiameter D, geldt dan voor het uitbouwdebiet Q<sub>ac</sub> van de gehele centrale:

$$Q_{ac} = 2.78 * n * D^2 * \sqrt{H_t} \quad (3)$$

Deze formule zal een grondslag zijn voor de optimalisatieberekening die verder in dit rapport is uitgevoerd.

Een laatste van belang zijnde factor met betrekking tot Kaplan bulbtur- bines is dat voor valhoogten kleiner dan 5 meter speciaal ontworpen ( dus niet in serie geproduceerde ) turbines moeten worden toegepast zodra het ontwerpdebiet Q<sub>at</sub> groter is dan ca. 100 m<sup>3</sup>/s .De invloed hiervan op de bouw- kosten zal in § 3.2.5 aan de orde komen.

§ 3.2.4 : Rendement.

In 3.2.2 is reeds aangegeven dat het theoretisch winbare vermogen gereduceerd dient te worden met een rendementscoëfficiënt omdat er ver- liezen zullen optreden. Deze verliezen bestaan uit :

1. Hydraulische verliezen in de centrale en kanalen
2. Turbineverliezen
3. Verliezen in de generator
4. Verliezen t.g.v. eigen gebruik van de centrale
5. Transformatorverliezen

ad. 1 : Deze verliezen zijn te schrijven als:

$$\Delta H = \xi_t * ( v^2 / 2g )$$

In de factor  $\xi_t$  zijn verdisconteerd: instromingsverliezen, wrijvingsver- liezen buiten de turbine, uitstroomverliezen, verliezen t.g.v. schuifspinnin-

gen etc. .Reële waarden voor deze verliezen en snelheden in de turbine zijn:

in- en uitstroomverliezen :	$\xi_{iu} = 0.05 - 0.10$
wrijvingsverliezen :	$\xi_w = 0.10 - 0.20$
sponningen etc. :	$\xi_s = 0.10 - 0.20$
snelheden in turbine :	$v = 2 - 4 \text{ m/s}$

Hiermee volgt voor de totale verliezen en  $\Delta H$  :

totale verliezen :	$\xi_t = 0.25 - 0.50$
verlies van valhoogte :	$\Delta H = 0.05 - 0.41 \text{ m}$

Op een gemiddelde valhoogte van 2.25 m. ( zoals hier het geval is ) is het verlies van valhoogte dan variërend van 2.2 tot 18.2 % .Voor verdere berekeningen wordt aangenomen dat de totale hydraulische verliezen in de centrale 10 % bedragen.In een later stadium van ontwerp van de centrale,wanneer gebleken is dat de rentabiliteit van deze centrale aanleiding geeft tot een gedetailleerd ontwerp,zou men deze 10 % als ontwerpcriterium voor de vormgeving en afwerking van de centrale moeten beschouwen.

De hydraulische verliezen in de kanalen zijn nog niet in bovenstaande beschouwing verdisconteerd.Deze zullen gering zijn t.o.v. de verliezen in de centrale.Bij een kanaalontwerp met een verhang van  $10^{-5}$  en een kanaallengte van 500-1000 meter is dit verlies 0.5 - 1 cm. en verwaarloosbaar. Voor de hydraulische verliezen van centrale en kanalen wordt dus uitgegaan van de volgende rendementscoëfficiënt:

$$\eta_{\text{hydr.}} = 0.9$$

ad. 2 : Het rendement van de turbine ( Kaplan bulbturbine ) varieert afhankelijk van de belasting, in dit geval tussen 60 - 90 %.In het belastingsgebied van 25-100 % van het ontwerpvermogen kan gesteld worden dat het gemiddelde rendement ca. 87 % bedraagt,belasting boven 100 % van het ontwerpvermogen doet het rendement snel afnemen ( van 84 % bij een belasting van 100 % van het ontwerpvermogen tot 60 % bij een belasting van 125 % van het ontwerpvermogen,gemiddeld dus een rendement van 72 % in het 100-125 % belastingsgebied ) .De belasting van de turbine varieert in deze studie van ca. 40 % tot 130 % van het ontwerpvermogen.Voor verdere berekening wordt het turbinerendement als volgt in rekening gebracht: Gesteld dat in T dagen de turbine belast wordt in het belastingsgebied van 40 % - 100 % van het ontwerpvermogen en in de overige dagen van het jaar in het gebied van 100 % - 130 % van het ontwerpvermogen.Dan is het over het jaar gemiddelde turbinerendement te schrijven als:

$$\eta_{\text{turb.}} = ( 0.87 * T + 0.72 * ( 365 - T ) ) / 365$$

ad. 3,4 & 5 : Deze verliezen zijn ( zoals ook in de studie van Terwisga )

als volgt ingeschat :

$$\eta_{generator} = 0.97 ; \eta_{eigen\ gebruik} = 0.98 ; \eta_{transformator} = 0.99$$

Het totaal rendement volgt nu uit :

$$\eta_{tot.} = \eta_{hydr.} * \eta_{turb.} * \eta_{gen.} * \eta_{eig.gebr.} * \eta_{transf.}$$

$$Dus \eta_{tot.} = 0.847 * ( ( 0.87 * T + 0.72 * (365 - T) ) / 365 )$$

En daarmee volgt voor het technisch winbare vermogen :

$$Voor H > H_t : P = 0.61 * \rho * g * Q_{ac} * H$$

$$Voor H < H_t : P = 0.74 * \rho * g * Q_{ac} * H_{red} \quad met \quad H_{red} = 1.5 * H - 0.5 * H_t$$

In deze laatste formules voor het technisch winbare vermogen is de volgende redenering reeds verwerkt: als  $H > H_t$  dan wordt de centrale belast boven 100 % van het ontwerpvermogen ( het ontwerpvermogen is het vermogen bij  $H = H_t$  ), dan is dus  $\eta_{turb.}$  gemiddeld 0.72 en dus  $\eta_{tot.} = 0.61$  . Voor  $H < H_t$  wordt de centrale belast in het gebied van 40 % - 100 % van het ontwerpvermogen en is  $\eta_{turb.} = 0.87$  en dus  $\eta_{tot.} = 0.74$  . Zoals reeds eerder gezegd is, betreffen deze waarden van het rendement en technisch vermogen gemiddelde waarden over de beschouwde belastingsgebieden.

§ 3.2.5 : Bouwkosten

Op het gebied van het schatten van bouwkosten van rivierwaterkrachtcentrales van het type als in dit rapport beschouwd worden ( geringe vervallen, grote debieten, relatief kleine vermogens ) bestaan vele methodes, die elk weer tot verschillende uitkomsten leiden. De verschillen in schatting tussen één methode en een andere kunnen aanzienlijk zijn.

Door deze verschillen is de vergelijkbaarheid tussen uitkomsten ( bv. voor een geschatte KWh-prijs ) van meer studies, die elk met andere methodes voor schatting van bouwkosten zijn uitgevoerd, zeer gering. Aan een absolute waarde van de resultaten ( waarmee het mogelijk zou zijn in economisch opzicht een waterkrachtcentrale af te wegen tegen een thermische centrale ) mag zeker niet gedacht worden.

In deze studie wordt slechts één locatie beschouwd ( St. Andries-Heerewaarden, al dan niet met koppeling met de stuw te Lith ). Om deze ene locatie nu te kunnen vergelijken met resultaten van andere rapporten is de volgende methode gevolgd: gekozen is voor gebruik van de methode die ook ge-

bruikt is door van Bochove in zijn afstudeerwerk waarin hij de locatie Grave onderzocht heeft. Deze formules zijn door Rijkswaterstaat op grond van onderzoek bepaald en zijn gebruikt in de Energostudie. Door de resultaten van de berekeningen in deze studie te vergelijken met de resultaten van van Bochove voor locatie Grave en verder de prioriteit van de locatie Grave ten opzichte van andere locaties te beschouwen, is het mogelijk de locatie St. Andries-Heerewaarden een prioriteit toe te kennen (die dan bepaald zal zijn zonder inachtneming van de consequenties die door waterkrachtwinning op deze locatie op landelijk niveau zullen optreden).

De kostenformules van van Bochove betreffen kosten die in ieder geval (voor elke situering van de centrale) gemaakt moeten worden, de zgn. 'vaste kosten'. Hieraan zullen later nog moeten worden toegevoegd: de kosten die per situering nog extra gemaakt moeten worden, de zgn. 'variabele kosten'. Hierbij valt te denken aan kanalen, in- en uitlaatwerken, stroomgeleidingswerken, werken voor kruisingen met infrastructuur etc..

De vaste kosten worden met 'methode Bochove' als volgt geschat. Stel er wordt gekozen voor een uitvoering van de centrale met n Kaplan bulbturbinen, elk met een waaierdiameter D. Dan zijn de vaste kosten als volgt:

1. Kosten van turbines en generatoren. Deze bedragen:

$$K_{tg} = n * D * ( 3.2 + 0.12 * N / n ) * 10^6 \quad (f_{1980})$$

Hierin is N het ontwerpvermogen van de centrale. Het bedrag is uitgedrukt in gulden 1980. Wanneer het ontwerpdebiet  $Q_{at}$  van de turbine groter is dan  $100 \text{ m}^3/\text{s}$  zal deze turbine niet meer in serieproductie gemaakt worden, maar speciaal voor deze locatie vervaardigd moeten worden. In dat geval zullen de turbinekosten hoger zijn dan de hierboven beschreven kostenformule aangeeft. In deze studie wordt aangenomen dat de turbinekosten voor  $Q_{at}$  groter dan  $100 \text{ m}^3/\text{s}$  15 % hoger zullen zijn dan uit de hierboven beschreven kostenformule zou volgen.

2. Beton-, staal- en bouwputkosten van het centralegebouw exclusief ontgraving. Deze bedragen:

$$K_{bsb} = ( 0.6 * n + 0.4 ) * ( 1.5 + D/4 ) * 10^6 \quad (f_{1980})$$

3. Kosten van de hulpparaatuur ( voorzover nog niet in rekening gebracht bij de turbinekosten bv. krooshekken, schuiven, evt. kranen incl. montage ). Deze bedragen:

$$K_{hu} = ( 3 * n + 1 ) * 10^6 \quad (f_{1980})$$

In de bovenstaande drie kostenformules dient D in meters ingevuld te worden en N in Megawatt.

Verder dienen nog vaste kosten gemaakt te worden voor civiele werken, die bij de centrale horen. Op bijlage 3251 is een schets getekend van de centrale, waarop enige relevante maten staan aangegeven. De maten  $5.2 \cdot D$  als lengte voor het diepstgelegen deel van de centrale en  $10 \cdot D$  als lengte van het gehele centralegebouw zijn ontleend aan het verslag van van Bochove.

Op bijlage 3251 staan de volgende maten:

$D$  = waaierdiameter

$B_c$  = breedte centralegebouw

$B_w$  = breedte toevoerkanaal Waalzijde

$B_m$  = breedte afvoerkanaal Maaszijde

$A$  = diepte ontgraving beneden waterpeil aan Maaszijde

$P_1$  = maaiveldhoogte

$P_2$  = waterpeil toevoerkanaal Waalzijde

$P_3$  = bodemhoogte toevoerkanaal Waalzijde

$P_4$  = waterpeil afvoerkanaal Maaszijde

$P_5$  = bodemhoogte afvoerkanaal Maaszijde

De breedte van de centrale volgt uit het gegeven dat de h.o.h. afstand van de turbines  $3 \cdot D$  bedraagt:

$$B_c = 3 \cdot n \cdot D$$

De maat  $A$  is opgebouwd uit de volgende factoren:

- minimale waterdekking boven de bovenkant van de waaiers ter voorkoming van luchtaanzuiging bedraagt 2 meter.
- de maat van bovenkant waaiers tot het diepste punt in de watergang onder de bulb bedraagt  $1.6 \cdot D$  meter.
- dikte van de betonvloer onder het diepste punt is ca. 1 meter.

Hiermee wordt de maat  $A$  :

$$A = 1.6 \cdot D + 3$$

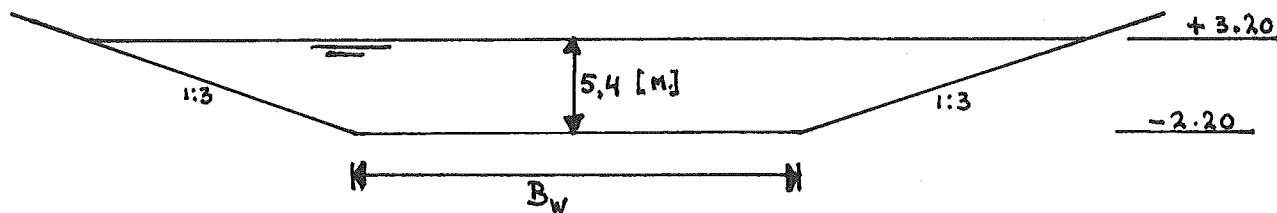
Wanneer de bodemhoogten van de kanalen aan Waal- en Maaszijde gelijk zijn aan de bodemhoogten van resp. Waal en Maas te St. Andries ( zodat de kanalen goed aan te sluiten zijn aan Waal en Maas ) en voor het ontwerp van de centrale wordt uitgegaan van een gemiddeld optredende situatie van de waterstanden, dan volgt voor de peilen:

$$P_1 = + 4.5 ; P_2 = + 3.2 ; P_3 = - 2.2 ; P_4 = 0.0 ; P_5 = - 3.2$$

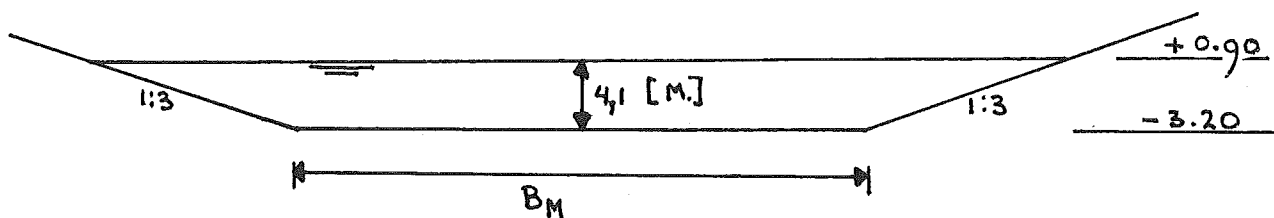
Al deze peilen zijn uitgedrukt in meter t.o.v. NAP. De waarde  $P_4 = 0$  verdient nog enige toelichting: deze waterstand is gemiddeld  $+ 0.90$ , maar de centrale dient ook te kunnen functioneren in andere situaties. Aangezien de maat  $A$  ( diepte ontgraving ) genomen wordt beneden  $P_4$  en deze maat  $A$  ten alle tijde aanwezig dient te zijn, zal de centrale ontworpen moeten worden op de minimale waarde van  $P_4$  waarbij de centrale geacht



wordt nog te functioneren : deze waarde van  $P_4$  bedraagt ca. 0 m. NAP.



FIGUUR A : WAALZIJDE.



FIGUUR B : MAASZIJDE.

In bovenstaande figuren is schematisch ( met behulp van eerder vermelde peilen ) het doorstroomprofiel van de toe- en afvoerkanalen aan Waal- resp. Maaszijde geschetst. Voor het kanaalontwerp wordt uiteraard wel uitgegaan van de gemiddelde waarde van  $P_4$ . De taluds zijn 1:3 genomen en de toe te laten stroomsnelheid in de kanalen is op 0.5 m/s gesteld: hierdoor zullen voor de kanalen geen relatief dure oever- en bodembescherming nodig zijn en zullen de kosten van de kanalen dus beperkt zijn tot het benodigde graafwerk. Bovendien is bij  $v = 0.5$  het hydraulisch verlies in de kanalen verwaarloosbaar klein ( met Chézy volgt hiervoor bij  $R = \text{ca. } 0.85 \cdot h$ ,  $C = \text{ca. } 70 \text{ m}^{1/2}/\text{s}$  en een kanaallengte 500 meter aan Waalzijde: hydraulisch verlies  $= ((0.5 / 70)^2 / (0.85 \cdot 5.4)) \cdot 500 = 0.0056 \text{ m.}$  ). Bij hogere snelheden neemt dit verlies kwadratisch toe ( bij  $v = 2 \text{ m/s}$  wordt het verlies dan al ca. 9 cm. wat niet verwaarloosbaar is ).

De breedtes  $B_w$  en  $B_m$  volgen nu bij een ontwerpdebiet door de centrale  $Q_{ac}$  uit:

$$Q_{ac} / v = h \cdot B + 3 \cdot h^2$$

Voor kanaal aan Waalzijde volgt hiermee:

$$Q_{ac} / 0.5 = 5.4 \cdot B_w + 3 \cdot (5.4)^2 \quad B_w = 0.37 \cdot Q_{ac} - 16.2 \text{ (m.)}$$

Voor kanaal aan Maaszijde volgt hiermee:

$$Q_{ac} / 0.5 = 4.1 \cdot B_m + 3 \cdot (4.1)^2 \quad B_m = 0.49 \cdot Q_{ac} - 12.3 \text{ (m.)}$$

Na de voorgaande beschouwing van de peilen en maten die van belang zijn, zal nu een schatting gemaakt worden van de kosten van de civiele werken, behorende bij het centrale-ontwerp. Deze zijn onder te verdelen in 3 groepen:

- a. Te ontgraven grond.
- b. Oeverbescherming.
- c. Bodembescherming.

ad. a : De hoeveelheid te ontgraven grond volgt uit bijlage 3251 en bedraagt:

$$\text{Inloop : } G_i = B_c \cdot (7 \cdot (A - P_3) \cdot ((A - (P_4 - P_3)) \cdot 0.5 + (P_1 - P_3)))$$

$$\text{Centrale: } G_c = B_c \cdot 5.2 \cdot D \cdot (A + (P_1 - P_4))$$

$$\text{Uitloop : } G_u = B_c \cdot (7 \cdot (A - P_5) \cdot ((A - (P_4 - P_5)) \cdot 0.5 + (P_1 - P_5)))$$

$$\begin{aligned} \text{Toeleidingsgedeelte: } G_t &= (P_1 - P_3) \cdot 3.5 \cdot (B_w + B_c) \cdot (B_w - B_c) / 2 + \\ \text{toevoerkanaal} & \quad (P_1 - P_3) \cdot 3 \cdot (P_1 - P_3) \cdot (B_w - B_c) \cdot \sqrt{50} / 7 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Spuigedeelte} & \quad : G_s = (P_1 - P_5) \cdot 3.5 \cdot (B_m + B_c) \cdot (B_m - B_c) / 2 + \\ \text{afvoerkanaal} & \quad (P_1 - P_5) \cdot 3 \cdot (P_1 - P_5) \cdot (B_m - B_c) \cdot \sqrt{50} / 7 \end{aligned}$$

Voor de te ontgraven grond zal een prijs van f 20.-/m<sup>3</sup> gerekend worden (naar van Bochove en Haskoning). Met deze prijs en de eerder vermelde peilen (met  $P_4 = 0$ ) en uitdrukkingen voor de maten  $B_c$ ,  $B_w$ ,  $B_m$  en  $A$  volgt voor de prijs van de totale ontgraving:

$$\begin{aligned} K_g. &= 98 \cdot Q_{ac}^2 + 3530 \cdot Q_{ac} + 1574 \cdot n \cdot D^3 + (16108 \cdot n - 4536 \cdot n^2) \cdot D^2 \\ & \quad - 30336 \cdot n \cdot D - 203548 \quad (f_{1980}) \end{aligned}$$

In deze formule moeten  $Q_{ac}$  in m<sup>3</sup>/s en  $D$  in m. ingevuld worden. De totale lengte van het gehele centralecomplex is:

$$L_{tot.} = 5.2 \cdot D + 7 \cdot (2 \cdot A - (P_4 - P_3) - (P_4 - P_5)) + 3.5 \cdot (B_w + B_m - 2 \cdot B_c)$$

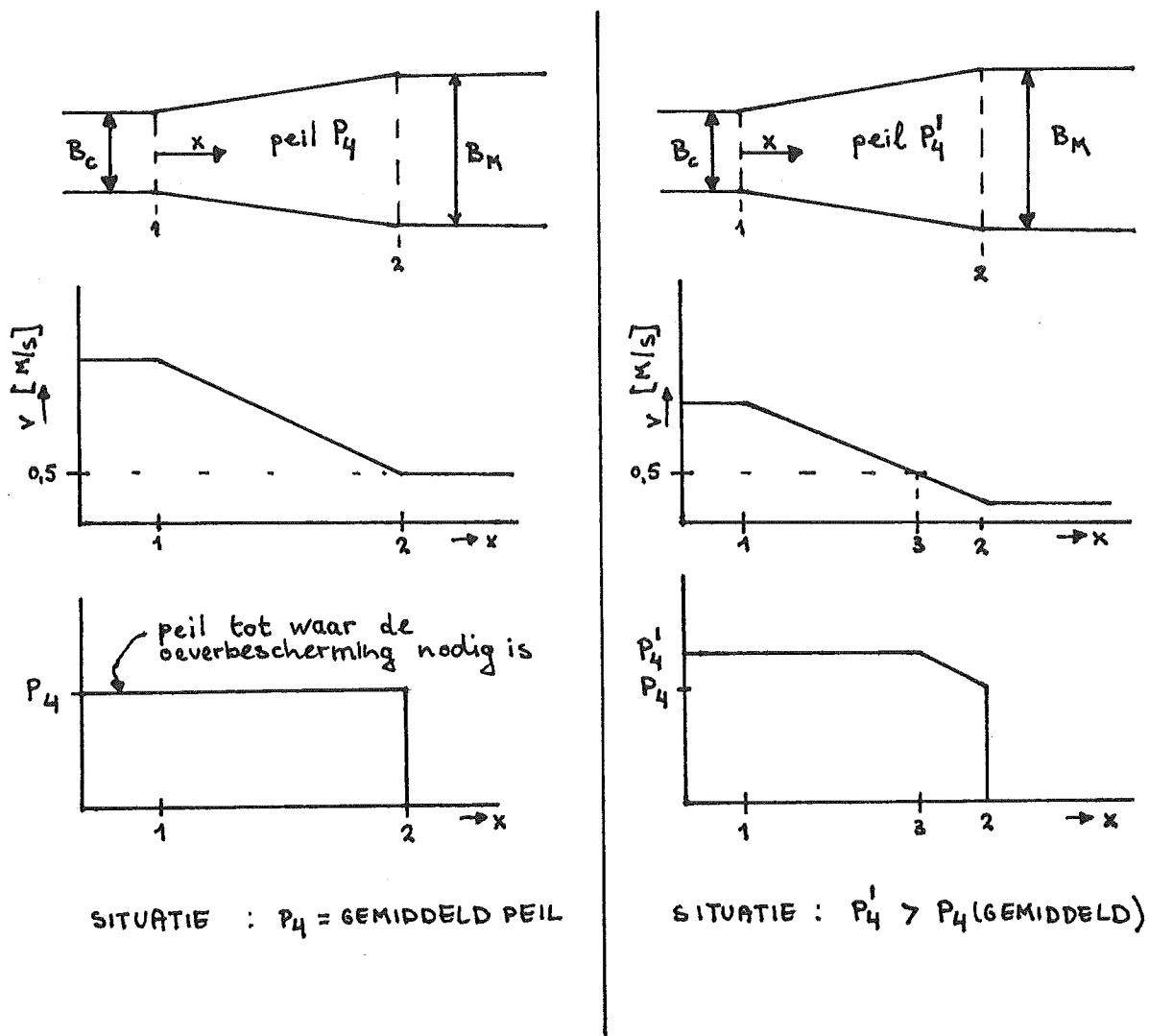
Peilen (met  $P_4 = 0$ ) en maten invullen levert:

$$L_{tot.} = (27.6 - 21 \cdot n) \cdot D + 3 \cdot Q_{ac} - 95.6 \quad (\text{meter})$$

Hierin moeten weer  $Q_{ac}$  in m<sup>3</sup>/s en  $D$  in m. ingevuld worden.

ad. b : Aangenomen wordt dat de oeverbescherming nodig is langs het toeleidingsgedeelte van het toevoerkanaal, langs het spuigedeelte van het afvoerkanaal en langs de inloop en de uitloop. Over de lengte van het centralegebouw ( $10 \cdot D$ ) is vanzelfsprekend geen oeverbescherming nodig. Over de hoogte waarover de oeverbescherming nodig

is, valt het volgende te zeggen: als de waterstanden aan Waal- en Maaszijde van de centrale hoger zullen zijn dan de gemiddelde peilen, zullen ook de stroomsnelheden in het toeleidingsgedeelte en spuigedeelte kleiner worden, waardoor minder gevaar voor erosie aanwezig zal zijn (immers: het debiet  $Q_{ac}$  blijft gelijk en het doorstroomprofiel wordt groter). Dit betekent dat voor hogere peilen  $P_4$  en  $P_2$  dan de gemiddelde de oeverbescherming niet zou hoeven worden aangebracht tot aan die hogere peilen over de gehele lengte van het spui- en toeleidingsgedeelte (zie figuur hieronder)



Hierboven is dit verduidelijkt voor de situatie aan Maaszijde voor peilen  $P_4 = 0.90$  en voor  $P_4 = P_4^i$  waarbij  $P_4^i$  hoger is dan 0.90 (gemiddelde waarde). Voor bovenstaande schets is er van uitgegaan dat oeverbescherming moet worden aangebracht wanneer de gemiddelde snelheid in een kanaalsnede hoger is dan 0.5 m/s. In werkelijkheid is het snelheidsverloop tussen snede 1 en 2 niet lineair doordat de taluds niet loodrecht zijn. Om zich een idee te kunnen vormen over

de beschouwde materie voldoet een (geschematiseerd) lineair snelheidsverloop goed genoeg. In werkelijkheid is de zaak nog veel gecompliceerder: het verschil in grootte van de stroomsnelheid over een kanaalsnede speelt bijvoorbeeld ook een belangrijke rol. Maximaal optredende peilen zijn:  $P_2 = 5.80$  en  $P_4 = 2.10$ . In het kader van deze kostenschätzung zal worden aangenomen dat ongeveer de helft van de extra aan te brengen oeverbescherming (d.w.z. boven de gemiddelde peilen) zal moeten worden aangebracht. De oeverbescherming wordt dus gedimensioneerd op de peilen:

$$P'_2 = (5.8 + 3.2) / 2 = + 4.50 \text{ m. NAP}$$

$$P'_4 = (2.1 + 0.9) / 2 = + 1.50 \text{ m. NAP}$$

De totale hoeveelheid oeverbescherming wordt hiermee dan:

$$\text{Inloop : } O_i = (7 \cdot (A - (P_4 - P_3)) - 2.4 \cdot D) \cdot (P'_2 - (P_3 + (P_4 - A)) / 2) \cdot 2 \cdot \sqrt{10}$$

$$\text{Uitloop: } O_u = (7 \cdot (A - (P_4 - P_5)) - 2.4 \cdot D) \cdot (P'_4 - (P_5 + (P_4 - A)) / 2) \cdot 2 \cdot \sqrt{10}$$

$$\text{Toeleidingsged. : } O_t = (P'_2 - P_3) \cdot (B_w - B_c) \cdot 2 \cdot \sqrt{10} \cdot \sqrt{50} / 7$$

$$\text{Spuigedeelte : } O_s = (P'_4 - P_5) \cdot (B_m - B_c) \cdot 2 \cdot \sqrt{10} \cdot \sqrt{50} / 7$$

Dit geldt ten aanzien van alleen de stroomsnelheden. Uiteraard zal wel erop moeten worden gelet dat windgolven, translatiegolven, evt. scheepsgolven en spiegeldaling etc. wel een aanval betekenen ter plaatse van de waterlijn, dus ook voor hogere peilen. Men zal de oever dus wel volledig moeten beschermen tot de hoogst mogelijke peilen, maar wellicht volstaat voor de golfaanval een eenvoudige grasmat die weinig kost. In deze beschouwing wordt alleen op stroomsnelheden in de kanalen gelet, evt. andere oeverbeschermingen voor golfaanval niet in de kostenbeschouwing worden meegenomen. Een zeer belangrijk argument om zo te handelen is dat op deze wijze de kosten precies zo ingeschat worden als in de studie van van Bochove het geval is, zodat de vergelijkbaarheid van de resultaten in deze studie en de resultaten van van Bochove, één van de belangrijkste grondslagen voor de kostenraming in deze studie, niet in het geding komt.

Voor de oeverbescherming wordt een prijs gerekend van f 100.-/m<sup>2</sup> (naar van Bochove en Haskoning). Met deze prijs en eerder vermelde peilen (met  $P_4 = 0$ ,  $P'_4 = 1.5$ ,  $P'_2 = 4.5$ ) en uitdrukkingen voor  $B_w$ ,  $B_m$ ,  $B_c$  en  $A$  worden de kosten voor oeverbescherming:

$$K_o = 10590 \cdot Q_{ac} + 8900 \cdot D^2 + (105490 - 75710 \cdot n) \cdot D - 75820 \quad (f_{1980})$$

In deze formule dient  $Q_{ac}$  in m<sup>3</sup>/s en  $D$  in m. ingevuld te worden.

ad. c : Aangenomen wordt dat bodem bescherming aangebracht dient te worden over hetzelfde gedeelte als waarlangs oeverbescherming wordt aangebracht. De oppervlakte hiervan bedraagt:

$$\text{Inloop : } B_i = B_c * (7 * (A - (P_4 - P_3)) - 2.4 * D)$$

$$\text{Uitloop: } B_u = B_c * (7 * (A - (P_4 - P_5)) - 2.4 * D)$$

$$\text{Toeleidingsged. : } B_t = 3.5 * (B_w - B_c) * (B_w + B_c) / 2$$

toevoerkanaal

$$\text{Spuigedeelte : } B_s = 3.5 * (B_m - B_c) * (B_m + B_c) / 2$$

afvoerkanaal

Invullen van de diverse waarden ( met  $P_4 = 0$  ) levert de volgende kosten voor bodembescherming ( prijs bodembescherming is naar van Bochove en Haskoning aangenomen op f 200.-/m<sup>2</sup> ) :

$$K_b = 132 * Q_{ac}^2 - 8420 * Q_{ac} + (10560 * n - 6300 * n^2) * D^2 + 47880 * n * D + 144806$$

In bovenstaande formule staat het bedrag in guldens 1980 , wanneer  $Q_{ac}$  in m<sup>3</sup>/s en D in m. wordt ingevuld.

Ten aanzien van de prijzen die voor oever- en bodembescherming gerekend zijn, dient opgemerkt te worden dat de enige reden om hen zodanig aan te nemen gelegen is in het streven naar vergelijkbaarheid tussen de resultaten in deze studie en de resultaten van van Bochove. De prijs van vooral de bodembescherming is een discutabele zaak, wanneer men deze op zijn absolute waarde beschouwt: een prijs van f 100.-/m<sup>2</sup> of nog minder zou voor een bodembescherming in een stroomkanaal waarschijnlijk meer reeel zijn. Het in rekening brengen van deze lagere prijs zou weliswaar van werkelijkheidszin getuigen, maar ook van domheid aangezien dan de vergelijkbaarheid van de resultaten in deze studie met de resultaten van van Bochove verloren zou gaan.

In bovenstaande beschouwing zijn de vaste bouwkosten voor de centrale nader omschreven en uitgedrukt in  $Q_{ac}$ ,  $D$ ,  $N$  en  $n$ . Deze kosten zullen moeten worden afgeschreven over de levensduur van de centrale. Op dit gebied zijn er vele methoden om tot een af te schrijven som per jaar te komen. In deze studie wordt volstaan met de ook door van Bochove gevolgde weg: over de totale bouwkosten wordt eerst een bouwrente van 20 % gerekend en bij de bouwkosten opgeteld, vervolgens wordt de zo verkregen som met de annuïteitenmethode in een jaarlijks af te schrijven bedrag omgerekend, waarna bij deze jaarlijkse som nog de kosten voor onderhoud dienen te worden opgeteld. De kosten voor onderhoud worden gesteld op f 20.- per Kw ontwerpvermogen per jaar ( naar Haskoning ). De annuïteit wordt bepaald door uit te gaan van een reële rentevoet van 4 % en een afschrijvingsduur van 40 jaar met restwaarde nul ( gebruikelijk in de electriciteitswereld, ook door v. Bochove toegepast ). Deze wordt dan:

$$\text{ann.} = K_{\text{tot.}} * \frac{0.04 * (1.04)^{40}}{(1.04)^{40} - 1} = 0.051 * K_{\text{tot.}}$$

In deze annuïteit staat  $K_{\text{tot.}}$  voor de totale bouwkosten plus bouwrente. Wanneer bovenstaande gegevens geheel in formulevorm worden geschreven, ontstaat de volgende formule voor de jaarlijkse kosten van de centrale  $K_{\text{jaar}}$  :

$$K_{\text{jaar}} = 0.051 * 1.2 * (K_{\text{tg}} + K_{\text{bsb}} + K_{\text{hu}} + K_{\text{g}} + K_{\text{o}} + K_{\text{b}}) + 20000 * N \quad (f_{1980})$$

In de formule hierboven dient het ontwerpvermogen  $N$  in Megawatt ingevuld te worden en de kosten  $K_{\text{tg}}$ ,  $K_{\text{bsb}}$  etc. in  $f_{1980}$ .

In deze paragraaf zijn de vaste kosten voor de centrale behandeld. In het volgende hoofdstuk 3.3 zullen de variabele kosten behandeld worden. Deze zullen ook met een bouwrente 20 % en een annuïteitsfactor 0.051 afgeschreven worden, en bij de bovenstaande jaarlijkse vaste kosten opgeteld worden.

HOOFDSTUK 3.3 : ALTERNATIEVEN.

## Hoofdstuk 3.3 : Alternatieven.

### § 3.3.1 : Werkmethode.

In dit hoofdstuk zullen een aantal mogelijkheden voor energiewinning in de omgeving van Heerewaarden beschouwd worden. Op het gebied van waterkracht zal een indeling gemaakt worden naar drie hoofdalternatieven:

Hoofdalternatief A : Het bouwen van een waterkrachtcentrale in de omgeving Heerewaarden, die alleen energie produceert met gebruikmaking van het verval tussen Waal en Maas. Plaatsing van deze centrale is onafhankelijk van de vraag of er wel of niet een centrale bij de stuw te Lith zal komen.

Hoofdalternatief B : Het bouwen van één centrale in de omgeving Heerewaarden, die energie produceert door zowel gebruikmaking van het verval bij de stuw te Lith, als van het verval tussen Waal en Maas (koppeling).

Hoofdalternatief C : Het bouwen van een centrale naast de stuw te Lith, die alleen energie produceert door gebruikmaking van het verval bij deze stuw.

Hoofdalternatief C is reeds in het afstudeerwerk van Terwisga<sup>(1)</sup> beschouwd, voor een uitwerking van C wordt hiernaar verwezen. In deze studie zullen alleen de hoofdalternatieven A en B beschouwd worden. In § 3.3.2 zal A beschouwd worden, in § 3.3.3 zal B beschouwd worden. In deze paragrafen zullen verschillende situeringen voor de centrale met bijbehorende kanaaltracé's onder de aandacht komen. De mogelijkheid van accumulatie, die voor beide alternatieven eventueel zou kunnen worden toegepast, zal apart behandeld worden in § 3.3.4. Over de mogelijkheid van benutting van windkracht in de omgeving van Heerewaarden zal in het kort iets gezegd worden in § 3.3.5. Op deze materie zal in deze studie niet worden ingegaan, de korte beschouwing in § 3.3.5 dient voornamelijk als aanvulling bij de opmerkingen ten aanzien van de accumulatiemogelijkheden.

Als de twee belangrijkste criteria bij de beschouwing van de alternatieven voor benutting van waterkracht zullen in dit hoofdstuk gehanteerd worden:

1. De invloeden op de directe omgeving.
2. De extra te maken kosten voor een alternatief ( = de kosten die nog gemaakt moeten worden naast de centralekosten die altijd gemaakt moeten worden en die onafhankelijk zijn van de situering van de centrale ).



Er zullen in eerste instantie in deze studie geen uitgebreide afwegingen plaatsvinden. Aangezien het in dit onderzoek erom gaat de economische haalbaarheid te beschouwen, dient dit hoofdstuk voornamelijk om zich een indruk te vormen over de extra te maken kosten. Mocht later blijken dat de centrale economisch gezien zeer gunstig is, dan kan in dat stadium de definitieve situering van de centrale afgewogen worden.

### § 3.3.2 : Centrale zonder koppeling ( hoofdalternatief A ).

Op bijlage 3321 staan enkele mogelijkheden aangegeven voor dit alternatief ( tracé's 1, 2, 3a, 3b en 4 ). De tracé's 1, 2 en 4 hebben het voordeel van een kortere lengte van de 'doorsteek' en minder kruisingen met wegen ( zie bijlage 3322 ). Nadeel is bij deze tracé's de uitmonding van het uitlaatkanaal in de afgesneden rivierbocht aan Maaszijde. Hierdoor ontstaat een stromingsbeeld voor de sluis te St. Andries aan Maaszijde dat moeilijkheden voor de scheepvaart oplevert ( schepen komen van een gedeelte met stroomsnelheden van  $\pm 0.5$  m/s voor de sluis plotseling in de 'luwte' wanneer zij de sluis in willen varen ). Om hieraan tegemoet te komen zullen voorzieningen in de vorm van stroomgeleidingswerken moeten worden gemaakt. Als men bedenkt dat de breedte van het spuikanaal aan Maaszijde bij een debiet door de waterkrachtcentrale van  $Q_{ac} = 150 \text{ m}^3/\text{s}$  al  $B_m = 0.49 \cdot 150 - 12.3 = \text{ca. } 85$  meter bedraagt en dat de rivierarm een gemiddelde breedte van ca. 100 meter heeft, kan een oplossing neerkomen op het verbreden van de rivierarm of bijvoorbeeld de aanleg van aparte kanalen voor gebruik van de sluis door scheepvaart en het uitlaten van het debiet door de waterkrachtcentrale. Door deze maatregelen zou het voordeel van de kortere 'doorsteek' geheel teniet worden gedaan en zelfs nadelig uitpakken t.o.v. tracé's 3a en 3b. Tracé 2 ( situering van de centrale direct naast de sluis ) is vanuit het oogpunt van de optredende stroomsnelheden bij de sluismond zeer ongunstig. Voor tracé 2 speelt dit probleem ook aan de Waalzijde sterk, voor tracé's 1 en 4 is dit probleem minder groot.

De tracé's 3a en 3b hebben het nadeel van een grotere lengte van de doorsteek en meer kruisingen met wegen. Ook hier zullen problemen voor de scheepvaart ontstaan, vooral aan Maaszijde ( Maas is minder breed dan de Waal en de debieten van de Maas zijn kleiner dan die van de Waal, zodat een debiet  $Q_{ac}$  door de centrale op de Maas een relatief grotere invloed op het stromingsbeeld heeft ). Door een goede vormgeving van in- en uitlaatwerken vallen deze moeilijkheden tot aanvaardbare grootte te reduceren; hierbij kan bedacht worden dat de scheepvaart op de Maas zelf niet zo nauwkeurig hoeft te manoeuvreren als bij het invaren van de sluis te St. Andries. Overigens speelt het

probleem van de constructie van uitlaatwerken bij de tracé's 1,2 en 4 dubbel: bij spuien van het uitlaatkanaal van de centrale op de rivierarm en dan weer bij het spuien van de afgesloten rivierarm op de Maas zelf.

Andere problemen die spelen bij de aansluiting van de kanalen van de waterkrachtcentrale op de Waal en de Maas zijn de optredende dwarsverhangen op de rivieren t.p.v. de in- en uitlaatpunten en de sedimentatieprocessen die zullen optreden bij de in- en uitlaatpunten ( o.a. met het oog op de stabiliteit van de in- en uitlaatwerken zelf ). Hier zal in deze studie niet dieper op ingegaan worden.

Een juiste afweging van de verschillende tracé's zou voor deze problemen diepgaand onderzoek vergen. Hier wordt volstaan met signalering van invloeden op de directe omgeving van de centrale, die belangrijk zijn voor een keuze uit de mogelijke tracé's. Ten aanzien van die keuze kan gezegd worden dat de optredende problemen bij de sluis en het feit dat eigenlijk dubbel uitlaatwerken gemaakt moeten worden voor de tracé's 1,2 en 4 in kosten uitgedrukt wel zullen opwegen tegen de langere doorsteek en meer kruisingen met wegen bij de tracé's 3a en 3b. Tussen de tracé's 3a en 3b zit weinig verschil ( op bijlage 3321 lijkt tracé 3a een kortere kanaallengte te bezitten, maar het 'binnenwatertje' aan Maaszijde zal ook gekanaliseerd moeten worden, zodat het verschil in kanaallengte waarschijnlijk niet tot een groot verschil in kosten zal leiden ). Wanneer de centrale zelf geplaatst wordt in de dijk van de hoofdweg ( hierdoor zal 1 brug minder benodigd zijn ), zal bij tracé 3b de kanaallengte aan Maaszijde korter zijn dan bij tracé 3a. Aangezien het kanaal aan Maaszijde breder zal zijn dan het kanaal aan Waalzijde ( zie § 3.2.5 ) en dus ook duurder zal zijn, valt tracé 3b waarschijnlijk iets goedkoper uit ( onder de aanname dat kanalisatie van het eerder genoemde 'binnenwatertje' ongeveer net zo veel kost als de aanleg van een kanaal over de beschouwde lengte ).

Voor een schatting van de extra te maken kosten zal uitgegaan worden van een keuze voor tracé 3b. In de uiteindelijke rentabiliteitsberekening zal ook een variatie van -25 % en +25 % in deze kosten worden meegenomen, om het effect van eventuele onnauwkeurigheden in de schatting van de kosten en van een eventueel goedkoper tracé in te schatten. De beschouwde extra kosten zijn onder te verdelen in 3 groepen:

1. Kosten voor kanalen en dijken langs kanalen.
2. Kosten voor benodigde bruggen en/of duikers.
3. Kosten voor in- en uitlaatwerken.

ad.1 : De tracélengte van de kanalen aan zowel Maas- als Waalzijde van de centrale bij plaatsing hiervan in de dijk van de hoofdweg bedraagt ca. 450 m.

Hier van zal de lengte van de centrale plus bijbehorende civiele werken ( $L_{tot}$ , zie § 3.2.5) afgetrokken moeten worden, daar deze al bij de vaste kosten voor het centrale complex in rekening is gebracht. Er wordt aangenomen dat deze lengte  $L_{tot}$  voor de helft aan Maaszijde en voor de andere helft aan Waalzijde van de hoofdweg ligt. De kosten van de kanalen volgen uit de beschouwingen in § 3.2.5. Met deze aannames volgen de kosten voor de kanalen uit :

Waalzijde : te ontgraven per meter kanaal :

$$\begin{aligned} B_w * (4.5 + 2.2) + 3 * (4.5 + 2.2)^2 &= \\ (0.37 * Q_{ac} - 16.2) * 6.7 + 3 * (6.7)^2 &= \\ (2.5 * Q_{ac} + 26.1) \text{ m}^3 &\text{ à } f20.-/\text{m}^3 \end{aligned}$$

Totaal kosten kanaal aan Waalzijde :

$$K_{kw} = (450 - 0.5 * L_{tot}) * (50 * Q_{ac} + 522) \quad (f_{1980})$$

Maaszijde : te ontgraven per meter kanaal :

$$\begin{aligned} (0.49 * Q_{ac} - 12.3) * (3.2 + 4.5) + 3 * (3.2 + 4.5)^2 &= \\ (3.8 * Q_{ac} + 83) \text{ m}^3 &\text{ à } f20.-/\text{m}^3 \end{aligned}$$

Totaal kosten kanaal aan Maaszijde :

$$K_{km} = (450 - 0.5 * L_{tot}) * (126 * Q_{ac} + 2182) \quad (f_{1980})$$

De dijken naast deze kanalen moeten worden opgetrokken met de ontgraven grond van de kanalen. Gezien de omvang van de kanalen zal deze grond ruimschoots voldoende zijn om de dijken mee aan te leggen. De ontgraven grond zal voornamelijk zand zijn.

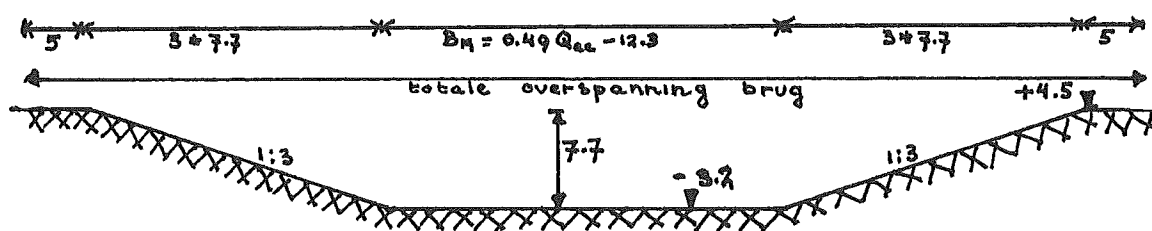
Voor de uitvoering van de dijken zal echter ook klei nodig zijn, met hierop eventueel een lichte bekleding. Doordat de stroomsnelheden in het kanaal bij het ontwerp debiet ca. 0.5 m/s zijn, zijn geen zware bekledingen vereist. Voor een kostenschatting van de nog te maken kosten van de dijken wordt uitgegaan van een prijs van f50.- per  $\text{m}^2$  bekleding (hierbij de kosten van klei en arbeid inbegrepen). Er wordt verder aangenomen dat deze bekleding wordt aangebracht langs het gehele binnentalud. Verdere kosten dan deze worden niet in de beschouwing meegenomen. Met een dijkhoogte van + 9.00 m NAP langs de kanalen aan Waalzijde en + 8.00 m NAP langs de kanalen aan Maaszijde, bodemhoogtes -2.2 m NAP van het kanaal aan Waalzijde en - 3.2 m NAP van het kanaal aan Maaszijde, binnentaluds 1:3, volgen de kosten voor de dijken uit :

$$\begin{aligned} \text{Waalzijde : } K_{dw} &= (9+2.2) * \sqrt{10} * 2 * 50 * (450 - 0.5 * L_{tot}) \quad (f_{1980}) \\ \text{Maaszijde : } K_{dm} &= (8+3.2) * \sqrt{10} * 2 * 50 * (450 - 0.5 * L_{tot}) \quad (f_{1980}) \end{aligned}$$

Totaal kosten van kanalen en dijken worden dus:

$$K_{kd} = (88 * Q_{ac} + 4894) * (900 - L_{tot}) \quad (f_{1980})$$

ad.2 : Bij tracé 3b zal nog 1 kruising van het kanaal met een weg moeten worden gerealiseerd in de vorm van een brug of een duiker. Gezien de grootte van het kanaal en de grootte van de te kruisen weg ( een relatief kleine weg, breedte ca. 5 à 6 meter ) zal een brug waarschijnlijk het meest goedkoop zijn. Uit informatie van Rijkswaterstaat bleek dat als richtgetal voor een dergelijke brug kan worden gehanteerd : f1200.- per m<sup>2</sup> oppervlak . Hiermee en met een breedte van de brug van 6 m volgt voor de kosten van de brug ( de brug ligt aan Maaszijde van de hoofdweg, zie figuur hieronder ) :



$$K_{br} = (B_m + 6 * 7.7 + 2 * 5) * 6 * 1200 = 3528 * Q_{ac} + 404640 \quad (f_{1980})$$

ad.3 : Wat betreft de kosten van in- en uitlaatwerken, oever- en bodembescherming bij de in- en uitlaatpunten, stroomgeleidingswerken etc. , zal een gedetailleerd ontwerp gemaakt moeten worden om tot een reële schatting te komen. Op dit gebied zijn geen bruikbare richtgetallen voorhanden. Om toch deze kosten mee te nemen, zal een zeer ruwe schatting gemaakt worden: er wordt van uit gegaan dat deze kosten evenredig toenemen met de breedte van de kanalen en in de orde van grootte liggen van de kosten voor oever- en bodembeschermingskosten voor de aansluiting van de centrale aan de kanalen ( zie § 3.2.5 ). Voor deze werken aan Maaszijde wordt aangenomen dat ze 1.5 miljoen kosten bij een ontwerpdebiet  $Q_{ac} = 100 \text{ m}^3/\text{s}$  en voor deze werken aan Waalzijde wordt aangenomen dat ze 1.0 miljoen kosten bij een  $Q_{ac} = 100 \text{ m}^3/\text{s}$ . Hiermee volgen de kosten voor deze post uit:

$$\text{Maaszijde: } K_{am} = \frac{0.49 * Q_{ac} - 12.3}{0.49 * 100 - 12.3} * 1.5 * 10^6 = 20027 * Q_{ac} - 502725$$

$$\text{Waalzijde: } K_{aw} = \frac{0.37 * Q_{ac} - 16.2}{0.37 * 100 - 16.2} * 1.0 * 10^6 = 17788 * Q_{ac} - 778846$$

$$\text{Totaal dus : } K_{at} = 37815 * Q_{ac} - 1281571 \quad (f_{1980})$$

Waarschijnlijk zal deze schatting voor de kosten van de aansluiting van de kanalen aan de rivieren aan de lage kant zijn.

Totaal volgt voor de variabele kosten nu :

$$K_{\text{var.}} = K_{\text{kd}} + K_{\text{br}} + K_{\text{at}}$$

Met in  $K_{\text{kd}}$  voor  $L_{\text{tot}} = (27.6 - 21 \cdot n) \cdot D + 3 \cdot Q_{\text{ac}} - 95.6$  meter levert uitwerking van dit totaal aan variabele kosten:

$$K_{\text{var.}} = -264 \cdot Q_{\text{ac}}^2 + 114274 \cdot Q_{\text{ac}} - (27.6 - 21 \cdot n) \cdot D \cdot (88 \cdot Q_{\text{ac}} + 4894) + 3995535 \quad (\text{f}_{1980})$$

In bovenstaande formule dient  $Q_{\text{ac}}$  in  $\text{m}^3/\text{s}$  en  $D$  in  $\text{m}$ . ingevuld te worden.

De in deze paragraaf opgestelde kostenformule voor de variabele kosten bevat waarschijnlijk veel onnauwkeurigheden t.g.v. grove aannames, niet meenemen van bepaalde kostenposten etc. In de berekening van de rentabiliteit zal dit in rekening gebracht worden door na te gaan wat een variatie van -25 % en van +25 % in de variabele kosten voor invloed heeft op de berekende KWh-prijs. De hier opgestelde kostenformule beoogt zeker geen absolute waarden op te leveren, maar is bedoeld om een eerste indruk van de variabele kosten te verkrijgen.

### § 3.3.3 : Centrale met koppeling ( hoofdalternatief B ).

Voor dit alternatief zijn op bijlage 3321 2 varianten voor het tracé aangegeven: de tracé's 5 en 6. Tracé 6 heeft als voordeel dat het spuien van de waterkrachtcentrale naast de stuw geschiedt, zodat geen dure voorzieningen voor de uitlaatwerken nodig zullen zijn en de scheepvaart geen of weinig hinder van het spuien zal ondervinden ( bedoeld is : extra hinder bovenop de hinder die de scheepvaart toch al van de stuw ondervindt ). Bij tracé 5 zullen ten aanzien van het spuien meer problemen optreden, vergelijkbaar met de problemen bij het spuien die zullen optreden bij de tracé's 3a en 3b in de vorige paragraaf. Nadeel van tracé 6 is dat in het kanaal van de Waal naar de centrale hydraulische verliezen t.g.v. wrijving in het kanaal groter zullen zijn dan bij tracé 5 ( immers, het kanaal Waal-centrale is langer bij tracé 6 ). De wrijvingsverliezen in het kanaal van de stuw te Lith naar de centrale zullen gelijk, waarschijnlijk zelfs geringer zijn dan de wrijvingsverliezen die optreden in de Maas van de stuw naar het uitlaatpunt. Deze verliezen zullen dan ook niet in rekening gebracht worden ( bij tracé 5 ). Daarnaast is de afstand van in-

laatpunt tot de sluis te St. Andries via de Waal bij tracé 6 groter dan de afstand van het uitlaatpunt ( = stuw te Lith bij tracé 6 ) tot de uitmonding van de afgesneden rivierbocht te St. Andries via de Maas. Aangezien voor zowel de Waal als de Maas hetzelfde verhang ( ca.  $8 \cdot 10^{-5}$  ) in de beschouwde gedeeltes aanwezig is, betekent dit dat het verval (Waal-stuw Lith benedenstrooms) kleiner is dan het verval dat berekend zal worden te St. Andries tussen Waal en Maas ( zie hoofdstuk 3.4 ). Voor tracé 5 zijn deze afstanden via Waal en Maas tot respectievelijk inlaat- en uitlaatpunt ongeveer gelijk, zodat het verval (Waal-uitlaatpunt) voor tracé 5 ongeveer gelijk zal zijn aan het verval te St. Andries tussen Waal en Maas.

De totale kanaallengte van tracé 5 is iets korter dan bij tracé 6, maar zeer waarschijnlijk zal het kanaalgedeelte (stuw Lith-centrale) per meter duurder zijn dan het gedeelte (Waal-centrale), aangezien het gedeelte (stuw Lith-centrale) waarschijnlijk op een groter debiet gedimensioneerd zal moeten worden dan het gedeelte (Waal-centrale). Bij tracé 6 zullen 6 wegen gekruist moeten worden, bij tracé 5 zijn dat 4 wegen. Aangezien niet alle wegen over het kanaal doorgevoerd zullen worden, leidt dit niet tot een verschil in kosten tussen tracé 5 en 6 ( er zullen 2 bruggen in de kostenschatting worden meegenomen, voor de overige wegen zullen omleidingen aangelegd worden ( die niet in de kostenbeschouwing zullen worden meegenomen ) ).

Een uitvoerige kosten-baten analyse zal moeten uitwijzen welk tracé te verkiezen is. Aangezien in dit stadium van onderzoek over een keuze zeer weinig te zeggen valt, zullen voor beide tracé's kostenramingen worden gemaakt. Bij de uiteindelijke rentabiliteitsberekening waarin de extra te winnen energie door suppletie van Waalwater aan een centrale van type C ( zie § 3.3.1 : type C is een centrale die energie produceert met alleen het verval bij de stuw te Lith ) wordt afgewogen tegen de extra kosten, zal dan blijken in welke gevallen tracé 5 en in welke gevallen tracé 6 goedkoper uitvalt. Deze rentabiliteitsberekening zal plaatsvinden in hoofdstuk 3.6. In deze paragraaf zal nog verder een globale raming van kosten en beschouwing van de hydraulische verliezen m.b.t. het verval (Waal-uitlaatpunt) voor zowel tracé 5 als 6 plaatsvinden.

Er wordt aangenomen dat het kanaal Waal-centrale op een debiet  $Q_w$  ontworpen wordt en het kanaal (stuw Lith-centrale) op een debiet  $Q_l$ . Verder wordt verondersteld dat voor zowel tracé 5 als 6 2 bruggen gemaakt zullen worden ( één met een breedte 10 m. voor de hoofdweg, één met een breedte 6 m. voor een secundaire weg ) die beide over het kanaalgedeelte Waal-centrale voeren. Dijkhoogte van de dijken langs alle kanalen 9.50 m NAP.

De kosten van in- en uitlaatwerken zullen per tracé verderop in deze paragraaf aangeduid worden. De kostenramingen zijn als volgt :

Kostenraming en berekening hydraulische verliezen voor tracé 6 :

--totale kanaallengte ca 5000 m. ( met breedte  $B_w = 0.37*Q_w - 16.2$  m. )

$$\begin{aligned} \text{kosten hiervan: } K_{k6} &= 5000*((6.7)^2*3+(0.37*Q_w-16.2)*6.7)*20 = \\ &= 247900*Q_w + 2613000 \quad (f_{1980}) \end{aligned}$$

( voor de getalwaarden, zie schatting kanaalkosten vorige paragraaf )

--dijkhoogte 9.5 m NAP , bodemhoogte kanaal -2.2 m NAP , taluds 1:3

kosten bekleding dijken ( zie ook vorige paragraaf ) :

$$K_{d6} = (9.5+2.2)*\sqrt{10}^2*50*5000 = 18499324 \quad (f_{1980})$$

--kosten bruggen :  $K_{b6} = (0.37*Q_w - 16.2 + 6*6.7 + 2*5)*(6+10)*1200 =$   
 $= 7104*Q_w + 652800 \quad (f_{1980})$

( zie ook vorige paragraaf bij schatting van kosten voor bruggen ).

--kosten uitlaatwerken niet meegenomen ( in dit geval is sprake van spuien naast de stuw, kosten van voorzieningen voor het spuien zullen dan niet groot zijn ), kosten voor inlaatwerken ingeschat zoals ook in de vorige paragraaf gebeurd is. Kosten voor in- en uitlaatwerken zijn dan:

$$K_{a6} = 17788*Q_w - 778846 \quad (f_{1980}).$$

--- Totaal kosten voor tracé 6 zijn dus:

$$K_6 = 272792*Q_w + 20986278 \quad (f_{1980}) \quad ( \text{met } Q_w \text{ in } m^3/s )$$

--In kanaal stroomsnelheid  $v = \text{ca. } 0.5$  m/s . Met Chézy en  $C = \text{ca. } 70$   $m^{1/2}/s$  en  $R = \text{ca. } \text{waterdiepte} = (2.2+3.2) = 5.4$  m. volgt dan voor het verhang van het kanaal:  $i = \text{ca. } (0.5/70)^2/5.4 = \text{ca. } 10^{-5}$ . Met een kanaallengte 5000 m is het hydraulisch verlies in het kanaal  $10^{-5}*5000$  m. = 5 cm.

--Lengte St. Andries-inlaatpunt via Waal = ca. 5600 m.

Lengte St. Andries-uitlaatpunt via Maas = ca. 8500 m.

Met voor beide rivieren  $i = 8*10^{-5}$  in de beschouwde gedeelten, betekent dit verschil in lengte een verkleining van het verval, zoals dat berekend is te St. Andries tussen Waal en Maas van :  $(8500-5600)*8*10^{-5}$  m. = 23 cm.

--- Totale correctie op het verval tussen Waal en Maas, zoals voor St. Andries berekend, is dus voor tracé 6 een vervalverkleining van 28 cm.

Kostenraming en berekening hydraulische verliezen voor tracé 5 :

--kanaallengte (Waal-centrale) = ca. 1600 m.

kanaallengte (stuw Lith-centrale) = ca. 3100 m.

Bodemdiepte en gemiddelde waterstand bovenstrooms van stuw Lith zijn respectievelijk -2.5 m.NAP en +3.8 m.NAP.

ontwerpen van het kanaal (stuw Lith-centrale) op een stroomsnelheid 0.5 m/s levert ( zie ook § 3.2.5 ) :  $Q_1/0.5 = B_1*(2.5+3.8)+3*(2.5+3.8)^2$ . Hieruit volgt :  $B_1 = 0.32*Q_1 - 18.9$  m.

Hiermee volgt voor de kosten van het kanaalgedeelte (stuw Lith-centrale):

$$K_{k15} = 3100*((0.32*Q_1-18.9)*(2.5+4.5)+3*(2.5+4.5)^2)*f_{20} = \\ = 138880*Q_1 + 911400 \quad (f_{1980})$$

kosten voor het kanaalgedeelte (Waal-centrale) bedragen:

$$K_{kw5} = 1600*((0.37*Q_w-16.2)*6.7+3*(6.7)^2)*20 = \\ = 79328*Q_w + 836160 \quad (f_{1980})$$

--dijkhoogte alle dijken 9.5 m NAP, bodemhoogte kanaalgedeelte Waal-centrale -2.2 m NAP, bodemhoogte kanaalgedeelte stuw Lith-centrale -2.5 m NAP, taluds 1:3 ; hiermee worden de kosten van de dijkbekleding :

$$K_{d5} = 50*\sqrt{10}^2*(3100*(9.5+2.5)+1600*(9.5+2.2)) = 17683457 \quad (f_{1980})$$

--kosten voor bruggen, idem als bij tracé 6 :

$$K_{b6} = 7104*Q_w + 652800 \quad (f_{1980})$$

--kosten van de inlaatwerken bij de stuw voor het kanaalgedeelte (stuw Lith-centrale) zijn niet meegenomen ( deze worden verondersteld klein te zijn ), kosten voor het inlaatwerk bij het inlaatpunt aan de Waal idem als bij tracé 6, uitlaatwerken bij de centrale worden geacht te zijn gedimensioneerd op een maximaal debiet door de centrale  $Q_1$  ( het debiet  $Q_w$  wordt gebruikt om te suppleren wanneer de afvoer van de Maas bij de stuw te Lith kleiner is dan het ontwerpdebiet  $Q_1$  van de centrale ), er wordt verondersteld dat de uitlaatwerken 1.5 miljoen kosten bij een debiet  $Q_1 = 100$  m<sup>3</sup>/s en evenredig toenemen met de breedte van het uitlaatkanaal ( deze breedte wordt aangenomen als  $B_1 = 0.32*Q_1 - 18.9$  m.). De kosten van uitlaatwerken worden hiermee:

$$K_{au5} = \frac{0.32*Q_1 - 18.9}{0.32*100 - 18.9} * 1.5*10^6 = 36641*Q_1 - 2164122 \quad (f_{1980})$$

kosten voor inlaatwerk bij de Waal bedragen ( idem als bij tracé 6 ) :

$$K_{ai5} = 17788*Q_w - 778846 \quad (f_{1980}).$$

--- Totaal kosten voor tracé 5 zijn dus ( met  $Q_w$  en  $Q_1$  in m<sup>3</sup>/s ) :

$$K_5 = 104220*Q_w + 175521*Q_1 + 17140849 \quad (f_{1980})$$

--de enige correctie op het verval tussen Waal en Maas, zoals voor St. Andries berekend, volgt voor tracé 5 uit het hydraulisch verlies in het kanaalgedeelte (Waal-centrale). De vervalverkleining t.g.v. dit wrijvingsverlies bedraagt ca.  $10^{-5}*1600$  m. = 1.6 cm. ( verwaarloosbaar ).

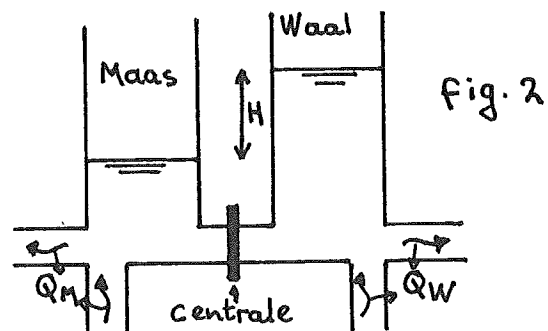
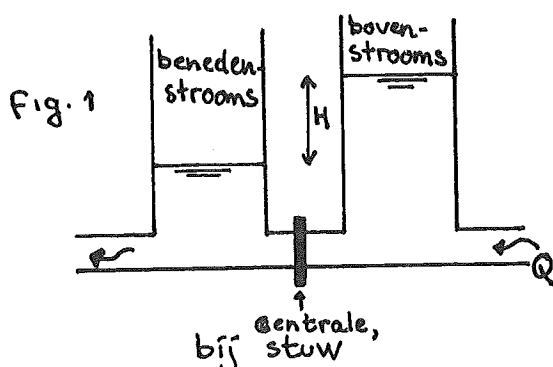


De in deze paragraaf gemaakte ramingen zijn van een globaal karakter, bedoeld om een eerste indruk te verkrijgen van de orde van grootte van de beschouwde kosten. In hoofdstuk 3.6 zal met deze kostenramingen de rentabiliteit van de mogelijkheid van één centrale die gebruik maakt van zowel het verval bij de stuw te Lith als van het verval tussen Waal en Maas beschouwd worden.

Tenslotte wordt hier nog vermeldt dat er nog andere mogelijkheden van koppeling aanwezig zijn. Men zou kunnen denken aan een koppeling van scheepvaartbelangen en waterkrachtbelangen. Al enige jaren is er onderzoek gaande naar een tweede Maas-Waal kanaal. Hierbij is ook een situering bij de gemeente Heerewaarden aan de orde gekomen: de aansluiting aan de Maas zou hierbij bovenstrooms van de stuw te Lith gesitueerd zijn. Als men nu bijvoorbeeld tracé 6 beschouwt, dan is duidelijk dat hiermee tevens een mogelijkheid geschetst is voor een 2<sup>e</sup> Maas-Waal kanaal. Combinatie van scheepvaart- en waterkrachtbelangen in tracé 6 zou er toe kunnen leiden dat de kosten van kanaal, dijken etc. niet geheel voor de rekening van waterkrachtdoeleinden komen maar ook voor rekening van scheepvaartbelangen. Hiermee is dan wellicht een economisch haalbaar multi-purpose project in de omgeving van Heerewaarden aangegeven. In deze studie zal hier niet nader op ingegaan worden; dit is echter wel een zaak die de moeite waard is om eens aan een nadere beschouwing te onderwerpen. Het wordt aan anderen overgelaten om deze zaak nader te analyseren.

### § 3.3.4 : Accumulatiemogelijkheden

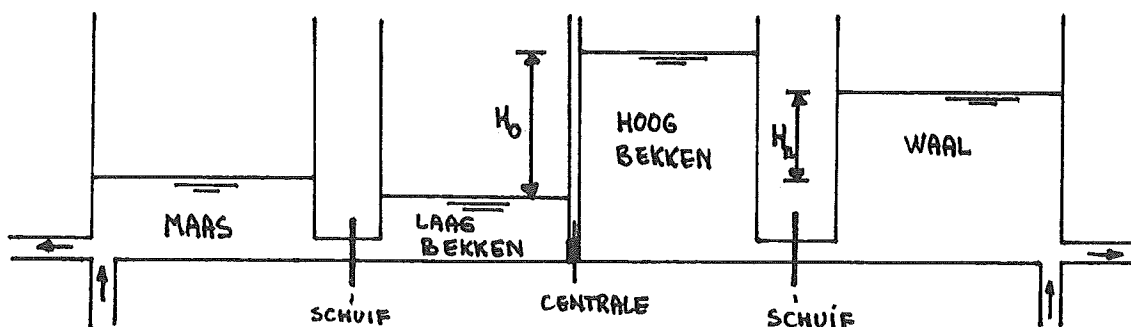
Om te komen tot een goed begrip van deze mogelijkheden in dit geval, zal eerst nog eens de nadruk worden gelegd op het verschil in karakter tussen de in deze studie beschouwde centrale (gebruikmakend van het verval tussen Waal en Maas, al dan niet als suppletie) en een centrale bij een stuw in een rivier. Schematisch is dit verschil als volgt weer te geven (zie fig. hieronder):



In het geval van een centrale bij een stuw ( fig. 1 ) is er sprake van een debiet  $Q$  dat door de rivier stroomt en in elk geval door de waterkrachtcentrale en/of over de stuw afgevoerd moet worden. Wanneer het gehele debiet  $Q$  wordt afgevoerd via de waterkrachtcentrale zal het maximale vermogen op dat moment geproduceerd worden, het verval  $H$  heeft geen invloed op de grootte van het debiet  $Q$  ( hoewel  $H$  en  $Q$  wel gecorreleerd zijn door het stuwprogramma ) en zal gelijk blijven bij afvoering van het gehele debiet  $Q$  door de centrale. Wanneer niet het gehele debiet wordt afgevoerd, maar een gedeelte hiervan geaccumuleerd wordt ( bijv. in het stuwpan ), zal het verval toenemen en niet het maximale vermogen geproduceerd worden op dat moment: er wordt dan vermogen geaccumuleerd dat later, wanneer het nodig is, gebruikt kan worden. De garantie dat dit vermogen geleverd kan worden in tijden van een grote energievraag levert een vermogensvergoeding op die in mindering mag worden gebracht op de investeringskosten ( zie ook hoofdstuk 3.1 ).

In fig. 2 is de situatie geschetst zoals die in deze studie aanwezig is. Er is geen sprake van een in ieder geval af te voeren debiet, het debiet door de waterkrachtcentrale is in dit geval afhankelijk van het verval en de keuze van de grootte van de doorstroomopening  $A$  van de centrale. Maximaal zou dit debiet zijn ( afvoerformule voor gesloten leidingen ) :  $Q = A \sqrt{2 * g * H}$  ( $\mu = ca. 1$ ). ( In wezen is dit niet juist: door een debiet  $Q$  van de Waal naar de Maas te laten stromen, zullen de waterstanden van Waal en Maas veranderen in die zin dat het verval kleiner wordt en dus ook weer het debiet  $Q$  kleiner zal zijn: het maximale debiet zal dus kleiner zijn dan de hierboven berekende waarde. ). Wanneer men niet dit maximale debiet zou doorvoeren ( door de doorstroomopening  $A$  te 'knijpen' ), betekent dit niet dat op een later tijdstip deze 'gespaarde energie' weer opgewekt kan worden. Immers, op een later tijdstip is men weer afhankelijk van het verval dat dan aanwezig is en dat niet beïnvloed wordt door het op een eerder tijdstip al dan niet laten stromen van een debiet  $Q$  door de waterkrachtcentrale.

Wanneer men in dit geval accumulatie zou willen toepassen, zou men volgens het volgende schema te werk moeten gaan ( zie fig. hieronder ):



Men zou een bekken moeten tussenschakelen, waarmee men een groot verval zou kunnen 'bewaren' voor een tijd waarin het nodig is. Door in tijden van hoge waterstanden van de Waal het hoge bekken vol te laten lopen en in tijden van lage waterstanden van de Maas het lage bekken leeg te laten lopen, kan men een zo groot mogelijk verval tussen de bekkens kunnen realiseren. Men zou overigens ook met alleen een hoog of alleen een laag bekken kunnen werken. In tijden van een grote energievraag zou men nu een maximaal verval tussen de bekkens tot zijn beschikking kunnen hebben.

Van groot belang zijn echter de volgende zaken: ten eerste het vermogen dat in een piekperiode ( van de energievraag ) constant geleverd zou kunnen worden door het hoge in het lage bekken te laten leegstromen, ten tweede de vraag hoe vaak men dat grote verval tot zijn beschikking zou hebben. Wat het eerste punt betreft, zal de volgende uiteenzetting verduidelijken in welke zin dit van belang is : Stel dat men op  $t=0$  ( begin piekperiode ) een verval  $H_0$  tussen de bekkens tot zijn beschikking heeft en dat zowel het hoge als lage bekken een oppervlakte  $O$  bezitten. Dan gelden de volgende 3 vergelijkingen:

$$Q(t) = A \cdot \sqrt{2 \cdot g \cdot H(t)} \quad (1)$$

$$-O \cdot \frac{dH(t)}{dt} = Q(t) \quad (2)$$

$$P(t) = \eta \cdot \rho \cdot g \cdot Q(t) \cdot H(t) \quad (3)$$

In bovenstaande vergelijkingen is voor de bepaling van het debiet uitgegaan van de waarde  $A$  voor de effectieve doorstroomopening,  $P$  staat voor vermogen. Uitwerking van de differentiaalvergelijking en combinatie van (1) en (2) met (3) levert op ( zie bijlage 3342A ) :

$$P(t) = \eta \cdot \rho \cdot g \cdot A \cdot H_0 \cdot \sqrt{2 \cdot g \cdot H_0} \cdot (1-t/t_1)^3 \quad \text{met} \quad t_1 = \frac{2 \cdot O \cdot \sqrt{H_0}}{A \cdot \sqrt{2 \cdot g}} \quad (4)$$

Wanneer men dus met constante doorstroomopening  $A$  het hoge bekken laat leeglopen in het lage bekken, zal het vermogen van een maximaal vermogen op  $t=0$  volgens een derdegraadskromme afnemen in de tijd tot nul op  $t=t_1$ . Van belang is echter dat het geleverde vermogen constant is. Dit valt te realiseren door de doorstroomopening  $A$  te variëren in de tijd van  $A_0$  op  $t=0$  tot  $A_2$  op  $t=t_2$ , waarbij  $A_2$  groter is dan  $A_0$  en in het tijdsinterval tussen  $t=0$  en  $t=t_2$  het vermogen de constante waarde  $P_c$  zal hebben. In formules komt dit er als volgt uit te zien :

$$P_c = \eta * \rho * g * A(t) * H(t) * \sqrt{2 * g * H(t)} = \text{constant} \quad (5) \quad (\text{comb. (1)+(3)})$$

$$P_c = \eta * \rho * g * (-0) * H(t) * \frac{dH(t)}{dt} = \text{constant} \quad (6) \quad (\text{comb. (2)+(3)})$$

Uitwerking van differentiaalvergelijking (6) en combinatie met (5) en beginvoorwaarde  $H(0)=H_0$  levert de volgende uitdrukkingen voor  $A(t)$  en  $P_c$  :

( zie bijlagen 3342B t/m 3342D ) :

$$A(t) = A_0 * ( 1 - t/t_3 )^{-\frac{3}{4}} \quad \text{met} \quad t_3 = \frac{\eta * \rho * g * 0 * H_0^2}{2 * P_c} \quad (7)$$

$$P_c = \eta * \rho * g * A_0 * H_0 * \sqrt{2 * g * H_0} \quad (8)$$

Op  $t=t_2$  is de doorstroomopening maximaal ( $A=A_2$ ), hierna blijft de doorstroomopening gelijk aan  $A_2$  en zal het verder nog geleverde vermogen volgens een derdegraadskromme in de tijd van  $P_c$  tot nul verlopen. Met (7) volgt voor  $t_2$  :

$$t_2 = t_3 * ( 1 - (A_0/A_2)^{\frac{4}{3}} ) \quad (9)$$

Een andere wijze van schrijven van (9) levert het volgende verband tussen  $P_c$  en  $t_2$  op:

$$P_c = C / t_2 \quad \text{met} \quad C = \frac{1}{2} * \eta * \rho * g * 0 * H_0^2 * (1 - (A_0/A_2)^{\frac{4}{3}}) \quad (10)$$

Wanneer men nu een centrale ontwerpt met maximale doorstroomopening  $A_2$  kan men deze gebruiken voor benutting van het verval tussen de bekkens of voor benutting van het natuurlijk verval; in beide gevallen is dan sprake van dezelfde centrale ( die dus voor beide gevallen evenveel kost ).

Bij benutting van het natuurlijk verval is ook sprake van een vervalverkleining ten gevolge van het laten stromen van een debiet van Waal naar Maas. Deze vervalverkleining is constant bij een bepaald debiet door de centrale (dit in tegenstelling tot de vervalverkleining bij het gebruik van bekkens, waar deze in de tijd varieert van nul bij het begin van de lediging tot het gehele verval  $H_0$  aan het eind van de lediging). De vervalverkleining bij het natuurlijk verval is te schrijven als :

$$\Delta H_n = a \cdot Q_n / 100 - b \quad * \quad (\text{zie } \S 3.4.7)$$

Het debiet  $Q_n$  door de centrale wordt berekend uit :

$$Q_n = A_2 \cdot \sqrt{2 \cdot g \cdot (H_n - \Delta H_n)}$$

Combinatie van de twee vergelijkingen hierboven levert een kwadratische vergelijking in  $Q_n$ , waarvan de wortel die voldoet als volgt geschreven kan worden:

$$Q_n = g \cdot A_2^2 \cdot \left( -a/100 + \sqrt{(a/100)^2 + 4 \cdot (H_n + b) / (2 \cdot g \cdot A_2^2)} \right) \quad (11)$$

Bij benutting van natuurlijk verval wordt nu een vermogen geleverd van:

$$P_n = \eta \cdot \rho \cdot g \cdot Q_n \cdot (H_n - a \cdot Q_n / 100 + b) \quad (12)$$

Stel nu dat men voor accumulatie de afgesneden rivierarm van de Maas bij de sluis gebruikt (oppervlak 60 ha.), dan is  $0 = 60/2$  ha. =  $30 \cdot 10^4$  m<sup>2</sup> (helft van de arm als hoog bekken, andere helft als laag bekken). Reële waarden voor  $H_0$  en  $H_n$  zijn 3 resp. 2.25 meter, voor de constanten bij de vervalverkleining geldt gemiddeld  $a = 0.4$  meter en  $b = 0.05$  meter. Duur van de piekperiode wordt aangenomen op 5 uur = 18000 sec. Rendement wordt aangenomen op  $\eta = 0.8$ . Verder geldt  $g = 10$  m/s<sup>2</sup> en  $\rho = 10^3$  kg/m<sup>3</sup>. Voor  $A_2$  wordt uitgegaan van  $A_2 = 30$  m<sup>2</sup>.

Dan volgt voor het debiet en vermogen bij benutting van natuurlijk verval:

$$Q_n = 10 \cdot 900 \cdot \left( -0.004 + \sqrt{(0.004)^2 + 4 \cdot 2.30 / (2 \cdot 10 \cdot 900)} \right) = 170.6 \text{ m}^3/\text{s}$$

$$P_n = 0.8 \cdot 10^3 \cdot 10 \cdot 170.6 \cdot (2.25 - 0.004 \cdot 170.6 + 0.05) = 2.07 \cdot 10^6 \text{ W}$$

In het hiernavolgende zal berekend worden hoe de vermogenslevering bij gebruik van bekkens wordt en in welke verhouding dit tot  $P_n$  staat.

\* oude formule voor  $\Delta H$ ; zie ook paragraaf 3.6.0

Indien uitgegaan wordt van  $P_c = 0$  ( dus geen constant vermogen,  $A_0 = A_2$  ), dan zou het maximale vermogen dat geleverd wordt op tijdstip  $t=0$  (begin van lediging van hoog bekken in laag bekken ) bedragen:

$$P_{\max} = 0.8 \cdot 10^3 \cdot 10 \cdot 30 \cdot 3 \cdot \sqrt{2 \cdot 10 \cdot 3} = 5.58 \cdot 10^6 \text{ W}$$

Dit maximale vermogen wordt echter alleen op  $t=0$  geleverd, daarna neemt het vermogen volgens een derdegraadskromme af in de tijd ( invulling van de gegevens in (4) levert op  $t_1 = 2.15$  uur en met (4) valt verder te berekenen dat na  $\pm 36.3$  minuut het geleverde vermogen al weer gelijk is aan  $P_n$ , waarna het geleverde vermogen daalt beneden de waarde van  $P_n$  ). Om te berekenen welk constant vermogen met de bekkens in een tijdsbestek van 5 uur geleverd kan worden, wordt gebruik gemaakt van vgl. (8) en (10). Invullen van de gegevens en gelijkstelling van deze twee vergelijkingen levert op :

$$0.8 \cdot 10^3 \cdot 10 \cdot 3 \cdot \sqrt{2 \cdot 10 \cdot 3} \cdot A_0 = (0.8 \cdot 10^3 \cdot 10 \cdot 30 \cdot 10^4 \cdot 9/2) \cdot (1 - (30/A_0)^{-4/3}) / 18000$$

Proberenderwijs volgt hieruit  $A_0 = 3.1 \text{ m}^2$ , invullen hiervan in (8) levert dan  $P_c = 0.58 \cdot 10^6 \text{ W}$  (dit is slechts 28 % van het vermogen  $P_n$  ! ).

Uit bovenstaande beschouwing blijkt dat accumulatie in dit geval zelfs niet eens een groter gegarandeerd vermogen oplevert dan geen accumulatie. Er is echter nog een tweede reden dat accumulatie in dit geval zinloos is. Die reden volgt uit een beschouwing van de vraag hoe vaak men een groot verval in het accumulatiesysteem tot zijn beschikking kan hebben. Om in aanmerking te komen voor vermogensvergoeding voor gegarandeerd vermogen zal men zeker in 90 % van de tijdsduur wanneer dit vermogen nodig is ( piekperiodes ), dit vermogen moeten kunnen leveren. De tijd waarin veel energie nodig is, is overdag gedurende een piekperiode van 4 à 6 uur. Dan zal er dus energie geleverd moeten kunnen worden. Hiernaast is van belang hoe groot de winst in grootte van het verval is ten opzichte van het van nature aanwezige verval gedurende de piekperiode wanneer men het maximaal opgetreden verval in de periode tussen een piekperiode en de volgende piekperiode 'bewaard' voor die volgende piekperiode ( in wezen zou men een groter verval in de bekkens kunnen hebben dan het maximale verval dat voor de piekperiode opgetreden is door de hoge waterstanden van de Waal en de lage waterstanden van de Maas onafhankelijk van elkaar te 'bewaren'; in de praktijk blijken de hoge Waalstanden en lage Maasstanden echter niet zoveel per dag te fluctueren dat dit een groot verschil uitmaakt; om de essentie van de beschouwde materie te verduidelijken zal uitgegaan worden van het maximaal opgetreden verval, dit komt de duidelijkheid van deze uiteenzetting ten goede ).

Op bijlage 3341 is een beeld geschetst van de gang van zaken zoals die in de praktijk zou zijn. Voor de waarden voor het van nature aanwezige verval is uitgegaan van meetgegevens van Waal- en Maasstanden tussen 5 en 15 maart 1979. Deze kunnen als representatief voor het verloop van het verval van dag tot dag gezien worden. Uit de bijlage blijkt dat:

1. het 'vastgehouden' verval tussen het hoge en het lage bekken niet veel groter zal zijn dan het van nature aanwezige verval in de piekperiode ( maximaal verschil ca. 30 cm. in de beschouwde dagen ).
2. het in 90 % van de tijd in de piekperiodes gegarandeerd aanwezig verval ( bedoeld is: 'vastgehouden' verval ) amper groter zal zijn dan het in 90 % van de tijd in de piekperiodes van nature aanwezige verval.

Wanneer men alle in deze paragraaf genoemde zaken op een rijtje zet, blijkt dat in dit geval accumulatie zinloos is. Het zou slechts extra investeringen met zich meebrengen en een eventuele vermogensvergoeding die deze investeringen zou moeten compenseren zal zeer gering zijn en zeker niet opwegen tegen die investeringen. Voor het van nature aanwezige verval kan niet gerekend worden op een vermogensvergoeding wegens de grilligheid van het verloop ervan.

In deze paragraaf zijn mogelijkheden voor accumulatie beschouwd voor zover deze er zijn bij gebruikmaking van het verval tussen Waal en Maas. Voor accumulatiemogelijkheden bij de stuw bij Lith zijn de conclusies uit deze paragraaf niet geldig. Hiervoor zal een aparte studie verricht moeten worden; van een dergelijke studie wordt in dit onderzoek afgezien.

### § 3.3.5 : Windkracht

Zoals reeds eerder gezegd is, zal er in deze studie geen uitgebreide beschouwing van windkrachtmogelijkheden in de omgeving van Heerewaarden plaatsvinden. Hetgeen in deze paragraaf gezegd zal worden dient meer als aanvulling op de vorige paragraaf.

De benutting van windkracht is voor de omgeving van Heerewaarden waarschijnlijk slechts rendabel wanneer er accumulatiemogelijkheden zijn. Tot nu toe is gebleken dat benutting van windkracht zonder accumulatie slechts rendabel is in gebieden van grote windsterkte, met name in de kustgebieden, buiten de kust ( windmolenpark in zee ) en bij grote meren ( bijv. IJsselmeer ). In het binnenland is de windsterkte aanmerkelijk kleiner ( gemiddeld ), waardoor de zaak hier weinig rendabel is. Wanneer men echter een accumulatiebekken tot zijn be-

schikking heeft ( waarvan de investeringskosten niet voor rekening van de investeringen voor windenergie zijn ), dan kan de zaak toch nog rendabel worden doordat een vermogensvergoeding gerekend mag worden. Wanneer men ten bate van accumulatie van waterkracht toch al een bekken bouwt, zou men dus de installatie van windmolens kunnen overwegen.

Uit de vorige paragraaf komt echter naar voren dat in dit geval een accumulatiebekken ten bate van waterkracht een niet rendabele zaak is. Wanneer men toch een accumulatiebekken zou bouwen, dan zouden de investeringen hiervoor dus in rekening gebracht moeten worden bij de rentabiliteitsbeschouwing van de windmolens die van dat bekken gebruik zouden maken. Hierdoor zal de rentabiliteit van die windmolens waarschijnlijk zeer gering zijn.

Op grond van deze overwegingen wordt in deze studie afgezien van verdere beschouwing van windkrachtmogelijkheden. Het lijkt zeer waarschijnlijk dat de benutting van windkracht in de omgeving van Heerewaarden een weinig rendabele zaak is. Een aparte studie ( waarvan in dit onderzoek afgezien wordt ) zal de juistheid van deze veronderstelling moeten aantonen. Een conclusie die wel getrokken kan worden, is dat koppeling van wind- en waterkracht in de omgeving van Heerewaarden middels een gezamenlijk accumulatiebekken een niet rendabele zaak is.



HOOFDSTUK 3.4 : HYDROLOGIE.

## Hoofdstuk 3.4 : Hydrologie.

### § 3.4.1 : Werkmethode

Op het gebied van de hydrologie komt men voor een centrale tussen Waal en Maas al direct terecht bij een netelig punt. Essentieel voor deze studie is een onderschrijdingslijn voor het verval tussen Waal en Maas te St. Andries. Deze is niet opvraagbaar bij Rijkswaterstaat of andere instanties om de eenvoudige reden dat hiernaar nog geen studie is verricht. Een nauwkeurige bepaling van deze onderschrijdingslijn zou veel tijd kosten. Formeel zou men de meetwaarden voor elke dag van de waterstanden van Waal en Maas te St. Andries ( die wel over een groot genoeg aantal jaren opvraagbaar zijn ) van elkaar af moeten trekken, dit voor een zeer groot aantal jaren ( bv. 50 jaar ) uitvoeren en tenslotte al deze gemeten vervallen met een statistische beschouwing tot een jaar-onderschrijdingslijn voor het verval moeten samenstellen. Probleem hierbij is dat als er in die 50 jaar in de Rijn en/of Maas ingrepen, morfologische wijzigingen etc. hebben plaatsgevonden, die de waterstanden van Waal en/of Maas beïnvloed hebben, er correctie van de meetwaarden moet plaatsvinden om de meetwaarden onderling vergelijkbaar te maken. Al met al zou een formele aanpak op dit gebied voldoende stof zijn om een aparte, uitgebreide studie mee te vullen.

In het kader van een globale verkenning van de locale haalbaarheid wordt hiervan afgezien. Een redelijke schatting voor de onderschrijdingslijn voor het verval wordt hier voldoende geacht met het oog op het verkennende karakter van dit onderzoek.

De werkwijze om tot een redelijke schatting te komen is als volgt:

1. Bekend zijn 50 % , 95 % , 5 % onderschreden jaarverlopen voor de afvoeren van de Rijn te Lobith en de Maas te Lith. Door deze te koppelen aan waterstanden te St. Andries ( met behulp van in deze studie zelf te onderzoeken Q-h krommes ), zijn 50 % , 95 % en 5 % onderschreden jaarverlopen voor het verval te St. Andries te berekenen.
2. De afvoerverlooptlijnen voor een bepaald jaar van de Rijn te Lobith en de Maas te Lith leveren op dezelfde wijze als onder 1. een jaarverloop voor het verval te St. Andries in dat jaar.
3. Met meetwaardes van de waterstanden van Waal en Maas te St. Andries is voor hetzelfde jaar als onder 2. ook een ( gemeten ) jaarverloop voor het verval te bepalen. Deze wordt vervolgens vergeleken met de onder 2. berekende lijn om een indruk te krijgen van de nauwkeurigheid van de berekening. Met dezelfde meetwaardes wordt tenslotte een onderschrijdingslijn voor het verval in dat specifieke jaar bepaald.

4. Door dat specifieke jaar te vergelijken met een gemiddeld jaar ( 50 % onderschreden jaar ) en de nauwkeurigheid van de berekening in het achterhoofd te houden, is de onder 3. bepaalde onderschrijdingslijn voor het verval in dat specifieke jaar om te zetten in een redelijke schatting voor de gemiddelde onderschrijdingslijn voor het verval. Deze kan dan als uitgangspunt dienen voor de bepaling van het potentieel aan winbaar vermogen te St. Andries.

In de volgende paragrafen zal deze werkwijze verder uitgewerkt worden. Daarna zal aandacht besteed worden aan de vervalverkleining die zal optreden als men een debiet van Waal naar Maas laat stromen. Eerst zal met een algemene beschouwing van de rivieren Rijn en Maas de problematiek ingeleid worden.

### § 3.4.2 : Inleiding Maas en Waal

De Maas ontspringt in het noordoosten van Frankrijk op een hoogte van ca. 450 m. boven zeeniveau. Vandaar stroomt de rivier via de Belgische Ardennen te Eijsden Nederland binnen, waarna hij naar het noorden stroomt door Limburg, dan naar het Westen afbuigt en uiteindelijk in het Hollands Diep uitstroomt. De verhangen variëren van ca.  $6 \cdot 10^{-4}$  in de Ardennen en ca.  $4.5 \cdot 10^{-4}$  maximaal en ca.  $0.8 \cdot 10^{-4}$  minimaal in Limburg tot kleiner dan  $0.8 \cdot 10^{-4}$  in het laatste stuk. Het stroomgebied van de Maas is zodanig gelegen dat het afvoerverloop vrijwel geheel bepaald is door directe neerslag, afgezien van een geringe hoeveelheid smeltwater uit de Ardennen zomers. De neerslagvariatie in het stroomgebied is gedurende het jaar gering. De grote variatie in afvoer is dan ook niet het gevolg van variatie in de hoeveelheid neerslag maar van variërende neerslagverliezen. Vooral t.g.v. hoge verdamping in de Ardennen treden zomers grote verliezen op ( tot 80 % van de neerslag zomers tegen 5 à 10 % in de winter ). Het afvoerverloop van de Maas is dan ook gekenmerkt door een maximum in de winter en een minimum in de zomer.

Naast de jaarlijkse variatie is er ook sprake van aanzienlijke verschillen in afvoer gedurende enige jaren achtereen. Dit is het gevolg van het feit dat het stroomgebied van de Maas een relatief klein oppervlak oppervlak heeft, zodat de Maas relatief gevoelig is voor incidentele weersomstandigheden.

De Waal is één van de takken waarover de Rijnafvoer zich verdeelt na te Lobith Nederland binnen te zijn gekomen. Globaal kan men zeggen dat door de Waal tweederde van de Rijnafvoer stroomt en dat de Waal hetzelfde karakter vertoont als de Rijn te Lobith.

De Rijn ontspringt in het Alpengebied uit het gletchergebied en stroomt via het Bodenmeer richting Duitsland. In Duitsland vertoont de Rijn tot aan Keulen

alle kenmerken van een bovenrivier: grote verhangen en sterke erosie. Onder Keulen begint de Rijn een vlakker evenwichtiger verloop en stroomt te Lobith Nederland binnen. Het verhang is hier ca.  $0.8 \cdot 10^{-4}$ . Nabij Pannerden splitst de Rijn zich in twee gedeelten: ca. tweederde deel stroomt door de Waal naar het westen, ca. één derde deel buigt noordwaarts af door het Pannerdensch Kanaal.

De Rijn onderscheidt zich van de Maas door een gelijkmatiger afvoerverdeling over het jaar. Een dominerende zomerafvoer als gevolg van afsmelting van gletschers in de Alpen en een dominerende winterafvoer van de zijrivieren resulteren in een afgevlakt afvoerverloop te Lobith. Door de grote uitgestrektheid van het stroomgebied (  $224000 \text{ km}^2$  vgl. Maas:  $31000 \text{ km}^2$  ) is de Rijn minder gevoelig voor locale weersomstandigheden dan de Maas en vertoont hierdoor een relatief stabiel afvoerverloop in de loop van meerdere jaren.

Op bijlagen 3421 en 3422 zijn overzichten gegeven van de stroomgebieden van Maas en Waal en van de gedeeltes van beide rivieren in Nederland.

### § 3.4.3 : Afvoeren en waterstanden Maas en Waal

Na de inleidende paragraaf hieraan voorafgaand, zal in deze paragraaf gekeken worden naar hoe de afvoeren en waterstanden van Maas en Waal variëren en eventueel samenhangen.

Op bijlage 3431 staan jaargemiddelden van de Rijnafvoer te Lobith en Maasafvoer te Lith voor de jaren 1972 t/m 1981 uitgezet. Ook is hierbij aangegeven hoe de 95%, 50% en 5% onderschrijdingswaarden voor de jaarafvoeren liggen. Er valt op dat de twee lijnen voor Maas en Rijn een zekere gelijkvormigheid bezitten ( jaren 1975 t/m 1981 ). Verder valt op dat de variaties bij de Maas relatief ( dus procentueel ) groter zijn dan bij de Rijn.

Aangezien de Waalafvoer vaak ongeveer tweederde deel van de Rijnafvoer is ( voor lage afvoeren wordt het Waalaandeel groter dan tweederde ), is de Rijnafvoer te Lobith als representatief voor de Waalafvoer te beschouwen.

Op bijlage 3432 staan maandgemiddelden van de Waal en Maasafvoer voor de jaren 1979 en 1980 uitgezet. De ingetekende 50% onderschrijdingswaarden voor de maandgemiddelden geven weer in hoeverre in deze jaren afwijkend gedrag is opgetreden. De schalen van de twee figuren zijn zodanig dat de gemiddelde Maasjaarafvoer en de gemiddelde Waaljaarafvoer ongeveer op dezelfde grootte worden weergegeven. Hierdoor is te zien hoe groot de procentuele afwijkingen voor beide rivieren zijn en in welke verhouding zij tot elkaar staan. Er valt op dat de afwijkingen van de 50% onderschrijdingslijn voor de Waal veel gelijkmatiger zijn dan voor de Maas ( minder schommeling om het jaargemiddelde ). Dit blijkt ook wanneer men let op de waarden in 1979 en 1980 van de afvoeren. Ook valt op dat de Waal meer van zijn 50 % onderschrijdingslijn afwijkt dan de Maas (

in 1979 en 1980 ). Ook hier valt de gelijkvormigheid van de Waalafvoer en Maasafvoer op.

Op bijlage 3433 en 3434 staan het verloop van de Rijnafvoer te Lobith en van de Maasafvoer te Lith over de jaren 1979 en 1980 weergegeven. Ook hier springt de gelijkvormigheid van beide afvoercurven sterk in het oog.

Op bijlage 3435 staan jaargemiddelden voor de waterstanden te St. Andries aan Waal- en Maaszijde uitgezet. Het valt op dat de variatie in waterstand aan Waalzijde groter is. Dit is het gevolg van het volgende: hoewel de procentuele afwijking van de Maasafvoer van zijn gemiddelde afvoer groter is dan bij de Waalafvoer het geval is, zijn deze procentuele afwijkingen in absolute zin blijkbaar zo klein, dat de variatie in waterstand bij de Waal juist groter is dan bij de Maas. Tevens zijn op bijlage 3435 jaargemiddelden voor het verval te St. Andries tussen Waal en Maas uitgezet. Deze vertonen gelijkvormigheid met de jaargemiddelden van de waterstanden ( met name met die van de Waal ) en de variaties erin zijn geringer dan de variaties in waterstand van de Waal en iets groter dan de variaties in waterstand van de Maas.

Op bijlage 3436 staan maandgemiddelden voor de waterstanden en het verval in 1979 uitgezet. Het valt ook hier op dat de variaties in waterstand van de Waal groter zijn dan die variaties bij de Maas. Doordat de waterstandsverlopen een zekere gelijkvormigheid bezitten, zijn de variaties in het verval relatief klein.

Op bijlage 3437 staan tenslotte de waterstands- en vervalverlopen uitgezet voor maart 1979. Er vallen dezelfde aspecten op als voor de maandgemiddelden.

De diverse uitgezette waarden zijn ontleend aan meetgegevens van Rijkswaterstaat en de RIWA. De 5%, 50% en 95% waarden zijn voor de afvoeren ontleend aan dezelfde bronnen, voor de waterstanden zijn zij berekend met behulp van Q-h relaties die in de volgende paragraaf aan de orde komen.

De oplettende lezer zal opvallen dat de 50% jaarwaterstanden en vervallen op bijlage 3435 afwijken van de waarden die hiervoor berekend zouden kunnen worden door middeling van de 50% maandgemiddeldes op bijlage 3436. Voor de afvoeren treedt hier geen afwijking op. Reden hiervan is het volgende: de jaarwaarden voor de waterstanden zijn berekend met behulp van de jaarwaarden voor de afvoeren en genoemde Q-h relaties. Voor elke maandwaarde van de waterstand zijn de maandwaarde voor de afvoer en dezelfde Q-h relaties gebruikt.

$$\begin{aligned} \text{Nu geldt wel: } \bar{Q}_{\text{jaar}} &= ( \bar{Q}(i^e \text{ maand})/12 & , \\ \text{maar niet : } \bar{H}_{\text{jaar}} &= ( \bar{H}(i^e \text{ maand})/12 & , \end{aligned}$$

omdat de Q-h relaties niet lineair zijn ( zie figuur op volgende pagina).

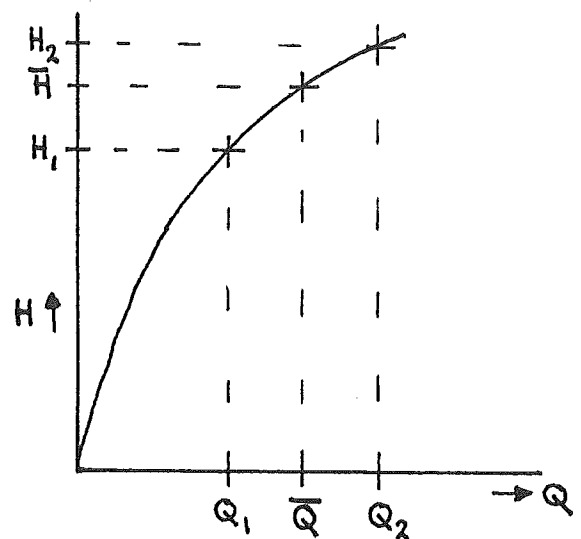
Hetzelfde verschijnsel zal in principe ook optreden bij berekening van de maandgemiddelden voor de waterstand met dagwaarden voor de afvoeren en de Q-h relaties.

ad. figuur hiernaast :

$$\bar{Q} = ( Q_1 + Q_2 ) / 2 ,$$

$$\bar{H} > ( H_1 + H_2 ) / 2 .$$

(zie ook bijlage 3438)



Bij de bovengeschetste vorm van een Q-h relatie zou het jaargemiddelde voor de waterstand groter zijn wanneer het berekend zou zijn met de jaarafvoer dan wanneer het berekend zou zijn met maandafvoeren.

In de berekeningen in deze studie blijkt voor de Waal het verschil tussen gebruik van maandafvoeren en jaarafvoeren niet groot te zijn, voor de Maas is dit verschil iets groter: met de jaarafvoer volgt een jaarwaterstand van 100 cm. en met maandafvoeren volgt een jaarwaterstand van 95 cm. Dit betekent dat de berekeningen met Q-h relaties in deze paragraaf een te groot verval opleveren ( wanneer men alleen deze onnauwkeurigheid beschouwd ).

Het euvel zou verholpen zijn door uit te gaan van 50% waterstanden die bepaald zijn door jarenlange metingen van de waterstand te beschouwen. In dit geval zijn echter voor de Waal en Maasafvoeren de 5%, 50% en 95% waarden wel bekend, maar voor de waterstanden te St. Andries niet, zodat men niet buiten het gebruik van Q-h relaties omkan. De fout die hierdoor geïntroduceerd wordt, kan later worden afgeschat door vergelijking van berekende en gemeten waarden. Hiermee kan tevens een indruk worden verkregen van de berekening in zijn geheel.

§ 3.4.4 : Berekende waarden voor het verval

Uit de vorige paragraaf komt het volgende aspect naar voren: de variaties in afvoer en waterstand van Waal en Maas vertonen gelijkvormigheid. Een piek in de Waalafvoer gaat vrijwel altijd ( in de beschouwde tijdsintervallen 1979 en 1980 ) samen met een piek in de Maasafvoer. Er kan een kleine verschuiving in de tijd plaatsvinden, maar nooit zo groot dat de pieken volledig naast elkaar plaatsvinden. Uit de jaargemiddeldes blijkt verder nog een gelijksoortige samenhang: als de Waal een nat jaar heeft is de kans groot dat de Maas ook een nat jaar heeft. Evenzo voor een droog jaar.

Dit impliceert dat men een 50%-verval kan berekenen uitgaande van 50% waterstanden voor Waal en Maas, aangezien de kans groot is dat deze inderdaad samen optreden. Evenzo voor een 5%-verval en een 95%-verval ( x%-verval betekent: een verval dat x % van de tijd onderschreden wordt; aangezien de waterstanden voor Waal en Maas zodanig zijn dat een 95%-verval groter is dan een 50%-verval enz. , kan dit zo gesteld worden ).

Voor de berekening waren aanwezig: 50%, 95% en 5% afvoeren te Lith en te Lobith. Voor de afvoer te Lith zijn maandgemiddelden van de RIWA gebruikt, voor de afvoer te Lobith is gebruik gemaakt van frequentielijnen van Rijkswaterstaat voor het jaarverloop van de afvoer te Lobith. Verder waren aanwezig: gemeten 8-uur en 14-uur waterstanden in 1979 t/m 1983 van Waal en Maas te St. Andries, gemeten 8-uur afvoeren te Lith en Lobith, en van de Waal, ook over de jaren 1979 t/m 1983, verder nog betrekkinglijnen voor de Waal.

Met deze gegevens is de berekening als volgt geschied:

Door afvoeren te Lith uit te zetten tegen waterstanden van de Maas te St. Andries is een Q-h relatie voor de Maas geconstrueerd. Probleem hierbij was dat de afvoeren om 8 uur gemeten zijn en de waterstanden om 8 uur en 14 uur. Aangezien het meetpunt te Lith langs de rivier gemeten  $\pm$  9 km. bovenstrooms van St. Andries ligt, zal de gemeten afvoer moeten worden uitgezet tegen de waterstand te St. Andries om 10 à 11 uur ( hierbij is de gemiddelde stroomsnelheid van de Maas 0.8 à 1.2 m/s ). Hieraan is tegemoet gekomen door alleen punten uit te zetten voor dagen waar de 8-uur en 14-uur waterstanden weinig verschillen en van deze 8-uur en 14-uur waterstanden het gemiddelde uit te zetten.

Op bijlage 3441 is het resultaat zichtbaar. Er blijkt een grote spreiding in de punten aanwezig te zijn. Dit is het gevolg van hysteresis effecten en ook van het feit dat bij St. Andries al getij-invloeden merkbaar zijn die 10 à 50 cm. spreiding in waterstand kunnen veroorzaken bij dezelfde afvoer. Ook zijn meeton nauwkeurigheden en het feit dat de waterstanden voor het uitzetten geschat zijn met 8-uur en 14-uur gemeten waterstanden een bron voor de aanwezige spreiding.

Voor de berekening is verder uitgegaan van de getrokken lijn die een gemiddelde waarde representeert.

Vervolgens is een Q-h relatie voor de Waal geconstrueerd, waarbij een andere weg gevolgd is. Aangezien gemiddelde afvoeren te Lobith gebruikt worden en deze afvoeren voor een bepaald aandeel ( ca. tweederde deel ) pas na tweederde tot een gehele dag later in de Waal optreden, zijn gemeten 8-uur afvoeren te Lobith niet zinvol te koppelen aan gemeten 8-uur waterstanden van de Waal te St. Andries. Achtereenvolgens is daarom gekeken naar het verband tussen afvoer te Lobith en de Waalafvoer ( zie bijlage 3442, voor lage afvoeren te Lo-

bith blijkt daarvan meer dan tweederde deel door de Waal te stromen ), zijn hiermee 5%, 95% en 50% maandonderschrijdingswaarden voor de afvoer te Lobith omgezet in maandonderschrijdingswaarden voor de Waalafvoer en zijn hiermee dan waterstanden bij Pannerdense Kop bepaald met behulp van een Q-h relatie van Rijkswaterstaat. Tenslotte zijn de waterstanden bij Pannerdense Kop omgezet in waterstanden te St. Andries met behulp van betrekkinglijnen van Rijkswaterstaat. Door nu de afvoeren te Lobith uit te zetten tegen deze waterstanden te St. Andries is de Q-h relatie op bijlage 3444 bepaald.

Deze Q-h relatie is niet bruikbaar om dagelijkse afvoeren te Lobith om te zetten in dagelijkse waterstanden te St. Andries aangezien deze laatste tweederde tot een gehele dag later optreden (afhankelijk van de stroomsnelheid en dus afvoer). De Q-h relatie is wel geschikt om maandelijkse afvoergemiddeldes om te zetten in maandelijkse waterstandgemiddeldes aangezien tweederde tot een gehele dag tijdsverschil in optreden van afvoer en waterstand op 30 à 31 dagen acceptabel geacht kan worden voor deze berekening.

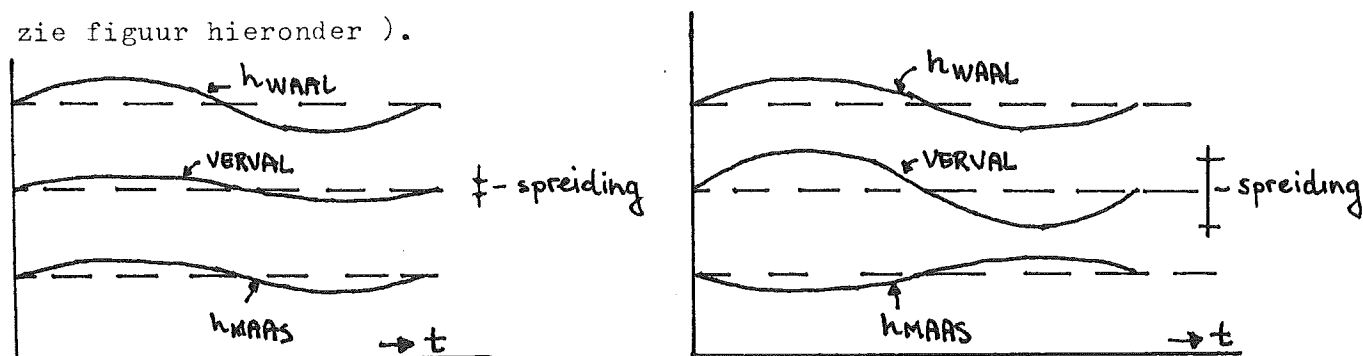
Op bijlage 3443 is nog eens de berekeningswijze van de omzetting van afvoeren te Lobith in waterstanden te St. Andries geïllustreerd aan de hand van de gebruikte getalswaarden voor de 50%-onderschrijdingswaarden op halfmaandelijke tijdstippen. Met deze halfmaandelijke waarden zijn later maandwaarden berekend door bijvoorbeeld de waarden op 1 jan., 15 jan. en 1 febr. te middelen tot een gemiddelde voor januari, etc.. Deze procedure was noodzakelijk omdat van de afvoer te Lobith geen maandgemiddeldes bekend waren (i.t.t. de afvoer te Lith), maar jaarverlopen voor bepaalde frequenties, zodat deze jaarverlopen nog tot maandgemiddeldes moesten worden omgerekend.

Voor de 5% en 95% onderschrijdingswaarden is dezelfde berekeningswijze gevolgd als hierboven voor de 50% onderschrijdingswaarden geïllustreerd is.

Na de bepaling van de beide Q-h relaties zijn hiermee en met de bekende 50%, 5% en 95% onderschrijdingswaarden voor de maandgemiddeldes van de afvoeren te Lith en Lobith 50%, 5% en 95% onderschrijdingswaarden voor de waterstanden te St. Andries van Waal en Maas en verval tussen deze rivieren berekend. De interpretatie van een x%-verval is als volgt: een x%-verval treedt op als zowel Waal als Maas een x%-onderschreden jaar hebben. In werkelijkheid vertonen Maas en Waal weliswaar veel gelijkvormigheid in hun afvoerverlopen, maar is altijd een niet nader onderzochte kans aanwezig dat bijvoorbeeld de Waal een 95%-jaar heeft en de Maas een 50% jaar heeft of andersom; in het eerste geval zal dan een groter verval optreden dan een 95%-verval, in het tweede geval een kleiner verval dan een 50%-verval. De 95% en 5% waarden voor het verval dienen dan ook meer als een globale indicatie van wat er met het verval gebeurt in natte en droge jaren (periodes). De 50% vervallen zijn als grondslag van verdere berekeningen genomen na correctie van onnauwkeurigheden in § 3.4.6. Het idee hierachter is



dat als de Maas en Waal over de gehele levensduur van de waterkrachtcentrale bezien hun 50% gemiddelde waarden benaderen ( waar de kans groot op is ), de verdeling van de variatie van waterstanden van Waal en Maas over de jaren niet uitmaakt voor het gemiddelde verval per jaar, wel voor de spreiding per jaar ( zie figuur hieronder ).



Over de spreiding zal in de hierop volgende paragrafen meer gezegd worden.

Op bijlage 3445 staan de resultaten van de berekening weergegeven. Bijlage 3446 en 3447 geven een grafisch overzicht van de resultaten.

In de berekening zijn ook de maandgemiddeldes van 1979 meegenomen. Dit is gedaan om de meetwaarden van 1979 later te kunnen vergelijken met de berekende waarden om zo de nauwkeurigheid van de berekening af te kunnen schatten.

De waterstanden en vervallen zijn afgerond op 5 cm. om geen valse schijn van grote nauwkeurigheid te geven. De berekening is van een globaal, verkennend karakter.

Bestudering van bijlagen 3446 en 3447 levert de volgende conclusies op :

1. In een nat jaar voor beide rivieren is een groter gemiddeld verval aanwezig dan in een 50%-jaar; in een droog jaar voor beide rivieren is een kleiner gemiddeld verval aanwezig dan in een 50%-jaar.
2. Een 5% of 95% jaar van de Waal heeft een grotere invloed op zowel het gemiddelde verval als de verdeling hiervan over het jaar dan een 5% of 95% jaar van de Maas.
3. In een 5% en 50% jaar voor beide rivieren treden de grootste vervallen op in de periode mei-september. Dit is een gevolg van het verschil in karakter tussen de Waal en de Maas: juist in deze periode in een relatief droog jaar zal de Waalafvoer gedomineerd zijn door afsmelting van gletsjers, terwijl de Maas het laatste regenwater van de winter afvoert. In een 95% jaar zal de Waalafvoer net als de Maasafvoer gedomineerd zijn door regenval, hierdoor treden in een 95%-jaar de grootste vervallen juist in de winter op ( tijd van de grootste regenval ) en is de variatie in verval geringer aangezien de Waal en Maas een meer gelijkvormig verloop hebben.

Tot zover de berekende waarden van het verval; in de volgende paragraaf zullen de meetwaarden voor het verval aan de orde komen, waarna de hier berekende waarden met die meetwaarden vergeleken zullen worden in § 3.4.6. .

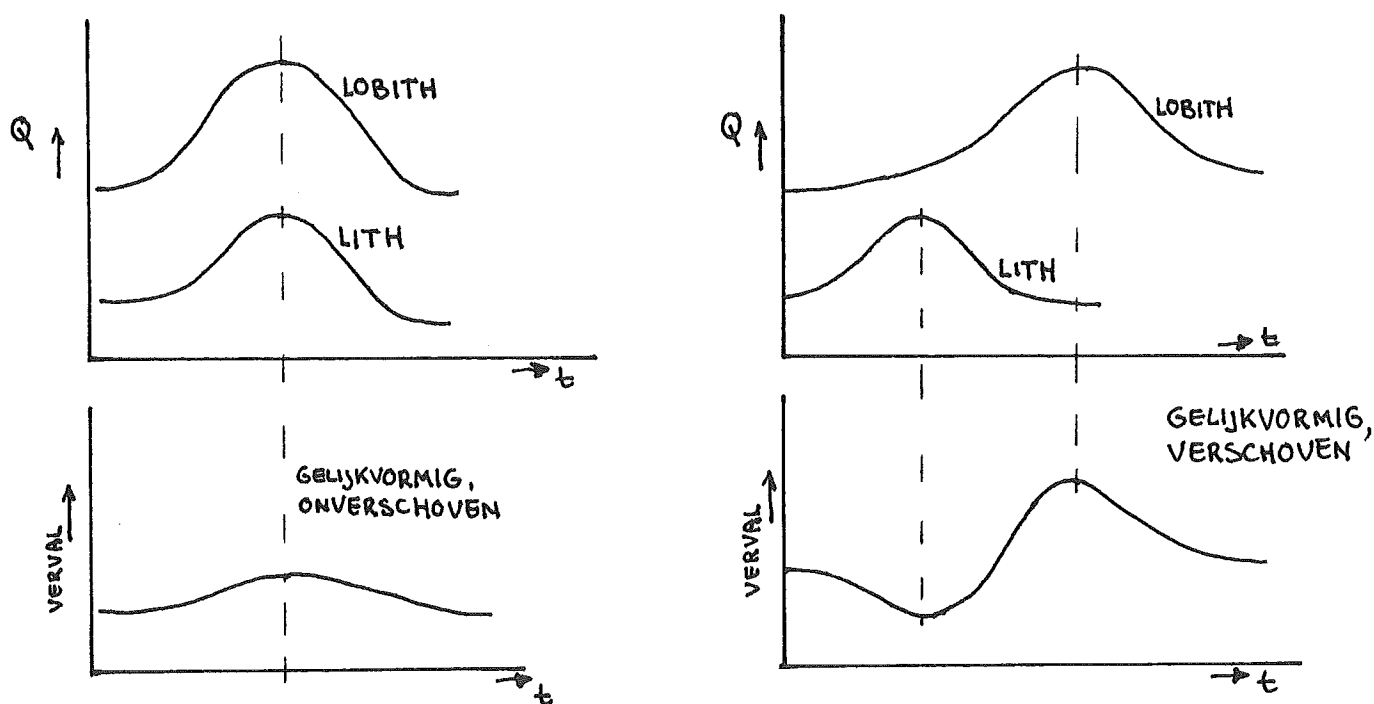
### § 3.4.5 : Meetwaarden voor het verval

Teneinde de nauwkeurigheid van de berekende waarden te kunnen schatten, zullen in deze paragraaf de meetwaarden voor het verval in 1979 ( voor welk jaar ook waarden berekend zijn ) beschouwd worden. De keuze van 1979 als vergelijkingsjaar is te verdedigen op grond van de relatief grote spreiding in maandgemiddeldes voor het verval in dit jaar. Als men een jaar zou kiezen met relatief weinig spreiding in maandgemiddeldes zou hierdoor de nauwkeurigheid van de berekening op een relatief klein interval naar voren komen.

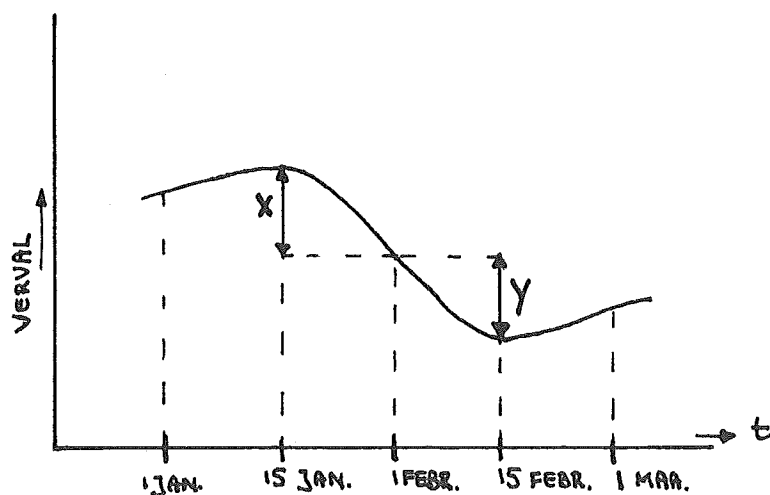
Nadeel van de keuze van het jaar 1979 als vergelijkingsjaar is dat het een relatief nat jaar was; misschien zou een gemiddeld jaar in dit opzicht beter zijn geweest om de berekening van de 50% waarden via directe weg aan te passen in plaats van via indirecte weg zoals nu gebeurt door eerst de nauwkeurigheid van de berekening te schatten in 1979 en vervolgens met deze schatting de 50% waarden aan te passen. Een grote moeilijkheid ontstaat echter bij de vraag wat een gemiddeld jaar is. Men zou kunnen zeggen: een jaar met een 50% jaargemiddelde voor het verval. Dan ziet men echter de spreiding van het verval over het jaar over het hoofd. Een 50%-jaargemiddelde kan tot stand komen met zowel grote als kleine spreiding. De vraag rijst dan wat een gemiddelde spreiding is. Deze vraag is zeer moeilijk te beantwoorden behalve na uitgebreid onderzoek naar de spreiding in een groot aantal jaren. In het kader van dit onderzoek zou dit te diepgaand zijn. Het probleem van de aan te nemen spreiding voor verdere berekening zal hier met een globale verkenning van de spreiding beschouwd worden.

Op bijlage 3451 staan de gemeten dagwaarden, maandgemiddeldes, maandmaxima en maandminima voor het verval in 1979 vermeld. Op bijlage 3452 staan onderschrijdingslijnen voor gemeten maandgemiddeldes van 1979, en berekende maandgemiddeldes voor een 5%, 50% en 95% jaar ( zie vorige paragraaf ) uitgezet. Er valt op dat het jaar 1979 een grote spreiding in maandgemiddeldes te zien geeft t.o.v. de andere lijnen. Dit houdt niet direct in dat 1979 een groter dan gemiddelde spreiding zou hebben. Om dit te illustreren is ook nog een onderschrijdingslijn uitgezet ( op bijlage 3452 ) voor het jaar 1979T. Het jaar 1979T is dat fictieve jaar, waarmee men, als men de maandgemiddeldes ervan met die van 1979 zou middelen per maand, precies op 50% maandgemiddeldes zou uitkomen ( bijv. voor de maand februari is het maandgemiddelde van 1979 340 cm. en voor 1979T 60 cm., tesamen gemiddeld 200 cm. wat gelijk is aan het februaargemiddelde voor het 50%-jaar ). Het jaar 1979T blijkt een nog grotere spreiding in maandgemiddeldes te hebben dan 1979, waaruit blijkt dat de 50%-lijn opgebouwd kan zijn uit veel afzonderlijke jaarlijnen met een grotere spreiding dan de 50%-lijn.

Op bijlage 3453 is een indruk gegeven van de spreiding per maand in 1979. De maanden november, december, januari en februari geven hier een grote spreiding te zien wat misschien te verwachten is op grond van het feit dat in deze maanden grote variaties in de afvoeren optreden ( zie bijlage 3433 ). Op grond van bijlage 3433 zou men dan ook een grote spreiding in maart kunnen verwachten. Dit blijkt niet het geval te zijn, zodat er blijkbaar nog andere factoren dan grote variaties in afvoer in het spel zijn, die grote invloed op de spreiding hebben. Hier valt te denken aan de mate van gelijkvormigheid van de afvoerkrommes van Waal en Maas en ook aan verschuiving van gelijkvormige afvoerkrommes ten opzichte van elkaar in de tijd ( zie figuur hieronder ).



De voorzichtigheid waarmee een figuur als bijlage 3453 beschouwd dient te worden moge verder blijken uit het volgende: stel dat het verloop van het verval in de maanden januari en februari in een zeker jaar eruit ziet zoals geschetst is in de figuur hieronder.



Wanneer men de maand januari beschouwd vind men een spreiding X, en voor de maand februari vindt men een spreiding Y. Wanneer men echter de periode van 15 januari tot 15 februari beschouwd, vindt men een spreiding  $(X+Y)$ . De conclusie dat in de periode januari-februari van dat jaar de spreiding in het tijdsbestek van 1 maand gemiddeld  $(X+Y)/2$  is, is dus zeker onjuist.

Bijlage 3453 is dan ook slechts als een globale indicatie te beschouwen om zich een idee te vormen over de spreiding in het verval.

Op bijlage 3454 staan enkele frequentielijnen voor enkele maanden uit 1979 uitgezet. De maand februari is een natte maand, de maand oktober een droge maand. De maanden november en maart beide gemiddelde maanden. Een duidelijke conclusie is ook hier niet te trekken. De maanden november en februari hebben ongeveer dezelfde spreiding maar verschillende maandgemiddelden, de maanden oktober en maart net zo; de maanden maart en november verschillen in spreiding maar hebben ongeveer dezelfde maandgemiddelden.

Al met al valt uit bijlagen 3452 t/m 3454 geen duidelijk verband af te leiden. Wat wel kan worden opgemerkt zijn de volgende punten:

1. In droge maanden, als er geringe variaties in de afvoer zijn, zal de spreiding waarschijnlijk gering zijn.
2. In natte tijden is er een grote kans op relatief grote spreiding in het verval.
3. De spreiding in één maand kan globaal variëren van ongeveer 50 cm. minimaal in droge maanden tot ca. 300 cm. maximaal in natte maanden. De spreiding in een heel jaar (tussen jaarmaximum en jaarminimum) kan veroorzaakt worden door de spreiding in één maand.
4. De spreiding in een gemiddeld jaar hoeft niet noodzakelijk kleiner te zijn dan in 1979: men kan uitgaan van berekende 50% maandgemiddelden om het gemiddelde verval te bepalen, maar ten aanzien van een gemiddelde spreiding kan geen conclusie getrokken worden uit die 50% waarden.

Om nu toch nog enigszins een idee te krijgen over het verschil in spreiding tussen 1979 en een (onbekende) gemiddelde spreiding zoals deze gemiddeld over vele jaren aanwezig is, zal het genoemde onder punt 1., variatie in afvoer, beschouwd worden. Dit is gedaan op bijlage 3456 en 3457, waarop overschrijdingslijnen per jaar voor de afvoeren te Lith en Lobith zijn uitgezet. De overschrijdingslijnen voor de afvoeren te Lith en Lobith vertonen voor de beschouwde jaren ongeveer dezelfde onderlinge ligging, zodat voor de afvoer te Lobith volstaan is met alleen de overschrijdingslijnen van 1979 en een gemiddeld jaar en deze opmerking.

Beschouwd zijn de jaren 1972 t/m 1980 en een gemiddeld jaar. Om bijlage 3456 nog overzichtelijk te houden zijn niet al deze jaren uitgezet voor Lith. Voor

de niet uitgezette jaren geldt: de lijn van 1972 is ongeveer gelijk aan lijn 1 ( 1973 ), de lijnen van 1975, 1977 en 1978 liggen tussen lijn 1 ( 1973 ) en lijn 2 ( 1974 ), de lijn van 1980 is ongeveer gelijk aan lijn 4 ( 1979 ).

Uit bijlage 3456 blijkt dat 1979 voor de Maas ten opzichte van een gemiddeld jaar natter was en dat de variatie in afvoer ( wanneer als uitgangspunt de helling van de frequentielijn genomen wordt ) iets groter was dan in een gemiddeld jaar. Ten opzichte van de jaren 1972, 1973 en 1976 (droge jaren) is de variatie in afvoer in 1979 duidelijk groter.

Uit bijlage 3457 blijkt dat 1979 voor de Waal ten opzichte van een gemiddeld jaar natter was. De variatie in afvoer is ongeveer gelijk aan die variatie in een gemiddeld jaar.

Wanneer nu op grond van de gesignaleerde gelijkvormigheid in de beide afvoerverlopen aangenomen wordt dat een x dagen onderschreden afvoer van de Maas correspondeert met een x dagen onderschreden afvoer van de Waal, kan de spreiding in 1979 wellicht iets groter geweest zijn dan in een gemiddeld jaar ( ten gevolge van de iets grotere afvoervariatie van de Maas ). Deze aanname is echter zeer aanvechtbaar en hooguit te gebruiken als eerste indicatie.

Op bijlage 3455 staat de verval-onderschrijdingslijn voor 1979 uitgezet. Er zijn ook 3 geschematiseerde frequentielijnen voor een 50%-jaar uitgezet, die voor berekening van het waterkrachtpotentieel te St. Andries gebruikt zullen worden. Lijn 2 heeft een geringere spreiding dan 1979, lijn 3 ongeveer dezelfde spreiding en lijn 1 een grotere spreiding dan 1979. Gezien bovenstaande opmerking ten aanzien van de spreiding in 1979, zal de werkelijkheid mogelijk tussen lijn 2 en lijn 3 inliggen waar het de spreiding betreft.

De lijnen 1, 2 en 3 komen allen op een gemiddeld jaarverval uit van ca. 2.2 m. Uit de berekeningen volgde een gemiddeld 50%-verval van ca. 2.27 m. Deze waarde dient echter nog aangepast te worden voor de onnauwkeurigheid van de berekening; dit vindt plaats in de volgende paragraaf. Bovendien beogen de getekende lijnen 1, 2 en 3 slechts het verschil in aan te nemen spreiding uit te drukken, de lijnen kunnen voor elk jaargemiddelde voor het verval gebruikt worden door ze in hun geheel verticaal te verschuiven ( naar boven verschuiven over x m. levert zo bijvoorbeeld de lijnen 1, 2 en 3 voor een jaargemiddelde voor het verval van  $(2.2+x)$  m. ). Op het aan te nemen jaargemiddelde voor het verval wordt in de volgende paragraaf ingegaan.

#### § 3.4.6 : Vergelijking berekende en gemeten waarden

Op bijlage 3461 staan de berekende en gemeten maandgemiddelden in 1979 uit de vorige paragrafen voor de waterstanden en het verval nog eens naast elkaar

gezet. Op bijlage 3462 staan deze waarden grafisch weergegeven.

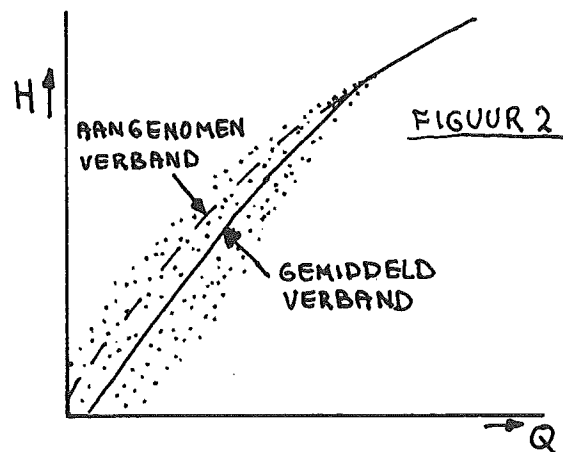
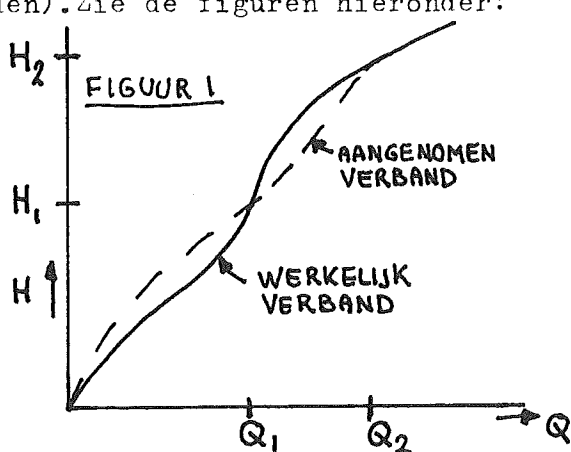
Uit de gesignaleerde verschillen tussen de berekende en gemeten waarden valt moeilijk een duidelijke conclusie te trekken. De opbouw van de fouten is hier eigen aan. Voor de waterstanden zouden de fouten onder andere een gevolg kunnen zijn van:

1. Fouten in meetgegevens.
2. Fouten in gemeten afvoeren, in maandgemiddeldes voor de afvoeren.
3. Fouten in de opgestelde Q-h relaties.
4. Fouten, die geïntroduceerd worden door uit te gaan van maandgemiddeldes voor afvoeren ( i.p.v. dagwaarden ) en het feit dat de opgestelde Q-h relaties niet geheel lineair zijn ( zie ook § 3.4.3 ).
5. Fouten, die geïntroduceerd worden door uit te gaan van metingen, die gedaan zijn om 8 uur, in plaats van daggemiddelden voor de gemeten waterstanden.
6. Afrondingsfouten ( de berekende waarden zijn afgerond op 5 cm., de gemeten waarden zijn afgerond op 1 cm. ).

Fouten onder punten 1, 2, 5 en 6 zijn willekeurig van aard: ze kunnen zowel afwijkingen in positieve als in negatieve richting veroorzaken (positief betekent hier een te hoog berekende of gemeten waterstand, negatief het tegenovergestelde). Hier valt moeilijk een zinnige uitspraak te doen.

Fouten onder 3 en 4 hebben meer het karakter van een systematische fout.

Ten aanzien van fout 3 kan het volgende gezegd worden: stel dat de Q-h relaties afwijken van het werkelijk optredende verband of, zoals bij de Maas sterk speelt, er is geen sprake van een éénduidig verband ( bij dezelfde afvoer kunnen verschillende waterstanden optreden ten gevolge van getij-invloeden). Zie de figuren hieronder:



In figuur 1 resulteert de fout in de Q-h relatie in te hoog berekende waterstanden voor waterstanden tussen 0 en  $H_1$  en debieten tussen 0 en  $Q_1$  en te laag berekende waterstanden voor waterstanden tussen  $H_1$  en  $H_2$  en debieten tussen  $Q_1$  en  $Q_2$ . Dit is een duidelijk systematische fout.

In figuur 2 resulteert de spreiding in willekeurige afwijkingen naar bene-

den en boven in de berekende waterstand. Wanneer echter het aangenomen verband niet het juiste gemiddelde verband in de spreiding is, maar bijvoorbeeld teveel naar de hoge kant voor de waterstanden aangenomen is, zoals in figuur 2 getekend is, dan zullen de aldus berekende waterstanden gemiddeld te hoog zijn. Dit laatste is een systematische fout, de spreiding zelf is een willekeurige fout.

Fout 4 is in § 3.4.3 reeds omschreven. Daar is in een figuur een 'bolle' Q-h relatie als voorbeeld geschetst. Door maandgemiddeldes van de waterstanden te berekenen met maandgemiddeldes voor de afvoeren en deze 'bolle' Q-h relatie, zouden te hoge waterstanden berekend worden ( de berekende maandgemiddeldes voor de waterstand zouden hoger zijn dan de gemiddeldes die zouden volgen uit middeling van de dag-waterstanden, die met dag-afvoeren en dezelfde Q-h relatie berekend zouden worden ). Op dezelfde wijze is in te zien dat een 'holle' Q-h relatie te laag berekende waterstanden oplevert en dat een lineaire Q-h relatie de juiste waterstand oplevert. Ook hier is sprake van een systematische fout.

Wanneer men nu op bijlage 3462 naar de grafische weergave van de optredende verschillen tussen berekende en gemeten waterstanden wordt gekeken, blijkt dat voor de Waal in 1979 in de wintermaanden met hoge afvoeren en grote variatie in de hoogte van de afvoeren per maand te hoge waarden berekend zijn en dat voor de drogere maanden met geringe variatie in de afvoergrootte de berekende waarden te laag zijn. Een verklaring hiervoor zou het volgende kunnen zijn: er is ten eerste een systematische fout in de Q-h relatie; deze geeft te lage waterstanden. Wanneer er grote variatie in afvoer optreedt, zal de fout onder punt 4 veel sterker spelen: de Q-h relatie voor de Waal vertoont voor waterstanden tussen 0 en 2.8 m. en 3.55 m. tot hoger een bol karakter: dit zou te hoge waterstanden geven. In de drogere maanden ( waterstanden kleiner dan 2.8 m. ) zorgt een geringe afvoervariatie ervoor dat de fout onder 4 klein zal zijn, in de wintermaanden ( waterstanden hoger dan 3.55 m. ) speelt deze fout veel sterker door een grotere afvoervariatie ( de maanden mei en juni hebben weliswaar waterstanden hoger dan 3.55 m. maar een geringe spreiding zodat fout 4 hier niet zo speelt ). Aldus redenerend komt men aardig in de buurt van de gesignaleerde afwijkingen van de berekening. Afwijkingen van de hier boven bedachte patronen zouden kunnen liggen aan de diverse fouten die willekeurig van aard zijn.

Het beeld van de Maaswaterstanden op bijlage 3462 blijkt op te leveren dat deze vrij veel te laag berekende waterstanden in 1979 heeft. Dit zou kunnen wijzen op een systematische fout in de Q-h relatie voor de Maas. De waarden voor de maanden april en mei zouden dan door diverse willekeurige fouten afwijken van dit patroon.

Al met al is op grond van de geringe hoeveelheid aan beschouwde waterstan-

den geen verantwoorde conclusie te trekken; men zou de geschetste patronen voor de afwijkingen van de berekende waterstanden moeten toetsen met meer gegevens.

In het kader van dit onderzoek zal volstaan worden met de volgende opmerkingen:

- De berekening blijkt over het geheel gezien geen grote afwijkingen van de gemeten waterstanden te geven ( 5 à 10% voor de Waal, 5 à 20 % voor de Maas, 5 à 20 % voor het verval ).
- Op het jaargemiddelde gezien liggen deze percentages gunstiger ( 1% voor de Waal, 10% voor de Maas, 5% voor het verval ).
- De kans dat het verval in een gemiddeld jaar, zoals berekend met 50% onderschreden afvoeren en Q-h relaties, te hoog berekend is, lijkt groter te zijn dan de kans dat het gemiddeld verval te laag berekend is; orde van grootte van de afwijkingen is ca. 10 cm.

Op grond van deze opmerkingen is gekozen voor de volgende aanpak:

Om te komen tot een realistische schatting van het potentieel aan waterkracht te St. Andries zal de berekening van dat potentieel uitgevoerd worden voor verschillende mogelijke waarden van het jaargemiddelde voor het verval tussen Waal en Maas. Als resultaat der berekening kan dan gezegd worden dat het potentieel aan waterkracht tussen bepaalde minimum en maximum waarden in ligt. Het doen van een absolute uitspraak omtrent de preciese waarde van het potentieel is in dit stadium van onderzoek hoogmoed. De te beschouwen waarden voor het gemiddeld verval per jaar zijn gesteld op 215, 220, 225 en 230 cm. (berekend was afgerond 225 cm.). Deze gemiddeldes worden met de spreidingscategoriën 1, 2 en 3 van bijlage 3455 tot 12 mogelijke combinaties van vervalgemiddelde en spreiding gekoppeld, die alle voor berekening gebruikt zullen worden. Zo vindt men maximum en minimum waarden voor het potentieel en krijgt men zicht op de gevoeligheid van de berekeningsresultaten voor de parameters gemiddeld verval en spreiding. De preciese waarde van het potentieel aan waterkracht te St. Andries zal met grote waarschijnlijkheid tussen de zo berekende grenzen in liggen.



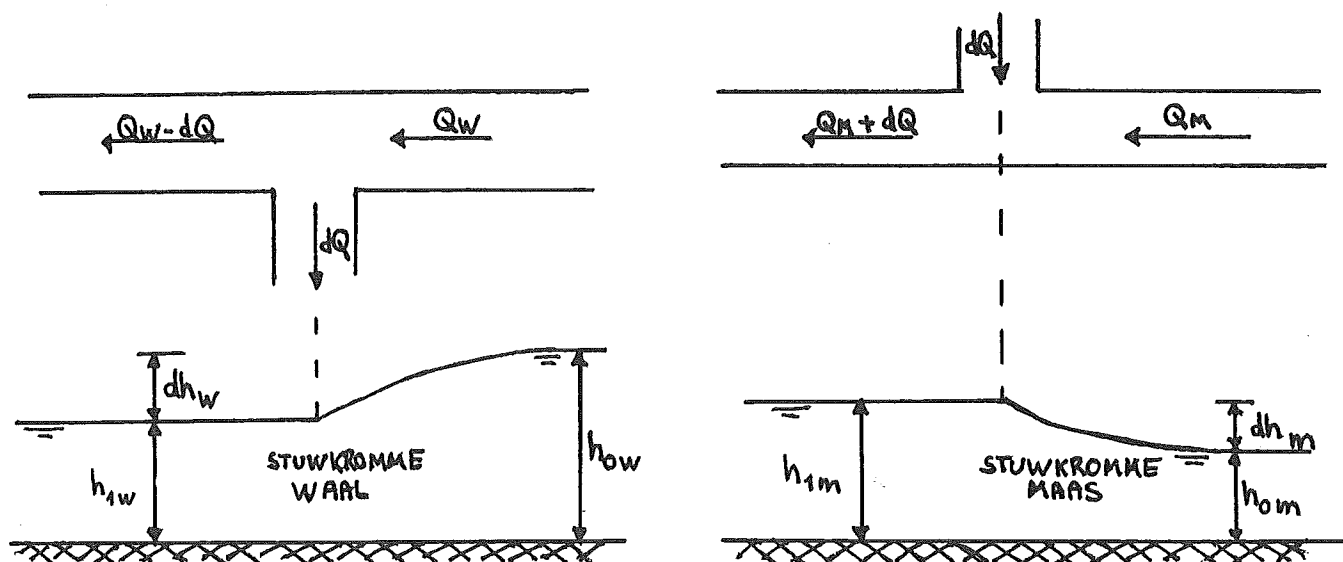
### § 3.4.7 : Beïnvloeding verval door centraledebiet.

Ten gevolge van het centraledebiet dat van de Waal naar de Maas stroomt, treden aanvankelijk stuwkrommes op de beide rivieren op die de waterstanden ter plaatse van de centrale beïnvloeden. De Waalwaterstand zal hier dalen ten gevolge van de onttrekking van het centraledebiet, de Maaswaterstand zal hier stijgen ten gevolge van de toevoeging van dat debiet. Het werkelijke verval over de centrale is dus aanvankelijk niet gelijk aan het verval zoals dat in eerste instantie uit de hydrologie der rivieren volgt, maar bedraagt dat verval verminderd met de beide stuwinvloeden op de waterstanden.

In de loop der tijd zullen in beide rivieren morfologische veranderingen plaatsvinden ten gevolge van de wijzigingen in de rivierregimes door de werking van de centrale. De Waal zal aanzanden benedenstrooms van de centrale waarbij ook bovenstrooms een bodemverhoging zal optreden, de Maas zal op dezelfde wijze in de andere richting veranderen in zijn bedding, dus uitschuren. Door deze invloeden wordt het verval over de centrale vergroot. Samenvattend komt het gebeuren hierop neer: eerst is er sprake van een vervalverkleining ten gevolge van stuwinvloeden, in de loop der tijd wordt deze verkleining teniet gedaan en gaat zelfs over in een vervalvergroting op de lange duur. Belangrijke factoren in deze materie zijn: de grootte van de direct optredende stuweffecten, de grootte van de aanzandingen en uitschuringen per jaar en in de uiteindelijke evenwichtssituatie, de morfologische veranderingssnelheid van beide rivieren. Wanneer realistische indicaties omtrent de waarden van deze parameters bekend zijn, is het mogelijk zich een indruk te vormen over de optredende vervalverkleining en het verloop hiervan in de 40 jaren levensduur na inwerkingstelling van de centrale.

Gesteld dat er een over de levensduur van de centrale gemiddelde vervalverkleining van  $X$  m. bij een centrale-ontwerpdebiet  $Q_{ac}$  optreedt, dan is het van belang te weten in hoeverre dit de uiteindelijke rentabiliteit van de centrale beïnvloedt, om vooraf te kunnen weten of deze invloed zodanig is dat deze in de berekeningen meegenomen dient te worden. Hiervoor zal vooruitgegrepen worden naar latere berekeningen in deze paragraaf en naar de rentabiliteitsberekening zoals die in hoofdstuk 3.5 omschreven is. Reeële uitgangspunten voor deze aftasting van de genoemde invloed, zijn een turbinepotentieel van 1 turbine met een waaierdiameter van 5 meter (de uiteindelijk als meest rendabele centrale naar voren gekomen uitvoering), een gemiddelde situatie voor de hydrologie der rivieren (jaarlijks vervalgemiddelde van 2.25 m. met een spreidingscategorie 3 hiervan (zie bijlage 3465)), de later nog af te leiden formule voor de vervalverkleining  $dH = a \cdot Q_{ac} + b$ , waarin als redelijke waarden voor  $a = 0.003 \text{ sec/m}^2$  en  $b = 0$  inge-

vuld zullen worden. Met de rentabiliteitsberekening uit hoofdstuk 3.5 volgt dan een optimale constructievalhoogte van 2.3 meter waar de centrale op ontworpen dient te worden om een zo voordelig mogelijke energieopbrengst van 10.93 GWh per jaar voor een KWh-prijs van 23.36 cent per KWh te realiseren. Zou de vervalverkleining buiten beschouwing gelaten worden (dus  $a=0$  en  $b=0$  in de formule voor de vervalverkleining), dan zou de centrale op een optimale constructievalhoogte van 2.8 meter ontworpen moeten worden om zo rendabel als mogelijk 14.02 GWh per jaar voor een prijs van 19.06 cent per KWh te produceren. Het buiten beschouwing laten van de vervalverkleining resulteert in een 28 % te hoog berekende energieopbrengst en een 18 % te gunstig berekende KWh-prijs daarvoor; bovendien zal het berekende optimale centrale ontwerp met een constructievalhoogte van 2.8 meter geenszins inderdaad optimaal zijn. Deze invloed is zeker te groot om vervalverkleining buiten beschouwing te kunnen laten. In het hiernavolgende deel van deze paragraaf zal onderzoek naar methodiek, schematisaties en uiteindelijk redelijke waarden voor de parameters  $a$  en  $b$  uit de vervalverkleiningsformule plaatsvinden.



In de figuren hierboven zijn schetsmatig de stuwkrommen weergegeven, zoals die in eerste instantie op Waal en Maas zullen optreden. De onmiddellijke vervalverkleining die optreedt bedraagt:

$$dH = (h_{0w} - h_{1w}) + (h_{1m} - h_{0m})$$

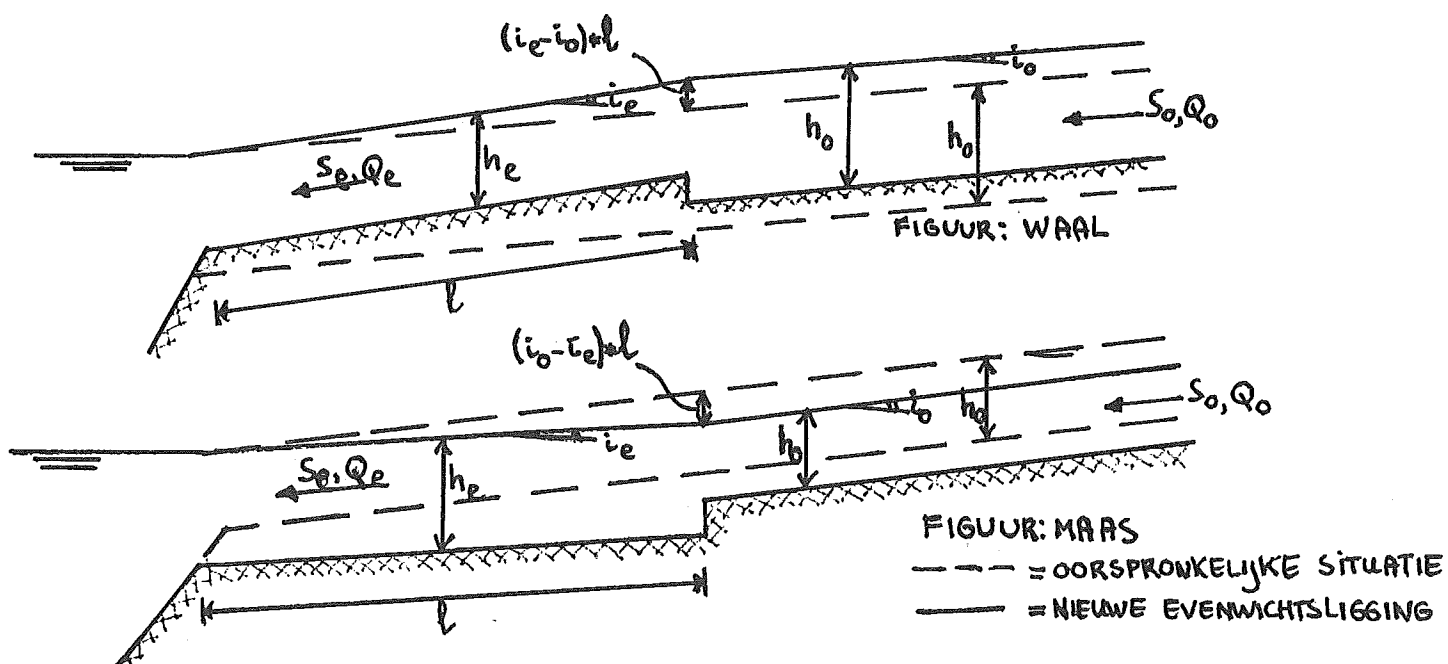
Hierin kunnen de verschillende waterstanden berekend worden met de formule van Chezy:

$$h_{0w} = \left( \frac{Q_w^2}{B_w^2 \cdot C_w^2 \cdot i_w} \right)^{1/3} \quad \text{en} \quad h_{1w} = \left( \frac{(Q_w - dQ)^2}{B_w^2 \cdot C_w^2 \cdot i_w} \right)^{1/3}$$

$$h_{0m} = \left( \frac{Q_m^2}{B_m^2 \cdot C_m^2 \cdot i_m} \right)^{1/3} \quad \text{en} \quad h_{1m} = \left( \frac{(Q_m + dQ)^2}{B_m^2 \cdot C_m^2 \cdot i_m} \right)^{1/3}$$

De waarden van  $B_m$  en  $B_w$  (stroomvoerende breedten van Maas en Waal), de waarden van  $C_m$  en  $C_w$  (ruwheden van Maas en Waal) en de waarden van  $i_m$  en  $i_w$  (waterspiegelhellingen van Maas en Waal) blijken in deze formules niet constant te zijn (zoals wel het geval zou zijn in een niet gestuwd riviergedeelte), maar af te hangen van de grootte van de debieten  $Q_m$  en  $Q_w$ , en het centraaldebit  $dQ$  omdat zowel de beschouwde gedeelten van de Waal als van de Maas gestuwde benedenrivieren zijn, waar bovendien nog getijdeninvloeden een rol spelen (hoewel deze invloeden sinds het afsluiten van het Haringvliet niet groot meer zijn). Hoe de diverse stroomparameters samenhangen met de grootte van de diverse debieten, zal straks nader onderzocht worden. Het berekeningsprincipe voor de onmiddellijke vervalverkleining blijft gelijk aan het hierboven omschreven principe.

In de loop der tijd treden morfologische veranderingen op. In de figuren hieronder is schetsmatig weergegeven hoe deze veranderingen er globaal zullen uitzien.



In deze figuren staan de diverse symbolen voor de volgende grootheden:

$Q_0$  = de onveranderde afvoer bovenstrooms van de centrale

$Q_e$  = de veranderde afvoer benedenstrooms van de centrale

- $S_0$  = zandtransport bovenstrooms van de centrale  
 $S_e$  = zandtransport benedenstrooms van de centrale (=  $S_0$  in nieuwe evenwichtssituatie)  
 $h_0$  = onveranderde waterdiepte bovenstrooms van de centrale  
 $h_e$  = veranderde waterdiepte benedenstrooms van de centrale  
 $i_0$  = onveranderde waterspiegelhelling bovenstrooms van de centrale  
 $i_e$  = veranderde waterspiegelhelling benedenstrooms van de centrale  
 $l$  = afstand van centrale tot uitmonding in het Hollands Diep

Zowel voor de Waal als voor de Maas wordt het Hollands Diep beschouwd als de uitmonding, waar het waterniveau ten opzichte van N.A.P. constant blijft voor en na de plaatsing van de centrale. De afstand  $l$  bedraagt langs beide rivieren gemeten ca. 55 km. Vooral voor de Waal is deze schematisatie een vergaande vereenvoudiging van de werkelijkheid: de Waal vertakt vlakbij het Hollands Diep in de Nieuwe Merwede die uitmondt in het Hollands Diep en in de Beneden Merwede die via een aantal vertakkingen water naar Rotterdam voert. De aanname komt feitelijk neer op het veronderstellen van een constant niveau (hoe dat dan ook via alle vertakkingen het geval moge zijn) op 55 km. benedenstrooms van St. Andries. Ook de Maas vertakt zich nog alvorens uit te monden in het Hollands Diep, zij het dan minder ingewikkeld.

Tevens wordt aangenomen dat zowel de Waal als de Maas in die 55 km. een constant profiel hebben en dat er in die 55 km. geen zijrivieren van enig belang in uitmonden. Ook deze aannamen zijn vergaande schematiseringen, die duidelijk doen beseffen dat de in deze studie afgeleide resultaten niet meer dan een globale aftasting van de orde van grootte van de optredende verschijnselen kunnen zijn. Een nauwkeuriger schematisatie zou echter al snel de berekeningen dusdanig gecompliceerd maken dat zij buiten het bestek van een verkennende studie als deze zouden vallen.

In voorgaande symbolenlijst moet bedacht worden dat de parameters met subscript 'e' duiden op de uiteindelijke evenwichtssituatie die na zeer lange tijd bereikt wordt. Deze grootheden dienen niet verward te worden met de grootheden die bij de (eerder beschreven) bepaling van de onmiddellijke vervalverkleining genoemd zijn.

Uiteindelijk zullen de rivieren globaal de nieuwe evenwichtsligging aannemen zoals in de bovenstaande figuren geschetst is. De snelheid van het morfologisch proces en de waarden van  $h_e$  en  $i_e$  (waarmee de uiteindelijke totale aanzandingen en uitschuringen berekend kunnen worden) zijn grootheden die zich niet makkelijk laten bepalen.

Uitgaande van in de tijd constante debieten  $Q_w, Q_m$  en  $dQ$  zouden deze grootheden nog wel eenvoudig te berekenen zijn. De voorwaarde voor evenwicht in de

eindsituatie is dat de zandtransportcapaciteiten  $S$  boven- en benedenstrooms van de centrale weer gelijk moeten zijn. Aangezien  $S$  berekend kan worden als een macht van de stroomsnelheid vermenigvuldigd met een constante ( $S = a \cdot v^b$ ), betekent deze voorwaarde dat moet gelden:  $v_0 = v_e$  ofwel (met Chezy)

$$C_0 \cdot \sqrt{h_0 \cdot i_0} = C_e \cdot \sqrt{h_e \cdot i_e}$$

Verder gelden boven- en benedenstrooms nog de volgende verbanden tussen afvoer en debiet:  $h_0^3 = Q_0^2 / (B_0^2 \cdot C_0^2 \cdot i_0)$  bovenstrooms en  $h_e^3 = Q_e^2 / (B_e^2 \cdot C_e^2 \cdot i_e)$  benedenstrooms. Met deze drie vergelijkingen kunnen  $h_e$  en  $i_e$  in principe bepaald worden.

Het probleem schuilt hierbij in het niet constant in de tijd zijn van de debieten  $Q_{\text{waal}}$ ,  $Q_{\text{maas}}$  en  $Q_{\text{centrale}}$ . Hierdoor wordt de bepaling van  $h_e$  en  $i_e$  een veel ingewikkelder zaak dan het zich hiervoor liet aanzien. De bepaling komt in wezen neer op de berekening van het verloop van het centraledebiet in de tijd gegeven de verlopen van Waal- en Maasafvoer in de tijd; dit gelijktijdig met de bepaling van de invloed van het centraledebiet op de waterstanden en de zandtransportcapaciteiten. Na verloop van tijd zullen de beide rivierbeddingen een ander (dynamisch) evenwicht vertonen in de berekeningen dan aanvankelijk het geval was, waarmee de parameters  $h_e$  en  $i_e$  impliciet bekend zijn geworden, bovendien een indruk over de morfologische snelheid der rivieren verkregen is. Een dergelijke berekening is echter zeer uitgebreid en kan niet zonder omvangrijke computerprogramma's uitgevoerd worden. Dit zou buiten het bestek van een onderzoek als dit vallen; er zal getracht worden op een eenvoudiger manier iets te weten te komen omtrent de snelheid en omvang van de morfologische veranderingen die na plaatsing van een centrale zullen optreden.

Op eenvoudige wijze zijn de zandtransporten in de situatie zonder centrale te bepalen. Hiervoor kan de formule van Meyer-Peter-Müller gebruikt worden die Rijkswaterstaat ook pleegt te gebruiken voor de beschouwde riviervakken. Met Chezy kunnen de waterstanden en verhogingen/verlagingen hiervan ten gevolge van het centraledebiet in de aanvangssituatie berekend worden. Aangezien de rivierverschansingen aanvankelijk gelijk blijven en de veranderde waterstanden benedenstrooms nu bekend zijn, kunnen de veranderde zandtransportcapaciteiten benedenstrooms in de aanvangssituatie berekend worden. In de Waal zullen de zandtransporten benedenstrooms kleiner worden, in de Maas groter. De verschillen tussen boven- en benedenstroomse zandtransportcapaciteiten kunnen beschouwd worden als aanzandings- en uitschuringscapaciteiten  $dS$ . In de loop der tijd zullen de morfologische processen in een dergelijke richting verlopen dat de aanvankelijke aanzandings- en uitschuringscapaciteiten  $dS$  steeds kleiner worden, net zolang tot in de eindsituatie deze nul zijn geworden en de zandtransporten benedenstrooms  $S_e$  weer gelijk zijn aan de oorspronkelijke waarde  $S_0$ .

In de levensduur van 40 jaar van de centrale zullen totale uitschuringen en aanzandingen plaatsvinden ter waarde van  $\int_0^{40 \text{ jaar}} dS(t)dt$  (benedenstrooms van de centrale).

Er zullen nu enige aanname's gedaan moeten worden over het verloop van  $dS(t)$  in de tijd en de plaatsen waar de aanzandingen en uitschuringen benedenstrooms zullen optreden. alsmede over de invloed hiervan op de waterstanden ter plaatse van de centrale.

Op bijlage 3471 is een voorbeeld geschetst over het verloop van dergelijke morfologische processen. De getekende waterstands- en bodemliggingslijnen zijn berekend met een hiervoor geschikt computerprogramma dat tijdsafhankelijke berekeningen kan uitvoeren. Het berekende geval dient slechts ter illustratie van het verloop in de tijd van waterstanden en bodemligging van een rivier na een ingreep in deze rivier; het betreft hier een geval van een rivierversmalling in een rivier met constant debiet (wat uiteraard zeer hypothetisch is in dit geval), wat ongeveer dezelfde processen beschrijft als het geval van een debietvergroting (zoals op de Maas het geval is).

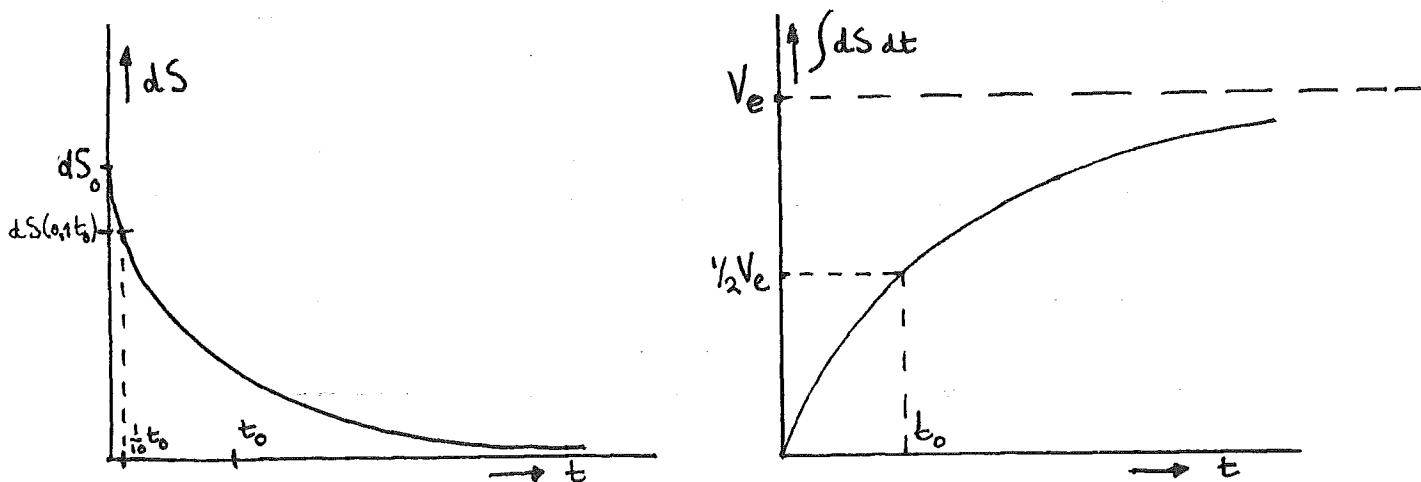
Benedenstrooms en bovenstrooms van punt A (waar de versmalling 'begint') treden direct na de ingreep ( $t=0$ ) stuwkrommen op. De morfologische processen die hierna optreden doen deze teniet en doen het oorspronkelijke rivierverhang zodanig veranderen dat uiteindelijk ( $t=\infty$ ) de rivier weer in evenwicht verkeert. In dit geval wordt het benedenstroomse verhang groter, de benedenstroomse waterdiepte groter en zowel bovenstrooms als benedenstrooms is de rivierbodem gedaald; het uiteindelijke resultaat is dat de aanvankelijke waterstandsverhoging bij punt A uiteindelijk is veranderd in een grote verlaging. Van belang is de reactiesnelheid van de rivier. De diverse lijnen voor  $t=0, 10, 100, 200, 500, 1000$  en  $\infty$  tijdseenheden (de grootte van deze tijdseenheid afhankelijk van diverse rivierparameters) laten zien dat het in het begin relatief snel gaat en vervolgens steeds langzamer verloopt. Tevens is te zien dat voor  $t=1000$  ongeveer de helft van de veranderingen benedenstrooms geschied zijn.

Het is nu van belang te weten hoe snel de rivieren Waal en Maas in de beschouwde riviergedeelten reageren. Een eenvoudige mogelijkheid om dit te weten te komen is gebruikmaken van de methode van de morfologische tijdschaal uit het dictaat F10 van prof. de Vries waarmee een indicatie berekend kan worden voor de tijdsduur waarin een verstoring dz in de bodem zich in bovenwaartse richting voortplant (na deze tijdsduur heeft de verstoring dz zich voor de helft over een afstand  $L_m$  verplaatst). Deze methode gaat uit van de aanname van uniforme stroming, zodat als voorwaarde voor gebruik ervan geldt dat stuweffecten over de afstand  $L_m$  verwaarloosbaar klein zijn. Dit is over het algemeen het geval wanneer  $L_m \gg (3 \cdot h/i)$ . Zowel voor Waal als Maas wordt

de afstand  $L_m$  ingeschat als de afstand van uitstroming in het Hollands Diep tot St. Andries, zijnde ca. 55 km. voor beide rivieren. Redelijke waarden voor waterstanden en verhangen in de beide rivieren op de beschouwde trajecten zijn  $h=5$  m en  $i=10^{-4}$ , zodat  $3.h/i = \text{ca. } 150 \text{ km} \ll 55 \text{ km.}$ , waarmee gebruikmaking van de methode der morfologische tijdschaal onmogelijk blijkt te zijn.

Een andere methode is gebruikmaking van uitgebreide computerberekeningen, waarvan in het globale kader van dit onderzoek afgezien wordt.

Op bijlage 3471 is te zien dat voor waarden van  $100 \leq t \leq 1000$  de gemiddelde bodemdaling benedenstrooms ongeveer gelijk is aan de waterstands daling ten opzichte van de aanvankelijke, gestuwde, hogere stand ter plaatse van het punt A. Als verder bedacht wordt dat de uitschuring benedenstrooms van punt A voor deze waarden van  $t$  geschematiseerd kan worden tot een gelijke, gemiddelde bodemdaling  $dz$  over het gehele benedenstroomse traject (zodat het totale uitgeschuurde volume op ieder tijdstip dan zich laat berekenen als  $V_{\text{tot}}(t) = B \cdot L_m \cdot dz(t)$ , waarin  $B$  de sedimentvoerende breedte van de rivier voorstelt), kan als volgt toch nog een indicatie voor de morfologische invloeden in de 40 jaar levensduur van de centrale verkregen worden: te berekenen zijn de aanzandings- en uitschuringscapaciteiten  $dS_0$  van de Waal resp. Maas die direct na het inwerkingstellen van de centrale optreden (zie eerder in deze paragraaf). Het morfologische proces is zodanig dat deze capaciteiten  $dS(t)$  beschreven kunnen worden met een functie die volgens een negatieve e-macht naar nul nadert voor  $t \rightarrow \infty$  (zie linkse figuur hieronder).



In de rechtse figuur is het geïntegreerde totale aanzandings- of uitschuringsvolume geschetst. Voor  $t=t_0$  bedraagt dit de helft van het uiteindelijke totale volume  $V_e$ . Deze waarde komt dan ongeveer overeen met de waarde  $t=1000$  op bijlage 3471 voor welke waarde ongeveer de helft van de totale uitschuring

benedenstrooms reeds geschiedt is. Vooruitgrijpend op de resultaten kan gesteld worden dat de te verwachten bodemdalingen in 40 jaar zodanig zijn dat de lijnen voor  $t=100$  op bijlage 3471 ongeveer de situatie in Waal en Maas na 40 jaar weergeven. Na 40 jaar zou dan  $dS$  ongeveer  $dS(0, 1 \cdot t_0)$  bedragen. Gezien het interval  $0 < t < 0, 1 \cdot t_0$  waarin de processen zich afspelen, is het een reële mogelijkheid aan te nemen dat in de beschouwde 40 jaar ongeveer geldt:

$$dS(t) = dS_0 \quad ,$$

waarmee dus de afname van  $dS$  in deze 40 jaar verwaarloosd wordt. De invloed van deze aanname is: te groot berekende bodemveranderingen, dientengevolge te klein berekende vervalverkleiningen, te groot berekende energie-opbrengst tegen te gunstig berekende KWh-prijzen. Later zal blijken dat deze nog te gunstig berekende rentabiliteit toch al te negatief uitpakt, zodat het niet nodig zal zijn deze aanname nader te onderzoeken.

In het voorgaande is nog niet gesproken over de zgn. bulk-density, die ook een rol speelt bij het bepalen van de grootte van de bodemveranderingen uit het totale aanzandings- of uitschuringsvolume. Gesteld dat dit totale volume  $V_{\text{tot}}$  bedraagt, waarbij  $V_{\text{tot}}$  bekend is in  $\text{m}^3$  sediment, dan geldt niet dat het totale afgezette of uitgeschuurde volume op de bodem even groot is. Het sediment zal inklinken wanneer sprake is van aanzanding; wanneer sprake is van uitschuring zal  $1 \text{ m}^3$  uitgeschuurde bodem niet overeenkomen met  $1 \text{ m}^3$  sediment, maar met minder dan die hoeveelheid.

De dichtheid van de pakking van het sediment op de bodem is verantwoordelijk voor dit verschijnsel. De massadichtheid van het sediment wordt gesteld op  $2650 \text{ kg/m}^3$ . Onderzoek heeft uitgewezen dat de dichtheid van het sediment op de bodem varieert tussen  $610 \text{ kg}$  en  $1600 \text{ kg}$  sediment per  $\text{m}^3$  bodem, al naar gelang de verdichting die heeft plaatsgevonden. Als men een oppervlak van  $1 \text{ m}^2$  bodem zou beschouwen en hierop een aanzandingsvolume  $dS$  van  $1 \text{ m}^3$  zou laten neerslaan, dan is de bodemverhoging niet  $1 \text{ m}$ . maar aanvankelijk  $2650/610 = 4,34 \text{ m}$ . wat na verloop van tijd (dus verdichting bodem) zal afnemen tot  $2650/1600 = 1,65 \text{ m}$ . Zou men  $1 \text{ m}^2$  goed verdichte bodem belasten met een uitschuringscapaciteit van  $1 \text{ m}^3$ , dan zou de uitschuringsdiepte  $1,65 \text{ m}$ . bedragen. Samenvattend kan gesteld worden dat er sprake is van een omrekeningsfactor  $n$  die varieert tussen  $1,65$  en  $4,34$ . Wanneer men eerst de aanzandingen en uitschuringen berekent volgens  $dz = dS / (B \cdot L_m)$ , dan zal de zo verkregen waarde nog eens vermenigvuldigd dienen te worden met  $n$ . Voor uitschuring kan  $n$  op  $1,65$  gesteld worden; immers, de bodem die uitgeschuurd wordt is al jaren verdicht. Voor aanzanding wordt, gezien het tijdbestek van 40 jaar dat hier relevant is ook  $n=1,65$  aangehouden.



De berekening van de vervalverkleining in de loop van 40 jaar is nu eenvoudig geworden. Allereerst berekent men directe waterstandsveranderingen  $dh_0$  ten gevolge van een centraledebiet, vervolgens de direct optredende aanzandings- en uitschuringscapaciteiten  $dS_0$ . Na 40 jaar is hiermee de bodemdaling- of stijging:  $dz = n \cdot 40 \cdot dS_0 / B \cdot L_m$  waarin  $dS_0$  in  $m^3$ /jaar wordt ingevuld. De onmiddellijke vervalverkleining bedraagt  $dv_0 = |dh_{\text{waal}}| + |dh_{\text{maas}}|$ , na 40 jaar is dit gereduceerd tot  $dv_{40} = dv_0 - |dz_{\text{waal}}| - |dz_{\text{maas}}|$ .

Gemiddeld is de vervalverkleining berekend als  $dv_{\text{gem}} = (dv_0 + dv_{40})/2$ , waarbij het morfologisch proces in het beschouwde interval gelineariseerd is. Uiteraard dient bedacht te worden dat aan de aldus verkregen resultaten geen absolute waarde verleent mag worden; het betreft hier slechts een globale indicatie van de orde van grootte van de te verwachten verschijnselen.

Een ander probleem bij deze berekeningen is de keuze voor de te hanteren rivierschematisaties. Het betreft hier twee aspecten; allereerst de waarden van waterspiegelverhangen, stroomvoerende breedtes, bodemruwheden, korreldiameters en andere benodigde rivierparameters als functie van de afvoer, ten tweede de schematisatie van het afvoerregime waarmee de zandtransporten bepaald worden. Het eerste aspect zal straks aan de orde komen, het tweede zal nu eerst besproken worden.

Er bestaan verschillende mogelijkheden om vanuit een bekend afvoerregime een zandtransport te bepalen. De meest globale wijze is het gebruik van een zgn. dominante afvoer die gedefinieerd is als die afvoer die wanneer deze constant het hele jaar aanwezig was hetzelfde zandtransport zou opleveren als het optredende regime in zijn totaal per jaar oplevert. Nadelen van deze methode zijn in dit geval allereerst de onbekendheid met de waarden voor de dominante afvoeren van Waal en Maas, vervolgens de moeilijkheid om de invloed van het optredende centraledebiet op de rivierregimes in een verandering van dominante afvoeren om te rekenen (dit is geen kwestie van eenvoudig optellen en aftrekken). Om antwoorden op deze vragen te vinden zal toch in ieder geval het regime zelf beschouwd moeten worden in zijn samenhang met zandtransporten.

Een tweede, al nauwkeuriger mogelijkheid, is het gebruik maken van onderschrijdingslijnen voor de afvoeren. Op bijlage 3472 is schematisch weergegeven hoe deze mogelijkheid in de praktijk eruit ziet. In de linkerkolom zijn de diverse onderschrijdingslijnen voor parameters van de Waal uitgezet, in de rechterkolom dezelfde parameters van de Maas. Uitgaande van onderschrijdingslijnen voor de afvoeren zijn onderschrijdingslijnen voor de waterdieptes  $d$  te berekenen. Eerder in deze studie bleek dat de afvoercurves van Waal en Maas in de tijd een grote gelijkvormigheid bezitten. Hiervan uitgaande wordt nu aangenomen dat een  $x$ -dagen onderschreden afvoer van de Waal gelijktijdig optreedt met een  $x$ -dagen onderschreden afvoer van de Maas. Deze aanname zal gezien de resultaten van de eerdere onderzoeken in dit hoofdstuk niet ver naast de realiteit liggen. Met deze aanname kan nu (in de middenkolom) een onderschrijdingslijn voor het verval bepaald worden; eventueel kunnen hiervoor ook eerder al bepaalde verval-onderschrijdingslijnen worden gebruikt. Uitgaande van deze lijn, de aanname voor een bepaald turbinepotentieel voor de centrale en eisen ten aanzien van minimum- en maximumafvoeren in Waal resp. Maas (bijv.  $Q_{\text{waal}} \geq 700 \text{ m}^3/\text{s}$  en  $Q_{\text{maas}} \leq 900 \text{ m}^3/\text{s}$  in verband met scheepvaartbelangen van de Waal en hoogwaterbestrijdingsbelangen van de Maas), kan nu een onderschrijdingslijn voor het centrale debiet (in de middenkolom) bepaald worden. Een kanttekening hierbij is op zijn plaats.

Door het stromen van een centrale debiet van Waal naar Maas worden de waterstanden beïnvloedt. Doel van de berekeningen in deze paragraaf is zich een indruk te vormen over de grootte van deze invloeden om daarmee deze verschijnselen op een verantwoorde wijze in de latere rentabiliteitsberekeningen in rekening te kunnen brengen. Voor de berekening van het centrale debiet is het echter al nodig van te voren al iets te weten hierover: immers, dit debiet wordt bepaald uit het werkelijk aanwezige verval, dat gelijk is aan het 'bruto' optredende verval én de vervalverkleining daarbij. Er zal hier dus op de berekening vooruit moeten worden gelopen.

Gesteld dat de vervalverkleining ten gevolge van het centrale debiet  $Q_{ac}$  geschematiseerd kan worden tot :  $dv = a \cdot Q_{ac}$  ( $dv$  gemiddeld constant gerekend bij elke situatie), dan is het centrale debiet als volgt uit het 'bruto' verval te berekenen (uitgaande van de formules uit paragraaf 3.2.3 en een centrale met  $n$  turbines met allen een diameter  $D$ , en een constructievalhoogte  $H_t$ ):

Indien  $H - a \cdot Q_{ac} > H_t$  (waarin  $H$  het bruto verval voorstelt) ,dan geldt:

$$Q_c = 2,78 \cdot n \cdot D^2 \cdot \sqrt{H_t} = Q_{ac}$$

Indien  $H_t/6 \leq H - a \cdot Q_{ac} \leq H_t$  ,dan geldt:

$$Q_c = 2,78 \cdot n \cdot D^2 \cdot \sqrt{1,5 \cdot (H - a \cdot Q_{ac}) - 0,5 \cdot H_t}$$

Indien  $H - a \cdot Q_{ac} < H_t/6$  ,dan geldt :  $Q_c = 0$

Reële waarden hierin zijn :  $a=0.003 \text{ s/m}^2$  ,  $H_t = 2,0 \text{ m}$  ,  $n=1$  ,  $D=5 \text{ m}$   
Hiermee volgt dat (in het aangenomen reële geval) geldt:

$$\text{Voor } H > 2,0 + 0,003 \cdot 98,3 = 2,29 \text{ m} : Q_c = Q_{ac} = 98,3 \text{ m}^3/\text{s}$$

$$\text{Voor } 2/6 + 0,29 = 0,96 \leq H \leq 2,29 \text{ m} : Q_c = 69,5 \cdot \sqrt{1,5 \cdot H - 1,442} \text{ m}^3/\text{s}$$

$$\text{Voor } H < 0,96 \text{ m} : Q_c = 0$$

Zou het centraledebiet direct uit het brutoverval berekend worden (dus  $a=0$ ) ,dan zou het volgende gelden:

$$\text{Voor } H > 2,0 : Q_c = 98,3 \text{ m}^3/\text{s}$$

$$\text{Voor } 0,67 \leq H \leq 2 : Q_c = 69,5 \cdot \sqrt{1,5 \cdot H - 1} \text{ m}^3/\text{s}$$

$$\text{Voor } H < 0,67 : Q_c = 0$$

Naast elkaar gezet geven bovenstaande berekeningen voor het centraledebiet uit het brutoverval met of zonder in rekening brengen van vervalverkleining:

H	$Q_{c,z}$	$Q_{c,m}$	dQ	dQ.100/ $Q_{ac}$
0,70	15,5	0	15,5	16 %
0,85	36,4	0	36,4	37 %
1,00	49,1	16,7	32,4	33 %
1,15	59,2	37,0	22,2	23 %
1,30	67,7	49,5	18,2	19 %
1,45	75,3	59,5	15,8	16 %
1,60	82,2	68,0	14,2	14 %
1,75	88,6	75,6	13,0	13 %
1,90	94,5	82,5	12,0	12 %
2,05	98,3	88,8	9,5	10 %
2,20	98,3	94,7	3,6	4 %
2,35	98,3	98,3	0	-
2,50	98,3	98,3	0	-

Hierin staan  $Q_{c,z}$  en  $Q_{c,m}$  voor centraledebieten respectievelijk berekend zonder en met vervalverkleining.

Wanneer dus een centraledebiet berekend zou worden zonder rekening te houden met een vervalverkleining, dan zou men fouten maken in de orde van 10 à 20 %, wat onaanvaardbaar is.

(Andersom gerekend is het ook mogelijk van te voren uit te gaan van een bepaald centraledebiet en vervolgens na te gaan met bovenstaande formules hoe de centrale eruit moet zien om dat centraledebiet zo te kunnen leveren).

Na het opstellen van de onderschrijdingslijn voor het centraledebiet is het mogelijk zowel voor Waal als Maas te berekenen welke invloed dit debiet heeft op de waterstanden en zandtransporten in de beginsituatie, met als uiteindelijk resultaat onderschrijdingslijnen voor waterstandsveranderingen, aanzandings- en uitschuringscapaciteiten. Middeling van de waterstandsveranderingen levert een waarde voor  $\Delta d$  op die gemiddeld optreedt bij een centraledebiet ter grootte van de gemiddelde ingevoerde waarden. Integratie van de waarden van  $S$  over een jaar levert aanzandings- en uitschuringscapaciteiten in  $m^3$ /jaar op, waarmee vervolgens volgens eerder omschreven methodiek bodemveranderingen dz berekend kunnen worden en een uitspraak over de vervalverkleining in de loop der 40 jaar levensduur van de centrale mogelijk geworden is.

Bij de methode met gebruik van onderschrijdingslijnen wordt al wel rekening gehouden met de variatie van de afvoeren in de tijd, maar nog niet met de volgorde waarin deze optreden. Voor de beschouwde problematiek is dit geen reden om deze methode te verwerpen; het betreft hier een indicatie van de grootte en snelheid van aanzandingen en uitschuringen in een tijdsbestek van 40 jaar, hoe deze veranderingen in de loop van deze 40 jaar tot stand komen is van weinig belang om te weten. Toch is het niet onbelangrijk om ook nog via een andere methodiek de veranderingen te berekenen. Men verkrijgt zo resultaten via 2 wegen en kan onderling vergelijken, waarmee een duidelijker beeld in de problematiek mogelijk is.

Een schematisatie waarin rekening gehouden wordt met zowel de variatie in de afvoer als de volgorde waarin deze optreedt, is het gebruik maken van het afvoerverloop  $Q(t)$  in de tijd. Hiervoor kan men gebruik maken van het in een bepaald aantal jaren gemeten afvoerverloop, en/of 5% , 50% en 95% onderschreden gemiddelde lijnen voor dit verloop. Uiteraard levert gebruikmaking van het in werkelijkheid opgetreden afvoerverloop (bijvoorbeeld voor een nat, een "normaal" en een droog jaar) het meest reële beeld op.

Op bijlage 3473 is een schets gegeven van deze berekeningswijze. De berekening verloopt vrijwel analoog aan de berekening op bijlage 3472 en zal hier niet verder toegelicht worden.

In deze studie zullen nu de volgende gevallen doorgerekend worden:

- A. Schematisatie met onderschrijdingslijnen voor de afvoeren in combinatie met enkele varianten voor de te bouwen centrale.
- B. Schematisatie met 5%, 50% en 95% onderschreden jaarverlopen voor de afvoeren in combinatie met één realistische variant voor de te bouwen centrale.
- C. Schematisatie met gemeten jaarafvoerverlopen voor de jaren 1976 en 1979 in combinatie met dezelfde centralevariant als onder B (1976 is een droog jaar, 1979 een nat jaar).

Zowel in de berekeningen onder B als onder C zullen maandgemiddeldes beschouwd worden om het rekenwerk te vereenvoudigen. Gezien de globale aard van dit onderzoek ligt deze aanpak in de lijn van de voorgaande resultaten.

De volgende vraag die zich nu aandient is de vraag hoe de stromingsparameters en sedimenttransportparameters in hun onderlinge samenhang in de berekeningen geschematiseerd kunnen worden.

Via Rijkswaterstaat konden diverse gegevens verkregen worden; helaas met enkele lacunes hierin. Deze lacunes zullen in een reële schematisatie opgevuld worden.

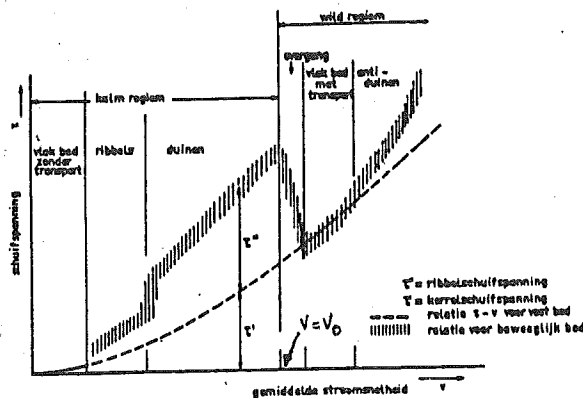
Op de bijlages 3474 t/m 34712 is de schematisatie voor de Maas beneden Lith uiteengezet. Bijlage 3474 bestaat uit een aantal dwarsprofielen van de Maas uit het gedeelte bij St. Andries (St. Andries ligt zelf ongeveer tussen kmr. 208 en kmr. 209, de dwarsprofielen zijn om de kilometer vanaf Lith (kmr. 202) tot enkele kilometers voorbij St. Andries gemeten). Met gestippelde lijnen is in de gemeten profielen een schematisch, trapeziumvormig profiel weergegeven dat overeenstemt met de gemeten profielen qua doorsnede. Onder elk profiel is de zo geschematiseerde bodemdiepte  $z_b$ , breedte op de bodem  $B_0$  en gemiddelde taludhellingsparameter  $\bar{n}$  (tangens van de taludhelling bedraagt  $1/\bar{n}$ ) genoteerd. Op bijlage 3475 zijn deze parameters voor alle profielen in een tabel verzameld en is er een over alle profielen gemiddeld schematisch profiel berekend. Hiertoe zijn zowel alle waarden van  $\bar{n}$  en  $B_0$  gemiddeld, als een doorsnedeparameter  $(B_0 + 8 \cdot \bar{n})$  zijnde de breedte op 4 meter boven de bodem. Deze waarde van 4 meter is een reële waarde voor gangbare waterdieptes in de Maas in het hier beschouwde gedeelte. De berekende gemiddeldes stemmen goed overeen:  $B_{0, \text{gem}} + 8 \cdot \bar{n}_{\text{gem}} = 112,5 + 8 \cdot 3,25 = 138,5$  en  $(B_0 + 8 \cdot \bar{n})_{\text{gem}} = 138,6$ . De bodemdiepte te St. Andries is gesteld op 4 m -NAP.

Op bijlage 3475 is tevens een relatie bepaald tussen de stroomvoerende breedte  $B_s$  en de waterdiepte  $h$ , met behulp van de gemiddelde waarden van  $\bar{n}$  en  $B_0$ . Op bijlage 3476 is via bijlage 3441 (Q-h relatie Maas) en met de gemiddelde bodemdiepte te St. Andries  $z_b = 4$  m -NAP het verband tussen  $B_s$  en  $h$  omgezet in een verband tussen  $B_s$  en het debiet  $Q$ . Dit is gedaan om later uitgaande van alleen een debiet  $Q$  alle stroom- en sedimenttransportparameters expliciet te kunnen berekenen.

Op bijlage 3477 is een verband van Rijkswaterstaat tussen de bodemruwheid C in de Maas beneden Lith en de waterstand bovenstrooms van de stuw te Grave weergegeven. Met behulp van het jaarboek der waterhoogten 1980 van R.W. is dit verband verder geschematiseerd tot een bruikbare relatie tussen de ruwheid C en het debiet Q benedenstrooms van Lith.

Op bijlage 3478 is via de formule van Chezy de waarde van het verhang i in de Maas beneden Lith als functie van de afvoer Q berekend. Over deze waarden van i waren geen goede gegevens beschikbaar bij R.W.. De berekende waarden zijn op bijlage 3479 grafisch weergegeven. Deze grafiek verdient nog enige nadere aandacht.

Het toenemen van de waterspiegelhelling i met toenemend debiet is eenvoudig te begrijpen als men bedenkt dat het beschouwde gedeelte van de Maas een gestuwde benedenrivier is. Wat minder makkelijk te doorzien is, is de 'slinger' in de grafiek bij debieten van ca.  $850 \leq Q \leq 1100 \text{ m}^3/\text{s}$ . Hiervoor is echter een redelijke verklaring mogelijk.



In de figuur hiernaast is een schets gegeven van het verband tussen de bodemschuifspanning  $\tau$  en de stroomsnelheid  $v$  voor een alluviale bedding, zoals in deze studie aan de orde is. De schuifspanning  $\tau$  blijkt opgebouwd te zijn uit een component  $\tau_1$  als gevolg van de korrelruwheid en een component  $\tau_{II}$  als gevolg van de

ribbelruwheid van de beddingsvorm. Al naar gelang de stroomsnelheid toeneemt, zal de bedding verschillende vormen aannemen. Wanneer  $v=v_0$  zal de beddingsvorm overgaan van duinen in een vlak bed in een betrekkelijk kort overgangsgedebied, wat gepaard gaat met een drastische daling van  $\tau_{II}$  tot nul.

De volgende verbanden gelden:

$$\tau = \tau_1 + \tau_{II} \quad (1)$$

$$C = \sqrt{\rho \cdot g} \cdot v / \tau \quad (2)$$

Het is eenvoudig om in te zien dat de ruwheid C in het overgangsgedebied bij  $v=v_0$  plotseling kan toenemen, wanneer  $\tau$  snel daalt. De waarde van het waterspiegelverhang wordt bepaald door het verband van Chezy:

$$i = Q^2 / (B_s^2 \cdot C^2 \cdot d^3) \quad (d = \text{waterdiepte})$$

Tengevolge van een plotseling, snelle stijging van C in het overgangsgedebied,

zal de  $i$ -waarde plotseling in de berekeningen kunnen dalen. Het overgangsbied ligt voor de Maas blijkbaar in het gebied waar  $850 < Q < 1100 \text{ m}^3/\text{s}$ . Voor  $Q > 1100 \text{ m}^3/\text{s}$  zal de  $C$ -waarde weer langzaam afnemen met toenemende  $Q$ , waardoor de  $i$ -waarde weer stijgt. Dit verschijnsel leidt tot de slinger in de grafiek op bijlage 3479.

In de realiteit zal niet de  $i$ -waarde een dergelijke slingerlijn vertonen, maar wel de  $C$ -waarde. Dientengevolge zal ook de volgens Chezy berekende waterdiepte een slingerlijn vertonen. Deze is inderdaad zichtbaar op bijlage 3441 ( $Q$ - $h$  relatie Maas). Overigens is deze  $Q$ - $h$  relatie uitgangspunt geweest van de berekening van de  $i$ -waarden op bijlage 3478, zodat het beter is te stellen dat het in de met behulp van metingen opgestelde  $Q$ - $h$  relatie tot uitdrukking gekomen verschijnsel door de schematisering van de  $C$ -waarde tot een eenvoudig, lineair verband op bijlage 3477 nu in de afgeleide  $i$ -waarden zichtbaar wordt. Het zou formeel correct zijn nu het verband tussen  $Q$  en  $C$  zodanig aan te passen dat het verloop van  $i$ -waarden een meer realistisch beeld voorstelt. Dit zou echter veel diepgaander onderzoek vergen, waar hier van afgezien wordt. Er wordt volstaan met het trekken van een gemiddelde lijn door de slinger op bijlage 3479.

Op bijlage 34710 zijn de eerder afgeleide bodemdieptes grafisch uitgezet tegen de afstand vanaf Lith gerekend. Op het oog is hierdoor een rechte lijn getrokken waaruit het bodemverhang  $i_b$  te bepalen is. Uiteraard dient deze waarde met veel reserve bekeken te worden; om een nauwkeuriger waarde te bepalen, zullen meer metingen nodig zijn.

De op bijlage 34710 bepaalde indicatie voor  $i_b = \text{ca. } 10^{-4}$  stemt goed overeen met de waarde voor het waterspiegelverhang  $i = \text{ca. } 10^{-4}$  voor grote debieten (voor grotere debieten worden de stuwefecten steeds onbelangrijker wat betekent dat voor grote debieten het waterspiegelverhang  $i$  gelijk zal zijn aan het bodemverhang  $i_b$ ). Dit als indicatie voor de betrouwbaarheid van het in deze studie afgeleide verband tussen  $Q$  en  $i$ .

Op bijlage 34711 zijn bodemgegevens omtrent de korreldiameters van het sediment in het beschouwde riviervak verzameld. De diverse waarden voor de korreldiameters zijn gemiddeld en onderaan in een logaritmisch verband uitgezet teneinde een waarde voor  $D_{90}$  te bepalen. Eén en ander resulteert in gemiddelde waarden voor  $D_{50}$  en  $D_{90}$ , welke in de berekeningen verder aangehouden zullen worden.

Op bijlage 34712 is tenslotte de gehele gebruikte schematisatie van stroom- en sedimenttransportparameters voor de Maas beneden Lith overzichtelijk weer gegeven. De berekening van het sedimenttransport geschiedt met de formule van Meyer-Peter-Müller, welke ook door Rijkswaterstaat voor het beschouwde riviergedeelte gebruikt wordt.

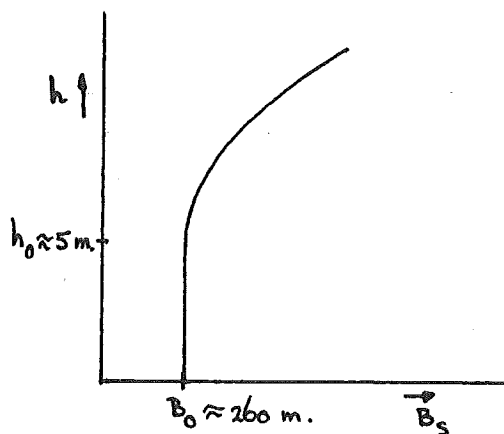
De schematisatie van het Waalgedeelte benedenstrooms van St. Andries, is via een andere weg tot stand gekomen, wat een gevolg is van een ander aanbod van gegevens door R.W..

Op bijlage 34713 zijn door R.W. opgestelde verbanden voor het waterspiegelverhang  $i$  en de ruwheid  $C$  als functie van de Waalafvoer weergegeven. De verbanden II (zie bijlage) zijn beschouwd als geldig voor het hier beschouwde Waalgedeelte.

Op bijlage 34714 zijn met deze verbanden en bijlage 3444 (Q-h relatie Waal) waarden voor de stroomvoerende breedte  $B_s$  als functie van de afvoer berekend. Op bijlage 34715 en 34716 zijn deze waarden voor  $B_s$  grafisch als functie van de waterdiepte  $d$  respectievelijk de afvoer  $Q$  weergegeven. De bodemdiepte ter plaatse van St. Andries is voor de Waal op 2 m. -NAP gesteld.

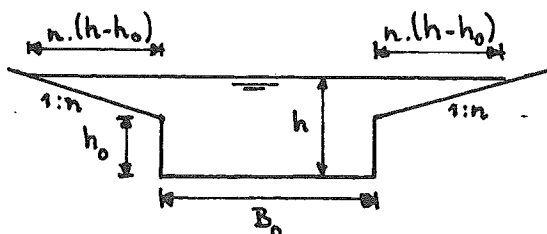
De 'afwijkende' punten in de grafieken van  $B_s$  voor waterstanden kleiner dan ca. 4,3 m. en afvoeren kleiner dan ca.  $1000 \text{ m}^3/\text{s}$  kunnen verklaard worden door te bedenken dat de schematisatie van  $C$  als functie van  $Q$  op bijlage 34713 als lineair aflopend voor afvoeren van 600 tot  $1000 \text{ m}^3/\text{s}$  doorwerkt in de berekening van  $B_s$ . Ook andere schematiseringen kunnen hier nog invloed op hebben.

Wanneer de punten voor  $Q$  kleiner dan  $1000 \text{ m}^3/\text{s}$  verder geschematiseerd worden tot een constante breedte in dat gebied, resulteert een verband van de vorm als in de figuur hieronder. Op het eerste gezicht lijkt dit een



merkwaardig verloop. Als men echter bedenkt dat de Waal een gereguleerde rivier met kribben is (in tegenstelling tot de Maas), een breedte tussen de kribhoofden van ca. 260 meter en een gemiddelde kribhoogte van ca. 5 meter vanaf de bodem in het beschouwde gedeelte, dan is een alleszins redelijke verklaring hiervoor mogelijk.

Het hierboven geschetste verband is het verband dat gevonden wordt voor een rivierdwarsdoorsnede zoals hieronder getekend is:



Totaal doorstroomd oppervlak =  $A_s$

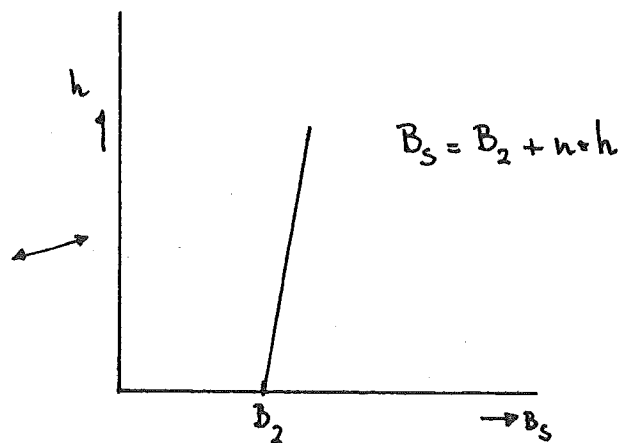
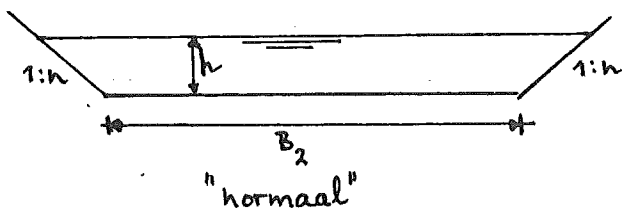
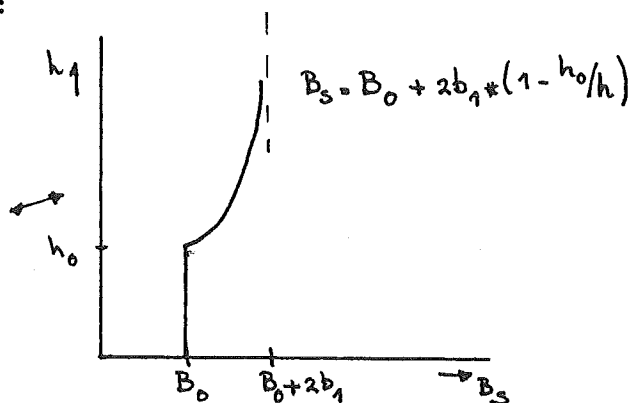
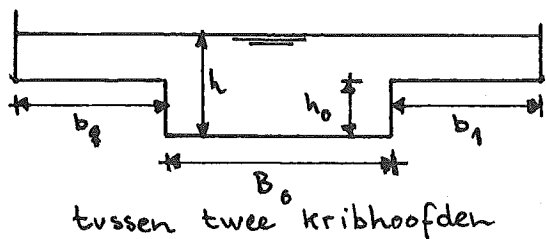
$$A_s = B_0 \cdot h + n \cdot (h-h_0)^2 \quad (\text{voor } h \geq h_0)$$

dan geldt:  $B_s = A_s/h = B_0 + n \cdot (h-h_0)^2/h$

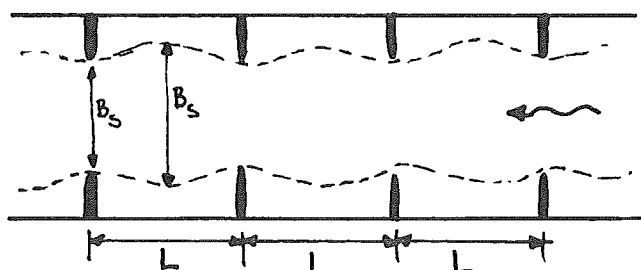


De lezer ga voor zichzelf na dat dit verband inderdaad de weergegeven vorm bezit.

Ter plaatse van twee kribben is de dwarsdoorsnede van de Waal schematisch weer te geven zoals in de bovenste figuur hieronder. In de onderste figuur staat de dwarsdoorsnede getekend zoals die 'normaal' is, dus niet tussen twee kribben. Naast de dwarsdoorsneden staan de verbanden tussen  $B_s$  en  $h$  voor die doorsneden geschetst:



Deze verbanden zien er dus elk op zich anders uit dan het gevonden verband op bijlage 34715. Het totaalbeeld over de stroomvoerende breedte van de Waal is echter geen tweedimensionale zaak, maar moet gezocht worden in een driedimensionale beschouwing. In de figuur hieronder is een stukje Waal geschetst als bovenaanzicht, waarmee de optredende verschijnselen verklaard zullen worden.



De invloed van de kribben op de stroomvoerende breedte wordt 'uitgespreid' over de kribafstand  $L$ .

Tussen de kribben is een 'normaal' dwarsprofiel aanwezig, tussen de kribhoofden het op de vorige bladzijde geschetste aangegeven profiel. In het bovenaanzicht is met een stippellijn een soort invloedslijn voor  $B_s$  aangegeven. Tussen de kribben zal  $B_s$  (tweedimensionaal beschouwd) groter zijn dan tussen de kribhoofden; driedimensionaal gezien zullen deze twee verschillende waarden in elkaar overvloeien. De totale invloed van de beide profielen samen kan tot één, tweedimensionaal beeld geschematiseerd worden, dat dan voor elke doorsnede aangenomen kan worden in de berekeningen. Dit beeld is het beeld van de doorsnede zoals die omschreven is bij het berekende verband op bijlage 34715; met een constante breedte  $B_0$  over een hoogte  $h_0$  en voor waarden van  $h$  groter dan  $h_0$  daarboven een talud met helling  $1:n$ . Hierin bezit de taludparameter  $n$  een fictieve waarde, waarin de gezamenlijke invloed van de verschillende dwarsprofielen tussen kribben en tussen kribhoofden in relatie tot kribafstand, kribhoogte, en andere parameters verdisconteerd is.

Met deze verklaring is de vorm van de grafieken op bijlage 34715 en 34716 redelijk verklaard.

Op bijlage 34717 zijn meetgegevens voor het bodemmateriaal van de Waal weergegeven. Het betreft het verloop van de  $D_{50}$  in het beschouwde riviergedeelte en bovenstrooms hiervan. Op deze bijlage is ook een waarde voor de korrelmaat  $D_{90}$  genoteerd; deze is aangenomen op 6,3 mm. benedenstrooms van Tiel in navolging van R.W. die dezelfde waarde in dit gebied aanhoudt.

Op bijlage 34718 is tenslotte het totaaloverzicht voor de Waalschematisatie genoteerd. Ook voor de Waal wordt het sedimenttransport in navolging van R.W. met de formule van Meyer-Peter-Müller berekend.

Na alle voorgaande schematiseringen en keuzes ten aanzien van de berekeningsopzet, zal nu begonnen worden met het daadwerkelijk doorrekenen van gekozen situaties. Vooraf zij nog vermeld dat er van uit gegaan wordt dat er alleen water via de centrale van de Waal naar de Maas stroomt, geen sediment. Dit zal in werkelijkheid ook het geval zijn: zand in de turbines is hoogst onwenselijk.

Op bijlage 34719 zijn in een tabel de overschrijdingswaarden voor de afvoeren van Waal en Maas vermeld. Zij zijn ontleend aan gegevens van R.W., het jaarboek der waterhoogten 1980. Er zijn hier tevens 4 varianten voor een centrale weergegeven, die alle doorgerekend zullen worden. Bij het opstellen van de varianten is uitgegaan van een minimumdebiet in de Waal van  $700 \text{ m}^3/\text{s}$  en een maximumdebiet in de Maas van  $900 \text{ m}^3/\text{s}$ . Buiten deze extreme waarden zal de centrale buiten werking gesteld worden. De ontwerpdebieten zijn achtereenvolgens 50, 100, 150 en  $200 \text{ m}^3/\text{s}$ . Voor  $t=350$  dagen overschrijding is slechts een debiet van  $50 \text{ m}^3/\text{s}$  toelaatbaar in verband met de minimumeisen aanzien van de Waalafvoer. Voor het overige is er vanuit gegaan dat de

centrale zodanig geconstrueerd wordt dat de ontwerpdebieten bij de beschikbare vervallen in het 'bruikbare' deel van het jaar mogelijk zijn. In dit geval volgen de centraledebieten niet uit de optredende situatie, maar zullen de aangenomen debieten in combinatie met de optredende situaties later ontwerp criterium zijn voor de centrale, mocht er tot een dergelijke uitvoering besloten worden.

Op bijlage 34720 en 34721 zijn de resultaten van de berekeningen voor de verschillende centrale varianten plus de oorspronkelijke situatie voor de Maas verzameld, op bijlage 34722 en 34723 dezelfde resultaten voor de Waal. Er dient bedacht te worden dat de centraledebieten telkens van Waal naar Maas stromen.

De resultaten voor de berekeningen zijn vooral voor de allergrootste en allerkleinste debieten van Waal en Maas het meest onnauwkeurig, wat een gevolg is van de extrapolatie van gevonden verbanden voor een 'normale' range van debieten naar extreme waarden hiervoor. Hierdoor bezitten de berekende waarden voor diverse parameters voor extreme debieten in absolute zin vrijwel geen praktijkwaarde. Het gaat in deze studie echter om verschillen tussen oude en nieuwe situaties, niet om het zeer realistisch weergeven van één situatie op zich tot in de extreme waarden. De waarden die berekend zijn voor zeer grote debieten (7 dagen of minder overschreden) zijn bijvoorbeeld van weinig belang aangezien in dit gedeelte van het jaar de centrale buitenwerking is en er dus geen verschillen tussen oude en nieuwe situaties optreden. De geïntegreerde totale jaarlijkse zandvrachten zijn berekend door de berekende waarden met lineaire interpolatie tot een overschrijdingslijn samen te stellen en het oppervlak onder deze lijn te berekenen.

Op bijlage 34724 zijn de optredende verschillen voor de waterstanden bij de verschillende versies voor de centrale-uitvoering verzameld. In het tijdsinterval waarin de beide rivieren zich de meeste tijd bevinden ( $300 < t < 50$  dagen overschrijding) zijn deze verschillen nog eens berekend per centraledebiet van  $100 \text{ m}^3/\text{s}$ , om tot een indicatie te komen van de gemiddeld onmiddellijk optredende vervalverkleining die berekend kan worden vanuit alleen het optredende centraledebiet. Er blijkt dat deze gemiddelde vervalverkleining ca. 42 - 45 cm. per  $100 \text{ m}^3/\text{s}$  centraledebiet bedraagt, waarbij de verhoging van de Maaswaterstanden en verlaging van de Waalwaterstanden in dezelfde orde van grootte (21-23 cm.) liggen.

Op bijlage 34725 zijn de zandtransportverschillen omgerekend in bodemverhogingen en verlagingen, waarna met de al bekende waterstandsveranderingen ook een indicatie voor de vervalverkleining na 40 jaar levensduur van de centrale berekend is. Ook al deze waarden zijn tenslotte nog beschouwd per  $100 \text{ m}^3/\text{s}$  centraledebiet. Er blijkt dat van de oorspronkelijke vervalverkleining van

ca. 42-45 cm. na 40 jaar nog ca. 12-13 cm. per 100 m<sup>3</sup>/s centraledebiet restteert.

Op bijlage 34726 zijn de diverse debieten voor een schematisatie van het rivierregime met 5%, 50% en 95% onderschreden jaarverlopen van de afvoeren weergegeven. De verlopen zijn dezelfde als de verlopen die behandeld zijn bij de voorgaande beschouwingen over de hydrologie van beide rivieren. De centraledebieten zijn hier berekend door uit te gaan van de diverse waarden voor het optredende brutoverval en een (realistische) centralevariant met 1 turbine met een waaierdiameter van 6 meter en een constructievalhoogte  $H_t$  van 1,7 meter. Deze berekening is niet geheel analoog aan de eerder, als voorbeeld gegeven berekening. Er is uitgegaan van een vervalverkleining van 40 cm. per 100 m<sup>3</sup>/s centraledebiet. Deze waarde is een reële aanname voor de onmiddellijk optredende verkleining (tengevolge van waterstandsveranderingen); de langzame morfologische veranderingen zijn hierin niet verdisconteerd. In wezen is het zo dat de morfologische veranderingen leiden tot een verandering van het aanwezige brutoverval, waarop dan telkens de waterstandsveranderingen gesuperponeerd kunnen worden (bijv.: Bodemveranderingen van 25 cm. leveren een toename van het brutoverval van dezelfde grootte, hierop 40 cm. waterstandsveranderingen superponeren levert dan totaal een vervalverkleining van 15 cm ten opzichte van de nulsituatie). In werkelijkheid ligt de zaak veel gecompliceerder en kunnen de bodem- en waterstandsveranderingen niet los van elkaar gesuperponeerd worden; voor deze studie wordt dit ter vereenvoudiging wel gedaan. In de berekening van het centraledebiet op bijlage 34726 wordt de verandering van het brutoverval in de loop der jaren niet meegenomen waardoor de berekende waarden in feite alleen op tijdstip nul gelden; na het begin zullen de centraledebieten groter zijn dan berekend door toename van het brutoverval. Deze invloed is echter niet zo groot en voor de eenvoud verwaarloosd. Een ander punt bij de berekening van het centraledebiet is dat hier niet uitgegaan wordt van een gemiddeld constante vervalverkleining over de gehele range van centraledebieten, zoals dat eerder in deze paragraaf wel gedaan is. Hier is een realistisch benadering gebruikt waarbij de vervalverkleining betrokken is op de grootte van het werkelijk optredende centraledebiet zelf. Deze berekening ziet er als volgt uit:

$$\left\{ \begin{array}{l} \text{Ontwerpdebiet centrale: } Q_{ac} = 2,78 \cdot n \cdot D^2 \cdot \sqrt{H_t} \\ \qquad \qquad \qquad \qquad \qquad = 2,78 \cdot 1 \cdot 6^2 \cdot \sqrt{1,7} = 130,5 \text{ m}^3/\text{s} \\ \text{Voor } H \geq H_t + a \cdot Q_{ac} \text{ , dus } H \geq 1,7 + 0,004 \cdot 130,5 = 2,22 \text{ m. geldt:} \\ \qquad \qquad \qquad \qquad \qquad \qquad \qquad \qquad \qquad \qquad \qquad Q_c = Q_{ac} = 130,5 \text{ m}^3/\text{s} \end{array} \right.$$

$$\left\{ \begin{array}{l}
 \text{Voor } 0,51 < H < 2,22 \text{ m. (zie hieronder voor verklaring van de} \\
 \text{geldt:} \qquad \qquad \qquad \text{waarde van 0,51 meter als minimumgrens)} \\
 Q_c = 2,78 \cdot n \cdot D^2 \cdot \sqrt{(1,5 \cdot (H - a \cdot Q_c) - 0,5 \cdot H_t)} \quad , \text{ dus} \\
 Q_c = 100,08 \cdot \sqrt{(1,5 \cdot (H - 0,004 \cdot Q_c) - 0,85)} \\
 \text{Dit leidt tot : } Q_c^2 + 60,096 \cdot Q_c - 10016 \cdot (1,5 \cdot H - 0,85) = 0 \\
 \text{en tenslotte } Q_c = -30,048 + \sqrt{15024 \cdot H - 7610,72} \quad \text{m}^3/\text{s}
 \end{array} \right.$$

$$\left\{ \begin{array}{l}
 \text{Voor } H \leq 7610,72/15024 = 0,51 \text{ m. geldt : } Q_c = 0
 \end{array} \right.$$

Door  $Q_c$  te berekenen op deze manier, geeft men de werkelijke gang van zaken in de berekeningen in deze paragraaf goed weer. Met de resultaten van deze paragraaf zal daarna de vervalverkleining geschematiseerd worden tot een gemiddelde waarde over de hele range van optredende centrale debieten, die betrokken wordt op het ontwerpdebiet  $Q_{ac}$ . De reden hiervan is dat de later volgende rentabiliteitsberekeningen aanzienlijk vereenvoudigd worden op deze wijze. In deze fase van onderzoek waarin juist de grootte van de vervalverkleining zelf centraal staat, is het echter nog wenselijk de gang van zaken zo realistisch als mogelijk voor te stellen.

Op bijlage 34727 zijn de verschillende onderschrijdingsverlopen voor de Maas zonder centrale doorgerekend, op bijlage 34728 zijn dezelfde verlopen doorgerekend, echter nu met in rekening brengen van een centrale volgens voorgaande beschrijving. Op bijlage 34729 en 34730 zijn dezelfde berekeningen voor de Waal uitgevoerd (34729 zonder centrale, 34730 met centrale). Alvorens de optredende verschillen te analyseren, wordt eerst verder gegaan met berekeningen voor gemeten jaarverlopen van 1976 (droog jaar) en 1979 (nat jaar) naar de invloed van de eventuele aanwezigheid van dezelfde centrale als bij de 5%, 50% en 95% onderschreden jaarverlopen in rekening gebracht is. Op bijlage 34731 zijn de gemeten maandgemiddeldes voor de afvoeren in 1976 en 1979 genoteerd, hiermee waterdiepten, het brutoverval (met in rekening brengen van het bodemdiepteverschil tussen Maas en Waal) en uiteindelijk centrale debieten vanuit dat bruto verval berekend. De centrale debieten zijn op dezelfde wijze berekend als op bijlage 34726, met dezelfde minimum- en maximumeisen ten aanzien van de beide rivierafvoeren.

Op bijlage 34732 zijn de jaren 1976 en 1979 doorgerekend voor de oorspronkelijke situatie (zonder centrale). Op bijlage 34733 is de beschouwde centrale in rekening gebracht op deze oorspronkelijke situatie. Nu zijn alle benodigde parameters berekend om het verschil te analyseren dat in een 5%, 50% en 95% onderschreden jaar alsmede in jaren als 1976 en 1979 zou optreden wanneer de omschreven centrale in werking zou zijn geweest in deze

jaren.

Op bijlage 34734 zijn de waterstandsverschillen geanalyseerd zoals die op zouden treden in 5%, 50% en 95% onderschreden jaren. De waarden  $X_{\text{maas}}$  en  $X_{\text{waal}}$  zijn waterstandsverschillen per werkelijk optredend centraledebiet van  $100 \text{ m}^3/\text{s}$  (de waarden  $\Delta d$  zijn hier dus omgerekend met behulp van de in rekening gebrachte debieten op bijlage 34726, niet met het ontwerpdebiet van  $130,5 \text{ m}^3/\text{s}$ ). Er blijkt dat er een direct vervalverschil van ca. 36 tot 57 cm. per  $100 \text{ m}^3/\text{s}$  centraledebiet optreedt, waarbij de laagste waarde optreedt in natte jaren en de hoogste waarde in droge jaren. Gemiddeld bedraagt deze vervalverkleining 44 cm. in een 50% onderschreden jaar. Deze waarde stemt goed overeen met de waarde van 42 tot 45 cm. die bij schematisatie met onderschrijdingslijnen hiervoor gevonden was.

Op bijlage 34735 zijn de verschillen in waterstand voor Maas en Waal bij het in rekening brengen van de centrale op de gemeten maandgemiddelden voor de afvoer in 1976 en 1979 verzameld. Gemiddeld is de vervalverkleining die direct optreedt ten gevolge van waterstandsveranderingen in het jaar 1976 groter dan in 1979, wat overeenstemt met de eerder gemaakte opmerking omtrent de grootte van de vervalverkleining in droge en natte jaren. De direct optredende vervalverkleining bedraagt in 1976 61 cm. en in 1979 50 cm. (per centraledebiet van  $100 \text{ m}^3/\text{s}$ ); hier blijken de optredende verschillen groter te zijn dan bij de andere schematisaties gevonden was. Tevens valt het grilliger verloop van de afzonderlijke, maandelijke waarden op; de spreiding in de afzonderlijke waarden is vooral voor de Maas aanzienlijk groter dan bij de schematisatie met onderschreden jaarverlopen zou volgen. Dit laatste is voor de hand liggend: de onderschreden jaarverlopen zijn gemiddelde lijnen die gebaseerd zijn op de werkelijk opgetreden afvoerverlopen gedurende vele jaren, zodoende zijn hierin de pieken afgevlakt. Vooral de Maas met zijn grillige afvoerregime wordt met onderschreden jaarverlopen veel regelmatig afgebeeld dan deze in werkelijkheid is. Wanneer men vervolgens de werkelijk opgetreden afvoerverlopen beschouwd, dan is het logisch dat hier een aanmerkelijk grotere spreiding gevonden wordt. Er dient bedacht te worden dat het hier nog slechts gaat om maandgemiddeldes; wanneer men uit zou gaan van het debiet  $Q(t)$  op elk moment zonder te middelen (een praktisch onuitvoerbaar zaak) zou men wellicht een nog grotere spreiding vinden.

Minder makkelijk verklaarbaar is de grotere gemiddelde waarde voor de waterstandsveranderingen, die vooral op de Maas optreden. Vergelijking van de afzonderlijke waarden van  $X_{\text{maas}}$  voor de schematisatie met een 50% onderschreden jaarverloop en de meetwaarden van 1979 (bijlages 34734 en 34735), laat zien dat de verhoging van het gemiddelde in 1979 voornamelijk zijn oorzaak vindt in de hoge waarden voor de maanden maart, september en oktober.

De jaargemiddelde afvoeren van een 50% onderschreden jaar en 1979 ontlopen elkaar weinig ( $327 \text{ m}^3/\text{s}$  resp.  $378 \text{ m}^3/\text{s}$ ), zodat de resultaten van beide jaren onderling vergelijkbaar verondersteld kunnen worden (de hogere jaarafvoer in 1979 zou volgens voorgaande beschouwingen er zelfs toe moeten leiden kleinere waarden voor X te vinden!).

In de maand maart 1979 was er sprake van een relatief zeer grote Maasafvoer van  $850 \text{ m}^3/\text{s}$ ; in de maanden september en oktober juist van zeer kleine afvoeren van  $70$  en  $50 \text{ m}^3/\text{s}$ . Door de afvlakking in het 50%-onderschreden jaarverloop voor de Maasafvoer komen dergelijke extreme waarden hierin niet voor; de afvoeren in dit verloop liggen in een range van  $100-685 \text{ m}^3/\text{s}$ . Op bijlage 3441 (Q-h relatie Maas die als basis van de waterstandsberekeningen genomen is), is te zien dat juist in de intervallen  $0 \leq Q \leq 100$  en  $800 \leq Q \leq 1000 \text{ m}^3/\text{s}$  de Q-h relatie een steiler verloop heeft, waardoor hier een toevoeging van een bepaald debiet grotere waterstandsveranderingen tot gevolg heeft, dus grotere waarden voor  $X_{\text{maas}}$  impliceert. Het gebruik van onderschreden jaarverlopen leidt zo tot het niet meerekenen van de in deze intervallen grotere verschillen, waardoor een te laag gemiddelde berekend wordt.

Op bijlage 34736 is het totaaloverzicht van de resultaten van de berekeningen met schematisaties met onderschreden jaarverlopen en met de gemeten jaarverlopen weergegeven. De waarden van  $a_0$  in de formule  $\Delta v_0 = a_0 \cdot Q_{ac}$  dienen niet verward te worden met de waarden X op bijlage 34734 en 34735; de laatste zijn betrokken op het werkelijk in een maand opgetreden centraledebiet, de waarden  $a_0$  op het ontwerpdebiet  $Q_{ac} = 130,5 \text{ m}^3/\text{s}$  van de centrale. Het is duidelijk te zien dat in een droog jaar de morfologische veranderingen veel kleiner zijn dan in een nat jaar. Voor de Maas speelt hierbij het theoretisch nul worden van het zandtransport voor kleine afvoeren een belangrijke rol; in droge jaren blijven de afvoeren, zelfs met het daaraan toegevoegde centraledebiet, grotendeels nog onder de grens van beweging voor het zandtransport. Voor zowel Waal als Maas is de oorzaak van de relatief kleine bodemveranderingen in een 5% onderschreden jaar natuurlijk vooral gelegen in het feit dat hier de centrale (in de berekening) 5 maanden buiten werking is. Ten aanzien van de verschillen tussen 1976 en 1979 is allereerst van belang dat de centraledebieten in 1976 gemiddeld kleiner zijn dan in 1979. Ook is hier het genoemde verschijnsel voor de Maas van belang; in 1976 waren de Maasafvoeren grotendeels zo klein dat zelfs met centraledebiet hieraan toegevoegd de sedimenttransporten nog theoretisch nul bleven.

Wanneer de resultaten van bijlage 34725 en 34736 naast elkaar gezet worden, komt men tot de volgende tabel:

<u>Schematisatie</u>			$a_0$ (s/m <sup>2</sup> )	$a_{40}$ (s/m <sup>2</sup> )
5% onderschr. jaar	-	-	0,0040	0,0030
50% onderschr. jaar	-	-	0,0043	0,0004
95 % onderschr. jaar	-	-	0,0036	0,0003
gemeten, 1976	-	-	0,0047	0,0022
gemeten, 1979	-	-	0,0045	0,0009
onderschr.lijn + versie 1	-	-	0,0042	0,0013
onderschr.lijn + versie 2	-	-	0,0043	0,0013
onderschr.lijn + versie 3	-	-	0,0043	0,0012
onderschr.lijn + versie 4	-	-	0,0045	0,0012

De vervalverkleining volgt uit  $\Delta v_0 = a_0 \cdot Q_{ac}$  en  $\Delta v_{40} = a_{40} \cdot Q_{ac}$ .

Al met al ontlopen de diverse waarden elkaar weinig, alleen de kleine morfologische veranderingen in droge jaren wijken af van het patroon. Gemiddeld bezien kan men stellen dat  $a_0$  ongeveer in een range van 0,004 tot 0,0047 zal liggen en  $a_{40}$  in de range van 0,0004 tot 0,0013 s/m<sup>2</sup>.

Wanneer aangenomen wordt dat het morfologische proces in de 40 jaar levensduur van de centrale ongeveer lineair verloopt, dan is een gemiddelde waarde  $a_{g,1}$  te berekenen volgens  $a_{g,1} = (a_0 + a_{40})/2$ . Wanneer aangenomen wordt dat in het begin de grootste veranderingen optreden (een realistisch beeld voor morfologische processen), dan kan men een gemiddelde  $a_{g,2}$  berekenen volgens  $a_{g,2} = (a_0 + 2 \cdot a_{40})/3$ . Op deze wijze volgen extreme waarden voor  $a_g$  uit:

$a_0$	$a_{40}$	$a_{g,1}$	$a_{g,2}$
0,0040	0,0004	0,0021	0,0016
0,0047	0,0013	0,0030	0,0024

Hieruit kan geconcludeerd worden dat als indicatie voor de gemiddelde vervalverkleining tijdens de levensduur van de centrale aangenomen kan worden dat dit bedraagt:

$$\Delta v_{gem.} = a_{gem.} \cdot Q_{ac} \quad \text{met } Q_{ac} \text{ in m}^3/\text{s}, \Delta v \text{ in m. en}$$

$$a_{gem.} = 0,0016 \text{ à } 0,0030 \text{ s/m}^2$$

Wegens de globale aard der berekeningen in deze paragraaf is het meenemen van een grote spreiding in waarden voor  $a_{gem.}$  verstandig. In de verdere rentabiliteitsberekeningen zullen de waarden  $a_{gem.} = 0,001$ ;  $0,0025$  en  $0,004$  verder gebruikt worden, waarbij de waarde van  $0,0025 \text{ s/m}^2$  als de meest waarschijnlijke waarde geldt en de beide andere waarden als mogelijke extremen.



Alle berekeningen en resultaten in deze paragraaf zijn gebaseerd op de aanname dat Maas en Waal thans in een evenwichtssituatie verkeren. Deze aanname is gedaan om op relatief eenvoudige wijze toch een indicatie over de morfologische processen te verkrijgen. De aanname is echter onjuist aangezien sinds 1970 de Haringvlietsluizen in bedrijf zijn gesteld, waardoor de getij-invloeden op het Hollands Diep sterk gereduceerd zijn; dientengevolge zijn de getij-invloeden op de benedenrivieren die in het Hollands Diep uitmonden (waaronder Maas en Waal) ook gereduceerd en zijn er sinds 1970 morfologische veranderingen gaande op deze riviergedeeltes.

Het gaat hier te ver om deze invloeden diepgaand te analyseren. Van belang is het te weten dat door het grotendeels wegvallen van het getij zowel de Waal als de Maas in de in deze paragraaf beschouwde gedeeltes aanzanden. Op dit moment zijn tal van instanties hier nog naar aan het rekenen, zodat een orde van grootte nog moeilijk aan te geven is. Het afstudeerwerk van de heer Koskamp<sup>(11)</sup> kan nog wel enig licht op deze zaak werpen. Zijn werk betreft een analyse van de reeds opgetreden veranderingen (na 1970) op de Maas vanaf Lith tot aan het Hollands Diep plus een prognose voor de toekomst. Voor de opzet van zijn berekeningen wordt naar zijn afstudeerwerk verwezen, hier zullen slechts enige resultaten beschouwd worden.

Op bijlage 34737 is een copie gegeven van de belangrijkste resultaten uit het werk van de heer Koskamp. Voor een inschatting van de invloed van de aanzanding op de Maas ten gevolge van het grotendeels wegvallen van het getij op de in deze paragraaf onderzochte vervalverkleining is vooral het gedeelte Lith tot 10 km. benedenstrooms hiervan interessant; hier bevindt zich immers de centrale indien deze geplaatst word. Er blijkt dat de bodem hier uiteindelijk ca. 1 meter omhoog zal komen, doch pas na zeer lange tijd. In de 12 jaren na 1970 waren hier nog geen merkbare veranderingen gemeten en na 50 jaar simulatie met de computer (ongeveer de levensduur van de centrale) zou er sprake zijn van een gemiddelde bodemstijging van ca. 20 cm. in dit gedeelte.

In werkelijkheid zullen de processen ten gevolge van het grotendeels wegvallen van het getij op de Maas en de Waal en ten gevolge van de werking van een centrale elkaar wederzijds beïnvloeden, zodat eenvoudig optellen van de afzonderlijk berekende veranderingen formeel onjuist is. Om tot een inschatting van de invloed van het grotendeels wegvallen van het getij op de vervalverkleining te komen, zal in het kader van deze globale berekening toch hiermee volstaan worden.

De aanvankelijk voorgestelde formule voor de vervalverkleining zal uitgebreid worden met een extra factor, die onafhankelijk van het ontwerpdebiet is. Met deze factor kunnen invloeden op het verval tussen Waal en Maas verdiscon-

teerd worden, die onafhankelijk van het al dan niet plaatsnemen van een centrale zijn. De formule wordt hiermee:

$$\text{vervalverkleining } \Delta v = a \cdot Q_{ac} + b \quad (\text{m.})$$

Voor a worden hierin de eerder voorgestelde waarden 0,001 ; 0,0025 en 0,004 s/m<sup>2</sup> onveranderd aangehouden; voor b zullen de waarden -0,1 ; 0 en +0,1 m. in verdere berekeningen worden meegenomen. De gedachte achter deze laatste waarden is de volgende: als gemiddeld wordt aangenomen dat de aanzandingen ten gevolge van het wegvallen van het getij op Maas en Waal ongeveer gelijk zijn, zodat de totale invloed van de aanzandingen op het verval nul is. Het is echter mogelijk dat de aanzandingen op de Waal groter zijn dan op de Maas (stel honderd procent van de gemiddelde waarde van 20 cm.), zodat het verval in 40 jaar levensduur toeneemt met (40-20)=20 cm. Gemiddeld zou dat 10 cm. zijn tijdens de levensduur van de centrale (bij aanname van een lineair verloop der processen in de tijd). De waarde van b is dan -0,10 m. (een negatieve vervalverkleining is een vergroting). Andersom geredeneerd kan het zo zijn dat de aanzandingen op de Maas groter zijn, waarmee op dezelfde wijze een waarde van b=+0,1 m. gevonden wordt.

De gedachtegang omtrent de vervalverkleining is dus als volgt: het verval tussen Waal en Maas bedraagt thans gemiddeld ca. 2,25 m. (zie eerder), in de loop van de levensduur der centrale zal dit ten gevolge van reeds optredende veranderingen op beide rivieren in de range van 2,15 - 2,35 m. komen te liggen. De aanwezigheid van de centrale zelf heeft hier bovenop twee extra invloeden: allereerst treden ten gevolge van het stromen van het centrale debiet bodemveranderingen op beide rivieren op die gezamenlijk het verval gemiddeld 15 tot 20 cm. per ontwerpdebiet van 100 m<sup>3</sup>/s vergroten tijdens de levensduur van de centrale (dus 30 - 40 cm. na 40 jaar). Daarnaast treden ten gevolge van het stromen van het centrale debiet stuwkrommes, dientengevolge waterstandsveranderingen op beide rivieren op, die tesamen gemiddeld het verval 40 tot 50 cm. verkleinen per ontwerpdebiet van 100 m<sup>3</sup>/s. Al deze invloeden tesamen worden samengevat in de formule die bovenaan deze pagina staat. Door in de waarden voor a en b een spreiding in de berekeningen mee te nemen, wordt de onzekerheid in de afleiding van deze waarden in de vervalverkleining niet verwaarloosd. De vervalverkleining bedraagt daarmee:

$$\left. \begin{array}{l} \text{minimaal : } \Delta v = 0,001 \cdot Q_{ac} - 0,1 \quad \text{m.} \\ \text{gemiddeld : } \Delta v = 0,0025 \cdot Q_{ac} \quad \text{m.} \\ \text{maximaal : } \Delta v = 0,004 \cdot Q_{ac} + 0,1 \quad \text{m.} \end{array} \right\} \text{ met } Q_{ac} \text{ in m}^3/\text{s.}$$

Tenslotte zal hier nog een kanttekening bij deze formules gezet worden.

In de berekeningen is er van uitgegaan dat alleen minimum- en maximumeisen ten aanzien van de afvoer van de Waal resp. de Maas bepalen of de centrale in werking gesteld kan worden. Deze eisen volgen uit scheepvaartbelangen voor de Waal en hoogwaterbestrijdingsbelangen voor de Maas. Er zijn echter nog andere redenen om de centrale al dan niet in werking te stellen.

In hoofdstuk 2 van dit rapport is door de heer Nieuwpoort onderzocht hoeveel tijd de centrale stil zou hebben gelegen in de jaren 1980 t/m 1983. Hierbij hield hij rekening met een minimum Waaldebiet van ca.  $800 \text{ m}^3/\text{s}$ , een maximum Maasdebiet van ca.  $400 \text{ m}^3/\text{s}$  in de periode 1 april-1 november en  $700 \text{ m}^3/\text{s}$  in de periode 1 november-1 april (aanzienlijk strengere eisen dan in deze paragraaf gehanteerd zijn), maximaal toelaatbaar chloorgehalte van  $100 \text{ mg/l}$  van het Maaswater in verband met drinkwaterbelangen (hetgeen een beperking van het toelaatbaar centraledebiet betekent aangezien het Waalwater gemiddeld een te groot chloorgehalte bezit) en een minimumcentraledebiet van  $50 \text{ m}^3/\text{s}$  waaronder niet meer rendabel energie kan worden gewonnen. Dit eisenpakket is uitgebreider en strenger, tevens meer realistisch dan de in deze paragraaf gehanteerde beperkingen. Zijn onderzoek wees uit dat de centrale in de beschouwde 4 jaren 27 maanden stil zou hebben gelegen (ongeveer de helft van de tijd!); in de overige tijd zou de centrale wel werken maar lang niet altijd met het totaal mogelijke ontwerpdebiet.

Uiteraard is ook van belang dat tijdstippen van voldoende verval en toelaatbaarheid van een groot centraledebiet samenvallen, hetgeen nog eens een extra reductie op de rentabiliteit van de centrale kan opleveren. Daarnaast kunnen calamiteiten op de Waal (bijv. plotseling giftige belasting na scheepsramp), calamiteiten met de centrale, onderhoudsactiviteiten aan de centrale, beperkingen ten gevolge van toelaatbare gehalten van andere stoffen dan chloor op de Maas, recreatiebelangen, toelaatbaarheidseisen ten aanzien van grondwaterstanden langs Waal en Maas (bijv. in verband met de teelt van gewassen) en nog andere zaken ertoe leiden dat de totale tijd dat de centrale in werking kan zijn en de grootte van het toelaatbare centraledebiet in die tijd nog kleiner zullen zijn dan in hoofdstuk 2 van dit rapport gesuggereerd is.

De invloed hiervan op de vervalverkleining is deze: ten aanzien van de direct optredende waterstandsveranderingen ten gevolge van het centraledebiet verandert niets, maar de morfologische veranderingen zullen (gemiddeld genomen op het ontwerpdebiet van de centrale) aanzienlijk kleiner zijn dan hier berekend, aangezien slechts gedurende de helft van de tijd (of nog minder) de centrale in werking is, dus aanleiding is tot morfologische veranderingen. In de formule voor de vervalverkleining zal de waarde van  $a$  dan ook eerder in de richting van  $0,004 \text{ s/m}^2$  dan  $0,001 \text{ s/m}^2$  liggen. Overigens wordt de eerder

beschreven formule ongewijzigd gebruikt in de verdere berekeningen en dienen deze laatste opmerkingen slechts als kanttekening bij de formule. Om deze kanttekening daadwerkelijk om te zetten in getalswaarden zou zeer uitgebreid onderzoek vereist zijn waar hier verder van afgezien wordt. Het gevolg hiervan is een zeer waarschijnlijk te klein ingeschatte vervalverkleining, dus uiteindelijk een te gunstig berekende rentabiliteit van de centrale. In de rentabiliteitsberekening zelf zal ook geen rekening gehouden worden met toelaatbaarheidseisen voor het centrale debiet (er wordt daar gerekend alsof alleen het verval bepalend is voor de grootte van het centrale debiet). Ook dit komt voort uit het verlangen de berekening niet onnodig gecompliceerd te maken. Zodoende wordt ook hierdoor een te gunstig beeld ten aanzien van de rentabiliteit in de hand gewerkt. Er zal dan blijken dat zelfs met al deze gunstige aannames de rentabiliteit van de centrale nog zeer gering is ten opzichte van andere locaties, waarmee elk verder onderzoek niet meer nodig is. De gekozen berekeningsopzet heeft zo onnodig rekenwerk voorkomen en snel tot een resultaat in de vorm van een verantwoorde uitspraak over de wenselijkheid van een centrale te St. Andries geleid.

### § 3.4.8 : Samenvatting hoofdstuk 3.4

In dit hoofdstuk is getracht op een eenvoudige wijze het te verwachten aanwezige verval te St. Andries tussen Waal en Maas te voorspellen. In wezen is hiervoor uitgebreid statistisch onderzoek nodig; tevens is er omvangrijk hydrologisch en morfologisch onderzoek nodig om te kunnen voorspellen hoe het verval zich in de toekomst zal ontwikkelen. In het kader van deze studie is volstaan met een globale beschouwing van de orde van grootte van het jaargemiddelde van het verval, de spreiding hierin gedurende de tijd en de te verwachten vervalverkleining direct na inwerkstelling van de centrale en in de 40 jaar daarna. Het onderzoek resulteert in telkens een gemiddelde te verwachten waarde en enkele hiervan afwijkende waarden om de invloed van een fout in de verwachte gemiddelde waarde op het uiteindelijke resultaat ( de rentabiliteit van de centrale ) te beschouwen. Zo resulteren de voorgaande paragrafen in de volgende uitgangspunten voor verdere berekeningen:

1. Jaarlijks gemiddelde voor het verval; te beschouwen waarden: 215, 220, 225 en 230 cm. ( lijnen a, b, c en d op bijlagen 3463, 3464 en 3465 ).
2. Drie spreidingscategoriën: grote spreiding = categorie 1 , kleine spreiding = categorie 2 , gemiddelde spreiding = categorie 3 (lijnen 1, 2 en 3 op bijlagen 3463, 3464 en 3465 ).
3. Vervalverkleining, gemiddeld in de levensduur van 40 jaar van de centrale, te formuleren als:  $\Delta H = a \cdot Q_c + b$  ; hierin te beschouwen waarden: voor a 0,001 ; 0,0025 en 0,004 voor b -0,1 ; 0 en +0,1

In totaal zou dit 108 verschillende te onderzoeken gevallen opleveren ( 12 onderschrijdingslijnen met 9 verschillende correcties  $\Delta H$  hierop ). Het is echter niet nodig al deze gevallen te beschouwen.

Er zal worden uitgegaan van één gemiddeld geval ( jaarlijks vervalgemiddelde 225 cm., spreidingscategorie 3,  $a = 0,0025 \frac{S}{m^2}$ ,  $b = 0$  m. ). Vervolgens zullen van dit geval achtereenvolgens het jaarlijks vervalgemiddelde, de spreiding, a en b gevarieerd worden om de invloed daarvan op het resultaat te beschouwen. Tenslotte zullen dan nog een meest en minst gunstig geval wat betreft de rentabiliteit onderzocht worden. Op deze manier resteren nog 12 gevallen die

onderzocht zullen worden (zie bijlage 3481). Op bijlage 3481 zijn de gevallen 11 en 12 (meest en minst gunstig geval) reeds ingevuld. Dit is eigenlijk pas mogelijk na het onderzoeken van de gevallen 1 t/m 10. Dit is gebeurd in hoofdstuk 3.5, waar blijkt dat het grootste jaarlijks vervalgemiddelde, de kleinste spreiding hierin en een zo klein mogelijke vervalverkleining het gunstigste geval oplevert en het tegenovergestelde hiervan het ongunstigste geval is. Hier is dit voor de volledigheid alvast ingevuld.

Tenslotte nog het volgende: in hoofdstuk 3.5 worden niet 12 maar 14 gevallen beschouwd. De variatie van de variabele kosten die een relatief grote onzekerheidsmarge bezitten, leidt tot nog twee gevallen. Bovendien zal variatie van de variabele kosten ook in het meest en minst gunstige geval plaatsvinden. De gevallen 15 en 16 op bijlage 3522 zijn geen nieuwe gevallen; deze gevallen zijn hetzelfde als de gevallen 13 resp. 14 op bijlage 3522 met slechts dit verschil dat de gevallen 13 en 14 de rentabiliteit weergeven wanneer de centrale gedimensioneerd wordt op de waarden voor de diverse parameters zoals die in de gevallen 13 en 14 zijn en dat de gevallen 15 en 16 de rentabiliteit van de centrale weergeven wanneer de centrale gedimensioneerd wordt op de waarden voor de diverse parameters zoals die in geval 1 (gemiddeld geval) zijn, terwijl deze in werkelijkheid de waarden uit de gevallen 13 en 14 zouden hebben.\*

\* De constructievalhoogte  $H_t$  is in de gevallen 15 en 16 dus gelijk aan de gevonden optimale waarde  $H_{opt}$  voor geval 1.

HOOFDSTUK 3.5 : LOCALE HAALBAARHEID CENTRALE ZONDER KOPPELING.

## Hoofdstuk 3.5 : Locale haalbaarheid centrale zonder koppeling.

### § 3.5.1 : Methodiek

In dit hoofdstuk zal hoofdalternatief A uit § 3.3.2 beschouwd worden voor wat betreft de rentabiliteit op locale schaal.

Zoals reeds eerder uiteengezet is, is in deze studie sprake van een andere wijze van aanpak als normaliter het geval is in studies naar waterkrachtwinning bij stuwen. In feite zou men hier het door de centrale te voeren debiet willekeurig groot (maar kleiner of gelijk aan de Waalafvoer) kunnen kiezen. In de praktijk is dit niet mogelijk: ten eerste omdat in het geval van gebruik van de gehele Waalafvoer er geen verval meer zou zijn en dus geen energiewinning, ten tweede omdat landelijke belangen die door het laten stromen van een debiet van Waal naar Maas geschaad zullen worden, eisen zullen stellen aan het maximaal te gebruiken debiet. Deze maximumgrens zal pas na diepgaand en uitgebreid onderzoek aangegeven kunnen worden. Om deze (misschien overbodige) diepgang te vermijden, zal er in eerste instantie van worden uitgegaan dat deze grens ligt bij  $Q_{\max} = 500 \text{ m}^3/\text{s}$ . Later zal blijken dat de invloed van de vervalverkleining door het doorvoeren van een debiet van Waal naar Maas zodanig is dat de energiewinning boven debieten van ca.  $200 \text{ m}^3/\text{s}$  steeds slechter wordt in economisch opzicht. Voor oorzaken en waarden voor de vervalverkleining wordt verwezen naar § 3.4.7. Wanneer zal blijken dat rendabel energie te winnen is bij debieten in de orde van grootte  $50\text{-}200 \text{ m}^3/\text{s}$ , zal het pas nuttig zijn om in te gaan op de vraag of dit toelaatbaar is gezien landelijke belangen.

Uitgangspunt voor de optimalisatieberekening in deze studie is de onderschrijdingslijn voor het verval te St. Andries. In hoofdstuk 3.4 worden hiervoor een aantal reële lijnen opgesteld. In hetzelfde hoofdstuk wordt ook een range van reële waarden voor de vervalverkleining beschreven. Deze vervalverkleining blijkt als volgt te schrijven bij een debiet door de centrale  $Q_c$  :

$$\text{vervalverkleining } \Delta H = a * Q_c + b \quad (\text{ m.})$$

Hierin dient  $Q_c$  in  $\text{m}^3/\text{s}$  te worden ingevuld. In § 3.4.7 worden verschillende waarden voor a en b onderzocht.

Na deze informatie zal nu de gevolgde optimalisatieberekening uiteengezet worden. De berekening verloopt als volgt.

1. Kies een turbinepotentieel ( n turbines met waaierdiameters  $D_1, D_2, \dots, D_n$  )



2. Kies een startwaarde voor de constructievalhoogte  $H_t$ , waarvoor zeker is dat de uiteindelijke optimale waarde voor de constructievalhoogte  $H_{opt.}$  groter is dan deze startwaarde  $H_{st.}$ .

3. Bepaal het ontwerpdebiet van de centrale met :

$$Q_{ac} = 2.78 * ( D_1^2 + D_2^2 + \dots + D_n^2 ) * \sqrt{H_t} \quad (m^3/s)$$

4. Bepaal de vervalverkleining uit :

$$\Delta H = a * Q_{ac} + b \quad (m.)$$

Corrigeer de vervalonderschrijdingslijn hiermee voor elke waarde van het verval  $H$  ( dus voor de gehele lijn ).

5. Reduceer de in 4. gecorrigeerde onderschrijdingslijn voor het verval  $H_{corr.}$  voor  $H_{corr.} < H_t$  :

$$H_{red.} = 1.5 * H_{corr.} - 0.5 * H_t$$

6. Bereken voor elke waarde van  $t$  ( het aantal dagen onderschrijving ) het vermogen volgens :

$$P(t) = 0.74 * \rho * g * Q_{ac} * H_{red.} \quad \text{voor } H_{corr.} < H_t$$

$$P(t) = 0.61 * \rho * g * Q_{ac} * H_{corr.} \quad \text{voor } H_{corr.} > H_t$$

Bereken vervolgens de jaarlijkse energie produktie uit :

$$E_{jaar} = \int_{jaar} P(t) dt$$

Bereken tenslotte nog het ( te installeren ) ontwerpvermogen uit :

$$N_{ac} = \rho * g * Q_{ac} * H_t$$

( voor de berekening van het ontwerpvermogen is het rendement uiter-aard 100 % , dit is het daadwerkelijk te installeren vermogen om tot een energieproduktie  $E_{jaar}$  als hierboven berekend te komen )

7. Bepaal de bouwkosten. Deze bouwkosten omvatten zowel de vaste kosten ( zie § 3.2.5 ) als de variabele kosten ( zie § 3.3.2 ). De bepaling ervan geschiedt aan de hand van het ontwerpdebiet  $Q_{ac}$ , het ontwerpvermogen  $N_{ac}$ , het aantal turbines  $n$  en de waaierdiameters  $D_1, D_2, \dots, D_n$ . De berekening is uitgevoerd voor telkens gekozen turbinepotentiëlen van  $n$  turbines, alle met waaierdiameter  $D$  ( deze aanpak was voldoende om het optimale turbinepotentieel te bepalen ). Wanneer men toch wil uitgaan van turbines met verschil-

lende waaierdiameters. moeten de formules voor de vaste en variabele kosten aangepast worden door voor de maat A uit te gaan van  $A = (1.6 * D_{\max} + 3)$  en voor de maat  $B_c$  uit te gaan van  $B_c = (3 * (D_1 + D_2 + \dots + D_n))$  en hiermee de kosten voor civiele werken behorende bij de centrale en  $L_{\text{tot.}}$  (totale lengte centralecomplex) aan te passen, door de factor  $n * D$  in de turbinekosten te vervangen door  $(D_1 + D_2 + \dots + D_n)$  en door de factor  $(1.5 + D/4)$  in de beton-, staal- en bouwputkosten van het centralegebouw te vervangen door  $(1.5 + D_{\text{gem.}}/4)$ , waarin  $D_{\text{gem.}}$  de gemiddelde waaierdiameter over alle turbines beschouwd is.

8. Bepaal de jaarlijkse kosten uit de onder 7. bepaalde bouwkosten en het ontwerpvermogen  $N_{ac}$  met de volgende formule (zie § 3.2.5):

$$K_{\text{jaar}} = 0.051 * 1.2 * (\text{bouwkosten}) + 20000 * N_{ac}$$

9. Bepaal een KWh - prijs uit :

$$\text{KWh-prijs} = K_{\text{jaar}} / E_{\text{jaar}}$$

10. Herhaal de berekening van stap 3. tot en met stap 9. voor een waarde van  $H_t = H_{\text{st.}} + dH$ . Als de KWh-prijs nu lager berekend wordt, herhaal dan de berekening voor  $H_t = H_{\text{st.}} + 2 * dH$  enz., net zolang tot de berekende KWh-prijs hoger is dan de in de vorige berekeningsgang bepaalde prijs. De in de vorige berekeningsgang ingevoerde waarde voor  $H_t$  is dan de optimale waarde van  $H_t$  ( $H_{\text{opt.}}$ ) waarvoor bij het gekozen turbinepotentieel en de in de berekening gebruikte schatting voor de onderschrijdingslijn voor het verval het meest rendabel energie te winnen is.
11. Herhaal de berekening van stap 2. tot en met stap 10. voor telkens andere turbinepotentiëlen. Bepaal zo de meest economische inzet voor de turbines van de centrale. Deze stap is niet systematisch uitgevoerd maar door telkens te beschouwen wat de invloed op de KWh-prijs is van meer en/of grotere turbines was dit zeer snel te zien.

De optimalisering van  $H_t$ , die op het eerste gezicht misschien niet geheel duidelijk is, zal nog nader toegelicht worden: wanneer men een relatief kleine waarde voor  $H_t$  kiest, zal het ontwerpdebiet relatief klein zijn; hierdoor worden de correcties van de vervallijn relatief klein, maar voor de bepaling van  $E_{\text{jaar}}$  in stap 6. weegt de kleine waarde van  $Q_{ac}$  zwaarder, zodat de jaarlijkse energieproductie relatief klein is. De bouwkosten en onderhoudskosten zullen bij een kleine waarde van  $Q_{ac}$  (en dus ook  $N_{ac}$ ) weliswaar iets kleiner dan gemiddeld zijn, maar dit weegt niet op tegen de kleinere energieproductie,

zodat de KWh-prijs relatief hoog zal zijn. Bij een keuze voor een grote waarde voor  $H_t$  zal  $Q_{ac}$  relatief groot zijn. De correcties van de vervallijn worden nu echter zo groot, dat deze er nu de oorzaak van zijn dat de energieproductie in dit geval ook relatief klein is. Voor een grote waarde van  $Q_{ac}$  en  $N_{ac}$  worden de jaarlijkse kosten ook nog eens groter dan gemiddeld, zodat voor grotere waarden van  $H_t$  de KWh-prijs snel zal stijgen. Ergens tussen de geschetste uitersten zal de KWh-prijs minimaal zijn. Deze waarde voor  $H_t$  is dan de optimale waarde  $H_{opt}$ .

In de geschetste berekeningswijze is een vereenvoudiging van de werkelijkheid toegepast, die als voordeel met zich meebrengt dat de berekening relatief eenvoudig blijft en niet met zeer omvangrijke integralen (stap 6) behoeft te worden uitgevoerd. De vereenvoudiging betreft de volgende zaak: in stap 4 wordt de vervallijn ook voor waarden van  $H < H_t$  gecorrigeerd met een vervalverkleining die berekend is voor het ontwerpdebiet  $Q_{ac}$ . In werkelijkheid stroomt voor deze waarden van  $H$  niet het gehele ontwerpdebiet door de centrale, maar een gedeelte hiervan (dit was de reden voor de vervalreductie in stap 5.). Daardoor zal de vervalverkleining voor deze waarden van  $H$  in werkelijkheid kleiner zijn. De berekening zal dus iets te hoge KWh-prijzen opleveren (zie verderop in deze §). Het voordeel van de berekening van de vervalverkleining op de wijze zoals in stap 4. is dat de gehele berekening van het vermogen in stap 6. lineair is (de in te voeren onderschrijdingslijnen voor het verval, zoals deze in hoofdstuk 3.4 opgesteld zijn, zijn ook lineair), hetgeen de berekening eenvoudig maakt.

De berekening van één mogelijke uitvoering van de centrale zou met deze eenvoudige berekeningswijze nog met de hand gedaan kunnen worden. Daar echter meerdere gevallen doorgerekend moeten worden, is ervoor gekozen de berekening uit te voeren met de hulp van een kleine zakcomputer. Op bijlage 3511 is het opgestelde programma (in BASIC) weergegeven. Hieronder zal dit programma toegelicht worden:

Regel 10 : Invoer van startwaarde voor de constructievalhoogte  $H_t$ . Het programma berekend zelf de optimale constructievalhoogte  $H_{opt}$ , wanneer de startwaarde  $H_{st}$  tenminste 10 cm. kleiner genomen is dan de te berekenen optimale valhoogte  $H_{opt}$ . Het symbool A staat voor de constructievalhoogte in het programma.

Regel 20 : Invoer van het aantal turbines (symbool B in het programma).

Regel 30 : Invoer waaierdiameter van de turbines. Aangenomen is dat alle turbines dezelfde waaierdiameter bezitten. De waaierdiameter heeft het symbool C in het programma.

Het programma berekent niet zelf het optimale turbinepotentieel.

Dit zal bepaald worden aan de hand van meerdere berekeningsgangen.

Regel 33 } : S(1) en S(2) zijn de parameters waarmee de vervalverkleining be-  
 en 37 } rekend is (uitgedrukt in meters):  $\Delta H = S(1) * Q_{ac} + S(2)$ .

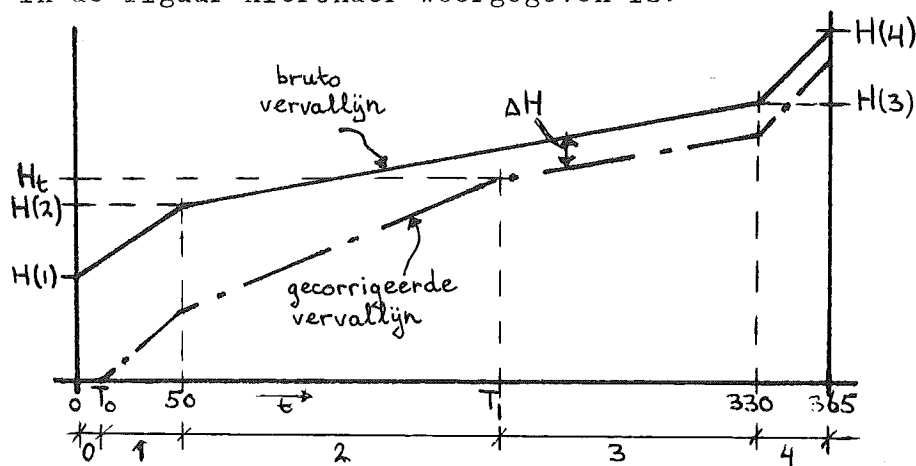
Regel 80 : Symbool Z staat voor de KWh-prijs. In deze regel wordt deze ge-  
 initieerd op 1000 cent om in regel 290 de eerste test (in de op-  
 timalisatiestructuur voor een zo laag mogelijke KWh-prijs voor  
 de optimale constructievalhoogte  $H_{opt}$ ) de uitkomst  $Z < R$  te geven.

Regel 90 : Vergroten van de constructievalhoogte met een stap van 5 cm. per  
 keer.

Regel 100 : Berekening ontwerpdebiet  $Q_{ac}$  (symbool D).

Regel 110 : Berekening vervalverkleining (symbool E).

Regels } : In deze regels wordt het gemiddeld bruikbaar verval in een jaar  
 40 t/m 70 } bepaald. Allereerst wordt de vervalverkleining (symbool E) in re-  
 en } kenning gebracht, vervolgens wordt de hierna verkregen onderschrij-  
 120 t/m 180 } dingslijn voor het verval  $(H - \Delta H)$  nog gecorrigeerd voor  $(H - \Delta H) < H_t$   
 en uiteindelijk wordt dan het gemiddelde verval in de tijd, dat  
 de centrale in werking is, bepaald. De volgende uiteenzetting be-  
 oogt duidelijk te maken wat elk symbool in deze regels voorstelt:  
 voor elk aangenomen jaargemiddelde voor het verval en spreidings-  
 categorie, ziet de onderschrijdingslijn voor het verval eruit zo-  
 als in de figuur hieronder weergegeven is:



In de figuur is tevens de uiteindelijke gecorrigeerde lijn gete-  
 kend. Deze bestaat uit 5 gedeelten\* (aangegeven met de tijdsinter-  
 vallen 0 t/m 4 onder de figuur). Deze takken zijn te beschrijven  
 als:

$$\text{tak 0 : } H_0(t) = 0$$

$$\text{tak 1 : } H_1(t) = 1.5 * (H(1) - \Delta H + (H(2) - H(1)) * t / 50) - 0.5 * H_t$$

$$\text{tak 2 : } H_2(t) = 1.5 * (H(2) - \Delta H + (H(3) - H(2)) * (t - 50) / (330 - 50)) - 0.5 * H_t$$

$$\text{tak 3 : } H_3(t) = (H(2) - \Delta H + (H(3) - H(2)) * (t - 50) / (330 - 50))$$

$$\text{tak 4 : } H_4(t) = (H(3) - \Delta H + (H(4) - H(3)) * (t - 330) / (365 - 330))$$

\* op bijlage 3512 zijn de in te voeren waarden van  $H(1)$  t/m  $H(4)$   
 zoals die volgen uit de bijlages 3463 t/m 3465 in een tabel weergegeven.

In deze formules staat  $t$  voor het aantal dagen onderschrijding.  
 $T_0$  volgt uit  $H_1(t)=0$ , waarmee:

$$T_0 = (H_t/3 + \Delta H - H(1)) * 50 / (H(2) - H(1))$$

Tijdens handberekeningen bleek dat altijd  $T_0 < 50$ , zodat bovenstaande uitdrukking (binnen de hier beschouwde gevallen) altijd geldig is.

$T_1$  volgt uit  $H_2(t) = H_3(t) = H_t$ , waarmee:

$$T_1 = (H_t + \Delta H - H(2)) * 280 / (H(3) - H(2)) + 50$$

Tijdens handberekeningen bleek dat  $T_1$  altijd tussen 50 en 330 lag, zodat ook deze uitdrukking altijd (binnen de beschouwde gevallen) geldig is.

Het gemiddeld bruikbaar verval in de tijd, dat de centrale in werking is, volgt uit:

$$\bar{H} = \left( \int_{T_0}^{50} H_1(t) dt + \int_{50}^{T_1} H_2(t) dt + \int_{T_1}^{330} H_3(t) dt + \int_{330}^{365} H_4(t) dt \right) / (365 - T_0)$$

Berekening van de integralen in deze uitdrukking levert op:

$$\int_{T_0}^{50} H_1(t) dt = (1.5 * H(1) - 1.5 * \Delta H - 0.5 * H_t) * (50 - T_0) + 3 * (H(2) - H(1)) * (50^2 - T_0^2) / 200$$

$$\int_{50}^{T_1} H_2(t) dt = (1.5 * H(2) - 1.5 * \Delta H - 0.5 * H_t) * (T_1 - 50) + 3 * (H(3) - H(2)) * (T_1 - 50)^2 / 1120$$

$$\int_{T_1}^{330} H_3(t) dt = (H(2) - \Delta H) * (330 - T_1) + (H(3) - H(2)) * (78400 - (T_1 - 50)^2) / 560$$

$$\int_{330}^{365} H_4(t) dt = (H(3) - \Delta H) * 35 + (H(4) - H(3)) * 35^2 / 70$$

In het programma staan de symbolen X(1) t/m X(4) voor H(1) t/m H(4), het symbool F voor  $T_0$ , het symbool G voor  $T_1$ , de symbolen H, I, J en K voor bovenstaande integralen en het symbool L voor het gemiddeld bruikbaar verval  $\bar{H}$ .

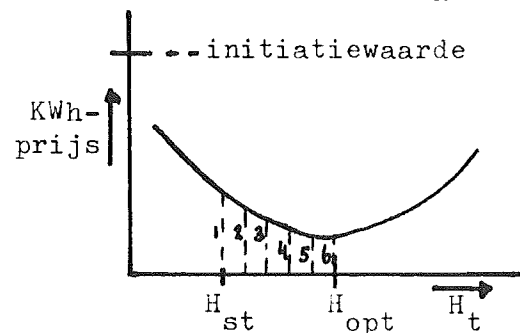
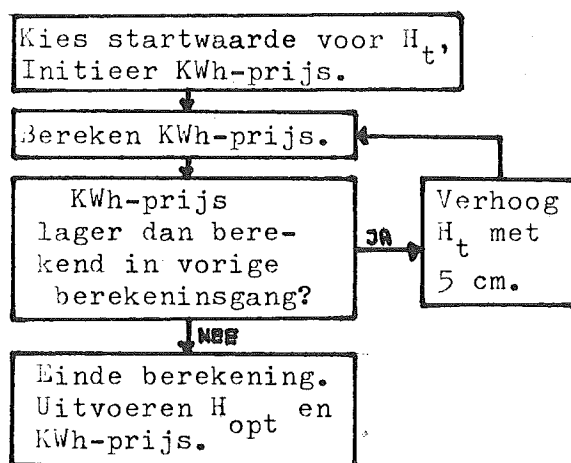
Regel 190 : Berekening van het gemiddelde vermogen (symbool M) in MW. De term tussen haakjes is het turbinerendement (zie § 3.2.4). De factor 8469.8 staat voor het produkt  $\rho * g * \eta_r$  (met  $g = 10 \text{ m/s}^2$ ,  $\rho = 10^3 \text{ kg/m}^3$ ) waarin  $\eta_r$  voor de rendementscoëfficiënt van alle verliezen behalve het turbineverlies staat.

Regel 200 : Berekening van de jaarlijkse energieproductie in GWh, symbool N.

Regel 210 : Berekening ontwerpvermogen (symbool V):  $N_{ac} = \rho * g * Q_{ac} * H_t$  in MW.

Regel 220 : Berekening turbinekosten in  $10^6 \text{ f}_{1980}$  (zie § 3.2.5).

- Regel 230 : Berekening kosten van centralegebouw en hulpapparatuur in  $10^6$  f<sub>1980</sub>.
- Regel 240 : Berekening civiele kosten van centrale in  $10^6$  f<sub>1980</sub>.
- Regel 250 : Berekening variabele kosten in  $10^6$  f<sub>1980</sub> ( zie § 3.3.2 ).
- Regel 260 : Sommering van alle vaste kosten.
- Regel 270 : Statement in de optimalisatie structuur, zie ook bij de uitleg onder regel 290. R is een hulpvariabele die de KWh-prijs voorstelt die in de vorige berekeningsgang berekend is.
- Regel 280 : Berekening KWh-prijs (symbool Z) in centen (1980).
- Regel 290 : Statement in de optimalisatie structuur. In principe werkt de optimalisatie zoals aangegeven in onderstaand stroomschema:



Voorbeeld: optimalisatie met 6 berekeningsgangen.

Regels 300 t/m 380 : Uitvoeren van gewenste uitkomsten.

Eerder in deze paragraaf is reeds iets gezegd over enkele onnauwkeurigheden, die in de ontwikkelde berekeningswijze optreden. In principe zijn er 2 belangrijke vereenvoudigingen. Deze zullen in het hierna volgende nader beschouwd worden.

De eerste vereenvoudiging betreft het volgende: in wezen is de reductie van de vervallijn, zoals in de berekening toegepast is, formeel niet correct. Daar wordt de vervallijn ook voor waarden van  $(H - \Delta H) < H_t$  gecorrigeerd met een vervalverkleining  $\Delta H = a \cdot Q_{ac} + b$ . In werkelijkheid stroomt voor waarden van  $(H - \Delta H) < H_t$  niet het gehele ontwerpdebiet  $Q_{ac}$  door de centrale, maar stroomt er een kleiner debiet  $Q_{red}$  door de centrale, dat te berekenen is uit:

$$Q_{red} = 2.78 \cdot n \cdot D^2 \cdot \sqrt{(H - \Delta H')} = Q_{ac} \cdot \sqrt{(H - \Delta H') / H_t} \quad (1)$$

Hierin staat  $\Delta H'$  voor de vervalverkleining die in werkelijkheid optreedt, te berekenen uit:

$$\Delta H' = a \cdot Q_{red} + b \quad (m.) \quad (2)$$

Invullen van (2) in (1) en oplossen van de kwadratische vergelijking levert:

$$Q_{\text{red}} = \left( \frac{-a \cdot Q_{\text{ac}}}{(2 \cdot H_t)} + \left( Q_{\text{ac}} \cdot \sqrt{a^2 + 4 \cdot (H-b) \cdot H_t / (Q_{\text{ac}})^2} \right) / (2 \cdot H_t) \right) \cdot Q_{\text{ac}}$$

De termen  $(-a \cdot Q_{\text{ac}} / (2 \cdot H_t))$  en  $a^2$  zijn klein t.o.v. de andere termen en  $b \ll H$ . Verwaarlozing van deze kleine termen levert op:

$$Q_{\text{red}} = (H/H_t)^{\frac{1}{2}} \cdot Q_{\text{ac}} \quad \text{voor } H \ll H_t$$

Dan is in de berekening de vervallijn teveel gecorrigeerd met:

$$\text{Teveel gecorr. : } \Delta H - \Delta H' = (a \cdot Q_{\text{ac}}) \cdot (1 - (H/H_t)^{\frac{1}{2}}) \quad \text{voor } H \ll H_t$$

De energieproduktie zal dus in werkelijkheid iets groter zijn dan berekend is. Het verschil in energieproduktie is als volgt te berekenen:

$$\overline{\Delta V} = \int_0^{T_1} \left( (a \cdot Q_{\text{ac}}) \cdot (1 - (H/H_t)^{\frac{1}{2}}) / 365 \right) dt \quad \text{in meter}$$

$$\Delta P = 0.0074 \cdot Q_{\text{ac}} \cdot \overline{\Delta V} \quad \text{in Megawatt}$$

$$\Delta E = 365 \cdot 24 \cdot \Delta P \cdot 10^{-3} \quad \text{in GWh}$$

Uitgewerkt levert dit de uitdrukking voor  $\Delta E$ :

$$\Delta E = 1.8 \cdot 10^{-4} \cdot a \cdot Q_{\text{ac}}^2 \cdot \int_0^{T_1} (1 - (H/H_t)^{\frac{1}{2}}) dt \quad \text{in GWh}$$

Hierin is  $\overline{\Delta V}$  de teveel gecorrigeerde valhoogte over het gehele jaar gemiddeld,  $\Delta P$  het verschil in vermogen tussen de berekende en werkelijke waarde en  $\Delta E$  de energieproduktie per jaar die in de berekening teveel is afgetrokken.  $T_1$  is het aantal dagen waarvoor geldt  $(H - \Delta H) \ll H_t$ . Er wordt geïntegreerd van 0 tot  $T_1$  en niet van  $T_0$  (waarvoor de gecorrigeerde valhoogte 0 is in de berekening) en  $T_1$ , omdat de waarde  $T_0$  bepaald is op grond van de vereenvoudigde vervalcorrectie voor  $H \ll H_t$ ; wanneer een waarde  $T'_0$  bepaald wordt met de werkelijke aan te brengen correctie (wat aan de lezer zelf wordt overgelaten) blijkt dat deze gelijk aan 0 is.

In de volgende paragraaf zullen de resultaten van de berekeningen gepresenteerd worden. Om hier zich een idee te kunnen vormen over de grootte van  $\Delta E$  zal alvast vooruigegrepen worden op die resultaten. De grootte van  $\Delta E$  zal beschouwd worden in het geval van een gemiddeld jaarverval van 2.25 m., een spreidingscategorie 3 hierin en de constanten  $a=0,0025$  en  $b=0$  in de formule voor de vervalverkleining (gemiddeld geval 1 op bijlage 3481). Het turbinepotentieel wordt gesteld op  $n=1$  en  $D=5$  m. (optimale potentieel, zie volgende paragraaf). In dit geval kan de vervalonderschrijdingslijn geschreven worden als:

$$\begin{array}{ll} 0 < t < 50 & : \quad H(t) = 0.80 + 0.80 \cdot t / 50 & H(t) \text{ in meter,} \\ 50 < t < 330 & : \quad H(t) = 1.55 + 1.55 \cdot (t-50) / 280 & t \text{ in dagen.} \end{array}$$

Uit de berekeningen voor  $n=1$  en  $D=5$  m. in geval 1 van bijlage 3481 volgt ( zie volgende paragraaf ) :  $Q_{ac} = 108 \text{ m}^3/\text{s}$  en  $H_t = 2.4$  m.

Met  $a=0,0025$  en  $b=0$  volgt:  $\Delta H = 0,0025 * 108 + 0 = 0,27$  m.

Hiermee volgt  $T_1$  uit:  $(1,55 + 1,55 * (T_1 - 50) / 280 - 0,27) = H_t = 2.4$  waarmee  $T_1 = 252$  dagen.

Berekening van de integraal in de uitdrukking voor  $\Delta E$  levert:

$$\int_0^{T_1} (1 - (H/H_t)^{\frac{1}{2}}) dt = \int_0^{50} (1 - ((0.80 + 0.80 * t / 50) / 2.4)^{\frac{1}{2}}) dt + \\ + \int_{50}^{248} (1 - ((1,55 + 1,55 * (t - 50) / 280) / 2.4)^{\frac{1}{2}}) dt$$

Wiskundige oplossing van deze integraal levert op:

$$\int_0^{T_1} (1 - (H/H_t)^{\frac{1}{2}}) dt = 28,01$$

Uiteindelijk volgt dan voor het teveel aan afgetrokken energieproductie  $\Delta E$ :

$$\Delta E = 28,01 * 18 * 10^{-4} * 0,0025 * (108^2) = 0,15 \text{ GWh}$$

Dit is op de totaal berekende energieproductie voor  $n=1$  en  $D=5$  m. in het beschouwde geval 1 van  $E_{\text{jaar}} = 11,4$  GWh een percentage van ca 1.3 %. De berekening zou in het beschouwde geval dus gecorrigeerd moeten worden door de totale energieproductie met 1.3 % te verhogen.

Voor andere turbinepotentieelen en uitgangspunten voor de vervalonderschrijdingslijn zal dit percentage waarschijnlijk iets anders zijn; het is echter wel reeel om te verwachten dat dit percentage dezelfde orde van grootte zal hebben.

Bij bovenstaande opmerkingen ten aanzien van het kleiner zijn van de vervalverkleining voor vervalwaarden beneden de constructievalhoogte dient bedacht te worden dat de waarden voor  $a$  en  $b$  in de formule voor de vervalverkleining in § 3.4.7 voorgesteld zijn op grond van middeling met het ontwerpdebiet  $Q_{ac}$  van de centrale, niet met de werkelijk op elk moment optredende centrale debieten. Door in de rentabiliteitsberekening de vervalverkleining als een gemiddeld constante waarde voor de gehele vervalonderschrijdingslijn in rekening te brengen, bouwt men dus feitelijk logisch voort op de aard van de in § 3.4.7 afgeleide formule. Het is echter wenselijk om bij de berekeningen te realiseren dat de vervalverkleining niet werkelijk constant is en na te gaan hoe dit de verkregen resultaten kan beïnvloeden.

Gesteld dat de berekende KWh-prijzen 1-3 % te hoog berekend zijn door het constant invoeren van de vervalverkleining, dan mag dit geen noemenswaardige invloed heten. Wanneer men bedenkt dat in de rentabiliteitsberekening het al of niet in werking zijn van de centrale alleen afhangt van het aanwezige verval ( $T_0$  dagen buiten werking met voor  $T_0$  als reele



waarde ca. 30 dagen), terwijl tal van andere (hier buiten beschouwing gelaten) toelaatbaarheidseisen er zeer waarschijnlijk toe zullen leiden dat de centrale hooguit de helft van de tijd in werking kan zijn (zie § 3.4.7), dan kan men inzien dat er een zeer gunstige prijs berekend wordt met deze berekeningsopzet die wellicht in werkelijkheid tot 2 maal zo hoog kan liggen - een percentage van 100 % te laag berekende prijzen waarop de 1-3 % te hoog berekening der prijzen door de wijze waarop de vervalverkleining in rekening gebracht wordt in het niet valt. Er kan hierbij nog opgemerkt worden dat uit de berekeningen zal blijken dat een centrale met 1 turbine met grote waaierdiameter voor deze locatie de beste keus zou zijn; hierdoor zal de centrale extra kwetsbaar zijn aangezien een mankement aan de turbine betekent dat direct de gehele centrale stilligt (dit i.t.t centrales met meer turbines). Ook dit zal een niet beschouwde ongunstige invloed op de KWh-prijs betekenen.

Al met al kan gesteld worden dat de in de volgende paragraaf berekende prijzen zeker niet te hoog zijn, maar zeer waarschijnlijk nog aan de bijzonder lage kant. Men dient dit te bedenken bij de interpretatie van de resultaten die in de volgende paragraaf aan de orde komen.

### § 3.5.2 : Resultaten

De berekening, zoals die beschreven is in de vorige paragraaf, bevat enkele angeltjes, die van belang zijn voor de interpretatie van de uitkomsten. De methodes van kostenschatten zijn hiervan oorzaak. In hoofdstuk 3.2 en 3.3 staan de gebruikte formules voor het schatten van de civiele kosten (behorende bij de centrale) en de variabele kosten; bij deze formules staan echter nog niet de voorwaarden vermeld waaraan moet zijn voldaan om de formule de werkelijkheid te doen weergeven. Alvorens nu al op de resultaten in te gaan, zal nu in het hiernavolgende eerst iets over deze voorwaarden gezegd worden.

In § 3.2.5 staan de formules voor schatting van de civiele kosten (behorende bij de centrale) vermeld. Voor de bepaling van de formules is er van uitgegaan dat de breedtes van de kanalen tussen centrale en Waal of Maas

(  $B_w$  en  $B_m$  ) groter zijn dan de breedte  $B_c$  van de centrale. Deze aanname stelt de volgende voorwaarden voor gebruik van de opgestelde formules:

$$B_w \gg B_c \Rightarrow (0.37 \cdot Q_{ac} - 16.2) \gg 3 \cdot n \cdot D \quad (1)$$

$$B_m \gg B_c \Rightarrow (0.49 \cdot Q_{ac} - 12.3) \gg 3 \cdot n \cdot D \quad (2)$$

Voor debieten  $Q_{ac}$  groter dan  $32.5 \text{ m}^3/\text{s}$  (wat in het algemeen het geval is) is voorwaarde (2) bepalend voor de minimale waarde van  $Q_{ac}$ , waaronder de formules niet meer geldig zijn :

$$Q_{ac}(\text{min}) = (3 \cdot n \cdot D + 16.2) / 0.37 \quad \text{voor } Q_{ac} \gg 32.5 \text{ m}^3/\text{s}$$

Wanneer aan de voorwaarde ( $Q_{ac} \gg Q_{ac}(\text{min})$ ) niet voldaan is, zullen de formules een onjuiste schatting voor de civiele kosten van de centrale opleveren; de formules zouden een te lage schatting opleveren. Dit laat zich gemakkelijk inzien als men bedenkt dat kosten van graafwerk, oeverbescherming en bodembescherming berekend worden voor het toevoer- en spuigedeelte van de centrale op grond van een lengte van deze gedeeltes van  $3.5 \cdot (B_w - B_c)$  resp.  $3.5 \cdot (B_m - B_c)$ . (zie § 3.2.5). In geval dat aan voorwaarde ( $Q_{ac} \gg Q_{ac}(\text{min})$ ) niet voldaan is, is de lengte  $3.5 \cdot (B_w - B_c)$  zeker negatief en de lengte  $3.5 \cdot (B_m - B_c)$  misschien ook; er worden dan dus negatieve kosten berekend wat natuurlijk niet in werkelijkheid het geval kan zijn.

In § 3.3.2 staan de formules weergegeven die gebruikt zijn om de variabele kosten te schatten. Bij de afleiding van deze formules is er van uitgegaan dat de totale lengte van het centrale complex  $L_{\text{tot}}$  kleiner is dan

de lengte van de doorsteek (=900 meter). Als dit niet het geval is worden in dit geval ook negatieve kosten berekend, namelijk voor de post kanalen en dijken. Nadere uitwerking van deze voorwaarde levert:

$$L_{\text{tot}} \leq 900 \Rightarrow ((27.6 - 21 \cdot n) \cdot D + 3 \cdot Q_{ac} - 95.6) \leq 900 \Rightarrow Q_{ac}(\text{max}) = 331.87 - (9.2 - 7 \cdot n) \cdot D$$

Resumerend kan dus gesteld worden dat moet gelden ( $Q_{ac}(\text{min}) \leq Q_{ac} \leq Q_{ac}(\text{max})$ ). Is dit niet het geval, dan worden te lage kosten berekend, en zal de berekende KWh-prijs te laag zijn.

Na de behandeling van de voorwaarden die aan de berekening gesteld moeten worden, zal nu worden ingegaan op de resultaten. Allereerst zal het optimale turbinepotentieel bepaald worden, vervolgens zullen voor dit turbinepotentieel enkele parameters in de berekening gevarieerd worden.

Op bijlage 3521 staan de resultaten weergegeven, zoals die berekend zijn voor verschillende turbinepotentiëlen. De meeste kolommen zullen de lezer wel duidelijk zijn, enkele zullen nog verduidelijkt worden. De kolom  $P_{\text{gem}}$  staat voor het gemiddelde vermogen per jaar, de kolom  $N_{ac}$  staat voor het ontwerpver-

mogen, de kolom  $K_{tur}$  staat voor de turbinekosten, de kolom  $K_{vast}$  voor de vaste kosten, de kolom  $K_{var}$  voor de variabele kosten, de kolom KWh voor de KWh-prijs en de kolom corr.KWh voor de gecorrigeerde KWh-prijs voor debieten  $Q_{ac}$  groter dan  $100 \text{ m}^3/\text{s}$  per turbine (voor ontwerpdebieten per turbine groter dan  $100 \text{ m}^3/\text{s}$  zijn de turbinekosten (zoals die berekend zijn) met 15 % verhoogd; voor de reden hiervan wordt verwezen naar § 3.2.5; voor het debiet  $108 \text{ m}^3/\text{s}$  in het geval  $n=1$  en  $D=5 \text{ m}$ . is aangenomen dat de KWh-prijs nog net niet verhoogd hoeft te worden om hogere turbinekosten). Enkele turbinepotentiëlen zijn aangegeven met een pijl ervoor; voor deze potentiëlen wordt niet aan de eerder in deze paragraaf beschreven voorwaarden voldaan (zie de kleine tabel op bijlage 3521 onderaan). Voor deze potentiëlen zal de KWh-prijs dus hoger zijn dan de weergegeven berekende prijs; aangezien deze potentiëlen toch niet optimaal zijn is er van afgezien de juiste prijs verder nog te berekenen.

Uit de resultaten op bijlage 3521 blijkt duidelijk de invloed die de vervalverkleining uit § 3.4.7 op de rentabiliteit heeft: voor grotere waaierdiameters en grotere aantallen turbines blijkt telkens dat de optimale constructiehoogte  $H_{opt}$  kleiner wordt, waardoor het ontwerpdebiet  $Q_{ac}$  en daarmee de vervalverkleining relatief klein blijft. Het gevolg van de vervalverkleining is dat de meest optimale uitvoering van de centrale in economisch opzicht een relatief kleine centrale is met slechts één turbine; als meest optimale turbinepotentieel komt naar voren: 1 turbine met een waaierdiameter van 5 à 6 m. De verhoging van de turbinekosten voor waaierdiameters groter dan 5 m. leidt ertoe dat grotere waaierdiameters dan 5 m. ca. even rendabel zijn als het gekozen optimale potentieel (ook de maximumgrens van  $D=6 \text{ m}$ . voor de gekozen Kaplan-bulbturbines is hier een oorzaak van).

Op bijlage 3522 is voor het gekozen optimale turbinepotentieel  $n=1$  en  $D=5$  nagegaan wat de invloed van de waarde van enkele belangrijke parameters op de resultaten is. Voor een beschrijving van de beschouwde gevallen 1 t/m 16 wordt verwezen naar bijl. 3512. Het blijkt dat deze invloeden elk op zich niet spectaculair zijn; wanneer echter de KWh-prijzen voor het meest gunstige geval (geval 13) en het minst gunstige geval (geval 14) vergeleken worden, blijkt er in totaal nog een aanzienlijke mogelijke spreiding in de resultaten aanwezig te zijn. Diepgaander onderzoek om deze spreiding te verkleinen is echter niet nodig: zelfs de meest gunstige KWh-prijs is 18 à 19 cent per KWh waaruit met zekerheid geconcludeerd kan worden dat een centrale zonder koppeling met de stuw te Lith tussen Waal en Maas te St. Andries niet kan concurreren met de locaties waarvan de resultaten op bijlage 3211 vermeld staan. Deze conclusie geldt zowel ten aanzien van de relatief geringe energieproductie (bij het meest optimale potentieel) als de relatief hoge KWh-prijs die voor die energie betaald zal moeten worden (vergelijk: Grave bij v.Bochove 12 cent/KWh).

HOOFDSTUK 3.6 : LOCALE HAALBAARHEID CENTRALE MET KOPPELING.

3.6.0 : Woord vooraf bij hoofdstuk 3.6

In dit hoofdstuk zal de lezer een formule voor de vervalverkleining tegenkomen die verschilt van de tot hier toe gebruikte waarin tevens andere waarden aangenomen zijn dan in het voorgaande hoofdstuk. Reden hiervan is dat in een later stadium, na het opstellen van dit hoofdstuk, de morfologieberekeningen in paragraaf 3.4.7 herzien zijn waarbij andere waarden gevonden zijn.

Er wordt vanaf gezien om deze reden alle berekeningen in dit hoofdstuk nogmaals uit te voeren; wel zal de hier als meest rendabele geval naar voren gekomen situatie voor de aangepaste waarden voor de vervalverkleining nogmaals berekend worden om een indicatie over de invloed hiervan op de berekeningsresultaten te verkrijgen.

De 'oude' formule liet zich als volgt schrijven :

$$H = a \cdot Q_{ac} / 100 - b \quad (m)$$

Hierin werd  $Q_{ac}$  in  $m^3/s$  ingevuld, voor a waarden 0,5 ; 0,4 en 0,3 ingevuld en voor b waarden 0,1 ; 0,05 en 0 . De formule bezit dezelfde structuur als de 'nieuwe' formule; alleen de waarde a is een factor 100 verschillend. De waarden voor a en b in de oude formule geven echter een te ongunstig beeld ten aanzien van de vervalverkleining (dus te groot berekende waarden hiervoor), dat berustte op al te globale conclusies in een vorig stadium.

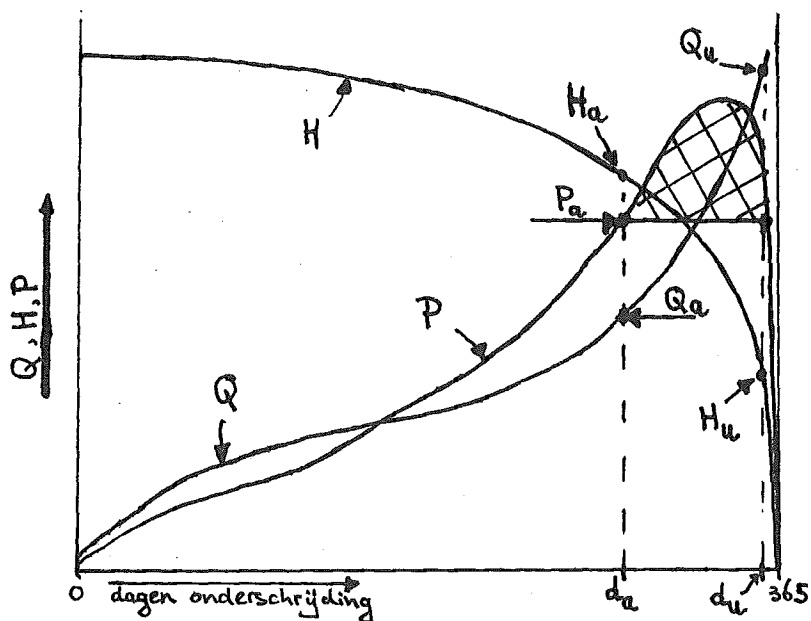
Het meest rendabele geval zal met bovenstaande 'oude' formule nog eens doorgerekend worden met de waarden  $a=0,1$  en  $b=0,1$ . De lezer kan voor zichzelf nagaan dat deze waarden corresponderen met de meest gunstige aanname voor de vervalverkleining (  $a=0,001$  en  $b=-0,1$  in de 'nieuwe formule'). Hierna zal het resultaat van deze laatste berekening vergeleken worden met de eerdere resultaten op grond van de oude waarden voor de vervalverkleining. Afgezien van de aanpassing van de vervalverkleining blijft de berekening overigens precies hetzelfde. In paragraaf 3.6.2 waar de resultaten besproken worden zal hierop teruggekomen worden.

## Hoofdstuk 3.6 : Locale haalbaarheid centrale met koppeling.

### § 3.6.1 : Methodiek

Wanneer men het alternatief beschouwt van een centrale die energie produceert zowel met gebruikmaking van het verval bij de stuw te Lith als van het verval tussen Waal en Maas (zoals in dit hoofdstuk zal gebeuren), kan men hier op zich een uitgebreide studie aan wijden. Een diepgaand onderzoek is in het stadium van onderzoek in dit rapport echter niet de bedoeling. In dit hoofdstuk zal een globale analyse van de rentabiliteit van het beschouwde alternatief plaatsvinden. Wanneer uit deze analyse volgt dat er wellicht gunstige mogelijkheden voor een centrale met koppeling aanwezig zijn, kan alsnog diepgaander onderzoek plaatsvinden.

Terwisga heeft in zijn afstudeerwerk het alternatief van een centrale bij de stuw te Lith (zonder suppletie) onderzocht. Een dergelijke centrale bij een stuw is gedimensioneerd op een bepaald ontwerpvermogen  $P_a$  (zie fig. hieronder):



Figuur hiernaast geeft weer: onderschrijdingslijnen voor  $Q$  (debiet over stuw),  $H$  (verval over stuw) en  $P$  (aanwezig vermogen berekend met  $Q$  en  $H$ ). Een debiet  $Q_t$  ( $t$  dagen onderschreden) hoort bij een verval  $H_t$  ( $Q_t$  en  $H_t$  treden gelijktijdig op).

Door te dimensioneren op het vermogen  $P_a$  wordt een bepaald gedeelte van de theoretisch winbare energie (gearceerd in de figuur) in de praktijk niet gewonnen. Hier staat tegenover dat de kosten van de centrale voor een lager ontwerpvermogen dan het maximale vermogen  $P_{max}$  geringer zullen zijn. Er is sprake van een zeker optimum: het ontwerpvermogen  $P_a$  waarvoor de KWh-prijs van de geleverde energie zo laag mogelijk is.

De energieproductie bij een dergelijke centrale is gekenmerkt door 3 'soorten situaties' :

1. Gedurende  $d_a$  dagen per jaar is het debiet van de rivier bij de stuw kleiner dan het ontwerpdebiet  $Q_a$ . Het geleverde vermogen is kleiner dan het

ontwerpvermogen  $P_a$ . In deze dagen kan er gesuppleerd worden door gebruikmaking van andere waterkrachtbronnen.

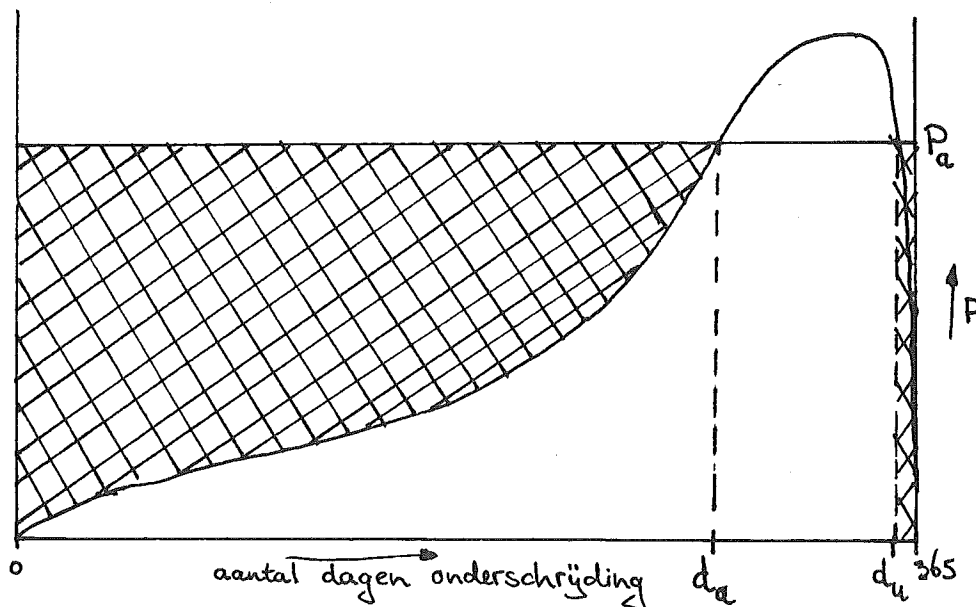
- 2. Gedurende  $(d_u - d_a)$  dagen per jaar wordt het ontwerpvermogen volledig benut. Er zijn dan geen suppletie-mogelijkheden.
- 3. Gedurende  $(365 - d_u)$  dagen per jaar is het debiet over de stuw groter dan  $Q_u$ . Doordat het verval over de stuw voor deze debieten echter snel afneemt, is het geleverde vermogen kleiner dan het ontwerpvermogen en zijn er suppletiemogelijkheden. In de praktijk komt vaak de situatie voor dat voor debieten groter dan een bepaalde grenswaarde de stuw getrokken wordt. Er is dan geen verval, dus ook geen leverbaar vermogen en de centrale kan in dit geval geheel benut worden voor de suppletiebronnen.

(12)

In de studie naar een centrale bij de stuw te Lith van Terwisga bleek een centrale, die gedimensioneerd is op een ontwerpdebiet van  $330 \text{ m}^3/\text{s}$  (met Kaplan turbines), het meest rendabel te zijn. Voor deze uitvoering geldt:  $d_a = 245$  dagen,  $d_u = \text{ca } 355$  dagen. De stuw bij Lith wordt getrokken voor debieten van de Maas groter dan ca.  $900 \text{ m}^3/\text{s}$ . Dit blijkt ca. 10 dagen per jaar te zijn, dus de gehele periode van  $(365 - d_u)$  dagen.

Een centrale 'met koppeling', zoals in dit hoofdstuk aan de orde komt, betekent nu het volgende: een centrale, ontworpen op een bepaald ontwerpdebiet  $Q_a$ , waarbij in situaties dat het bij de stuw aanwezige vermogen kleiner is dan het ontwerpvermogen suppletie plaatsvindt door het verval tussen Waal en Maas te benutten. De rentabiliteit van deze gesuppleerde energie (dus de totale suppletie-energie afgewogen tegen de extra kosten ten opzichte van een centrale zonder suppletie die gemaakt moeten worden) zal hier beschouwd worden; de rentabiliteit van de centrale met suppletie in zijn geheel kan vervolgens berekend worden. Dit zal in de volgende paragraaf verder aan de orde komen.

In de figuur hieronder is het begrip suppletie verduidelijkt:



De gearceerde delen in de hieraan voorafgaande figuur geven de maximaal mogelijke suppletie-energie per jaar weer. Er is voor de figuur aangenomen dat de stuw ( $365-d_u$ ) dagen per jaar getrokken is. Dit is voor de stuw te Lith een reële veronderstelling.

Het optimale ontwerpdebiët voor een centrale zonder suppletie (Terwisga:  $330 \text{ m}^3/\text{s}$ ) is waarschijnlijk niet gelijk aan het optimale ontwerpdebiët van een centrale met suppletie. Vooruitlopend op de resultaten in de volgende paragraaf kan gesteld worden dat de rentabiliteit van de suppletie alleen toeneemt met grotere ontwerpdebieten. De rentabiliteit van de energiewinning met het verval bij de stuw neemt dan juist af. De rentabiliteit van een centrale met koppeling zal dan waarschijnlijk een iets groter optimaal ontwerpdebiët hebben dan  $330 \text{ m}^3/\text{s}$ . In de analyse in dit hoofdstuk zullen de ontwerpdebieten  $340 \text{ m}^3/\text{s}$ ,  $425 \text{ m}^3/\text{s}$  en  $500 \text{ m}^3/\text{s}$  beschouwd worden. Het is te verwachten dat het optimale ontwerpdebiët hier ergens tussen in ligt; voor ontwerpdebieten beneden de  $340 \text{ m}^3/\text{s}$  zal de suppletie de rentabiliteit van de centrale in zijn geheel te negatief beïnvloeden, voor ontwerpdebieten boven  $500 \text{ m}^3/\text{s}$  zal de rentabiliteit van de energiewinning bij de stuw de totale rentabiliteit laten dalen.

Na de voorgaande inleidende informatie zal nu de gevolgde methode bij de bepaling van de rentabiliteit van de suppletie uiteengezet worden. Uitgangspunt zijn de onderschrijdingswaarden voor de afvoer  $Q_1$  en de valhoogte  $H_1$  bij de stuw te Lith, die voor deze studie overgenomen zijn uit de studie van Terwisga (deze heeft ze ontleend aan gegevens van Rijkswaterstaat). Met deze onderschrijdingswaarden zijn onderschrijdingswaarden voor de benodigde doorstroomopening  $(\mathcal{M}^*A)_1$  te berekenen, uitgaande van de formule voor gesloten leidingen :

$$(\mathcal{M}^*A)_1 = Q_1 / (\sqrt{2 * g * H_1}) \quad (\text{met } g = \text{ca. } 10 \text{ m/s}^2)$$

Deze doorstroomopening is benodigd om het debiet  $Q_1$  door de centrale te kunnen voeren. Wanneer nu de centrale ontworpen is op een ontwerpdebiët  $Q_a$  zal deze uitgevoerd worden met een ontwerpdoorstroomopening  $(\mathcal{M}^*A)_a$  (berekend uitgaande van bovenstaande formule voor  $Q_a$  en  $H_a$ ). Voor debieten van  $Q_1$  die kleiner zijn dan  $Q_a$  is deze ontwerpdoorstroomopening niet geheel nodig; er is als het ware een gedeelte  $(\mathcal{M}^*A)_w = ((\mathcal{M}^*A)_a - (\mathcal{M}^*A)_1)$  'over' om debiet door te voeren. Dit debiet zal dan gesuppleerd worden uit de Waal met het verval tussen Waal en Maas. In werkelijkheid zal het niet mogelijk zijn het gehele voor suppletie overige gedeelte van de doorstroomopening in gebruik te hebben (bij een uitvoering met bijv. 5 turbines in de situatie dat 70 % van de doorstroomopening voor benutting van het verval bij de stuw benut wordt, zal men 4 turbines voor het verval bij de stuw benutten en 1 voor suppletie (hierbij is



verondersteld dat alle turbines van gelijke grootte zijn), zodat het voor suppletie bruikbare gedeelte van de doorstroomopening niet 30 % maar 20 % is). In het kader van deze globale analyse worden deze 'afstemverliezen' verwaarloosd. Dit betekent dat hierdoor de rentabiliteit van de suppletie te gunstig berekend zal zijn.

Het maximaal mogelijke suppletiedebiet uit de Waal volgt uit :

$$Q_w = (\mathcal{M}^*A)_w \sqrt{2 * g * (\bar{H} - \Delta H)} \quad \text{met} \quad \Delta H = a * Q_w / 100 - b$$

Uitwerking van deze uitdrukkingen levert op:

$$Q_w = g * (\mathcal{M}^*A)_w^2 * \left( -a/100 + \sqrt{\left( (a/100)^2 + 4 * (\bar{H} + b) / (2 * g * (\mathcal{M}^*A)_w^2) \right)} \right)$$

Voor gebruik van deze formule wordt aangenomen:  $a=0.3$  m. en  $b=0.05$  m. (zie § 3.4.7),  $g=10$  m/s<sup>2</sup> en  $\bar{H}$  (het gemiddeld verval tussen Waal en Maas)=2.3 m. voor suppletie via tracé 5;  $\bar{H}=2.05$  m. voor suppletie volgens tracé 6 (2.3 m. gemiddeld verval met hierop 0.25 m. correctie voor de tracékeus; zie voor deze waarden § 3.3.3). Al deze waarden zijn zodanig aangenomen dat de situatie relatief gunstig is ingeschat ten aanzien van de rentabiliteit.

Deze benadering betekent een sterke vereenvoudiging van de werkelijkheid. In wezen zal in de dagen dat suppletie mogelijk is het verval tussen Waal en Maas variëren en niet altijd gelijk zijn aan een constante waarde  $\bar{H}$ . De invloed van deze variatie op de resultaten zal over 40 jaar (levensduur van de centrale) bezien waarschijnlijk echter gering zijn. Wat echter wel van groot belang is, is de waarde van het gemiddelde  $\bar{H}$ . Suppletie vindt plaats in de volgende situaties: als de afvoeren van de Maas klein zijn (kleiner dan het ontwerpdebiet) en wanneer zij zeer groot zijn (stuw getrokken). De eerste situatie met kleine afvoeren is het gebied waar veruit de meeste suppletie-energie gewonnen zal worden; deze situatie kan als representatief beschouwd worden om het gemiddelde  $\bar{H}$  nader te onderzoeken. In hoofdstuk 3.4 (hydrologie) kwam naar voren dat er een grote kans is dat de afvoer van de Waal ook laag is wanneer de afvoer van de Maas laag is; hierdoor is het waarschijnlijk dat in tijden van lage afvoeren van de Maas ook het aanwezige verval tussen Waal en Maas kleiner zal zijn dan het jaargemiddelde (ca. 2.25 m.). De aanname van een gemiddeld verval van  $\bar{H}=2.3$  m. is dus zeker een zeer gunstige aanname ten aanzien van de rentabiliteit. Overigens zijn de beschouwingen in hoofdstuk 3.4 te globaal om hier enige consequentie voor dit geval aan te verbinden, behalve dat een waarde  $\bar{H}=2.3$  m. waarschijnlijk aan de hoge kant zal zijn.

Met de berekende onderschrijdingswaarden voor  $Q_w$  kunnen vervolgens onderschrijdingswaarden voor  $P_w$  (maximaal suppletievermogen) berekend worden :

$$P_w = \eta * \rho * g * Q_w * (\bar{H} - \Delta H) \quad \text{met} \quad \Delta H = a * Q_w / 100 - b \quad \text{zodat:}$$

$$P_w = \eta * \rho * g * Q_w * (\bar{H} + b - a * Q_w / 100)$$

Voor gebruik van deze formule wordt aangenomen :  $\eta = 0.75$  (een relatief hoge waarde, gebaseerd op een gemiddeld turbinerendement van 85 à 90 %),  $\rho = 10^3$  kg/m<sup>3</sup> en de overige waarden hetzelfde als in de formule voor  $Q_w$ . Ook hier zijn alle waarden gunstig ten aanzien van de rentabiliteit aangenomen.

De hierboven beschreven formules voor  $Q_w$  en  $P_w$  zijn de basis voor de bepaling van de totale hoeveelheid suppletie-energie. Met deze formules zal de rentabiliteit van de centrale voor wat betreft de suppletie-energie bepaald worden. Voor de bepaling van de kosten van de suppletie wordt uitgegaan van alleen de kosten voor tracé 5 en tracé 6, die in § 3.3.3 beschreven staan. Dit is een gunstige voorstelling van zaken. De centrale met suppletie zal ingewikkelder van constructie en bedrijfsvoering zijn dan een centrale zonder suppletie. Er zullen voorzieningen moeten worden geconstrueerd om het mogelijk te maken dat de doorstroomopening  $(M \cdot A)_w$  (die 'over' is) daadwerkelijk voor suppletie gebruikt kan worden (bijv. installatie van meerdere turbines die alle 'gevoed' kunnen worden met zowel Maaswater via de stuw bij Lith als met Waalwater). Dit alles kost geld. Een centrale zonder suppletie zal voor een zelfde ontwerpdebiet minder duur zijn als een centrale met suppletie. Het verschil in kosten zou eigenlijk bij de beschouwing van de rentabiliteit van de suppletie meegenomen moeten worden. Om echter tot een goede schatting van deze kosten te komen, is een relatief gedetailleerd ontwerp van de centrale vereist. Van een dergelijk ontwerp van de centrale wordt in dit stadium van onderzoek afgezien. Er wordt volstaan met de opmerking dat de rentabiliteit van de suppletie ook hierdoor aan de gunstige kant berekend zal zijn.

Om nu de lezer de gevolgde rekenweg geheel duidelijk te maken, zal hieronder een voorbeeld-berekening beschreven worden. De berekening betreft de bepaling van de rentabiliteit van de suppletie voor het geval het ontwerpdebiet  $Q_{1a}$  van de centrale 340 m<sup>3</sup>/s bedraagt en het ontwerpdebiet waarop de kanaalgedeeltes (Waal-centrale) gedimensioneerd worden 150 m<sup>3</sup>/s bedraagt (symbool  $Q_{wa} = 150$  m<sup>3</sup>/s). Zowel voor tracé 5 als tracé 6 zal de rentabiliteit bepaald worden.

Uitgangspunt voor de berekening is de tabel met onderschrijdingswaarden voor  $Q_1$  en  $H_1$  (debiet en valhoogte bij de stuw te Lith, ontleend aan de studie van Terwisga). In de tabel op de volgende bladzijde staan deze waarden weergegeven met daarachter de diverse van belang zijnde waarden voor verschillende parameters op dezelfde onderschrijdingstijdstippen, die berekend zijn met de verschillende formules die eerder in deze paragraaf beschreven zijn:

d (dagen)	$Q_1$ ( $m^3/s$ )	$H_1$ (m)	$(M^*A)_1$ ( $m^2$ )	$(M^*A)_w$ ( $m^2$ )	$Q_w^5(\max)$ ( $m^3/s$ )	$Q_w^6(\max)$ ( $m^3/s$ )	$Q_w^5$ ( $m^3/s$ )	$Q_w^6$ ( $m^3/s$ )
0	0	4.36	0	40.2	231	217	150	150
30	65	4.31	7	33.2	197	185	150	150
50	100	4.26	10.8	29.4	177	166	150	150
80	140	4.21	15.3	24.9	153	144	150	144
100	160	4.16	17.5	22.7	141	132	141	132
130	185	4.09	20.5	19.7	124	117	124	117
150	205	4.03	22.8	17.4	111	104	111	104
180	235	3.92	26.5	13.7	88	83	88	83
200	260	3.84	29.7	10.5	69	65	69	65
230	300	3.70	34.9	5.3	36	34	36	34
250	340	3.58	40.2	0	0	0	0	0
S.G.(10 dagen)				40.2	231	217	150	150

In bovenstaande tabel staat d voor het aantal dagen onderschrijding. De kolommen  $Q_w^5(\max)$  en  $Q_w^6(\max)$  staan voor het maximaal mogelijke suppletiedebiet; dit is echter begrensd door de waarde van  $Q_{wa} = 150 m^3/s$ , hiermee volgen de werkelijke suppletiedebieten in de kolommen  $Q_w^5$  en  $Q_w^6$  (indices 5 en 6 staan voor het tracénummer). De onderste regel 'S.G.(10 dagen)' staat voor de situatie dat de stuw getrokken is (ca. 10 dagen per jaar).

Na deze eerste berekening volgt de bepaling van de totale hoeveelheid suppletie-energie als volgt:

d (dagen)	0	30	50	80	100	130	150	180	200	230	250	S.G.(10 d.)
$Q_w^5$ ( $m^3/s$ )	150	150	150	150	141	124	111	88	69	36	0	150
$P_w^5$ (MW)	2.14	2.14	2.14	2.14	2.04	1.84	1.68	1.38	1.11	0.61	0	2.14
$E_w^5$ (GWh)	1.54	1.03	1.54	1.00	1.40	0.84	1.10	0.60	0.62	0.15		0.51

Sommatie van alle geleverde energie in de tabel hierboven levert op dat de totale suppletie-energie  $E_{tot}^5$  bij suppletie via tracé 5 in het beschouwde geval 10.33 GWh per jaar bedraagt.

In de hiervoor gegeven tabel voor de bepaling van de totale suppletie-energie via tracé 5 staat  $P_w^5$  voor het winbare suppletievermogen voor de desbetreffende onderschrijdingswaarden. Hiermee worden de waarden voor de energieproductie bepaald met lineaire interpolatie; de waarden in de rij met waarden voor  $E_w^5$  die aangeduidt zijn met \* en \*\* zijn bijv. als volgt berekend:

$$* : E_w^5 = ((2.14+2.04)/2) * 10^6 * 24 * (100-80) * 10^{-9} = 1.00 \text{ GWh}$$

$$** : E_w^5 = ((2.04+1.84)/2) * 10^6 * 24 * (130-100) * 10^{-9} = 1.40 \text{ GWh}$$

Voor tracé 6 volgt de totale suppletie-energie uit de volgende tabel:

d (dagen)	0	30	50	80	100	130	150	180	200	230	250	S.G.(10 d.)
$Q_w^6$ (m <sup>3</sup> /s)	150	150	150	144	132	117	104	83	65	34	0	150
$P_w^6$ (MW)	1.86	1.86	1.86	1.80	1.69	1.53	1.39	1.15	0.93	0.51	0	1.86
$E_w^6$ (GWh)	1.34	0.89	1.32	0.84	1.16	0.70	0.91	0.50	0.52	0.12		0.45

Sommatie van alle geleverde energie in de regel voor  $E_w^6$  in bovenstaande tabel levert op dat de totale energieproductie van suppletie via tracé 6 bij de beschouwde ontwerpdebieten  $Q_{la} = 340 \text{ m}^3/\text{s}$  en  $Q_{wa} = 150 \text{ m}^3/\text{s}$  8.75 GWh per jaar draagt.

Met de kostenformules uit § 3.3.3 voor tracé 5 en 6 volgen de kosten voor suppletie:

$$\text{tracé 5 : } K_{\text{supp}}^5 = 104220 * 150 + 175521 * 340 + 17140849 = \text{ca. } 92 * 10^6 \text{ f}_{1980}$$

$$\text{tracé 6 : } K_{\text{supp}}^6 = 272792 * 150 + 20986278 = \text{ca. } 62 * 10^6 \text{ f}_{1980}$$

KWh-prijzen voor de suppletie-energie kunnen nu als volgt berekend worden met dezelfde uitgangspunten en methodiek als voor hoofdstuk 3.5 zijn gebruikt:

$$\text{tracé 5 : } \text{KWh-prijs (5)} = 1.2 * 0.051 * 92 * 10^2 / 10.33 = 54.5 \text{ cent/KWh}$$

$$\text{tracé 6 : } \text{KWh-prijs (6)} = 1.2 * 0.051 * 62 * 10^2 / 8.75 = 43.4 \text{ cent/KWh}$$

Met de methodiek die in de hiervoor beschreven berekening is toegepast, zullen alle berekeningen in de volgende paragraaf uitgevoerd worden. Resume-rend kan opgemerkt worden dat de aangenomen getalswaarden van diverse parameters en de structuur van de berekening zelf met alle aannames die hieraan

ten grondslag liggen zodanig is, dat de berekende KWh-prijzen waarschijnlijk te laag zijn en de rentabiliteit te gunstig voorstellen. Bij deze laatste opmerking kan echter nog wel de volgende kanttekening geplaatst worden: bij de bepaling van de bouwkosten is uitgegaan van prijzen die van Bochove in zijn studie ook gehanteerd heeft teneinde de resultaten uit deze studie vergelijkbaar met zijn resultaten te maken. Voor de centrale zonder koppeling die in hoofdstuk 3.5 beschouwd is, zijn de resultaten inderdaad vergelijkbaar met de resultaten van van Bochove omdat het in dat geval om een gelijksoortige centrale gaat. In het geval van de bepaling van de rentabiliteit van de suppletie waar het in dit hoofdstuk om gaat, is echter sprake van een duidelijk andere rentabiliteitsproblematiek die niet vergeleken mag worden met de studie van van Bochove. Reden dus om de bouwkosten niet relatief (t.o.v. van Bochove) maar absoluut te bepalen. De bouwkosten voor suppletie zijn in zeer hoge mate bepaald door de aangenomen grondverzetprijs van f 20.- per m<sup>3</sup> grondverzet (zo aangenomen naar waarden van Haskoning en van Bochove). Wanneer sprake is van een geringe hoeveelheid grondverzet (zoals in hoofdstuk 3.5 het geval is) zal dit een reële waarde zijn. De aanleg van de suppletiekanalen vergt echter veel grondverzet, zodat er mogelijkheden zijn om deze prijs van f20.-/m<sup>3</sup> lager te maken door een juiste werkplanning etc. Hierdoor zou suppletie dan weer gunstiger kunnen zijn dan berekend (daarentegen worden de bouwkosten ook weer te laag berekend door de aanpassingskosten om een centrale zonder koppeling bij de stuw te Lith geschikt te maken voor suppletie buiten beschouwing te laten). Het is dus een moeilijke zaak om te kunnen zeggen hoe de berekende KWh-prijzen zich verhouden tot werkelijke KWh-prijzen. In de volgende paragraaf zal hier iets meer op ingegaan worden.

### § 3.6.2 : Resultaten.

Op bijlage 3621 zijn de resultaten te vinden van de berekening van de maximale suppletiedebieten voor desbetreffende onderschrijdingswaarden bij verschillende ontwerpdebieten  $Q_{1a}$  voor zowel tracé 5 als tracé 6. Met deze bijlage 3621 als uitgangspunt zijn dan op de bijlagen 3622 t/m 3624 de totale suppletie-energieproducties per jaar berekend voor tracé 6 bij verschillende ontwerpdebieten  $Q_{1a}$  en  $Q_{wa}$ ; op de bijlagen 3625 t/m 3627 staan de resultaten van de bepaling van de totale energie-productie van suppletie voor

tracé 5 bij verschillende ontwerpdebieten  $Q_{1a}$  en  $Q_{wa}$ . Tenslotte zijn op bijlage 3628 alle berekende energieproducties in een overzicht samengevat, waarin ook de suppletiekosten en de rentabiliteit zijn weergegeven. De kolom 'KWh' staat op bijlage 3628 voor de KWh-prijs in centen (1980) die voor de suppletie-energie berekend is. Aan de hand van bijlage 3628 kunnen de volgende conclusies getrokken worden:

1. Zowel voor tracé 5 als tracé 6 blijkt dat suppletie meer rendabel wordt naarmate het ontwerpdebiet van de centrale  $Q_{1a}$  groter is.
2. Zowel voor tracé 5 als tracé 6 blijkt dat bij een bepaalde waarde voor  $Q_{1a}$  er telkens sprake is van een optimaal ontwerpdebiet  $Q_{wa}$  waarop de kanaalgedeeltes (Waal-centrale) gedimensioneerd worden. Voor tracé 6 ligt dit optimale debiet  $Q_{wa}$  in het algemeen in de orde van ca. 50 % van het maximaal mogelijke ontwerpdebiet  $Q_{wa}(\max)$ , voor tracé 5 blijkt het optimale debiet  $Q_{wa}$  in het algemeen hoger te zijn dan voor tracé 6 het geval is en in de orde van ca. 80 % van het maximaal mogelijke ontwerpdebiet  $Q_{wa}(\max)$  te liggen.
3. Tracé 6 blijkt meer rendabel te zijn dan tracé 5; de oorzaak hiervan blijkt gelegen te zijn in de relatief hoge kosten voor tracé 5 welke het gevolg zijn van de aanleg van kanaalgedeeltes die gedimensioneerd moeten worden op het ontwerpdebiet  $Q_{1a}$  (kanaalgedeeltes tussen de stuw te Lith en centrale), dat in het algemeen ca. 2 maal zo groot is als het ontwerpdebiet  $Q_{wa}$  waar de overige kanaalgedeeltes op gedimensioneerd zijn.
4. De meest rendabele suppletie mogelijkheid van de beschouwde gevallen blijkt op te treden bij  $Q_{1a} = 500 \text{ m}^3/\text{s}$  en  $Q_{wa} = 150 \text{ m}^3/\text{s}$  bij een uitvoering van de suppletiekanalen volgens tracé 6. De KWh-prijs is hier zo laag mogelijk en bedraagt ca. 30 cent per KWh.

In het woord vooraf bij dit hoofdstuk is reeds opgemerkt dat voor de berekeningen hier is uitgegaan van de 'oude' formule voor de vervalverkleining die later na diepgaander morfologisch onderzoek herzien is. Om de invloed van de herziening van die formule op bovenstaande conclusies in te schatten, is op bijlage 3629 de berekening voor de meest rendabele suppletie mogelijkheid ( $Q_{1a} = 500 \text{ m}^3/\text{s}$ ,  $Q_{wa} = 150 \text{ m}^3/\text{s}$  met een KWh-prijs van ca. 30 cent volgens de oude berekening) herhaald met aanpassing van de ingevoerde waarden a en b in de vervalverkleiningsformule (nu  $a=0,1$  en  $b=0,1$ ). Ten gevolge van vooral het nu grotere netto verval wordt het vermogen  $P_w$  groter (door de keuze van  $Q_{wa} = 150 \text{ m}^3/\text{s}$  veranderen de debieten vrijwel niet). Er wordt totaal meer energie geleverd en de kosten blijven in de berekening gelijk, wat resulteert in een (lagere) KWh-prijs van 24 à 25 cent. Een daling van ongeveer 20 % ten opzichte van de oude resultaten op bijlage

3628. Wanneer men alle mogelijke gevallen nogmaals door zou rekenen, zou dit opleveren dat de eerdere conclusies ongewijzigd blijven, behalve dan de grotere energieproducties dus lagere KWh-prijzen. Het is zeer aannemelijk dat het gevonden meest rendabele geval ook in de aangepaste berekeningen het meest rendabele geval redelijk beschrijft. Hier wordt verder niet naar gerekend.

Het zal de lezer duidelijk zijn dat KWh-prijzen van 24-25 cent veel te hoog liggen om suppletie tot een rendabele zaak te bestempelen. De onnauwkeurigheid van de berekeningen in dit hoofdstuk kan nog aangevoerd worden als argument voor diepgaander onderzoek. Het is dan van belang om zich goed te realiseren welke aannames en vereenvoudigingen in dit hoofdstuk plaats hebben gevonden en in hoeverre zij kunnen betekenen dat de werkelijke KWh-prijzen aanmerkelijk lager dan de berekende 24-25 cent liggen.

De vereenvoudigingen en aannames zijn vrijwel allemaal zo gedaan dat de berekende prijzen de werkelijkheid zeer waarschijnlijk veel te gunstig weergeven:

- In de formule voor de vervalverkleining is (in de aangepaste berekening) uitgegaan van die waarden voor a en b waardoor de verkleining het extreme minimum beschrijft (hierdoor relatief grote energieproductie berekend).
- De 'afstemverliezen' bij het inschakelen van de turbines op invoer vanaf de stuw te Lith en tegelijkertijd voor een deel op suppletiedebiet vanaf de Waal zijn verwaarloosd. Hierdoor wordt de centrale bedrijfsvoering als te ideaal weergegeven, dus wordt een te hoge, in realiteit niet haalbare energieproductie berekend.
- De meest rendabele suppletie vindt plaats bij een zo hoog mogelijk ontwerpdebet  $Q_{1a}$  van  $500 \text{ m}^3/\text{s}$ . Hierdoor zal de centrale, zoals die door Terwisga in zijn studie als optimaal voor een ontwerpdebet  $Q_{1a}$  van  $330 \text{ m}^3/\text{s}$  zonder suppletie berekend was, aan rentabiliteit inboeten, welk verlies formeel als extra kostenpost bij de bepaling van de rentabiliteit van de suppletie in rekening gebracht moet worden. Dit is niet gebeurd, zodat hierdoor te lage kosten berekend zijn.
- Voor het aanwezige brutoverval is uitgegaan van het maximale, gunstigste jaargemiddelde. Tevens is aangenomen dat dit verval altijd ter beschikking is wanneer er zich suppletiemogelijkheden voordoen. Door deze vereenvoudiging wordt de hydrologische situatie als maximaal gunstig voorgesteld, waardoor een hoge energieproductie volgt.
- Voor het turbinerendement is uitgegaan van een zeer hoge waarde, waardoor het geleverde vermogen zeer gunstig is voorgesteld.
- De kosten voor aanpassing van de centrale volgens Terwisga (zonder suppletie) aan suppletiedoelinden zijn buiten beschouwing gelaten. Kosten van in- en uitlaatwerken zijn laag ingeschat.

- De evt. bijkomende kosten voor aankoop grond, vergunningen en de indirecte kosten die volgen uit schadelijke neveneffecten op landelijke belangen zijn ook niet verdisconteerd.
- Er is geen rekening gehouden met beperkende toelaatbaarheidseisen voor het toelaten van Waalwater op de Maas (zie paragraaf 3.4.7). Wel rekening houden hiermee kan betekenen dat de helft van de tijd suppletie niet toelaatbaar is!

Het enige dat tegenover al deze gunstige aannames kan staan, is het feit dat door de omvang van het graafwerk aan de kanalen de in rekening gebrachte prijs voor het grondverzet ( $f20,-/m^3$ ) waarschijnlijk door efficiënte planning lager te maken is. Deze invloed zal echter niet opwegen tegen alle gunstige invloeden. De conclusie mag dan ook zijn dat de berekende prijs van 24-25 cent/KWh nog aan de lage kant zal liggen, waarmee een suppletiemogelijkheid, zoals die hier door-gerekend is, naar het rijk der fabelen verwezen kan worden.



HOOFDSTUK 3.7 : NABESCHOUWING DEEL 3.

Hoofdstuk 3.7 : Nabeschuwing deel 3

In het deel 3 van deze studie heeft een globaal onderzoek plaatsgevonden naar de rentabiliteit van energiewinning uit het verval tussen Waal en Maas in de omgeving van de gemeente Heerewaarden. Zowel de mogelijkheid van benutting van dit verval met behulp van een onafhankelijke centrale als de mogelijkheid van benutting van dit verval door suppletie bij een centrale bij de stuw te Lith zijn aan de orde gekomen. De gevonden resultaten dienen met veel reserves beschouwd te worden. Allereerst is de berekening van een zeer globaal karakter waarbij veel aannames en vereenvoudigingen hebben plaatsgevonden teneinde het totale werk te beperken; veelal zijn deze aannames en vereenvoudigingen z6 gemaakt dat de berekende rentabiliteit te gunstig zal zijn in vergelijking met de werkelijkheid. Buiten dit is sprake van een berekeningsaanpak die formeel niet realistisch is: er is van uitgegaan dat de rentabiliteit alleen op grond van directe, locale kosten beschouwd mag worden en de randvoorwaarden die andere belangen dan waterkrachtbelangen aan het gebruik van de centrale opleggen zijn eenvoudig buiten beschouwing gelaten. In werkelijkheid zullen zeker in dit geval waar ingegrepen wordt in veel landelijke belangen de inbreuken in deze belangen voorzover deze toelaatbaar zijn extra indirecte kosten met zich meebrengen en voorzover zij ontoelaatbaar zijn het gebruik, dus de energieopbrengst van de centrale beperken.

Al deze overwegingen in oenschouw genomen, kan met zeer grote waarschijnlijkheid verwacht worden dat de berekende kWh-prijzen voor de diverse mogelijkheden lager zijn dan zij in werkelijkheid zullen zijn. De motivatie voor deze berekeningsaanpak vloeit voort uit de verwachting dat de beschouwde waterkracht opwekkingsmogelijkheden niet rendabel zouden zijn, een verwachting die al snel rees. Het oogpunt van dit onderzoek was niet de werkelijkheid zo getrouw mogelijk weer te geven maar de verwachte slechte rentabiliteit aan te tonen. Door in alles de rentabiliteit te gunstig te berekenen, is nu snel een conclusie mogelijk zonder dat diepgaand onderzoek naar de inbreuken op alle landelijke belangen noodzakelijk is, zonder omvangrijk computerrekenwerk en zonder andere omslachtige zaken. De al te gunstig berekende rentabiliteit blijkt in al de onderzochte gevallen nog zo slecht te zijn dat met zekerheid gesteld kan worden dat de onderzochte energiewinningsvarianten alle af te raden zijn op grond van de te hoge kosten die betaald zullen moeten worden voor een ook al kleine energieproductie (een grote produktie verdient bij de Elektriciteitsmaatschappijen de voorkeur). In de eindexamen over het gehele onderzoek zal nog iets gezegd worden over eventuele andere mogelijkheden die in dit deel niet onderzocht zijn.

Aanvullende opmerkingen bij deel 3

Na het gereed komen van de eerste versie van dit deel, bleek het wenselijk om de morfologische berekening in paragraaf 3.4.7 nog eens uit te voeren, ditmaal met meer diepgang (de aanvankelijke resultaten waren gebaseerd op de aanname van één, dominante afvoer voor elke rivier plus enkele constante centrale debieten, terwijl in de herziene berekening de variaties in afvoeren en centrale debieten wel verwerkt zijn). Uit de tweede berekening kwamen ongeveer dezelfde conclusies naar voren, maar de resulterende waarden voor de vervalverkleining weken iets af. Ook is in de tweede berekening de bodemdiepte van de Maas bij St. Andries op grond van meer gegevens op 4 m. -NAP gesteld, waar deze eerst op 3.2 m -NAP was gesteld. De bodemdiepte van de Waal is later bijgesteld van 2.2 m op 2.0 m -NAP. Ten aanzien van de gemiddelde en extreme waterdieptes in beide rivieren is niets veranderd.

Gevolg hiervan is dat de berekeningen in het gehele deel feitelijk geheel aangepast zou moeten worden aan deze nieuwe waarden. In het hoofdstuk 3.5 (centrale zonder koppeling) is dit wel gebeurd, in het hoofdstuk 3.6 is volstaan met een kanttekening bij de resultaten op grond van de oude waarden en een inschatting van de invloed van het verschil tussen oude en nieuwe waarden op de resultaten. Hierbij bleek dat het niet nodig was de berekening nogmaals in zijn geheel aan te passen aangezien niet verwacht kon worden dat de berekende rentabiliteit zodanig zou veranderen dat er sprake zou zijn van een mogelijkheid dat de zaak ineens wel rendabel zou blijken te zijn. Een andere invloed is nog niet in voorgaande hoofdstukken aan de orde gekomen. Dit betreft de aanpassing van de berekende vaste en variabele kosten in de paragrafen 3.2.5 , 3.3.2 en 3.3.3 . Deze kosten zijn berekend op grond van de oude aannames voor de bodemdieptes van Waal en Maas (zie hierboven). Het valt na te rekenen dat bij invoering van de nieuwe waarden voor deze bodemdieptes de berekende kosten in totaal 0 tot 5 % minder zullen zijn dan de oude berekende kosten voor de centrale variant zonder koppeling, en dat er geen noemenswaardig verschil optreedt voor de kostenberekening voor de centrale variant als suppletie-mogelijkheid. De lezer kan dit voor zichzelf nagaan na nogal wat rekenwerk; hier wordt volstaan met deze uitspraak zonder de berekeningen daarvoor hier uit te schrijven. Dit betekent dat de in hoofdstuk 3.5 berekende KWh-prijzen na aanpassing 0 tot 5 % gunstiger komen te liggen. Dan nog, in het gunstigste geval zou deze op 17,5 à 18 cent komen te liggen, wat ontoelaatbaar hoog blijft (men bedenke ook dat voor de berekening van de gunstigste prijs een 25 % verlaging van de variabele kosten is ingevoerd, wat in dat geval neer-

komt op ca. 8 % verlaging van de totale kosten). Na deze conclusies is het dan ook niet nodig geacht de gehele berekening voor een herziening van de exacte kosten nogmaals uit te voeren. De gunstigste prijs betreft ook al het werkelijk allergunstigste geval; meer reeel is het gemiddelde geval waarvoor een KWh-prijs van ca. 22,5 cent was berekend, na aanpassing zal deze dan in de buurt van 21 cent komen te liggen.

De kosten voor de centralevariant als suppletie mogelijkheid in hoofdstuk 3.6 blijven gelijk zodat hiervoor geen correctie nodig is.

Al met al blijven de onderzochte varianten ook na deze aanvullende opmerkingen te onrendabel om diepgaander onderzoek te rechtvaardigen.

Geraadpleegde literatuur voor hoofdstuk 3.

- (1) - 'Waterkracht in de Maas en Nederrijn',afstudeerwerk 1982,R.H.van Terwisga.
- (2) - 'Waterkracht in Midden-Limburg',afstudeerwerk 1983,A.J.M.Vreeburg.
- (3) - 'Waterkrachtcentrale in de Maas bij Grave',afstudeerwerk 1982,  
G.C.van Bochove.
- (4) - 'Witte steenkool in Nederland,waarom niet?',afstudeerwerk 1982,  
S.Neerken.
- (5) - 'Energie uit de Maas - vooronderzoek',1981,TH Delft en Haskoning Nijmegen.
- (6) - 'Diktaten F20 en F21 (prof.Begemann),diktaat F8 (prof.Agema),TH Delft.
- (7) - Jaaroverzichten van de RIWA.
- (8) - '10 jarige overzichten';meetgegevens waterstanden van Waal en Maas te  
St.Andries;meetgegevens afvoeren Waal,Rijn te Lobith en Maas te Lith;  
betrekkingslijnen tussen afvoeren en waterstanden te Lobith en St.Andries;  
frequentielijnen voor het jaarverloop van de afvoeren van de Rijn te Lo-  
bith , de Waal bij Pannerdense Kop en de Maas te Lith;Q-h relaties voor  
de Waal;C-Q verband voor de Waal;i-Q verband voor de Waal;C-waarden voor  
de Maas;dwersprofielen van de Maas;gegevens over het bodemmateriaal van  
Waal en Maas , Rijkswaterstaat.
- (9) - Collegediktaten bij college b53 (Werktuigbouwkunde),'Strömungsmaschinen',  
1972,prof.dr.Ing.H.E.Imbach,-aanwezig in waterkrachtarchief van vakgroep  
Waterbouwkunde TH Delft-.
- (10) - 'Water Power Development Low-Head Power Plants "Wasserkraftwerke"',Band I,  
pag.114 e.v. (formule volgens Ludin voor vervalreductie beneden de con-  
structievalhoogte), E.Mosonyi .Zie ook lit.(3)
- (11) - 'Sedimentatie op de Maas',afstudeerwerk 1986,H.Koskamp.
- (12) - 'Waterkrachtcentrale in de Maas bij Lith',afstudeerwerk 1983,  
R.H.van Terwisga.

DEEL 4

EINDEVALUATIE VAN HET VERRICHTTE ONDERZOEK  
NAAR DE MOGELIJKHEDEN VOOR WATERKRACHTWINNING  
IN DE OMGEVING VAN HEEREWAAARDEN DOOR GEBRUIK  
TE MAKEN VAN HET DAAR AANWEZIGE VERVAL TUSSEN  
WAAL EN MAAS.

DEEL 4 : EINDEVALUATIE.

De eindevaluatie met betrekking tot de totaal verrichtte werkzaamheden in het kader van dit onderzoek naar de waterkrachtmogelijkheden in de omgeving van Heerewaarden, zulks op verzoek van het FNV in het kader van de werkloosheidsbestrijding in genoemde gemeente, zal als volgt plaatsvinden:

- A. Algemene inleiding, beschrijving afbakening onderzoek , werkaanpak.
- B. Kort verslag resultaten van het verrichtte onderzoek , conclusies.
- C. Aanduiding niet onderzochte mogelijkheden , korte beschouwing hiervan.
- D. Aanbevelingen , afsluiting van het onderzoek.

In A. zal in het kort teruggekomen worden op de inleiding (deel 1) van dit onderzoek en beschreven worden hoe de daar vastgestelde te onderzoeken zaken in de delen 2 en 3 zijn aangepakt. In B. zullen de resultaten uit de delen 2 en 3 van dit onderzoek in terugkoppeling met de in A. beschreven uitgangspunten aan de orde komen en zullen hieruit conclusies getrokken worden. In C. zullen niet onderzochte zaken m.b.t. de doeleinden van dit onderzoek aan de orde komen en in het kort doorgelicht worden. In D. tenslotte zal het gehele onderzoek afgesloten worden en zullen evt. aanbevelingen voor nader onderzoek gedaan worden.

A. Algemene inleiding, beschrijving afbakening onderzoek, werkaanpak.

Aanleiding tot dit onderzoek was het verzoek van de FNV aan de Technische Hogeschool Delft om onderzoek te verrichten naar de rentabiliteit van 5 door hen aangegeven zaken:

- (1) Onderzoek naar de technische en economische haalbaarheid van een waterkrachtcentrale in de Maas bij Lith en het perspectief daarvan op de werkgelegenheid.
- (2) Technisch en economisch onderzoek naar de mogelijkheden van een waterkrachtcentrale naast de sluis te St. Andries en het perspectief daarvan op de werkgelegenheid.
- (3) Het van de grond tillen van een mini-turbine werkplaats in Heerewaarden.
- (4) Technisch en economisch onderzoek naar het rendabele gebruik van drijvende waterkracht-turbines bij de brug over de Waal ter hoogte van Zaltbommel.
- (5) Onderzoek naar de (on-)mogelijkheden van koppeling van het gestelde onder (1) en (2) aan plaatselijke zandputten (de Sahara) en het gebruik van windkracht.

Het motief van de FNV om tot een zodanig onderzoek over te gaan was de gedachte door de bouw en exploitatie van één of meerdere van de genoemde centralevarianten werkgelegenheid te scheppen in de gemeente Heerewaarden, waar het werkloosheidspercentage ruim boven het landelijk gemiddeld ligt.

Voor hun onderzoek benaderde de FNV tevens de faculteit Economie aan de Universiteit van Amsterdam. Het aandeel van de TH aan het totale onderzoek betreft het onderzoeken van de technische mogelijkheden en de rentabiliteit daarvan voor het gestelde onder (1) t/m (5); de faculteit Economie heeft als aandeel het perspectief van een en ander voor de werkgelegenheid ter plaatse te onderzoeken.

In dit onderzoek (het TH-aandeel) zijn niet alle genoemde onderzoekspunten aan de orde gekomen. Het gestelde onder (1), een centrale bij de stuw te Lith, was reeds eerder door de heer van Terwisga in zijn afstuderen aan de TH Delft onderzocht (lit (12) bij deel 3) en is hier niet nader beschouwd. Het onderdeel (3) leek ons meer een onderzoekspunt voor faculteiten Economie en Bedrijfskunde. Het onderdeel (4) is vooralsnog buiten beschouwing gebleven; dit betreft een onderdeel dat geheel onafhankelijk van de andere onderzoekspunten staat. Het staat nog open als onderzoeksmogelijkheid voor anderen, overigens geheel onafhankelijk van de resultaten uit dit onderzoek. Dit onderzoek betreft de gestelde zaken onder (2) en (5), waarbij door eigen invulling nog enkele andere punten beschouwd zijn die door de FNV niet als zodanig genoemd zijn.

Uiteindelijk zijn hier onderzocht:

- (a) De rentabiliteit van een waterkrachtcentrale in de omgeving van Heerewarden die energie produceert door uitsluitend gebruikmaking van het daar aanwezige verval tussen Waal en Maas, waarbij alleen directe kosten beschouwd zijn.
- (b) De inschatting van de invloeden van een centrale als genoemd onder (a) op landelijke belangen, een indicatie van de eisen die landelijke belangen aan het gebruik van die centrale stellen, een kwalitatieve beschouwing van de indirecte kosten die invloeden op landelijke belangen voor de centrale met zich meebrengen.
- (c) De rentabiliteit van een centrale als genoemd onder (a) in combinatie met accumulatiemogelijkheden en windkrachtenergie.
- (d) De rentabiliteit van een centrale bij de stuw te Lith (als onder (1) in het lijstje van de FNV) waarbij gebruik gemaakt wordt van het verval tussen Waal en Maas ter plaatse om te suppleren op tijden dat de centrale ten gevolge van gering verval en/of debiet bij de stuw te Lith niet volledig in zijn capaciteit benut wordt.

Onderdeel (b) is in deel 2 door de heer R. Nieuwpoort behandeld, de overige onderdelen zijn door de heer M. Hauer in deel 3 behandeld. Er is gekozen voor een werkaanpak waarbij de delen 2 en 3 onafhankelijk van elkaar zijn, zodat zij tegelijkertijd uitgevoerd konden worden. In werkelijkheid mogen de onderzoeken in deel 2 en deel 3 zeker niet los van elkaar gezien worden; de onder (a) berekende rentabiliteit mag bijv. niet als absoluut gelden, maar als een relatieve



waarde die slechts gezien mag worden in samenhang met de resultaten onder (b) etc..

De gekozen werkaanpak komt voort uit de verwachting dat de onderzochte rentabiliteit zeer waarschijnlijk ongunstig zou zijn, een verwachting die snel rees na een snelle inschatting met enkele globale berekeningetjes. In alle opzichten is er naar gestreeft de berekende rentabiliteiten onder (a), (c) en (d) zo gunstig mogelijk voor te stellen; alle aannames en veronderstellingen zijn in een richting gedaan die gunstig uitpakt voor de berekende rentabiliteit. Ook de gekozen werkaanpak, waarbij de rentabiliteit berekend wordt zonder rekening te houden met beperkende eisen voor het gebruik van de centrale (voortvloeiende uit nationale belangen) en indirecte extra kosten voor de centrale die eveneens uit nationale belangen voortkomen, heeft tot resultaat dat een te grote energieproductie tegen te kleine kosten berekend wordt. Zodoende kan men snel, zonder al te omslachtige berekeningen, tot één van de volgende conclusies komen:

- de berekende rentabiliteit is ongunstig in vergelijking met absolute normen en/of rentabiliteiten die eerder door anderen voor andere waterkrachtlocaties berekend zijn. Conclusie: als de toch al zeer gunstige voorgestelde, berekende rentabiliteit te ongunstig blijkt, dan kan met zekerheid afgeraden worden aan de bouw van een centrale als doorgerekend was te beginnen.
- de berekende rentabiliteit heeft dezelfde orde van grootte als de voor andere locaties berekende rentabiliteiten. Conclusie: gezien de gunstige rekenprocedures in dit onderzoek, verdienen die andere locaties voorrang; dit ook gezien de grote invloeden op nationale belangen (drinkwater, riviermorfologie, scheepvaart etc., zie o.a. bijlage 121) die bij de andere, eerder onderzochte locaties ontbreken (deze betreffen allen centrales die gesitueerd zijn bij een stuw, waarbij niet ingegrepen wordt in de rivier zelf, maar slechts gebruik gemaakt wordt van een deel van het debiet dat over de stuw gaat en het aanwezige verval zonder dat dit verschil uitmaakt met de situatie voor plaatsing van de centrale). De genoemde invloeden pakken hoofdzakelijk negatief uit indien zij doorberekend worden naar de rentabiliteit van de centrale - hetgeen erop neerkomt dat de berekende rentabiliteit in dit onderzoek in een vergelijking met andere locaties gunstiger moet liggen, wil er in werkelijkheid sprake zijn van gelijkwaardige locaties.
- de berekende rentabiliteit is gunstiger dan de rentabiliteiten die door anderen voor andere locaties berekend zijn. Conclusie: Voorzichtig! Er mag niet geconcludeerd worden dat de bouw van een centrale te Heerewaarden aan te bevelen is! De enige juiste conclusie hier is: gezien dit gunstige resultaat is diepgaander onderzoek verantwoord, waarbij de rentabiliteit in samenhang met alle nationale invloeden beschouwd en berekend dient te worden en de in dit onderzoek gemaakte veronderstellingen herzien moeten worden om de realiteit juist weer te geven en de spreiding in de gevonden resultaten te verkleinen.

Pas na zulk veelomvattender onderzoek kan er sprake zijn van echte vergelijkbaarheid van de gevonden rentabiliteit!

Uiteraard kunnen conclusies alleen getrokken worden voor de hier onderzochte varianten. Evt. andere varianten, zo mogelijk, dienen nog apart bezien te worden (enkele hiervan zullen later in deze evaluatie nog aangestipt worden). Kort samengevat komt de werkaanpak hier dus op neer: we berekenen de rentabiliteit met relatief weinig werk globaal waarbij deze door de keuze van veronderstellingen en berekeningswijze zeker te gunstig berekend zal zijn; blijkt deze dan niet gunstiger dan de rentabiliteit voor andere locaties, dan is diepgaander onderzoek niet nodig en kan met weinig werk de conclusie getrokken worden dat waterkrachtwinning te Heerewaarden volgens de onderzochte principes niet in aanmerking komt voor realisatie.

#### B. Kort verslag resultaten van het verrichtte onderzoek, conclusies.

Na voorgaande uiteenzetting van de onderzochte zaken en de methode van onderzoek, zal nu in het kort een samenvatting van de resultaten plaatsvinden.

Begonnen wordt met de resultaten uit deel 3 van dit onderzoek, waarin de rentabiliteit van een aantal waterkrachtwinningsmogelijkheden te Heerewaarden onderzocht is op grond van alleen de directe kosten die hiervoor gemaakt moeten worden en zonder het in rekening brengen van eisen die nationale belangen aan het gebruik van de onderzochte centrale varianten zullen stellen. Hierna zullen deze resultaten nog eens bezien worden met de resultaten uit deel 2 samen, welke laatste resultaten de vooralsnog buiten beschouwing gelaten indirecte kosten en beperkende eisen t.a.v. het gebruik van een centrale betreffen, die voortkomen uit een globaal onderzoek naar de landelijke belangen die in het geding zijn wanneer men over zou gaan tot plaatsing van centrale varianten zoals die aan de orde gekomen zijn. Uit het totaal zal tenslotte een conclusie getrokken worden.

In de paragrafen 3.3.4 en 3.3.5 zijn mogelijkheden voor accumulatie en combinatie met windkracht aan de orde gekomen. Daar bleek met een eenvoudige beschouwing dat deze zaken in dit specifieke geval slechts extra kosten met zich mee zullen brengen terwijl er vrijwel geen sprake is van extra opbrengsten, reden om deze zaken verder buiten beschouwing te laten. In hoofdstuk 3.5 is de rentabiliteit van een op zichzelf staande centrale beschouwd, waarbij alleen energie geproduceerd wordt door gebruik te maken van het in de omgeving van Heerewaarden aanwezige verval tussen Waal en Maas. Hiertoe zijn in voorgaande hoofdstukken berekeningen uitgevoerd naar de grootte van het te verwachten verval, de invloed hierop van de centrale werking zelf, schematisaties van te verwachten kosten etc.. De berekende rentabiliteit is gebaseerd op uitgangs-

punten die ook door de heer van Bochove in zijn afstudeerwerk gehanteerd zijn teneinde de hier berekende resultaten te kunnen vergelijken met zijn resultaten voor de locatie Grave (zie lit.(3) bij deel 3). In paragraaf 3.2.1 is een prioriteitenlijst opgesteld voor reeds onderzochte locaties, waarin Lith en Grave de laagste prioriteit voor realisatie blijken te hebben. Van Bochove berekende voor Grave een KWh-prijs van 12 cent/Kwh.; in hoofdstuk 3.5 blijkt de Kwh-prijs voor Heerewaarden in het meest gunstige geval nog 18 à 19 cent/Kwh. te bedragen. Daarbij is dan ook nog voorbijgegaan aan zeker te verwachten indirecte kosten en beperkende eisen t.a.v. het gebruik van de centrale.

In hoofdstuk 3.6 is de rentabiliteit voor suppletie aan een centrale bij de stuw te Lith beschouwd. Uitgangspunt is een centrale naar het model dat de heer van Terwisga in zijn afstudeerwerk (lit.(12) bij deel 3) onderzocht heeft, met deze verandering dat voor de momenten van onvolledig benutten van de centrale-capaciteit nu gebruik gemaakt wordt van het verval tussen Waal en Maas om te suppleren. Ondanks alle gunstige uitgangspunten voor deze berekening, blijkt de rentabiliteit van de suppletie slecht te zijn: in het gunstigste geval een KWh-prijs van 24 à 25 cent/KWh. voor de suppletie-energie. Ook in dit hoofdstuk is voorbijgegaan aan indirecte kosten en beperkende eisen .

In deel 2 van dit onderzoek is door de heer Nieuwpoort aangetoond dat de eisen die nationale belangen met zich meebrengen er zeker toe zullen leiden dat de waterkrachtwinning met behulp van het verval tussen Waal en Maas slechts de helft van de theoretisch mogelijke tijd of nog minder toegestaan is. Ten aanzien van de indirecte kosten voor de centrale zijn hier geen getallen aangegeven - er is slechts opgemerkt dat deze negatief op de rentabiliteit uitwerken.

Rekening houdend met al deze resultaten, kan geconcludeerd worden dat alle in deel 3 onderzochte mogelijkheden om het verval tussen Waal en Maas te gebruiken voor waterkrachtwinning zeer waarschijnlijk geen goedkopere energie zullen opleveren dan energie tegen 25 à 30 cent/KWh.. (bijv. 18 cent/KWh. wordt 36 cent/KWh. als slechts de helft van de tijd geproduceerd wordt en zelfs 72 cent/KWh. wanneer de indirecte kosten evengroot zijn als de directe kosten (niet onwaarschijnlijk gezien de grote invloed op landelijke belangen die de onderzochte waterkrachtwinningsmogelijkheid met zich meebrengt)). Dergelijke prijzen kunnen niet concurreren met de prijzen voor andere locaties; zelfs in absolute zin bezien zijn zij nog veel te hoog om van een reële energiewinningsmogelijkheid te spreken. De conclusie luidt hier dan ook : alle onderzochte centralevarianten zijn te onrendabel om zelfs maar diepgaander onderzoek te rechtvaardigen.

#### C. Aanduiding niet onderzochte mogelijkheden, korte beschouwing hiervan.

In dit onderzoek zijn een aantal mogelijkheden, alle gelegen op het vlak van

onderbrenging van de beschouwde waterkrachtmogelijkheden in een groter multi-purpose verband, niet aan de orde gekomen. Door een centrale, gekoppeld (suppletie) of niet gekoppeld (onafhankelijk), onder te brengen in een groter project kan de rentabiliteit van die centrale op een aantal manieren verbeteren:

1. Verlaging van de vaste kosten doordat delen van de hiermee betaalde constructies voor meer doeleinden gebruikt worden en de kosten evenredig hierover verdeeld worden.
2. Verlaging van de variabele kosten door verdeling hiervan over meer belangen die hiermee gediend zijn.
3. Verhoging van de opbrengsten door de centrale voor meer dan één doel te gebruiken.

In dit onderzoek zijn centralevarianten beschouwd in de omgeving van Heerewaarden die alle gebaseerd zijn op gebruikmaking van het verval tussen Waal en Maas ter plaatse. Deze varianten kunnen in twee hoofdgroepen onderverdeeld worden:

- a. Een centrale die uitsluitend energie produceert door gebruikmaking van het verval tussen Waal en Maas (onderzocht in hoofdstuk 3.5).
- b. Een centrale die hoofdzakelijk gebruik maakt van het verval bij de stuw te Lith en bij onvolledig benutten van de geïnstalleerde capaciteit gesuppleerd wordt met Waalwater waarbij het verval tussen Waal en Maas benut wordt. In hoofdstuk 3.6 is de rentabiliteit van de suppletie onderzocht, waarbij voor de rentabiliteit van het gehele centralecomplex er vanuit gegaan is dat de rentabiliteit van de energiewinning uit het verval bij de stuw te Lith onveranderd blijft, ongeacht of er al dan niet gesuppleerd wordt.

Door de mogelijkheden 1 t/m 3 voor verbeteren van de rentabiliteit door onderbrenging van de onderzochte centralevarianten in multi-purpose projecten te bezien voor zowel de hoofdgroepen a als b is een snel overzicht van enige mogelijkheden in de praktijk te verkrijgen.

- a,1 : Besparen op de vaste kosten van een ongekoppelde centrale. Hier liggen geen reële mogelijkheden; de constructies die deze kosten met zich meebrengen betreffen het centralegebouw zelf en de aansluitingen aan de toe- en afvoerkanalen, turbines, hulpapparatuur t.b.v. de waterkrachtwinning e.d.. Voor andere doeleinden dan waterkracht kunnen deze constructies niet dienen.
- a,2 : Besparen op de variabele kosten van een ongekoppelde centrale. Hier liggen mogelijkheden, zij het dat de winst niet spectaculair zal zijn. De variabele kosten betreffen in dit geval de kosten van toe- en afvoerkanalen, aansluitingen hiervan aan Waal en Maas, dijken langs de kanalen, evt. kruisingen van bestaande infrastructuur en de kanalen. Door deze za-

ken voor meer doeleinden te gebruiken dan waterkracht alleen, is het mogelijk het aandeel van de variabele kosten voor de waterkrachtdoeleinden te reduceren. Een goede mogelijkheid hiertoe is de combinatie van de beschouwde centrale met een 2<sup>e</sup> Maas-Waal kanaal bij St. Andries. Hierop wordt later teruggekomen wanneer de mogelijkheden van deze combinatie voor alle centralevarianten centraal besproken zal worden. Hier zij nog vermeld dat de winst niet spectaculair zal zijn voor de centralevariant onder a.: de variabele kosten bedragen hier ca. 25% van de totale kosten en bij de berekening van de gunstigste prijs van 18 à 19 cent/KWh in hoofdstuk 3.5 is hiervan slechts 75% in rekening gebracht zodat hier de variabele kosten slechts 20% van de totale kosten uitmaken. Gesteld dat in geval van combinatie met een 2<sup>e</sup> Maas-Waal kanaal hiervan nog 5% zal resteren (dus een kostenverlaging voor de centrale van 15%), dan zal de nu optimale KWh-prijs in het gunstigste geval nog 15 à 16,5 cent/KWh bedragen, hetgeen nog steeds te onrendabel is om tot realisatie van een dergelijke centrale over te gaan.

- a,3 : Gebruik van de centrale voor meer doeleinden. Een mogelijkheid is bijv. de centrale tevens een museumfunctie toe te kennen; waarschijnlijk zal dit echter niet veel opleveren. Een andere mogelijkheid is de centrale tevens in te richten als mogelijkheid om de waterstanden, afvoeren, stoffenconcentraties van Waal en Maas benedenstrooms van St. Andries te reguleren. Hiertoe moet het dan mogelijk zijn onafhankelijk van het aanwezige verval (dus op elk gewenst moment) een bepaald debiet van Waal naar Maas of van Maas naar Waal te doen stromen. Enerzijds kan met voordeel gebruik gemaakt worden van het aanwezige verval, maar er zullen anderzijds zeker extra pompen geïnstalleerd moeten worden; tevens moeten de geïnstalleerde turbines dan in twee richtingen kunnen werken, van Waal naar Maas als gewone turbine en van Maas naar Waal als pomp. Het pompen kost energie, het gebruik als turbine levert energie op. Al met al is hier dan al sprake van een geheel ander model centrale waarvoor een andere rentabiliteitsberekening geldt. Een zinnige uitspraak over de rentabiliteit van een dergelijk multi-purpose turbine/pomp complex is zonder verder onderzoek niet te doen. Dit eventuele onderzoek wordt overgelaten aan anderen.
- b,1 : In paragraaf 3.3.3 zijn de gehanteerde kostenramingen voor de extra te maken kosten om suppletie aan een centrale bij de stuw te Lith mogelijk te maken omschreven. Deze kosten bestaan geheel uit variabele kosten, de vaste kosten voor centralegebouw, turbines etc. zijn niet voor rekening van de suppletie aangenomen en evt. aanpassingskosten om de centrale aan te passen aan de mogelijkheid van suppletie zijn verwaarloosd. In deze categorie valt dan ook niets te besparen.
- b,2 : Besparing op variabele kosten van de suppletie. Hier liggen goede moge-

lijkheden waarbij wellicht grote winst gemaakt kan worden. Ook hier is de combinatie met een 2<sup>e</sup> Maas-Waal kanaal de aangewezen mogelijkheid om de kosten voor de suppletie te drukken. In vergelijking met de uitspraken onder a,2 omtrent de geringe winst die geboekt kan worden, ziet het plaatje er hier veel gunstiger uit. De kosten voor de suppletie zijn (in de gehanteerde berekeningswijze) vrijwel alleen de kosten van kanalen, dijken, aansluitingen van de kanalen aan de rivieren etc.; allemaal kosten die ook op rekening van een 2<sup>e</sup> Maas-Waal kanaal kunnen komen! Met de redenatie 'als er toch al kanalen komen voor een 2<sup>e</sup> Maas-Waal kanaal, dan kan met weinig extra kosten dit kanaal ook voor waterkrachtdoeleinden aangepast en gebruikt worden' ligt hier wellicht toch nog een reële mogelijkheid om de waterkrachtwinning in de omgeving van Heerewaarden met gebruikmaking van het verval tussen Waal en Maas te realiseren. In zijn afstudeerwerk 'Kanaalverbinding Maas-Waal' aan de TU Delft (1982) heeft de heer Smits mogelijkheden onderzocht om het bestaande Maas-Waal kanaal te ontlasten. In zijn onderzoek kwam hij tot een aantal mogelijkheden om dit te realiseren. Zijn alternatieven en conclusies hierbij zijn in deze eindevaluatie opgenomen als bijlage 41. De lezer kan hier voor zichzelf nagaan dat de heer Smits de twee mogelijkheden van een 2<sup>e</sup> Maas-Waal kanaal bij de sluis van St. Andries en net bovenstrooms van de stuw te Lith beide als reële mogelijkheden meegenomen heeft, waarbij later zijn keuze viel op een 2<sup>e</sup> Maas-Waal kanaal tussen een plaats net bovenstrooms van de stuw te Lith en een plaats westelijk van Tiel op de Waal. Dit kanaal heeft hij ook in een nader onderzoek verder uitgewerkt. Het mag duidelijk zijn dat juist een zodanig kanaal uitstekend van pas kan komen als toevoerkanaal voor een suppletie aan een centrale bij de stuw te Lith, naast de functie als scheepvaartkanaal. Zonder verder onderzoek valt overigens nog geen echte uitspraak te doen, behalve dan de uitspraak dat zo op het eerste gezicht hier wellicht goede mogelijkheden liggen.

- b,3 : Gebruik van de voor suppletiedoeleinden gebouwde constructies en infrastructuur voor andere doeleinden. Afgezien van de reeds besproken mogelijkheid van combinatie met de plannen voor een 2<sup>e</sup> Maas-Waal kanaal liggen hier geen reële mogelijkheden.

In het voorgaande zijn systematisch een aantal mogelijkheden om de rentabiliteit van de waterkrachtwinning met het verval tussen Waal en Maas te verbeteren aan de orde gekomen. In het volgende afsluitende gedeelte van deze eindevaluatie zullen hiermee nog enkele aanbevelingen voor verder onderzoek volgen.

#### D. Aanbevelingen , afsluiting van het onderzoek.

In het voorgaande is naar voren gekomen dat alle in dit onderzoek onderzochte mogelijkheden om waterkracht te winnen in de omgeving van Heerewaarden met behulp van het ter plaatse aanwezige verval tussen Waal en Maas om meer dan één reden niet rendabel blijken te zijn, zelfs in die mate dat diepgaander onderzoek naar de onderzochte mogelijkheden niet nodig is. Terugkomend op de vraagstelling van het FNV (zie deel 1, inleiding) kan geantwoord worden dat in de hier onderzochte richting geen mogelijkheden liggen. Er resteren daarmee nog een aantal hier niet onderzochte mogelijkheden, waarnaar nog onderzoek kan plaatsvinden:

1. De centrale bij de stuw te Lith zonder suppletie, zoals die onderzocht is door de heer van Terwisga (lit. 12 bij deel 3), lijkt een redelijke kans te bieden op daadwerkelijke realisatie van de plannen. Diepgaander onderzoek hiernaar is wenselijk. (Haskoning heeft hiernaar ook onderzoek verricht en op dit moment is hiernaar nog onderzoek gaande vanuit de betrokken Elektriciteitsbedrijven).
2. De mogelijkheid van in de Waal drijvende turbines bij de brug te Zaltbommel is nog niet onderzocht. Misschien liggen hier mogelijkheden; een onderzoek zal dit moeten uitwijzen.
3. Het idee van onderbrenging van waterkrachtwinning in de omgeving van Heerewaarden in een multi-purpose project, zoals in het kort afgetast is in gedeelte C van deze eindexamen, lijkt een aantal mogelijkheden te bieden. Eén daarvan is het gebruik van een onafhankelijke centrale (alleen gebruikmakend van het verval tussen Waal en Maas) voor rivierregulering en waterkracht gecombineerd (zie onder a,3 in gedeelte C hiervoor). Deze mogelijkheid schijnt de schrijver niet erg realistisch toe, zonder nader onderzoek is een goede uitspraak echter niet mogelijk. Verreweg de beste mogelijkheid lijkt vooralsnog de combinatie die onder b,2 naar voren kwam: een combinatie van een 2<sup>e</sup> Maas-Waal kanaal, om het bestaande Maas-Waal kanaal te ontlasten, met een centrale bij de stuw te Lith die energie produceert met zowel het verval bij de stuw te Lith als het verval tussen Waal en Maas dat nu door de aanwezigheid van het nieuw aan te leggen kanaal goedkoop bereikbaar voor suppletie wordt (dit i.t.t. de suppletie die in deze studie onderzocht is). Onderzoek hiernaar zal zeer omvangrijk zijn: alle betrokken aspecten (bijv. ook de nationale gevolgen waaraan in dit onderzoek vooralsnog voorbij gegaan is) zullen in één, grootschalige rentabiliteitsbeschouwing ondergebracht moeten worden. Gezien de grote hoeveelheid betrokken belangen zal dit geen kleinigheid zijn. Niettemin kan hier dit onderzoek nog wel als aanbevelenswaardig gelden, zo op het eerste zicht liggen hier mogelijkheden.

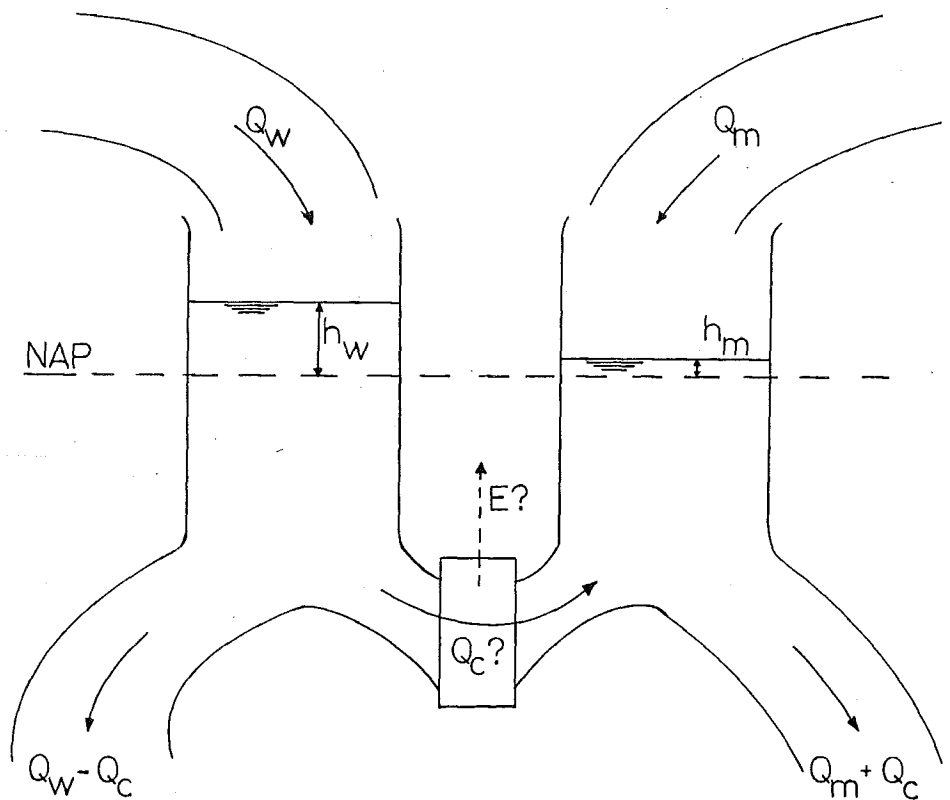
# WITTE STEENKOOL TUSSEN WAAL EN MAAS?

14.16.b

Verkennd onderzoek naar de technische en economische haalbaarheid van de winning van energie uit waterkracht in de omgeving van Heerewaarden.

R.Nieuwpoort & M.Hauer

## BIJLAGEN





VERKENNEND ONDERZOEK NAAR DE TECHNISCHE EN ECONOMISCHE  
HAALBAARHEID VAN DE WINNING VAN ENERGIE UIT WATERKRACHT  
IN DE OMGEVING VAN HEEREWAAARDEN (ST.ANDRIES).

BIJLAGEN

Door : R.Nieuwpoort en M.Hauer

Begeleider : de heer Bouwmeester, vakgroep Waterbouwkunde.

TU Delft , februari 1987.

LIJST VAN BIJLAGEN

Nummer :

Omschrijving :

- |      |   |
|------|---|
| 121  | Schematisch overzicht van invloeden op landelijke belangen door water van Waal naar Maas over te brengen te St.Andries.         |
| 122  | Schematisch overzicht van invloeden op locale belangen door water van de Waal naar de Maas over te laten stromen te St.Andries. |
| 231  | Wet Verontreiniging Oppervlaktewateren.   |
| 232  | Europees Handvest voor het water van de Raad van Europa.  |
| 2421 | Hygienische betrouwbaarheid van drinkwater.   |
| 2441 | Kwaliteitseisen voor irrigatiewater.  |
| 2451 | Kwaliteitseisen voor openbaar recreatiewater.   |
| 2471 | Kwaliteitseisen voor zoetwatervissen.   |
| 2491 | Maatschepen en hun karakteristieke afmetingen.  |
| 2511 | De samenstelling van het Waalwater bij Tiel in de jaren 1980 t/m 1983.  |
| 2512 | Grenswaarden voor diverse verontreinigingen in het Rijnwater bij gebruik hiervan voor drinkwaterdoeleinden.                     |
| 2513 | Cadmium-,Chroom-,Lood-,Koper- en Kwikgehalte van het Rijnwater bij de Duits-Nederlandse grens 1973-1983.                        |
| 2514 | Orthofosfaatgehalte van het Rijnwater bij de Duits-Nederlandse grens 1946-1983.   |
| 2531 | Bekende incidentele verontreinigingen van de Rijn in de jaren 1980 t/m 1983.  |
| 2621 | Bekende incidentele verontreinigingen van de Maas in de jaren 1980 t/m 1983.  |
| 2611 | De samenstelling van het Maaswater bij Heusden in de jaren 1980 t/m 1983.   |
| 271  | Overzicht berekeningen in deel 2.   |

LIJST VAN BIJLAGEN (Vervolg)

<u>Nummer:</u>	<u>Omschrijving:</u>
3211	Vergelijking resultaten recente onderzoeken naar potentieele locaties voor waterkrachtwinning.
3251	Schematisch overzicht uitvoering centralecomplex.
3321	Plattegrond locatie centrale ,alternatieventracé's
3322	Plattegrond omgeving Heerewaarden,mogelijke kanaal-tracé's,wegennet ter plaatse.
3341	Illustratie maximaal mogelijk verval bij gebruik van accumulatiebekkens.
3342	Afleiding formules voor accumulatiesysteem uit paragraaf 3.3.4
3421	Kaart:stroomgebieden Maas en Rijn.
3422	Kaart:de Rijn in Nederland
3431	Grafieken:gemiddelde jaarafvoeren Maas en Rijn in de jaren 1972 t/m 1981
3432	Grafieken:gemiddelde maandafvoeren van Maas en Rijn in 1979 en 1980.
3433	Grafieken:afvoerverlopen Maas en Rijn in 1979.
3434	Grafieken:afvoerverlopen Maas en Rijn in 1980.
3435	Grafieken:jaargemiddelde waterstanden Waal en Maas te St.Andries,verval te St.Andries en 5%,50%,95% onderschreden waarden hiervoor;in de jaren 1972 t/m 1981.
3436	Grafieken:waterstanden Waal en Maas te St.Andries en verval hiertussen in 1979;maandgemiddeldes hiervoor.
3437	Grafieken:dagelijkse meetwaarden voor de waterstanden van Waal en Maas te St.Andries en het verval hiertussen,maart 1979.
3438	Opmerkingen bij berekening gemiddelden voor afvoeren en waterstanden.
3441	Grafieken:empirisch opgestelde Q-h relatie tussen de afvoer te Lith en de Maaswaterstand te St.Andries.
3442	Afleiding relatie tussen de afvoer te Lobith en de Waalafvoer.
3443	Tabel:halfmaandelijke 50% onderschrijdingswaarden voor de afvoer te Lobith (Rijn),via betrekkinglijnen afgeleide hiermee corresponderende waarden voor de Waalwaterstand te St.Andries.
3444	Grafiek:de op bijlage 3443 afgeleide Q-h relatie tussen de Rijnafvoer te Lobith en de Waalwaterstand te St.Andries.

LIJST VAN BIJLAGEN (Vervolg)

<u>Nummer:</u>	<u>Omschrijving:</u>
3445	Tabel:5%,50% en 95% onderschreden maandgemiddeldes voor de afvoeren te Lobith en Lith, de Waal- en Maaswaterstanden te St.Andries en het verval hiertussen.
3446	De waarden uit bijlage 3445 grafisch weergegeven.
3447	De maandgemiddelden voor het verval te St.Andries in een 5%,50% en 95% onderschreden jaar grafisch weergegeven.
3451	Gemeten verval te St.Andries in 1979.
3452	Onderschrijdingslijnen voor het verval,5%,50% en 95% onderschreden jaar en 1979.
3453	Gemeten maandgemiddeldes voor het verval en de spreiding tussen maximum en minimum per maand hierin;1979.
3454	Maandonderschrijdingslijnen voor de gemeten vervallen in de maanden februari,maart,october en november 1979.
3455	Jaaronderschrijdingslijn voor de gemeten vervallen in 1979;voorgestelde gemiddelde jaaronderschrijdingslijnen voor het verval.
3456	Onderschrijdingslijnen voor de afvoer te Lith in de jaren 1973,1974,1976,1979 en gemiddeld over 1911-1960.
3457	Onderschrijdingslijnen voor de afvoer te Lobith in 1979 en gemiddeld over de jaren 1911-1960.
3461	Vergelijking berekende en gemeten waarden voor de maandgemiddeldes van de Waal- en Maaswaterstand te St.Andries en het verval hiertussen in 1979.
3462	De waarden van bijlage 3461 grafisch weergegeven.
3463	Voorgestelde onderschrijdingslijnen voor het verval, spreidingscategorie 1 (grote spreiding),jaargemiddelden voor het verval 215,220,225 en 230 cm.
3464	Voorgestelde onderschrijdingslijnen voor het verval, spreidingscategorie 2 (kleine spreiding),jaargemiddelden voor het verval 215,220,225 en 230 cm.
3465	Voorgestelde onderschrijdingslijnen voor het verval, spreidingscategorie 3 (gemiddelde spreiding),jaargemiddelde voor het verval 215,220,225 en 230 cm.
3471	Voorbeeld morfologisch proces.
3472	Schematisatie morfologieberekening met onderschrijdingslijnen.
3473	Schematisatie morfologieberekening met jaarlijkse afvoer- verlopen.
3474	Gemeten dwarsprofielen Maas tussen kmr. 202 en kmr. 212.
3475	Schematisatie Maas-dwarsprofiel.
3476	Afleiding verband tussen stroomvoerende breedte Maas en Maasafvoer ter plaatse van St.Andries.

LIJST VAN BIJLAGEN (Vervolg)

<u>Nummer:</u>	<u>Omschrijving:</u>
3477	Verband tussen Maasafvoer en bodemruwheid C.
3478	Berekening verband tussen Maasafvoer en waterspiegelverhang i te St.Andries.
3479	Het verband van bijlage 3479 grafisch weergegeven,opstelling schematisch verband tussen Maasafvoer en het verhang i van de Maas.
34710	Schatting bodemhelling $i_b$ van de Maas.
34711	Overzicht korreldiameters Maasbodem materiaal.
34712	Overzicht schematisatie Maas-regime gedeelte Lith-Hollands Diep.
34713	Verbanden tussen Waalafvoer en Waalverhang i en bodemruwheid C van de Waal te St.Andries.
34714	Berekening verband tussen Waalafvoer en stroomvoerende breedte van de Waal te St.Andries.
34715	Verband tussen stroomvoerende breedte Waal en Waalwaterstand te St.Andries,grafiek.
34716	Verband tussen stroomvoerende breedte Waal en Waalafvoer te St.Andries,grafiek;opstelling schematisch verband hiervoor.
34717	Verloop korreldiameters bodemmateriaal langs de Waal.
34718	Overzicht schematisatie Waalregime gedeelte St.Andries-Hollands Diep.
34719	Overschrijdingslijnen Maas- en Waalafvoeren + centralevarianten,tabel.
34720	Berekening waterstanden en sedimenttransporten,schematisatie met overschrijdingslijnen,Maas (uitgangssituatie + centralevarianten 1 & 2).
34721	Vervolg berekeningen van bijlage 34720 (centralevarianten 3 & 4).
34722	Berekening waterstanden en sedimenttransporten,schematisatie met overschrijdingslijnen,Waal (uitgangssituatie + centralevarianten 1 & 2).
34723	Vervolg berekeningen bijlage 34722 (centralevariant 3 & 4).
34724	Overzicht van de in bijlages 34719 t/m 34723 berekende waterstandsverschillen voor de diverse centraledebieten.
34725	Totaaloverzicht resultaten morfologie berekeningen volgens schematisatie met overschrijdingslijnen:waterstandsverschillen,sedimenttransportverschillen,bodemveranderingen,vervalverkleining direct en na 40 jaar.
34726	Overzicht 5%,50% en 95% onderschreden jaarverlopen voor Waal- en Maasafvoer (maandgemiddeldes),voor het bruto verval;berekende maandgemiddelde corresponderende centraledebieten hierbij voor de aangenomen centralevariant.

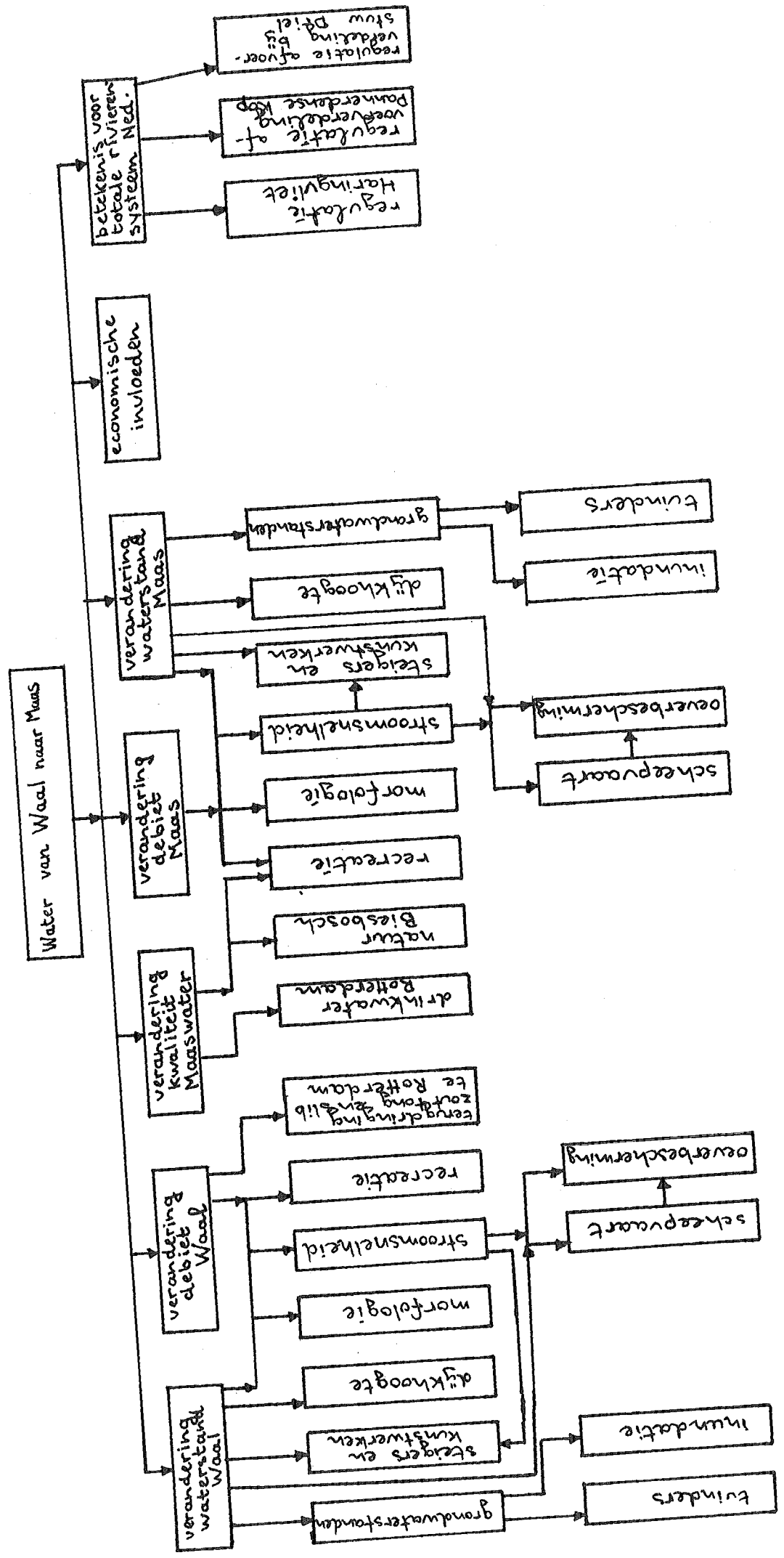
LIJST VAN BIJLAGEN (Vervolg)

<u>Nummer:</u>	<u>Omschrijving:</u>
34727	Berekening waterstanden en sedimenttransporten, schematisatie afvoer met onderschreden jaarverlopen; berekeningen Maas - zonder centralewerking.
34728	Berekening waterstanden en sedimenttransporten, schematisatie afvoer met onderschreden jaarverlopen; berekeningen Maas - met centralewerking.
34729	Berekening waterstanden en sedimenttransporten, schematisatie afvoer met onderschreden jaarverlopen; berekeningen Waal - zonder centralewerking.
34730	Berekening waterstanden en sedimenttransporten, schematisatie afvoer met onderschreden jaarverlopen; berekeningen Waal - met centralewerking.
34731	Berekening maandelijkse centrale debieten zoals die zouden zijn opgetreden voor de aangenomen centrale variant in de jaren 1979 en 1976.
34732	Berekening waterstanden en sedimenttransporten, zonder centralewerking, voor de gemeten afvoer verlopen in de jaren 1979 en 1976.
34733	Berekening waterstanden en sedimenttransporten, met centralewerking, voor de gemeten afvoer verlopen in de jaren 1979 en 1976.
34734	Overzicht berekende waterstandsverschillen voor de schematisatie met 5%, 50% en 95% onderschreden jaarverlopen voor de afvoeren.
34735	Overzicht berekende waterstandsverschillen voor de schematisatie met gemeten afvoer verlopen in de jaren 1979 en 1976.
34736	Totaaloverzicht der berekende waterstandsveranderingen en bodemveranderingen voor de schematisaties met onderschreden jaarverlopen en gemeten verlopen voor de afvoer in de jaren 1979 en 1976. Bepaling constante a voor de vervalverkleiningsformule.
34737	Bodemontwikkeling Maas in de tijd ten gevolge van de invloed van het grotendeels wegvallen van het getij op de Maas na het afsluiten van het Haringvliet in 1970; ontleend aan het afstudeerwerk van H. Koskamp (lit. (11)).
3481	Voor de rentabiliteitsberekening te beschouwen onderschrijdingslijnen voor het verval te St. Andries + correcties hierop voor de optredende vervalverkleining. Overzicht.
3511	Beschrijving gebruikte BASIC-computerprogramma ten behoeve van de rentabiliteitsberekening voor het geval van een ongekoppelde centrale te St. Andries.
3512	Beschrijving en invoergegevens voor de gevallen 1 t/m 16; zie ook paragraaf 3.4.8 en bijlage 3481.
3521	Resultaten rentabiliteitsberekening voor diverse turbine potentieelen bij geval no. 1, ongekoppelde centrale.

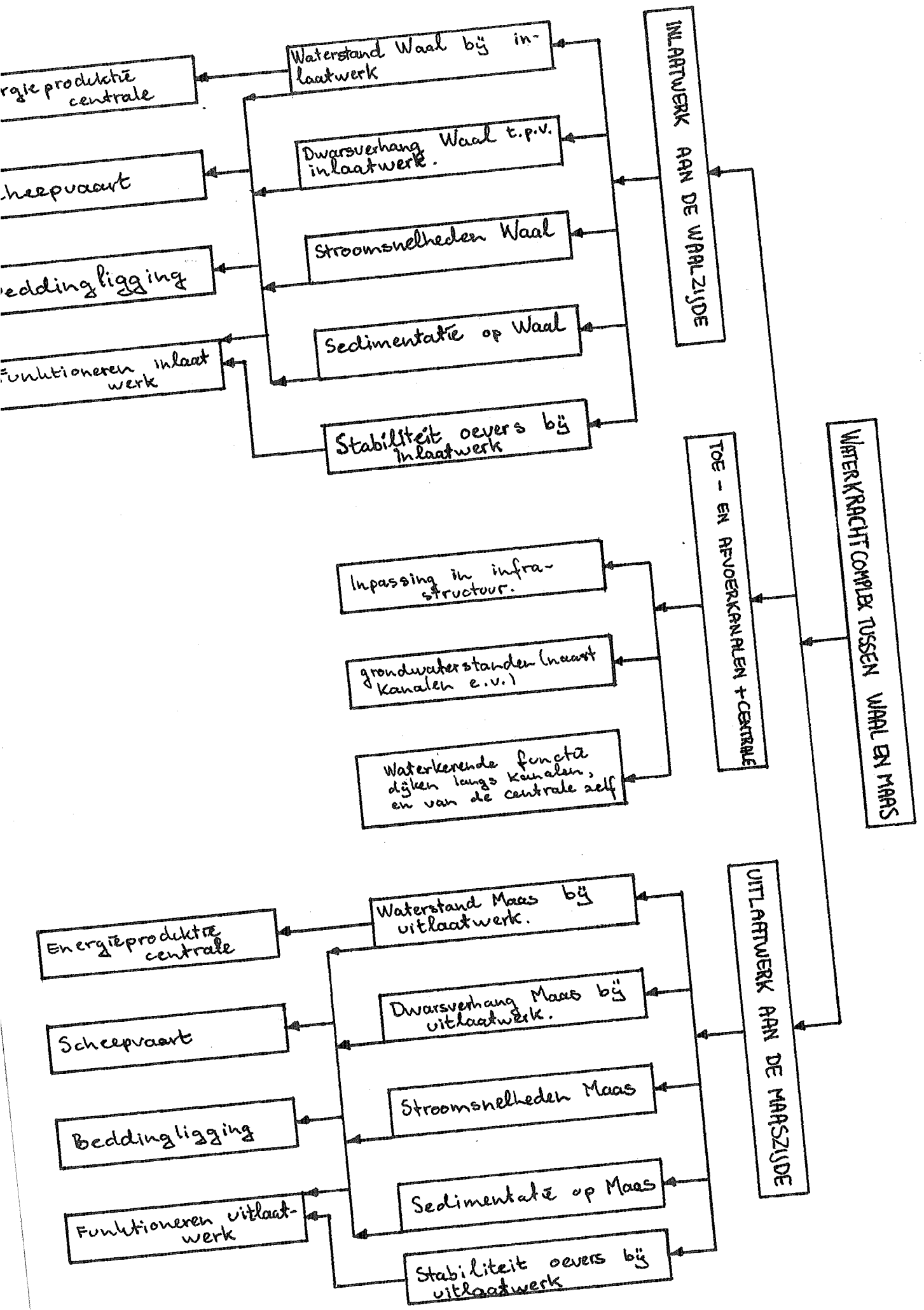
LIJST VAN BIJLAGEN (Vervolg)

<u>Nummer:</u>	<u>Omschrijving:</u>
3522	Resultaten rentabiliteitsberekening voor diverse gevallen 1 t/m 16 bij een turbinepotentieel van $n=1$ met $D=5$ m.; en voor enkele, andere relatief gunstige potentieelen voor het meest gunstige geval no.13., ongekoppelde centrale.
3621	Berekening maximaal bruikbaar deel van een gekoppelde centrale voor suppletie en berekening maximale suppletie debieten in een gemiddeld jaar.
3622	Suppletie energie productie bij verschillende ontwerpdebieten $Q_{wa}$ , voor tracé 6 in geval $Q_{1a} = 340$ m <sup>3</sup> /s.
3623	Suppletie energie productie bij verschillende ontwerpdebieten $Q_{wa}$ , voor tracé 6 in geval $Q_{1a} = 425$ m <sup>3</sup> /s.
3624	Suppletie energie productie bij verschillende ontwerpdebieten $Q_{wa}$ , voor tracé 6 in geval $Q_{1a} = 500$ m <sup>3</sup> /s.
3625	Suppletie energie productie bij verschillende ontwerpdebieten $Q_{wa}$ , voor tracé 5 in geval $Q_{1a} = 340$ m <sup>3</sup> /s.
3626	Suppletie energie productie bij verschillende ontwerpdebieten $Q_{wa}$ , voor tracé 5 in geval $Q_{1a} = 425$ m <sup>3</sup> /s.
3627	Suppletie energie productie bij verschillende ontwerpdebieten $Q_{wa}$ , voor tracé 5 in geval $Q_{1a} = 500$ m <sup>3</sup> /s.
3628	Overzicht suppletie energie producties, kosten en rentabiliteit voor de diverse onderzochte mogelijkheden, centrale met koppeling.
3629	Herberekening kWh-prijs voor het gunstigste geval op bijlage 3628 ( $Q_{1a} = 500$ m <sup>3</sup> /s ; $Q_{wa} = 150$ m <sup>3</sup> /s ; tracé 6) met herziene vervalverkleining.
41	Alternatieve scheepvaartroutes teneinde het Maas-Waalkanaal te ontlasten.

---







# Wet Verontreiniging Oppervlaktewateren

Wij JULIANA, bij de gratie Gods, Koningin der Nederlanden, Prinses van Oranje-Nassau, enz., enz., enz.

Allen, die deze zullen zien of horen lezen, saluut! doen te weten:

Alzo Wij in overweging genomen hebben, dat regelen dienen te worden gesteld tot het tegengaan en tot het voorkomen van verontreiniging van oppervlaktewateren;

Zo is het, dat Wij, de Raad van State gehoord, en met gemeen overleg der Staten-Generaal, hebben goedgevonden en verstaan, gelijk Wij goedvinden en verstaan bij deze:

## HOOFDSTUK I

### Algemene bepalingen

**Artikel 1.** 1. Het is verboden zonder vergunning met behulp van een daarvoor bestemd werk afvalstoffen, verontreinigende of schadelijke stoffen, in welke vorm ook, te brengen in oppervlaktewateren.

2. Het verbod, bedoeld in het eerste lid, geldt niet voor een lozing met behulp van een werk dat op een ander werk is aangesloten, mits de door de beheerder van dat andere werk gegeven voorschriften bij de lozing worden nageleefd.

3. Wij kunnen bij algemene maatregel van bestuur bepalen dat het zonder vergunning verboden is de in het eerste lid bedoelde stoffen op andere daarbij aan te geven wijze dan met behulp van een daarvoor bestemd werk in oppervlaktewateren te brengen. Bij algemene maatregel van bestuur kunnen Wij mede bepalen dat het brengen op welke wijze ook van daarbij aan te geven soorten van stoffen als bedoeld in het eerste lid in oppervlaktewateren is verboden. Voor zover hierin door Ons niet bij algemene maatregel van bestuur is voorzien, kunnen provinciale staten bepalen dat het zonder vergunning verboden is de in het eerste lid bedoelde stoffen op andere aan te geven wijze dan met behulp van een daarvoor bestemd werk te brengen in oppervlaktewateren, als bedoeld in artikel 3, tweede lid.

4. Het is verboden zonder vergunning van of vanwege Onze Minister van Verkeer en Waterstaat stoffen als bedoeld in het eerste lid, die vanuit of over het grondgebied van Nederland daartoe zijn aangevoerd, te brengen in het water van de volle zee binnen een door Ons te bepalen afstand uit de kust.

5. Aan een vergunning mogen voorschriften worden verbonden tot bescherming van de belangen waarvoor het vereiste van vergunning is gesteld.

**Artikel 2.** 1. Indien uit enig oppervlaktewater verontreinigd of schadelijk water in een ander oppervlaktewater wordt geloosd, hetzij door natuurlijke afstroming, hetzij op kunstmatige wijze, kan het met

betrekking tot het ontvangende water uit hoofde van artikel 3 bevoegde gezag aan het openbaar lichaam, dat belast is met de zorg voor de goede hoedanigheid van het lozende water bij daartoe strekkende beschikking een verklaring van ongenoegzaamheid uitreiken.

2. Indien de kwaliteit van een oppervlaktewater waarvoor een verklaring van ongenoegzaamheid is uitgereikt, genoegzaam is verbeterd, dan wel de uitvoering van de daartoe tot stand te brengen werken op genoegzame wijze is ter hand genomen, wordt deze verklaring op verzoek van het openbaar lichaam waaraan zij is uitgereikt, ingetrokken.

## HOOFDSTUK II

### De vergunning; de verklaring

**Artikel 3.** 1. Ten aanzien van oppervlaktewateren onder beheer van het Rijk, de territoriale wateren hieronder begrepen, wordt voorzover die oppervlaktewateren niet bij of krachtens een algemene maatregel van bestuur als in het tweede lid bedoeld zijn aangewezen, een vergunning als in artikel 1, eerste en derde lid bedoeld verleend, geweigerd, gewijzigd of ingetrokken, en een verklaring als in artikel 2 bedoeld uitgereikt of ingetrokken door of vanwege Onze Minister van Verkeer en Waterstaat. Tot de oppervlaktewateren onder beheer van het Rijk worden gerekend mede te behoren de met deze oppervlaktewateren in open verbinding staande havens, welke bij anderen dan het Rijk in beheer zijn, behoudens voorzover toepassing is gegeven aan artikel 4, tweede lid. In geval van twijfel wordt door Onze Minister van Verkeer en Waterstaat na overleg met gedeputeerde staten van de provincie waarin het oppervlaktewater is gelegen, beslist of er sprake is van een haven als bedoeld in de vorige zin.

2. Ten aanzien van andere dan in het eerste lid bedoelde oppervlaktewateren, alsmede ten aanzien van de in het eerste lid bedoelde oppervlaktewateren, welke daartoe na overleg met gedeputeerde staten bij of krachtens een algemene maatregel van bestuur zijn aangewezen, wordt een vergunning als in artikel 1, eerste en derde lid bedoeld verleend, geweigerd, gewijzigd of ingetrokken, of een verklaring als in artikel 2 bedoeld uitgereikt of ingetrokken, behoudens voorzover aan artikel 6, eerste lid, toepassing is gegeven door gedeputeerde staten van de provincie waarin deze oppervlaktewateren zijn gelegen.

**Artikel 4.** 1. Bij algemene maatregel van bestuur worden nadere regelen vastgesteld met betrekking tot het onderwerp dezer wet voor de in artikel 3, eerste lid, bedoelde oppervlaktewateren, alsmede voor het in artikel 1, vierde lid, bedoelde gedeelte van de volle zee.

2. Bij of krachtens algemene maatregel van bestuur kan de bevoegd-

heid tot het verlenen, weigeren, wijzigen of intrekken van een vergunning ten aanzien van de in artikel 3, eerste lid, bedoelde havens geheel of gedeeltelijk worden toegekend aan de besturen van de openbare lichamen die deze havens beheren.

3. De voordracht voor een algemene maatregel van bestuur als bedoeld in het eerste en tweede lid wordt Ons gedaan door Onze Minister van Verkeer en Waterstaat in overeenstemming met Onze Minister van Sociale Zaken en Volksgezondheid, de Raad van de Waterstaat gehoord.

**Artikel 5.** 1. Provinciale staten stellen met betrekking tot het onderwerp dezer wet onder Onze goedkeuring verordeningen vast voor de in artikel 3, tweede lid bedoelde oppervlaktewateren. In die verordeningen geven provinciale staten onder meer regelen met betrekking tot de doelmatige samenwerking op chemisch en technisch gebied. Daarbij wordt rekening gehouden met de mogelijkheid tot inschakeling van het in artikel 32 bedoelde rijksinstituut voor de afvoer van afvalwater. De verordeningen geven voorts regelen inzake van de instelling, samenstelling, taak en werkwijze van één of meer vaste commissies van advies en bijstand aan gedeputeerde staten.

2. De verordeningen, in het eerste lid bedoeld, worden niet vastgesteld dan nadat de inspecteur van de Volksgezondheid, belast met het toezicht op de hygiëne van het milieu, de besturen van waterschappen, veenschappen en veenpolders, van gemeenten, van rechtspersoonlijkheid bezittende lichamen, als bedoeld in de Wet gemeenschappelijke regelingen en van andere openbare lichamen die geacht kunnen worden bij die verordeningen belang te hebben, alsmede verdere belanghebbenden in de gelegenheid zijn gesteld van de inhoud daarvan kennis te nemen en hun bezwaren bij de provinciale staten in te dienen. Provinciale staten stellen degenen die bezwaren hebben ingediend desgewenst in de gelegenheid hun bezwaren in een daartoe te houden al dan niet openbare vergadering van een commissie uit hun midden toe te lichten.

3. Een voordracht tot een besluit tot goedkeuring van de verordeningen, als in het eerste lid bedoeld, en een voordracht tot een besluit tot onthouding van goedkeuring aan die verordeningen worden Ons gedaan door Onze Minister van Verkeer en Waterstaat in overeenstemming met Onze Ministers van Sociale Zaken en Volksgezondheid en van Binnenlandse Zaken, de Raad van de Waterstaat gehoord.

**Artikel 6.** 1. Provinciale staten kunnen in de verordeningen, bedoeld in het eerste lid van artikel 5, de bevoegdheid tot het verlenen, weigeren, wijzigen of intrekken van een vergunning geheel of gedeeltelijk toekennen, alsmede de uitvoering en handhaving van die verordeningen geheel of gedeeltelijk opdragen aan besturen van waterschappen, veenschappen en veenpolders, van gemeenten, van bepaalde rechtspersoonlijkheid bezittende lichamen als bedoeld in de Wet gemeenschappelijke regelingen en van bepaalde andere openbare lichamen.

2. Openbare lichamen, aan de besturen waarvan provinciale staten de in het eerste lid bedoelde bevoegdheid hebben toegekend, kunnen bij verordening nadere regelen stellen met betrekking tot de uitoefening van deze bevoegdheid. Deze verordeningen worden door tussenkomst van gedeputeerde staten toegezonden aan Onze Minister van Verkeer en Waterstaat.

**Artikel 7.** 1. Indien het bestuur van enig openbaar lichaam handelingen wenst te verrichten waarvoor krachtens voorschriften dezer wet een vergunning van dat bestuur zou zijn vereist, kan dat bestuur deze handelingen verrichten zonder die vergunning, doch dan stelt dat bestuur het voornemen tot deze handelingen vast bij beschikking. Daarbij wordt tevens, op overeenkomstige wijze als bij het verbinden van verplichtingen aan de vergunning zou geschieden, aangegeven op welke wijze deze handelingen zullen worden verricht.

2. Deze beschikking wordt bij gedagtekend geschrift medegedeeld aan de inspecteur van de Volksgezondheid belast met het toezicht op de hygiëne van het milieu.

**Artikel 8.** 1. Indien een vergunning wordt gevraagd of indien wordt overwogen een verleende vergunning te wijzigen of in te

trekken en het orgaan dat bevoegd is terzake te beslissen, het wenselijk acht, dat de handeling waartoe de vergunning is vereist of is verleend, verricht wordt in een oppervlaktewater ten aanzien waarvan een orgaan van een ander openbaar lichaam bevoegd is, wordt zij verleend, geweigerd, gewijzigd of ingetrokken na overleg tussen beide organen.

2. Indien het in het eerste lid bedoelde overleg niet tot overeenstemming leidt, wordt de aanvraag om vergunning geacht mede te zijn ingediend bij het andere daarbij betrokken openbaar lichaam. Het orgaan van dat andere openbaar lichaam beslist eveneens op de aanvraag.

**Artikel 9.** 1. De beschikking tot verlening, wijziging of intrekking van een vergunning of tot weigering daarvan wordt bij gedagtekend geschrift medegedeeld aan de aanvrager of de houder der vergunning, aan hen die deswege vooraf bezwaren hebben ingebracht, alsmede aan de inspecteur van de Volksgezondheid belast met het toezicht op de hygiëne van het milieu.

2. De beschikking tot uitreiking, intrekking of tot weigering van intrekking van een verklaring van ongenoegzaamheid wordt bij gedagtekend geschrift medegedeeld aan het openbaar lichaam bedoeld in artikel 2.

3. Indien en voor zover blijkt dat een houder van een vergunning door wijziging of intrekking van zijn vergunning schade lijdt, die redelijkerwijs niet of niet geheel te zijnen laste behoort te komen, zal hem een naar billijkheid te bepalen schadevergoeding worden toegekend ten laste van het openbaar lichaam, dat die beschikking in eerste aanleg heeft genomen. Het besluit inzake de toekenning van een schadevergoeding kan worden genomen hetzij bij de beschikking inzake de vergunning, hetzij bij afzonderlijke beschikking.

4. De beschikkingen, in dit artikel bedoeld, zijn met redenen omkleed.

**Artikel 10.** 1. Een beschikking als bedoeld in artikel 7 en een beschikking tot verlening of wijziging van een vergunning worden gedurende dertig dagen voor een ieder ter inzage gelegd. De ter inzagelegging vangt aan binnen tien dagen na de dagtekening van de beschikking. Tevoren wordt het tijdstip waarop de ter inzagelegging plaats vindt bekend gemaakt in een daartoe geschikt dag- of nieuwsblad. De bekendmaking van de ter inzagelegging van een beschikking genomen door of vanwege Onze Minister van Verkeer en Waterstaat geschiedt bovendien in de *Staatscourant*.

2. Het bepaalde in het eerste lid is niet van toepassing op beschikkingen betrekking hebbende op het brengen in oppervlaktewateren van huishoudelijk afvalwater van minder dan twintig personen.

### HOOFDSTUK III

#### Beroep

**Artikel 11.** 1. Tegen een beschikking als bedoeld in artikel 7 en in artikel 9, eerste lid, staat voor belanghebbende alsmede voor de inspecteur van de Volksgezondheid belast met het toezicht op de hygiëne van het milieu beroep open, voorzover het bepaalde in artikel 10, eerste lid, van toepassing is, tot aan het einde van de termijn van ter inzagelegging en anders binnen dertig dagen na de verzending van de beschikking.

2. Tegen een beschikking als bedoeld in artikel 9, tweede lid, alsmede tegen een afzonderlijke beschikking als bedoeld in artikel 9, derde lid, staat voor belanghebbende beroep open binnen dertig dagen na de verzending van de beschikking.

3. Met een beschikking inhoudende een weigering wordt een weigering om een beschikking te nemen gelijk gesteld. Het bevoegde gezag wordt geacht het nemen van een beschikking te hebben geweigerd wanneer niet binnen zes maanden, te rekenen van de verzending van de aanvraag, een beschikking is genomen, welke termijn bij een met redenen omkleed besluit eenmaal met ten hoogste zes maanden kan

worden verlengd. In dat geval staat voor de aanvrager beroep open totdat het bevoegde gezag alsnog schriftelijk op de aanvraag heeft beslist.

**Artikel 12.** 1. Een beroep krachtens artikel 11 wordt ingesteld bij gedeputeerde staten, indien het is gericht tegen een beschikking van het bestuur van een openbaar lichaam als bedoeld in artikel 6, eerste lid. Het beroep wordt ingesteld bij Ons, indien het is gericht tegen een beschikking van of vanwege Onze Minister van Verkeer en Waterstaat, van gedeputeerde staten of van het bestuur van een openbaar lichaam als bedoeld in artikel 4, tweede lid.

2. Gedeputeerde staten en, indien het beroep bij Ons is ingesteld, Onze Minister van Verkeer en Waterstaat bevestigen de ontvangst van het beroepschrift en geven van het instellen van het beroep onmiddellijk kennis aan het bestuur, dat de beschikking heeft genomen en aan de aanvrager of houder van de vergunning, indien deze niet zelf het beroep heeft ingesteld.

**Artikel 13.** 1. De door gedeputeerde staten op een ingesteld beroep genomen beslissing wordt, behoudens het bepaalde in het tweede lid van dit artikel, medegedeeld aan de belanghebbende, die het beroep heeft ingesteld, aan de aanvrager onderscheidenlijk de houder ener vergunning, aan de inspecteur van de Volksgezondheid belast met het toezicht op de hygiëne van het milieu, alsmede aan het bestuur dat de beschikking in eerste aanleg heeft genomen en wordt door dit bestuur ter openbare kennis gebracht op de wijze als in artikel 10, eerste lid voorgeschreven.

2. De door gedeputeerde staten op een ingesteld beroep genomen beslissing met betrekking tot de in artikel 9, derde lid bedoelde afzonderlijke beschikking inzake de toekenning van een schadevergoeding wordt medegedeeld aan belanghebbende die het beroep heeft ingesteld alsmede aan het bestuur dat de beschikking in eerste aanleg heeft genomen.

3. Tegen de in het eerste lid van dit artikel bedoelde beslissing staat voor belanghebbende, alsmede voor de inspecteur van de Volksgezondheid belast met het toezicht op de hygiëne van het milieu tot het einde van de termijn van ter inzagelegging beroep open op Ons.

4. Tegen de in het tweede lid van dit artikel bedoelde beslissing staat voor belanghebbende en voor het bestuur dat de beschikking in eerste aanleg heeft genomen, binnen dertig dagen na de verzending van de beschikking beroep open op Ons.

5. Onze Minister van Verkeer en Waterstaat bevestigt de ontvangst van een krachtens dit artikel bij Ons ingesteld beroep en geeft hiervan onmiddellijk kennis aan het betrokken college van gedeputeerde staten, aan het bestuur, dat de beschikking in eerste aanleg heeft genomen en aan de aanvrager of de houder van de vergunning, indien deze niet zelf het beroep heeft ingesteld.

**Artikel 14.** Voor zover beschikkingen waartegen beroep openstaat niet ter inzage worden gelegd, worden deze bij aangetekende brief toegezonden aan degenen aan wie zij ingevolge deze wet moeten worden medegedeeld.

**Artikel 15.** 1. De overweging van een op Ons ingesteld beroep wordt niet bij de Afdeling voor de Geschillen van bestuur van de Raad van State aanhangig gemaakt, dan nadat de Raad van de Waterstaat is gehoord.

2. Wanneer een beslissing van Ons of gedeputeerde staten strekt tot gehele of gedeeltelijke vernietiging van een beschikking als bedoeld in artikel 7, of van een beschikking tot verlening, wijziging of intrekking van een vergunning, en wanneer zulk een beschikking overeenkomstig het bepaalde in artikel 16, tweede lid, in werking is getreden voordat op het ingestelde beroep is beslist, kunnen Wij of gedeputeerde staten, zo daartoe termen zijn in de beslissing op het beroep bepalen, dat een vergoeding zal worden toegekend ten laste van het openbaar lichaam dat in eerste aanleg de beschikking heeft genomen, onverminderd het recht van belanghebbende die het beroep heeft ingesteld om op grond van andere wettelijke bepalingen schadevergoeding te vragen.

**Artikel 16.** 1. Een beschikking als bedoeld in artikel 7, een beschikking tot verlening, wijziging of intrekking van een vergunning, alsmede een beschikking tot uitreiking van een verklaring van ongenoegzaamheid treden niet in werking voordat de termijn van beroep ongebruikt is verstreken dan wel de beslissing in beroep is gegeven en geen beroepsmogelijkheid meer openstaat.

2. Het bevoegde gezag dat een beschikking neemt als bedoeld in het eerste lid, kan hangende de termijn van beroep of hangende de beslissing op een ingesteld beroep bepalen, dat de beschikking in werking treedt voordat de termijn van beroep is verstreken of voordat op een ingesteld beroep is beslist. Het geeft hiervan onmiddellijk kennis aan de inspecteur van de Volksgezondheid belast met het toezicht op de hygiëne van het milieu en aan de daarbij betrokken besturen van provincies, van waterschappen, veenschappen en veenpolders, van gemeenten, van rechtspersoonlijkheid bezittende lichamen als bedoeld in de Wet gemeenschappelijke regelingen en van andere openbare lichamen.

3. Door of vanwege Onze Minister van Verkeer en Waterstaat wordt hiertoe niet overgegaan dan nadat gedeputeerde staten en de betrokken inspecteur van de Volksgezondheid belast met het toezicht op de hygiëne van het milieu, alsmede de aanvrager of de houder van de vergunning zijn gehoord.

4. Gedeputeerde staten gaan hiertoe niet over dan nadat de betrokken inspecteur van de Volksgezondheid belast met het toezicht op de hygiëne van het milieu, alsmede de aanvrager of de houder van de vergunning zijn gehoord.

5. Besturen van waterschappen, veenschappen en veenpolders, van gemeenten, van rechtspersoonlijkheid bezittende lichamen als bedoeld in de Wet gemeenschappelijke regelingen en van andere openbare lichamen gaan hiertoe niet over dan na instemming van gedeputeerde staten, de inspecteur van de Volksgezondheid belast met het toezicht op de hygiëne van het milieu, alsmede de aanvrager of de houder van de vergunning gehoord.

6. Het bestuur van een openbaar lichaam als bedoeld in artikel 4, tweede lid, gaat hiertoe niet over dan na instemming van Onze Minister van Verkeer en Waterstaat, de inspecteur van de Volksgezondheid belast met het toezicht op de hygiëne van het milieu, alsmede de aanvrager of de houder van de vergunning gehoord.

7. Indien een vergunninghouder het bevoegde gezag heeft verzocht toepassing te geven aan het bepaalde in het tweede lid, kan dat gezag in zijn beschikking bepalen, dat de verzoeker het openbaar lichaam vrijwaart voor ten laste van dat lichaam komende vergoedingen als bedoeld in artikel 15, tweede lid.

## HOOFDSTUK IV

### Heffingen en bijdragen

**Artikel 17.** 1. Het Rijk, de provincie en een openbaar lichaam, aan welks bestuur de bevoegdheid bedoeld in artikel 6, eerste lid, geheel is opgedragen, zijn bevoegd ter bestrijding van de kosten van maatregelen tot het tegengaan en het voorkomen van verontreiniging van oppervlaktewateren heffingen in te stellen, waaraan kunnen worden onderworpen degenen, die stoffen als bedoeld in artikel 1, eerste lid, direct of indirect brengen in oppervlaktewateren en degenen, aan wie een verklaring van ongenoegzaamheid als bedoeld in artikel 2 is uitgereikt.

2. Een openbaar lichaam dat beheerder is van een werk als bedoeld in artikel 1, eerste lid, is bevoegd ter bestrijding van de kosten van maatregelen tot het tegengaan en tot het voorkomen van verontreiniging van oppervlaktewateren van degenen, die direct of indirect op dat werk zijn aangesloten een bijdrage te vorderen.

3. Onder de kosten van maatregelen tot het tegengaan en het voorkomen van verontreiniging van oppervlaktewateren worden mede geacht te zijn begrepen heffingen, verschuldigd ingevolge het eerste lid.

Artikel 18. 1. Voor de heffingen en bijdragen geldt als grondslag de hoeveelheid of de hoedanigheid dan wel beide van de afvalstoffen, verontreinigende of schadelijke stoffen, in welke vorm ook, welke in een oppervlaktewater dan wel op een werk als bedoeld in artikel 1, eerste lid, worden gebracht.

2. In afwijking van het bepaalde in het eerste lid kunnen voor woonruimten de heffingen en bijdragen worden vastgesteld op een gelijk bedrag per woonruimte of op grondslag van de voor de grondbelasting vastgestelde of in overeenstemming daarmee geschatte belastbare opbrengst dan wel op andere, bij algemene maatregel van bestuur aan te geven wijze. Met woonruimten kunnen worden gelijkgesteld bedrijfsruimten, indien de vervuilingswaarde van de stoffen als bedoeld in artikel 1, eerste lid, kleiner is dan twintig inwonerequivalenten.

Artikel 19. 1. Voor de heffingen ten behoeve van het Rijk geldt als maatstaf:

a. voor zuurstofbindende stoffen de gemiddelde belasting per etmaal van oppervlaktewater met zuurstofbindende afvalstoffen, uitgedrukt in inwonerequivalenten, waarbij onder inwonerequivalent wordt verstaan de gemiddelde belasting door één inwoner per etmaal;

b. voor andere stoffen het aantal gewichtseenheden, dat per tijdseenheid in het oppervlaktewater wordt gebracht.

2. Het jaarlijks voor zuurstofbindende stoffen per inwonerequivalent verschuldigde bedrag wordt door Ons bij algemene maatregel van bestuur vastgesteld.

3. Het jaarlijks voor andere stoffen per gewichtseenheid verschuldigde bedrag wordt voor elke soort van deze stoffen door Ons bij algemene maatregel van bestuur vastgesteld.

4. Bij algemene maatregel van bestuur kunnen door Ons de krachten het tweede en derde lid van dit artikel vastgestelde bedragen worden verminderd voor daarin aangewezen oppervlaktewateren.

Artikel 20. 1. De heffingen ten behoeve van het Rijk worden geheven en ingevorderd door of vanwege Onze Minister van Verkeer en Waterstaat, met dien verstande, dat de betekening en tenuitvoerlegging van dwangbevelen geschieden door de rijksbelastingdienst.

2. Behoudens door Ons bij algemene maatregel van bestuur te geven nadere, en zoodanige afwijkende regelen, zijn bij die heffing en invordering de Algemene wet inzake rijksbelastingen<sup>1)</sup>, de Wet administratieve rechtspraak belastingzaken<sup>2)</sup>, de Wet van 22 mei 1845 (Stb. 22) en de Wet van 1 juni 1850 (Stb. 26) van overeenkomstige toepassing.

Artikel 21. 1. De heffingen en bijdragen ten behoeve van een provincie, een waterschap, veenschap of veenpolder, een gemeente, een rechtspersoonlijkheid bezittend lichaam als bedoeld in de Wet gemeenschappelijke regelingen of een ander openbaar lichaam, worden geheven en ingevorderd door het lichaam ten behoeve waarvan zij zijn.

2. Bij de heffing en invordering door een provincie, een waterschap, veenschap of veenpolder of een gemeente zijn de bepalingen omtrent de heffing en invordering van onderscheidenlijk de Provinciewet, de Bevoegdhedenwet en de gemeentewet van toepassing.

Artikel 22. 1. Nadere regelen met betrekking tot de heffing ten behoeve van het Rijk zullen door Ons worden gegeven bij algemene maatregel van bestuur.

2. Nadere regelen met betrekking tot heffingen en bijdragen ten behoeve van provincies of van openbare lichamen als bedoeld in artikel 6, eerste lid, worden gegeven bij verordening van die lichamen. Ten aanzien van de regeling van de heffingen ten behoeve van openbare lichamen als bedoeld in artikel 6, eerste lid, kunnen provinciale staten voorschriften geven in de verordeningen bedoeld in artikel 5, eerste lid. Rechtspersoonlijkheid bezittende lichamen als bedoeld in de Wet

gemeenschappelijke regelingen en andere openbare lichamen, niet zijnde provincies, waterschappen, veenschappen, veenpolders of gemeenten, regelen de heffing en invordering zoveel mogelijk door het van overeenkomstige toepassing verklaren van de in artikel 21, tweede lid, bedoelde bepalingen van de gemeentewet of van de Bevoegdhedenwet. De in dit lid bedoelde verordeningen behoeven Onze goedkeuring.

3. Indien in de verordeningen in het tweede lid bedoeld, geen termijn is vastgesteld, waarvoor de heffingen en bijdragen zullen gelden, kunnen Wij bij Onze beslissing een zodanige termijn bepalen.

4. Een voordracht tot een besluit tot goedkeuring van de verordeningen in het tweede lid bedoeld, van waterschappen, veenschappen en veenpolders en een voordracht tot een besluit tot onthouding van goedkeuring aan die verordeningen worden Ons gedaan door Onze Minister van Verkeer en Waterstaat in overeenstemming met Onze Ministers van Sociale Zaken en Volksgezondheid en van Binnenlandse Zaken, de Raad van de Waterstaat gehoord.

5. Een voordracht tot een besluit tot goedkeuring van de verordeningen in het tweede lid bedoeld, van provincies, van gemeenten, van rechtspersoonlijkheid bezittende lichamen als bedoeld in de Wet gemeenschappelijke regelingen en van andere openbare lichamen en een voordracht tot een besluit tot onthouding van goedkeuring aan die verordeningen worden Ons gedaan door Onze Minister van Binnenlandse Zaken in overeenstemming met Onze Ministers van Verkeer en Waterstaat en van Sociale Zaken en Volksgezondheid, de Raad van de Waterstaat gehoord.

Artikel 23. 1. Het gezag aan hetwelk ingevolge het bepaalde in artikel 17, eerste lid, een heffing is verschuldigd, besteedt het bedrag van de ingevorderde heffingen:

a. voor de bestrijding door hemzelf van verontreiniging van oppervlaktewateren,

b. ter betaling van aan dat gezag door anderen opgelegde heffingen,

c. tot het doen van uitkeringen ter tegemoetkoming in de kosten van maatregelen tot het tegengaan en het voorkomen van verontreiniging van oppervlaktewateren aan diegenen die tot het treffen van die maatregelen zijn gehouden.

2. Omtrent de normen voor uitkeringen door het Rijk wordt de Raad van de Waterstaat gehoord.

3. In de kosten van maatregelen tot het tegengaan en het voorkomen van verontreiniging van oppervlaktewateren ten laste van anderen dan het Rijk kan, zo daartoe termen bestaan, een bijdrage uit 's Rijks kas worden verleend.

## HOOFDSTUK V

### Bevoegdheden van politie

Artikel 24. 1. Met betrekking tot een oppervlaktewater als bedoeld in artikel 3, eerste lid en het gedeelte van de volle zee bedoeld in artikel 1, vierde lid is het Rijk, met betrekking tot een oppervlaktewater als bedoeld in artikel 3, tweede lid zijn gedeputeerde staten en met betrekking tot een oppervlaktewater, ten aanzien waarvan en voorzover artikel 6, eerste lid is toegepast, zijn de besturen van de in dat artikel genoemde lichamen bevoegd op kosten van de overtreders te doen wegnemen, beletten, verrichten of in de vorige toestand herstellen hetgeen is of wordt gemaakt, gesteld, ondernomen, nagelaten, beschadigd of weggenomen in strijd met deze wet, een krachtens deze wet vastgestelde regeling of gegeven bevel dan wel in strijd met een verplichting aan een krachtens deze wet verleende vergunning verbonden. Gelijke bevoegdheid komt toe aan de besturen van de in artikel 4, tweede lid genoemde lichamen, voorzover aan hen de in dat lid bedoelde bevoegdheid is toegekend met betrekking tot de onder hun beheer staande havens.

2. Spoedeisende gevallen uitgezonderd, wordt van de bevoegdheid bedoeld in het eerste lid, geen gebruik gemaakt dan nadat de belanghebbende schriftelijk is gewaarschuwd en in de gelegenheid is gesteld

<sup>1)</sup> Wet van 2 juli 1959, Stb. 301.

<sup>2)</sup> Wet van 17 mei 1956, Stb. 323.

binnen een te stellen termijn maatregelen te treffen teneinde aan zijn verplichtingen te voldoen.

3. De ingevolge het eerste lid verschuldigde kosten kunnen door de in het eerste lid genoemde lichamen worden ingevorderd bij dwangbevel, dat op kosten van de schuldenaar bij deurwaardersexploit wordt betekend en ten uitvoer gelegd op de wijze bij het Wetboek van Burgerlijke Rechtsvordering ten aanzien van vonnissen en authentieke akten voorgeschreven.

4. Een dwangbevel wordt geacht eveneens te zijn betekend indien een afschrift daarvan door de post is uitgereikt tegen een door de belanghebbende of een van zijn huisgenoten ondertekend ontvangstbewijs. Ingeval ondertekening van het ontvangstbewijs wordt geweigerd, wordt het dwangbevel geacht te zijn betekend indien de postbesteller van die weigering een verklaring heeft opgemaakt. In het laatste geval wordt het afschrift van het dwangbevel bij gewone brief aan de belanghebbende toegezonden.

5. Tenuitvoerlegging van een dwangbevel dat ingevolge het vorige lid geacht wordt te zijn betekend, heeft, ook ingeval dit niet reeds in het Wetboek van Burgerlijke Rechtsvordering is voorgeschreven, niet plaats dan na herhaling van het bevel tot betaling.

6. Binnen dertig dagen na de betekening staat verzet tegen het dwangbevel open door dagvaarding voor de arrondissementsrechtbank van het lichaam, waarvan het dwangbevel is uitgegaan. Het verzet schorst de tenuitvoerlegging.

**Artikel 25.** 1. Het Rijk, de provincie, het waterschap, veenschap of veenpolder, de gemeente, het bestuur van een rechtspersoonlijkheid bezittend lichaam als bedoeld in de Wet gemeenschappelijke regelingen en het bestuur van een ander openbaar lichaam wijzen, voorzover hun enige taak bij de uitvoering van deze wet is opgedragen, ambtenaren aan, belast met het toezicht op de naleving van het bij of krachtens deze wet bepaalde of bevolene.

2. De in het eerste lid bedoelde ambtenaren zijn bevoegd de afvoer te meten, welke in een oppervlaktewater wordt gebracht, alsmede monsters van die afvoer te nemen, een en ander voorzover dit bij de vervulling van hun taak nodig is. De resultaten van de metingen, alsmede de uitslag van het onderzoek van de monsters worden ten spoedigste ter kennis van de betrokken lozers gebracht.

3. De in het eerste lid bedoelde ambtenaren zijn bevoegd zich tot dat einde van personen, die daartoe door hen zijn aangewezen, te doen vergezellen alsmede de benodigde apparatuur mede te brengen, een en ander voorzover dit naar hun oordeel bij de vervulling van hun taak nodig is.

**Artikel 26.** De krachtens artikel 25 aangewezen ambtenaren en personen hebben met hun apparatuur ten behoeve van de in dat artikel bedoelde werkzaamheden toegang tot niet tot woning bestemde gedeelten van bedrijven en inrichtingen en zijn bevoegd met hun apparatuur ook afgesloten erven tot dat doel te betreden. Zo nodig verschaffen zij zich toegang met behulp van de sterke arm.

**Artikel 27.** Ieder is verplicht aan de krachtens artikel 25 aangewezen ambtenaren alle medewerking te verlenen en inzage in bescheiden te verlenen, welke deze met het oog op de vervulling van hun taak behoeven.

## HOOFDSTUK VI

### Strafbepalingen

**Artikel 28.** 1. Handelen in strijd met het bepaalde bij of krachtens artikel 1 wordt gestraft met hechtenis van ten hoogste een jaar of geldboete van ten hoogste vijf en twintigduizend gulden.

2. Bij veroordeling wegens het in het eerste lid bedoelde feit kan de rechter als maatregel de verplichting opleggen tot het storten van een waarborgsom voor een bedrag van ten hoogste vijftig duizend gulden en voor een tijd van ten hoogste twee jaren.

3. De rechter bepaalt in zijn uitspraak dat de waarborgsom, bij gebreke van nakoming van de algemene voorwaarde dat de veroordeelde het in het eerste lid bedoelde strafbare feit niet meer zal begaan, of van bijzondere door de rechter te stellen voorwaarden, geheel of gedeeltelijk vervalt aan het lichaam belast met de zorg voor de hoedanigheid van het oppervlaktewater ten aanzien waarvan het strafbare feit is begaan. De artikelen 14*b*, tweede en derde lid, 14*c*, derde lid, 14*d* en 14*e* van het Wetboek van Strafrecht vinden overeenkomstige toepassing.

4. De tenuitvoerlegging van een maatregel als bedoeld in het tweede lid geschiedt op de wijze van een veroordeling tot geldboete, met dien verstande dat geen vervangende vrijheidsstraf wordt toegepast. Indien de rechter heeft bepaald, dat de waarborgsom vervalt aan het lichaam belast met de zorg voor de hoedanigheid van het oppervlaktewater ten aanzien waarvan het strafbare feit is begaan, draagt het Openbaar Ministerie zorg dat de waarborgsom tegen kwijting aan dat lichaam wordt uitgekeerd.

5. Het in het eerste lid bedoelde feit is een overtreding.

**Artikel 29.** 1. Indien een bij deze wet strafbaar gesteld feit wordt gepleegd door of vanwege een rechtspersoon, wordt de strafvervolg ingesteld en worden de straffen of maatregelen uitgesproken hetzij tegen de rechtspersoon hetzij tegen hen, die tot het feit opdracht hebben gegeven of die feitelijk leiding hebben gehad bij het verboden handelen of nalaten, hetzij tegen beide.

2. Een bij deze wet strafbaar gesteld feit wordt onder meer gepleegd door of vanwege een rechtspersoon, indien het wordt gepleegd door personen, die hetzij uit hoofde van een dienstbetrekking, hetzij uit anderen hoofde, handelen in de sfeer van de rechtspersoon, ongeacht of deze personen ieder afzonderlijk het strafbaar feit hebben gepleegd, dan wel bij hen gezamenlijk de elementen van het strafbare feit aanwezig zijn.

3. Wanneer een strafvervolg ing wordt ingesteld tegen een rechtspersoon, wordt deze tijdens de vervolging vertegenwoordigd door de bestuurder en, indien er meer bestuurders zijn, door één hunner. De vertegenwoordiger kan bij gemachtigde verschijnen. Het gerecht kan de persoonlijke verschijning van een bepaalde bestuurder bevelen; het kan alsdan zijn medebrenging gelasten.

4. Wanneer een strafvervolg ing wordt ingesteld tegen een rechtspersoon, is artikel 86, tweede lid, van de Algemene Wet inzake rijksbelastingen van overeenkomstige toepassing.

5. Voor de toepassing van dit artikel worden met een rechtspersoon gelijkgesteld een maat- of vennootschap, een andere vereniging van personen en een doelvermogen.

**Artikel 30.** Allen die betrokken zijn of zijn geweest bij de uitvoering van deze wet, zijn verplicht tot geheimhouding van alle zaken ten aanzien waarvan het bevoegde gezag hun geheimhouding heeft opgelegd of waarvan zij het vertrouwelijk karakter moeten begrijpen.

## HOOFDSTUK VII

### Overgangsbepalingen

**Artikel 31.** 1. Bepalingen in verordeningen van provinciën, in reglementen voor en in verordeningen van waterschappen, veenschappen en veenpolders en in verordeningen van gemeenten betreffende het onderwerp dezer wet, bij de inwerkingtreding dezer wet van kracht, blijven in stand totdat deswege op de wijze in deze wet bepaald voorzieningen zullen zijn getroffen en zulks uiterlijk vier jaren na de dag van inwerkingtreding.

2. Een vergunning vóór de inwerkingtreding dezer wet verleend op grond van enige wettelijke bepaling voor lozingen met behulp van werken als bedoeld in artikel 1, eerste lid, wordt voor de toepassing van deze wet beschouwd als een vergunning als bedoeld in dat artikel.

2. Voor lozingen welke vóór het tijdstip van inwerkingtreding dezer wet onafgebroken rechtmatig hebben plaats gevonden, wordt voor de toepassing van deze wet een vergunning als bedoeld in artikel 1, eerste lid, geacht te zijn verleend, voorzover die lozingen althans naar hun aard niet aanmerkelijk verschillen van of niet van aanmerkelijk grotere omvang zijn dan lozingen die plaats vonden vóór het tijdstip van inwerkingtreding dezer wet.

## HOOFDSTUK VIII

### Slotbepalingen

**Artikel 32.** 1. Er is een rijksinstituut voor zuivering van afvalwater, belast met het wetenschappelijke en praktische onderzoek van de hoedanigheid van oppervlaktewateren en van de wijze waarop deze kunnen worden beschermd tegen verontreiniging in welke vorm ook en voorts met het geven van adviezen betreffende de met het oog op die bescherming te treffen voorzieningen.

2. Aan het hoofd van dit instituut staat een hoofdingenieur-directeur. De algemene leiding van het instituut berust bij de directeur-generaal van de Rijkswaterstaat.

3. Onze Minister van Verkeer en Waterstaat geeft regelen omtrent de inrichting en werkwijze van het instituut en omtrent de aan dit instituut te betalen vergoedingen voor bewezen diensten.

**Artikel 33.** Onze Minister van Verkeer en Waterstaat stelt elke vijf jaar een indicatief meerjarenprogramma vast voor de bestrijding van de waterverontreiniging in ons land in overeenstemming met Onze Minister van Sociale Zaken en Volksgezondheid, de Raad van de Waterstaat gehoord.

**Artikel 34.** De bevoegdheid tot het maken van verordeningen door gemeenten en waterschappen, veenschappen en veenpolders blijft ten aanzien van het onderwerp waarin deze wet voorziet, gehandhaafd voor zover deze verordeningen niet met deze wet in strijd zijn.

**Artikel 35.** Geen vergunning als bedoeld in deze wet is vereist voor het brengen in oppervlaktewateren en voor het brengen vanuit of over het grondgebied van Nederland in het water van de volle zee van splijtstoffen, ertsen of radioactieve andere stoffen, voorzover het brengen van die stoffen in oppervlakte wateren en in het water van de volle zee aan een vergunning krachtens artikel 15 of artikel 29 van de Kernenergiewet, dan wel aan krachtens artikel 21 of artikel 32 van die wet gestelde regelen gebonden is.

**Artikel 36.** 1. In het Wetboek van Strafrecht<sup>1)</sup> worden na artikel 173 twee artikelen toegevoegd, luidend als volgt:

**Artikel 173a.** Hij die zonder vergunning van het ingevolge de Wet verontreiniging oppervlaktewateren bevoegde gezag in een water

enige stof aanbrengt, wetende dat door deze toevoeging voor anderen nadeel ontstaat in verband met het gebruik dat gewoonlijk van dat water of van een daarmede in verbinding staand water wordt gemaakt, wordt gestraft met gevangenisstraf van ten hoogste zes maanden of geldboete van ten hoogste zes honderd gulden.

**Artikel 173b.** Hij aan wiens schuld te wijten is dat zonder vergunning van het ingevolge de Wet verontreiniging oppervlaktewateren bevoegde gezag in een water enige stof wordt aangebracht, door de toevoeging waarvan voor anderen nadeel ontstaat in verband met het gebruik dat gewoonlijk van dat water of van een daarmede in verbinding staand water wordt gemaakt, wordt gestraft met gevangenisstraf of hechtenis van ten hoogste drie maanden of geldboete van ten hoogste zes honderd gulden.

2. In artikel 429 van het Wetboek van Strafrecht wordt onder 4° ingevoegd: hij die zonder vergunning van het ingevolge de Wet verontreiniging oppervlaktewateren bevoegde gezag in een water enige stof aanbrengt door welke toevoeging nadeel kan ontstaan in verband met het gebruik dat gewoonlijk van dat water of van enig daarmede in verbinding staand water wordt gemaakt.

**Artikel 37.** In de Hinderwet<sup>2)</sup> wordt na artikel 38 een nieuw artikel 38a ingevoegd, luidende als volgt:

**Artikel 38a.** Deze wet is niet van toepassing op inrichtingen voorzover deze tengevolge van het brengen in oppervlaktewateren van afvalstoffen, verontreinigende of schadelijke stoffen naar buiten gevaar, schade of hinder kunnen veroorzaken.

**Artikel 38.** In het opschrift van titel IIa alsmede in artikel 72, eerste lid van de onteigeningswet worden vóór de woorden „en terreinen en werken voor de luchtvaart” ingevoegd de woorden: werken ten behoeve van de bestrijding van verontreiniging van oppervlaktewateren.

**Artikel 39.** Deze wet kan worden aangehaald als Wet verontreiniging oppervlaktewateren.

**Artikel 40.** Deze wet treedt in werking op een door Ons te bepalen tijdstip.

Lasten en bevelen, dat deze in het *Staatsblad* zal worden geplaatst, en dat alle Ministeriële Departementen, Autoriteiten, Colleges en Ambtenaren, wie zulks aangaat, aan de nauwkeurige uitvoering de hand zullen houden.

Gegeven

*De Minister Van Verkeer en Waterstaat,*

*De Staatssecretaris van Sociale Zaken en Volksgezondheid,*

*De Minister van Justitie,*

<sup>1)</sup> Laatstelijk gewijzigd bij de wet van 28 augustus 1969 (Stb. 350).

<sup>2)</sup> Laatstelijk gewijzigd bij de wet van 30 juni 1967 (Stb. 377).

## Europees Handvest voor het water van de Raad van Europa

MEI 1968

### INLEIDING

De Raad van Ministers,  
Gezien Aanbeveling 436 (1965) van de Raadgevende Vergadering inzake de strijd tegen de verontreiniging van de zoetwatervoorraden in Europa;

Gelet op Besluit Nr. 10 (1965) van de Economische Commissie voor Europa van de Verenigde Naties, dat de beginselverklaring van die commissie bevat aangaande de strijd tegen de waterverontreiniging in Europa, alsmede gelet op de Internationale normen voor het Drinkwater, opgesteld door de Wereldgezondheidsorganisatie, en inzonderheid op de Europese Normen;

Ervan overtuigd, dat de voortgang van de moderne beschaving in bepaalde gevallen tot een toenemende verslechtering van de natuurlijke hulpbronnen leidt;

Zich ervan bewust, dat het water een van de voornaamste natuurlijke hulpbronnen is;

Overwegende, dat de behoefte aan water stijgt, met name ten gevolge van de zich steeds sneller voltrekkende industrialisatie in de grote stedelijke centra van Europa, en dat maatregelen dienen te worden getroffen voor het behoud van het water, zowel in kwalitatief als kwantitatief opzicht;

Overwegende verder, dat een gezamenlijke actie op Europees vlak ten aanzien van de waterproblemen geboden is en dat een Handvest voor het Water een doeltreffend middel is om een beter begrip voor deze problemen te wekken;

Aanvaardt en kondigt af de beginselen van het onderhavige Handvest, dat is voorbereid door het Europees Comité voor het Behoud van de Natuur en haar Hulpbronnen, zoals deze hieronder zijn weergegeven:

### MINISTERIE VAN CULTUUR, RECREATIE EN MAATSCHAPPELIJK WERK

#### EUROPEES HANDVEST VOOR HET WATER

(European water charter - charte européenne de l'eau)

**I. Zonder water is geen leven mogelijk. Het is een kostbaar goed: water is onontbeerlijk voor alle menselijke activiteiten.**

Als het water de aarde bereikt uit de atmosfeer, is dit vooral in de vorm van regen of sneeuw. Stromen, rivieren, beken, meren en gletsjers zijn de voornaamste afvoerwegen naar de oceanen.

Tijdens zijn kringloop wordt het water vastgehouden in bodem, planten en dieren. Het keert terug naar de atmosfeer voornamelijk

door verdamping en door de uitademing der planten. Zuiver water is een eerste levensbehoefte van mensen, dieren en planten.

De mens bestaat voor twee-derde van zijn lichaamsgewicht uit water; de planten vaak zelfs voor negen-tiende.

De mens heeft water nodig om zich te laven, te voeden en te wassen, maar ook als bron van energie; water is onmisbaar in het productieproces, als middel van transport en voor de recreatie, waaraan in deze tijd steeds meer behoefte ontstaat.

**II. De zoetwatervoorraden zijn niet onuitputtelijk. Er mag niet roekeloos mee worden omgesprongen. Zij moeten zorgvuldig worden beheerd en, waar mogelijk, worden vergroot.**

De explosieve toename van de bevolking en de snel groeiende behoeften van de moderne industrie en landbouw eisen meer en meer water. Het zal onmogelijk zijn hieraan te voldoen en een hogere levensstandaard te bereiken, als niet iedereen het water beschouwt als een kostbaar goed, dat spaarzaam en verantwoord moet worden gebruikt.

**III. Waterverontreiniging is een bedreiging voor de mens en voor alle leven.**

In de ons omringende natuur vormt het water een levend geheel van heilzame organismen, die de zuiverheid bevorderen en handhaven. Verontreiniging kan deze organismen vernietigen, waardoor de zelfreinigende werking teniet gaat en het natuurlijke evenwicht bedreigd wordt of zelfs geheel verloren gaat. Verontreiniging van oppervlaktewater en grondwater moet worden voorkomen. Elke vermindering van hoedanigheid en hoeveelheid van stromend of stilstaand water betekent een gevaar voor de mens en voor alle levensvormen.

**IV. Het is noodzakelijk, dat de kwaliteit van het water geschikt blijft voor alle gebruik; zij moet in het bijzonder voldoen aan de eisen, die de volksgezondheid stelt.**

De eisen die aan de kwaliteit van het water worden gesteld, verschillen al naar gelang van het gebruik dat ervan zal worden gemaakt, zoals voor voeding en huishouding, voor landbouw en industrie, voor visserij en recreatie. Omdat alle leven op aarde in zijn totaliteit afhankelijk is van de vele natuurlijke eigenschappen van het water, dienen maatregelen te worden genomen om deze te behouden.

**V. Wanneer het water na gebruik terugvloeit in het natuurlijke milieu moet het van zodanige kwaliteit zijn, dat verder gebruik ten algemene nutte mogelijk blijft.**

Verontreiniging van het water, meestal veroorzaakt door de mens, vermindert de kwaliteit en maakt het ongeschikt of zelfs gevaarlijk voor consumptie, voor industrie, landbouw, visserij, recreatie, en voor flora en fauna.



Lozing van afval en afvalwater kan fysische, chemische, organische, thermische of radio-actieve verontreiniging veroorzaken, die de volksgezondheid schaadt. Er dient daarom steeds rekening te worden gehouden met het vermogen van water om afvalstoffen op te nemen en te verwerken, door zelfreiniging of verdunning. De sociale en economische gevolgen van de zuivering van water zijn dus uiterst belangrijk.

**VI. Het in stand houden van een aangepast plantendek, bij voorkeur bos, is van wezenlijk belang voor het behoud van de natuurlijke watervoorraden.**

Het is noodzakelijk de vegetatie te beschermen en waar deze verdwenen is, zo spoedig mogelijk te herstellen. Dit geldt vooral ook voor het bos.

Het behoud van bossen is van het grootste belang voor het evenwicht in de waterwingebieden. Afgezien van hun economische waarde bieden bossen bovendien mogelijkheden voor recreatie.

**VII. Inventarisatie van de watervoorraden is noodzakelijk.**

Minder dan één procent van het water op aarde is zoet en bovendien is dit zeer ongelijk verdeeld.

Grondige kennis van de voorraden aan oppervlakte- en grondwater is onmisbaar. Daarbij moet rekening worden gehouden met de kringloop, de bestemming en de kwaliteit van het water.

Inventarisatie betekent in dit verband, dat de voorraden worden opgespoord, in kaart gebracht en op hun kwaliteit beoordeeld.

**VIII. De overheid dient voor een doelmatig beheer van de watervoorraden een plan op te stellen.**

Water is een zo kostbaar goed, dat het beheer ervan nauwkeurig en volgens plan dient te worden geregeld, rekening houdende met onmiddellijke en toekomstige behoeften.

Er behoort een krachtig waterbeleid te worden gevoerd met behulp van een reeks van maatregelen ter voorkoming van verspilling, ter regeling van de toevoer en voor een juiste verdeling. Ter bescherming van kwaliteit en kwantiteit dient daarenboven te worden gestreefd

naar een zo volmaakt mogelijke technische beheersing van gebruik, circulatie en zuivering.

**IX. Het behoud van de watervoorraden vereist nog meer inspanning op het gebied van het wetenschappelijk onderzoek, de opleiding van onderzoekers en een goede voorlichting.**

Wetenschappelijk onderzoek met betrekking tot water in het algemeen en afvalwater in het bijzonder moet tot elke prijs worden bevorderd. De voorlichting over dit onderwerp moet worden uitgebreid en internationale uitwisseling van gegevens verbeterd. Tegelijkertijd moet de opleiding van technische en biologische onderzoekers voor dit werk worden aangemoedigd.

**X. Iedereen moet ervan worden doordrongen, dat het water ons aller erfgoed is. Een spaarzaam en verantwoord gebruik ervan is ieders plicht.**

Elk menselijk wezen is afhankelijk van water en daardoor verantwoordelijk tegenover zijn medemensen. Roekeloos gebruik van water is misbruik van ons natuurlijk erfdeel.

**XI. Bij het beheer van de watervoorraden mag uitsluitend rekening worden gehouden met natuurlijke stroomgebieden, onafhankelijk van politieke of administratieve grenzen.**

Oppervlaktewater stroomt van de hellingen af en vormt aldus waterlopen. Een rivierstelsel is als een wijdvertakte boom; het verzamelt het water van een natuurlijk stroomgebied.

Binnen zulk een stroomgebied werken alle vormen van gebruik van oppervlakte- en grondwater op elkaar in. Het beheer dient met deze vervlechting rekening te houden.

**XII. Water kent geen grenzen. Het is gemeenschappelijk bezit van alle volkeren en dient in nauwe internationale samenwerking te worden beheerd.**

De internationale problemen ten aanzien van het gebruik van water behoren te worden geregeld in gemeenschappelijk overleg tussen de betrokken staten, opdat kwaliteit en kwantiteit bewaard blijven.

Bijlage 2421 Hygiënische betrouwbaarheid van drinkwater

Parameter	Monster- grootte	Richtniveau	Max. toelaatbaar	
			MF	MWA
colibacteriën totaal	100 ml		0	< 1
faecale colibacteriën	100 ml		0	< 1
faecale streptokokken	100 ml		0	< 1
sulfiet reducerende clostridia	20 ml		-	≤ 1
totaal aantal kiemen	1 ml	< 10 bij 37°C		
bij aflevering	1 ml	< 100 bij 22°C		

Ongewenste stoffen in drinkwater

Parameter	gemeten als	richtniveau	max. toelaatbaar
Nitraat	mg/l NO <sub>3</sub>	25	50
Nitriet	mg/l NO <sub>2</sub>		0,1
Ammonium	mg/l NH <sub>4</sub>	0,05	0,5
Organische stikstof	mg/l N		1
Magnesium	mg/l Mg	30	50
Natrium	mg/l Na	20	150
Borium	mg/l B	1	5 *
Fluor	mg/l F	1,2 * 0,6 *	1,5 bij 8-12°C 0,7 bij 25-30°C
Kobalt			
Koper	mg/l Cu	0,1	3 na 12 uur staan
Zink	mg/l Zn	0,1	5 na 12 uur staan
Fosfor	mg/l P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	0,4	5
KMnO <sub>4</sub> -verbruik	mg/l O <sub>2</sub>	2	5
Totaal organische koolstof	mg/l C		
Chloroform extract	droogrest mg/l	0,1	0,5 *
Geëmulgeerde of opgeloste koolwaterstoffen	ether extract mg/l		0,01
Gechloreerde koolwaterstoffen m.u.v. pesticiden	mg/l	0,001	
Oppervlakte actieve stoffen	mg/l laurylsulfaat		0,2

Chemische vergiften in drinkwater

Parameter	gemeten als	richtniveau	maximaal toelaatbaar
Zilver	µg/l Ag		10
Arsenicum	µg/l As		50
Barium	µg/l Ba	100	1000*
Beryllium	µg/l Be		
Cadmium	µg/l Cd		5
Cyaniden	µg/l CN		50
Chroom	µg/l Cr		50
Kwik	µg/l Hg		1
Nikkel	µg/l Ni		50
Lood	µg/l Pb		50
Antimonium	µg/l Sb		10
Selenium	µg/l Se		10
Vanadium	µg/l V		-
Pesticiden, totaal	µg/l		0,5
per stof	µg/l		0,1
Aromatische polycyclische koolwaterstoffen	µg/l		0,2

Maximaal toelaatbare gehalten aan radiologische vergiften  
in drinkwater

totale α - activiteit

- 3 pc/l - zonder verder onderzoek
- 3 - 10 pc/l - wanneer na aftrek van de  $^{222}\text{Rn}$  en  $^{220}\text{Rn}$ -bijdragen de restactiviteit kleiner is dan 3 pc/l, c.q. de  $^{226}\text{Ra}$  activiteit kleiner is dan 3 pc/l.

totale β - activiteit

- 30 pc/l - zonder verder onderzoek
- 30 - 100 pc/l - wanneer na aftrek van de  $^{40}\text{K}$  bijdrage de restactiviteit kleiner is dan 30 pc/l, c.q. de  $^{90}\text{Sr}$  activiteit kleiner is dan 30 pc/l
- 100 - 1000 pc/l - wanneer de  $^{90}\text{Sr}$  activiteit kleiner is dan 30 pc/l en de  $^{129}\text{J}$  activiteit kleiner is dan 100 pc/l.

## Organoleptische parameters

Parameters	gemeten als	richtniveau	max. toelaatbaar
Kleur	Pt/Co in mg/l	1	20
Troebelingsgraad	SiO <sub>2</sub> in mg/l	1	10
	Jacksoneenheden	0,4	4
Reuk	verdunningsfactor	0	2 bij 12°C 3 bij 25°C
Zwavelwaterstof	µg/l S		organoleptisch niet-waarneembaar
Smaak	verdunningsfactor	0	2 bij 12°C 3 bij 25°C
Fenolen	µg/l C <sub>6</sub> H <sub>5</sub> OH		0,5
Restchlor	mg/l Cl		

## Fysisch-chemische parameters

Parameters	gemeten als	richtniveau	max. toelaatbaar
Temperatuur	°C	12	25
Waterstofionen concentratie	pH	6,5 < pH < 8,5	6,5 < pH < 9,2 <sup>*</sup>
Geleidingsvermogen	µS per cm bij 20°C	400	2000 <sup>*</sup>
Totaal zoutgehalte	mg/l	300 <sup>*</sup>	1500 <sup>*</sup>
Droogrest	mg/l na drogen bij 180°C	500 <sup>*</sup>	1500
Chloride	mg/l Cl	25	300 <sup>*</sup>
Sulfaat	mg/l SO <sub>4</sub>	25	250
Silicium	mg/l SiO <sub>2</sub>		
Calcium	mg/l Ca	100	200 <sup>*</sup>
Totale hardheid	mg/l Ca	> 60	200 <sup>*</sup>
Kalium	mg/l K	10	12
IJzer	mg/l Fe	0,05	0,2
Mangaan	mg/l Mn	0,02	0,05
Aluminium	mg/l Al	0,05	0,2
Opgeloste zuurstof	% O <sub>2</sub> -verzadiging	> 75	> 25
Vrij kooldioxide	mg/l CO <sub>2</sub>		niet-agressief

bestanddeel	bij voorkeur lager dan	maximaal toelaat- baar	eenheid
<u>Chemisch</u>			
totaal zout	500	1500	g/m <sup>3</sup>
electrisch geleidingsvermogen	750	2250	µS/cm bij 25°C
SAR	6,0	15	
RSC	1,25	2,5	
sulfaat	200	1000	g/m <sup>3</sup>
chloride	100	350	g/m <sup>3</sup>
pH, tussen	7,0-8,5	6,0-9,0	
<u>Toxisch</u>			
arsenicum	1,0	5,0	g/m <sup>3</sup>
borium	0,5	2,0	g/m <sup>3</sup>
koper	0,1	1,0	g/m <sup>3</sup>
<u>Bacteriologisch</u>			
coli-achtigen, gemiddeld	10 <sup>7</sup>		per m <sup>3</sup>

## Kwaliteitseisen voor veedrenking.

bestanddeel	bij voorkeur lager dan	maximaal toelaat- baar	eenheid
<u>Chemisch</u>			
totaal zout	2500	5000	g/m <sup>3</sup>
calcium	500	1000	g/m <sup>3</sup>
magnesium	250	500	g/m <sup>3</sup>
natrium	1000	2000	g/m <sup>3</sup>
bicarbonaat	500	500	g/m <sup>3</sup>
chloride	1500	3000	g/m <sup>3</sup>
sulfaat	500	1000	g/m <sup>3</sup>
nitraat	200	400	g/m <sup>3</sup>
nitriet	afwezig	afwezig	g/m <sup>3</sup>
pH, tussen	6,0-8,5	5,6-9,0	
<u>Toxisch</u>			
arsenicum	1		g/m <sup>3</sup>
cadmium	5		g/m <sup>3</sup>
fluor	1	6	g/m <sup>3</sup>

- Kwaliteitseisen voor openbaar recreatiewater.









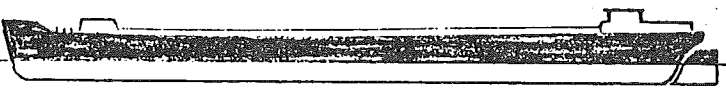

kenmerk	baden en zwemmen		roeien en zeilen		eenheid
	bij voorkeur lager dan	maximaal toelaatbaar	bij voorkeur lager dan	maximaal toelaatbaar	
<u>Physisch</u>					
zwevende stof	20	100	20	100	g/m <sup>3</sup>
troebeling	10	50	20	-	g SiO <sub>2</sub> /m <sup>3</sup>
plankton organismen, aantal	-	5.10 <sup>6</sup>	-	-	per m <sup>3</sup>
kleur	15	100	15	100	g Pt/m <sup>3</sup>
doorzichtlengte, minimaal	6	1,5	-	-	m
zichtbare rioolstoffen	afwezig	afwezig	afwezig	afwezig	
drijvend olie en vet	0	5	0	10	g/m <sup>3</sup>
geur	afwezig	niet hinderlijk.			
temperatuur	30	50	-	-	°C
<u>Chemisch</u>					
pH, tussen	6,5-8,5	6,0-9,0		4-10	van
zuurstof, gewenst	>70%	>50%			verzadigings concentratie
BOD <sub>5</sub> <sup>20</sup>	5	10			g O <sub>2</sub> /m <sup>3</sup>
opgeloste en geemulgeerde olie en vet	10	20	20	50	g/m <sup>3</sup>
anionische detergents	1	2	1	5	g/m <sup>3</sup>
<u>Bacteriologisch</u>					
coli-achtigen, gemiddeld	10 <sup>6</sup>	10 <sup>7</sup>			per m <sup>3</sup>
E-coli, gemiddeld	0,2.10 <sup>6</sup>	2.10 <sup>6</sup>			per m <sup>3</sup>

Bijlage 2471 - Kwaliteitseisen voor zoetwatervissen.

bestanddeel	grensconcentratie	eenheid
<u>Physisch</u>		
zwevende stof	100	g/m <sup>3</sup>
troebeling, voor roofvissen	40	g SiO <sub>2</sub> /m <sup>3</sup>
kleur, voor roofvissen	20	g Pt/m <sup>3</sup>
drijvend olie en vet	0	g/m <sup>3</sup>
temperatuur, algemeen	30	°C
temperatuur, zalm en forel	20	°C
<u>Anorganisch</u>		
totaal zout	2000	g/m <sup>3</sup>
electrisch geleidingsvermogen	3000	µS/cm bij 25°C
vrij koolzuur	1,0	g/m <sup>3</sup>
pH, normaal tussen	6,5-8,5	
uiterste grenzen	6,5-9,0	
zuurstof, gemiddeld	5	g/m <sup>3</sup>
gedurende 6 uur per dag	3	g/m <sup>3</sup>
zalm en forel	9	g/m <sup>3</sup>
vrij chloor	0,02	g/m <sup>3</sup>
<u>Toxisch</u>		
arsenicum	1,0	g/m <sup>3</sup>
barium	5,0	g/m <sup>3</sup>
cadmium	0,01	g/m <sup>3</sup>
hexavalent chroom	0,05	g/m <sup>3</sup>
cyanide als CN	0,02	g/m <sup>3</sup>
fluor	1,5	g/m <sup>3</sup>
koper	0,02	g/m <sup>3</sup>
kwik	0,01	g/m <sup>3</sup>
lood	0,1	g/m <sup>3</sup>
nikkel	0,05	g/m <sup>3</sup>
zilver	0,01	g/m <sup>3</sup>
zink	0,1	g/m <sup>3</sup>
<u>Organisch</u>		
anionische detergenten	2,0	g/m <sup>3</sup>
opgeloste en geemulgeerde olie en vet	10	g/m <sup>3</sup>
phenol	1,0	g/m <sup>3</sup>
ammoniak	0,5	g/m <sup>3</sup>
sulfiden	0,5	g/m <sup>3</sup>

# Bijlage 2.1 a1

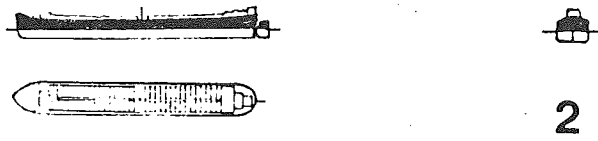
## MAATSCHEPEN EN HUN KARAKTERISTIEKE AFMETINGEN

			Afmetingen in meters			
			Lengte	Breedte	Diepgang (geladen)	Hoogte (ledig)
<b>Splts (300 ton)</b>  			38.50	5.00	2.20	3.55
<b>Kempenaar (600 ton)</b>  			50.00	6.60	2.50	4.20
<b>Dortmund-Eemskanaalschip (1000 ton)</b>  			67.00	8.20	2.50	3.95
<b>Rijn-Hernekanaalschip (1350 ton)</b>  			80.00	9.50	2.50	4.40
<b>Groot Rijn-schip (2000 ton en meer)</b>  			95.00	11.50	2.70	6.70

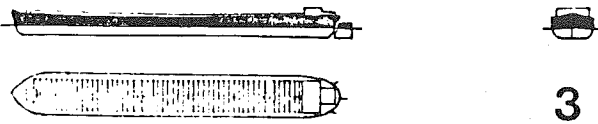




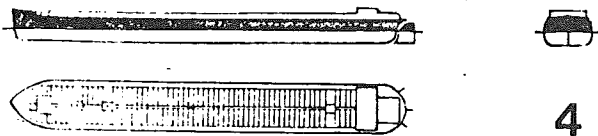
1



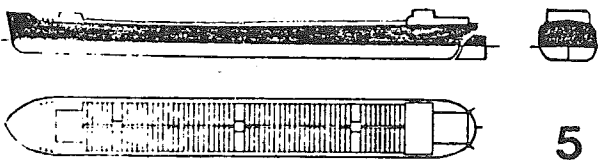
2



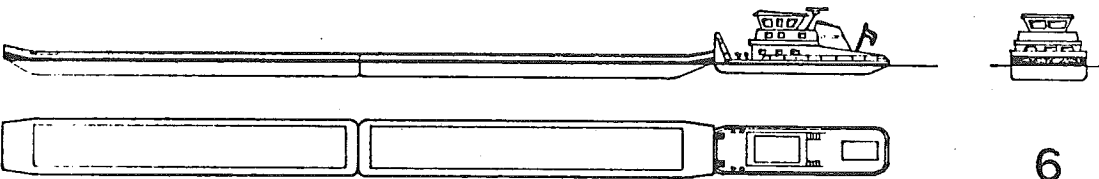
3



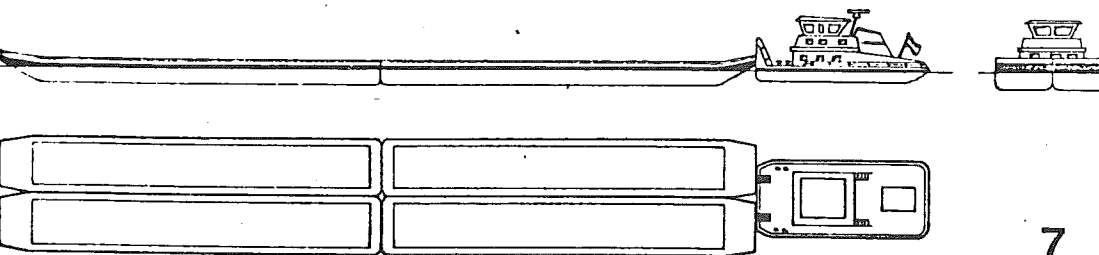
4



5



6



7

No.	laadvermogen klasse (tonnen)	standaardschip			
		laadv. (tonn.)	lengte (m)	breedte (m)	diepgang (m)
0	50- 199	125	25	4,6	1,6
1	200- 449	325	39	5,1	2,3
2	450- 749	550	50	6,6	2,5
3	750- 1.149	925	67	8,2	2,5
4	1.150- 1.549	1.350	80	9,5	2,6
5	1.550- 2.549	2.000	95	11,5	2,7
6	2.550- 4.999	4.100	175	11,4	3,0
7	≥ 5.000	8.800	185	22,8	3,2

verdeling beroepsvaart in laadvermogenklassen

De samenstelling van het Waalwater  
bij Tiel over het jaar 1980

n = aantal waarnemingen per jaar  
\* in ongefiltreerd water

Voorzover niet anders vermeld, zijn alle hoeveelheden  
uitgedrukt in mg/l

maandgemiddelden

	n	januari	februari	maart	april	mei	juni	juli	augustus	september	oktober	november	december	minimum	gemiddeld	maximum
<b>Algemeen</b>																
Waterafvoer m <sup>3</sup> /s (te Lobith)	366	2460	4667	1818	2501	2141	2251	4663	2512	1690	1607	1742	2599	1237	2548	8811
Temperatuur °C	53	4,2	7,0	8,3	10,2	14,8	18,0	17,4	20,3	18,0	13,3	8,8	5,6	3,0	12,0	21,0
Zuurstof (O <sub>2</sub> ) *	53	10,4	11,0	9,5	8,6	9,8	8,7	7,9	8,6	8,7	8,1	8,3	10,2	7,5	9,2	12,4
Zuurstofpercentage (O <sub>2</sub> ) *	53	82	93	83	77	100	91	84	97	94	80	74	84	68	86	117
Zuurstof gedroogd bij 110 °C *	53	28	48	28	28	34	32	32	30	43	27	20	23	16	31	82
Radioactiviteit (zonder K) mBq/l *	10	< 37	< 37	< 37	< 37	73	69	< 37	< 37	62	88	< 37	< 37	< 37	< 37	88
Itritium Bq/l *	12	28	20	20	17	15	20	23	22	19	16	15	16	15	20	28
Waterstofexponent (pH) *	53	7,5	7,6	7,7	7,5	7,7	7,7	7,6	7,8	7,6	7,6	7,6	7,56	7,1	7,6	8,0
<b>Anorganische stoffen</b>																
Elektr. geleidingsvermogen mS/m (20 °C)	310	84,4	63,8	98,3	82,0	84,4	80,6	59,2	67,7	92,6	105,3	96,4	91,3	44,0	83,8	121,0
Chloride (Cl <sup>-</sup> )	310	161	107	192	153	155	149	96	113	190	225	197	189	56	160	272
Chlorideafvoer kg/s (te Lobith)	310	388	438	346	373	330	340	425	279	318	357	339	436	230	364	687
Hydrocarbonaat (HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup> ) *	53	165	145	181	159	162	155	135	155	154	165	164	153	119	157	186
Sulfaat (SO <sub>4</sub> <sup>-</sup> )	53	74	63	88	75	69	63	53	57	72	85	77	71	43	70	92
Fluoride (F <sup>-</sup> )	52	0,26	0,20	0,25	0,24	0,27	0,27	0,23	0,27	0,23	0,26	0,25	0,23	0,17	0,25	0,35
Natrium (Na <sup>+</sup> )	53	73	56	89	81	85	75	50	59	94	124	100	98	33	82	156
Kalium (K <sup>+</sup> )	53	6,1	5,1	7,3	6,1	6,1	5,9	4,8	5,2	6,7	8,5	7,2	7,6	4,0	6,4	10,1
Calcium (Ca <sup>++</sup> )	53	82	68	91	82	79	77	63	71	82	90	83	81	50	79	95
Magnesium (Mg <sup>++</sup> )	53	12,4	10,6	13,8	12,2	12,5	10,9	9,4	10,6	11,9	12,6	11,9	11,7	8,5	11,7	14,3
Totale hardheid in mmol/l	53	2,6	2,2	2,9	2,6	2,7	2,4	1,9	2,2	2,6	2,9	2,6	2,5	1,6	2,5	3,2
<b>Organische stoffen</b>																
Organische koolstof (TOC)	52	4,6	5,0	5,1	5,3	4,8	5,0	4,8	4,5	5,4	4,9	5,6	5,5	3,9	5,0	7,0
Chemisch zuurstofverbruik (COD) *	53	15	15	17	18	22	21	18	20	19	18	19	18	13	18	29
Chemisch zuurstofverbruik (COD)	53	10	10	11	12	13	14	11	12	13	11	13	13	8	12	16
Zuurstofverbruik aan KMnO <sub>4</sub>	53	14	14	17	15	17	15	17	12	16	19	18	15	10	16	25
UV-extinctie (per meter) 254 nm	53	11,2	11,0	11,5	10,0	9,5	9,8	11,2	8,8	10,8	10,8	11,5	11,8	8,0	10,7	15,0
Chloorgetal mg Pt/l	53	19	19	19	24	19	23	17	16	19	18	19	19	13	19	26
Leukgetal	50	45	23	29	50	57	38	23	19	24	29	22	15	6	32	80
Luchtige fenolen µg/l *	52	7	3	7	10	6	5	5	3	4	3	3	4	1	5	18
Die (I.R.-methode) µg/l *	51	100	153	130	100	110	70	88	68	110	148	95	187	30	111	350
Fluorantheen µg/l *	12	0,26	0,40	0,27	0,03	0,03	0,03	0,14	0,04	0,05	0,06	0,14	0,25	0,03	0,14	0,40
1,12-Benzofluorantheen µg/l *	12	0,04	0,06	0,04	0,02	0,01	0,01	0,03	0,01	0,01	0,02	0,03	0,05	0,01	0,03	0,06
3,4-Benzofluorantheen µg/l *	12	0,08	0,14	0,08	0,03	0,03	0,03	0,07	0,02	0,03	0,03	0,08	0,13	0,02	0,06	0,14
1,12-Benzoperyleen µg/l *	12	0,05	0,08	0,05	0,01	0,00	0,01	0,04	0,02	0,00	0,02	0,05	0,06	0,00	0,03	0,08
3,4-Benzopyreen µg/l *	12	0,07	0,12	0,07	0,02	0,02	0,02	0,06	0,02	0,02	0,02	0,06	0,09	0,02	0,05	0,12
Indeno (1,2,3,c,d) pyreen µg/l *	12	0,06	0,10	0,07	0,02	0,02	0,02	0,02	0,00	0,00	0,02	0,04	0,08	0,00	0,04	0,10
Hexachloorbenzeen (HCB) µg/l *	11	0,03	0,01	0,05	0,03	0,05	0,04	0,03	0,04	-	0,04	0,06	0,02	0,01	0,04	0,06
Hexachloorcyclohexaan (HCH) µg/l *	11	0,01	0,01	0,04	0,01	0,01	0,01	0,00	0,00	-	0,00	0,01	0,00	0,00	0,01	0,04
Hexachloorcyclohexaan (HCH) µg/l *	11	0,01	0,01	0,01	0,01	0,02	0,02	0,00	0,00	-	0,02	0,02	0,00	0,00	0,01	0,02
Cholinesterase-remmers µg/l *	6	0,6	0,4	0,5	-	0,7	0,8	1,0	-	-	-	-	-	0,4	0,6	1,0
Anionische detergenten µg/l *	53	80	40	108	130	125	90	70	100	100	90	100	110	30	100	240
Chlorofyl a µg/l *	50	2,6	1,8	8,5	12,4	11,7	26,5	14,0	40,0	38,6	11,8	4,0	3,8	0,0	14,4	53,0

**Vervolg bijlage 2.5.1.1**

n = aantal waarnemingen per jaar  
 \* = in ongefiltreerd water

Voorzover niet anders vermeld, zijn alle hoeveelheden  
 uitgedrukt in mg/l

maandgemiddelden

	n	januari	februari	maart	april	mei	juni	juli	augustus	september	oktober	november	december	minimum	gemiddeld	maximum
<b>Eutrofiërende stoffen</b>																
Ammonium (NH <sub>4</sub> <sup>+</sup> ) *	53	1,31	0,88	1,50	0,64	0,29	0,20	0,09	0,12	0,21	0,59	0,98	1,10	0,00	0,66	2,10
Kjeldahl stikstof (N) *	53	1,7	1,0	1,8	1,1	0,9	1,0	0,7	1,0	0,9	1,0	1,3	1,4	0,4	1,1	2,6
Nitriet (NO <sub>2</sub> <sup>-</sup> )	53	0,23	0,17	0,38	0,34	0,29	0,37	0,33	0,24	0,28	0,32	0,25	0,19	0,12	0,28	0,56
Nitraat (NO <sub>3</sub> <sup>-</sup> )	53	18	17	19	18	17	16	13	13	17	19	18	20	12	17	22
Orthofosfaat (PO <sub>4</sub> <sup>3-</sup> )	53	1,13	0,97	1,33	1,13	1,0	1,23	0,84	1,03	1,39	1,67	1,43	1,39	0,55	1,21	2,06
Totaal fosfaat (PO <sub>4</sub> ) *	53	1,91	1,56	2,05	2,02	1,81	2,06	1,38	1,44	2,02	2,21	2,09	2,12	1,00	1,89	2,90
Siliciumdioxide (SiO <sub>2</sub> )	53	7,1	7,4	7,3	6,8	1,9	2,7	5,2	2,9	2,9	5,2	6,6	7,0	1,0	5,3	8,0
<b>Overige anorganische stoffen</b>																
IJzer (Fe) *	53	0,84	1,79	1,10	1,12	0,92	1,03	1,29	0,87	0,89	0,95	0,79	1,06	0,28	1,05	2,60
Mangaan (Mn) µg/l *	53	94	98	115	84	63	78	82	95	94	83	73	100	0	88	150
Chroom (Cr) µg/l *	53	14	6	12	11	11	11	6	9	9	13	9	8	3	10	20
Chroom (Cr) µg/l	11	8	2	9	7	5	8	3	3	3	—	6	4	2	5	9
Cobalt (Co) µg/l *	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
Cobalt (Co) µg/l	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
Nikkel (Ni) µg/l *	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
Nikkel (Ni) µg/l	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
Koper (Cu) µg/l *	53	13	10	13	12	11	11	10	10	12	12	10	10	7	11	24
Koper (Cu) µg/l	11	5	5	9	6	6	7	5	5	9	—	8	9	5	7	9
Zink (Zn) µg/l *	53	91	86	115	100	84	73	60	55	82	88	83	92	45	84	130
Zink (Zn) µg/l	11	25	10	40	55	30	30	25	20	50	—	55	65	10	37	65
Arseen (As) µg/l *	53	7	3	4	3	3	3	3	3	4	3	3	3	2	4	11
Arseen (As) µg/l	11	4	3	4	2	3	2	3	3	3	—	2	3	2	3	4
Cadmium (Cd) µg/l *	52	0,8	0,6	1,0	0,7	0,9	0,9	0,5	0,8	1,0	2,2	1,3	1,1	0,3	1,0	3,1
Cadmium (Cd) µg/l	11	0,2	0,0	0,4	0,5	0,3	0,3	0,2	0,2	0,5	—	1,0	1,1	0,0	0,4	1,1
Kwik (Hg) µg/l *	53	0,4	0,2	0,2	0,2	0,3	0,4	0,2	0,1	0,2	0,3	0,2	0,2	0,1	0,2	1,0
Kwik (Hg) µg/l	11	0,2	0,2	0,0	0,1	0,3	0,0	0,1	0,1	0,1	—	0,1	0,0	0,0	0,1	0,3
Lood (Pb) µg/l *	52	28	23	14	14	13	12	13	10	14	15	11	13	8	15	34
Lood (Pb) µg/l	11	8	5	5	3	2	2	2	0	3	—	3	4	0	3	8
Cyanide (CN) µg/l *	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
<b>Bakteriën</b>																
Kiemgetal (agar) per µl:																
3 dagen 22 °C *	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
2 dagen 37 °C *	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
MPN bacteriën coli-groep per ml *	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—

## De samenstelling van het Waalwater bij Tiel over het jaar 1981

n = aantal waarnemingen per jaar  
\* = in ongefiltreerd water

Voorzover niet anders vermeld, zijn alle hoeveelheden  
uitgedrukt in mg/l

maandgemiddelden

n	januari	februari	maart	april	mei	juni	juli	augustus	september	oktober	november	december	minimum	gemiddeld	maximum	
<b>Algemeen</b>																
Waterafvoer m <sup>3</sup> /s (bij Lobith)	365	3380	3104	3998	2789	2217	2494	2284	2339	1612	3606	2939	5193	1337	3001	6699
Temperatuur °C	51	5,3	4,8	8,6	11,0	14,5	18,2	19,3	19,5	17,8	12,7	10,8	4,6	3,0	12,2	21,0
Zuurstof (O <sub>2</sub> ) *	52	10,6	10,1	9,7	11,0	9,2	8,4	8,0	8,6	8,4	8,3	9,1	10,9	6,7	9,4	12,4
Verzadigingspercentage (O <sub>2</sub> ) *	51	86	81	86	103	93	91	89	96	91	81	85	86	72	89	120
Zwevende stof gedroogd bij 110 °C *	51	39,3	41,7	28,0	30,0	33,0	40,4	42,3	35,9	33,3	23,9	36,5	34,4	16,4	34,7	67,0
Restradioactiviteit (zonder K) mBq/l *	12	43	94	0	0	0	0	86	0	116	37	25	0	34	116	
Tritium Bq/l *	12	13	23	10	13	12	17	14	10	14	10	9	11	9	13	23
Waterstofexponent (pH) *	52	7,73	7,85	7,72	7,88	7,83	7,78	7,85	7,88	7,74	7,68	7,68	7,74	7,50	7,78	8,10
<b>Anorganische stoffen</b>																
Elektr. geleidingsvermogen mS/m (20 °C)	52	67,0	77,3	74,8	73,8	79,9	74,2	73,1	66,1	81,0	66,1	69,5	55,8	49,5	71,5	104,0
Chloride (Cl <sup>-</sup> )	308	125	148	137	129	165	143	149	121	183	120	122	84	56	136	223
Chlorideafvoer kg/s (te Lobith)	308	424	427	488	355	357	350	335	280	293	399	348	428	192	373	737
Hydrocarbonaat (HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup> ) *	52	147	159	154	162	160	153	150	146	148	146	159	155	124	163	190
Sulfaat (SO <sub>4</sub> <sup>---</sup> )	52	65	70	67	66	76	68	70	63	74	59	65	56	49	67	88
Fluoride (F <sup>-</sup> )	52	0,18	0,20	0,20	0,23	0,27	0,22	0,27	0,28	0,25	0,21	0,20	0,18	0,14	0,22	0,34
Natrium (Na <sup>+</sup> )	52	60	74	74	72	82	71	70	62	79	61	63	43	35	68	120
Kalium (K <sup>+</sup> )	52	5,3	6,0	6,0	5,5	6,4	5,8	6,1	5,5	6,4	5,6	5,6	4,7	4,3	5,7	7,6
Calcium (Ca <sup>**</sup> )	52	71	76	75	80	78	78	77	69	80	68	75	65	57	74	93
Magnesium (Mg <sup>**</sup> )	52	10,9	12,1	11,7	12,5	15,6	11,3	11,1	10,2	11,0	10,2	11,7	11,0	9,3	11,6	16,4
Totale hardheid in mmol/l	52	2,3	2,4	2,4	2,5	2,6	2,4	2,5	2,2	2,5	2,2	2,4	2,1	1,8	2,4	2,9
<b>Organische stoffen</b>																
Organische koolstof (TOC)	50	3,0	3,6	3,5	2,7	3,4	3,8	3,8	2,9	4,1	4,1	3,3	3,0	1,9	3,4	5,4
Chemisch zuurstofverbruik (COD) *	52	17	19	12	14	17	14	15	14	15	12	10	10	8	14	21
Chemisch zuurstofverbruik (COD)	52	8	12	7	7	8	8	7	6	8	9	7	7	5	8	16
Verbruik aan KMnO <sub>4</sub>	52	12	13	12	12	17	14	15	10	15	15	14	12	9	13	20
UV-extinctie (per meter) 254 nm	52	9,0	9,5	9,2	8,0	10,0	10,4	10,3	9,3	10,8	13,8	9,3	9,8	7,0	10,0	20,0
Kleurgetal mg Pt/l	52	10	15	13	10	16	17	19	10	16	24	14	19	8	15	40
Reukgetal	49	19	18	18	27	27	19	17	23	23	34	21	15	9	22	40
Vluchtige fenolen µg/l *	52	4	5	5	7	4	3	4	4	5	4	4	3	2	4	13
Olie (I.R.-methode) µg/l *	49	0,14	0,11	0,09	0,06	0,08	0,08	0,07	0,07	0,32	0,11	0,07	0,10	0,03	0,11	1,00
Polycyclische aromaten µg/l *	12	0,28	0,51	0,20	0,12	0,12	0,16	0,13	0,08	0,23	0,17	0,13	0,23	0,08	0,20	0,51
Fluorantheen µg/l *	12	0,11	0,18	0,09	0,05	0,06	0,06	0,06	0,04	0,09	0,09	0,08	0,06	0,04	0,08	0,18
11,12 Benzofluorantheen µg/l *	12	0,02	0,04	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,00	0,02	0,01	0,00	0,01	0,00	0,01	0,04
3,4 Benzofluorantheen µg/l *	12	0,06	0,12	0,04	0,02	0,02	0,03	0,03	0,02	0,05	0,03	0,03	0,04	0,02	0,04	0,12
1,12 Benzoperyleen µg/l *	12	0,02	0,04	0,02	0,02	0,01	0,02	0,00	0,01	0,02	0,01	0,00	0,09	0,00	0,02	0,09
3,4 Benzopyreen µg/l *	12	0,04	0,07	0,02	0,01	0,01	0,02	0,02	0,01	0,03	0,02	0,02	0,03	0,01	0,03	0,07
Indeno (1,2,3,c,d) pyreen µg/l *	12	0,03	0,06	0,02	0,01	0,01	0,02	0,01	0,00	0,02	0,01	0,00	0,00	0,00	0,02	0,06
Hexachloorbenzeen (HCB) µg/l *	12	0,01	0,05	0,00	0,00	0,02	0,01	0,00	0,12	0,02	0,01	0,02	0,00	0,00	0,02	0,12
α-Hexachloorcyclohexaan (HCH) µg/l *	12	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
γ-Hexachloorcyclohexaan (HCH) µg/l *	12	0,01	0,01	0,00	0,00	0,02	0,02	0,00	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,00	0,01	0,02
Cholinesterase-remmers µg/l *	12	0,80	0,70	0,90	0,30	0,40	0,30	0,00	0,80	0,50	0,80	0,30	0,20	0,00	0,50	0,90
Anionische detergenten µg/l *	52	85	70	70	70	85	70	58	50	52	55	50	30	64	130	
Chlorofyl a µg/l *	51	2	3	7	55	76	44	47	46	48	5	3	2	2	28	107

Vervolg bijlage

n = aantal waarnemingen per jaar  
 \* = in ongefiltreerd water

Voorzover niet anders vermeld, zijn alle hoeveelheden uitgedrukt in mg/l

maandgemiddelden

	n	januari	februari	maart	april	mei	juni	juli	augustus	september	oktober	november	december	minimum	gemiddeld	maximum
<b>Eutrofiërende stoffen</b>																
Ammonium (NH <sub>4</sub> <sup>+</sup> )	52	0,92	1,06	0,92	0,32	0,29	0,14	0,07	0,11	0,26	0,25	0,51	0,56	0,00	0,45	1,90
Kjeldahl stikstof (N) *	49	1,3	1,6	1,4	1,0	1,3	0,7	1,0	1,0	1,0	0,9	0,9	1,1	0,3	1,1	2,6
Nitriet (NO <sub>2</sub> <sup>-</sup> )	52	0,18	0,35	0,23	0,23	0,28	0,28	0,21	0,20	0,30	0,23	0,24	0,13	0,08	0,24	0,72
Nitraat (NO <sub>3</sub> <sup>-</sup> )	52	19	21	18	14	19	16	15	13	16	14	17	17	11	17	23
Orthofosfaat (PO <sub>4</sub> <sup>---</sup> )	52	0,80	1,22	0,94	0,71	1,18	1,04	1,00	0,97	0,99	0,88	1,10	0,76	0,04	0,96	1,52
Totaal fosfaat (PO <sub>4</sub> ) *	52	1,68	1,45	1,54	1,39	1,86	1,67	1,75	1,60	1,74	1,43	1,41	1,12	0,90	1,55	2,45
Siliciumdioxide (SiO <sub>2</sub> )	51	10,0	8,5	7,3	3,4	2,6	4,2	2,3	3,1	2,8	5,2	6,8	7,6	1,0	5,3	13,0
<b>Overige anorganische stoffen</b>																
Ijzer (Fe) *	52	1,43	0,39	0,87	0,82	0,73	1,08	0,86	0,97	1,10	1,26	0,90	1,40	0,23	0,99	3,10
Mangaan (Mn) µg/l *	52	85	113	92	48	73	40	90	75	96	93	58	86	0	79	180
Chroom (Cr) µg/l *	52	21	16	14	14	16	13	11	9	10	15	10	9	4	13	39
Chroom (Cr) µg/l	12	1	1	2	1	0	0	1	0	0	1	0	1	0	1	2
Cobalt (Co) µg/l *	52	1,0	0,5	0,4	0,0	0,0	0,6	1,0	1,0	1,0	1,0	0,0	0,4	0,0	0,6	4,0
Cobalt (Co) µg/l	12	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
Nikkel (Ni) µg/l *	52	7,0	7,8	5,0	3,5	5,3	4,8	6,0	5,3	5,2	9,8	4,5	5,8	3,0	5,8	19,0
Nikkel (Ni) µg/l	10	-	8,0	5,0	3,0	3,0	5,0	4,0	2,0	4,0	-	3,0	4,0	2,0	4,1	8,0
Koper (Cu) µg/l *	52	10	12	12	21	9	10	10	8	10	11	8	9	7	11	34
Koper (Cu) µg/l	12	3	7	4	4	6	7	8	5	6	8	5	4	3	6	8
Zink (Zn) µg/l *	52	78	81	60	54	55	49	59	59	66	68	54	53	30	61	125
Zink (Zn) µg/l	11	30	50	50	10	25	15	-	10	30	50	15	60	10	31	60
Arseen (As) µg/l *	52	3	3	3	3	4	3	4	4	4	8	3	4	2	4	23
Arseen (As) µg/l	12	2	2	2	2	3	2	3	3	3	2	2	1	1	2	3
Cadmium (Cd) µg/l *	52	0,9	1,0	0,9	0,9	0,8	0,9	0,8	0,9	1,1	0,6	0,7	0,6	0,2	0,8	1,7
Cadmium (Cd) µg/l	12	0,0	0,4	0,4	0,1	0,2	0,2	0,3	0,1	0,2	0,4	0,2	0,4	0,0	0,3	0,4
Kwik (Hg) µg/l *	51	0,2	0,5	0,3	0,2	0,1	0,2	0,4	0,2	0,2	0,2	0,3	0,1	0,0	0,1	0,4
Kwik (Hg) µg/l	15	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,4	0,1	0,0	0,1	0,2	0,0	0,0	0,1	0,4
Lood (Pb) µg/l *	52	11	11	10	10	13	11	14	11	12	16	9	9	6	12	39
Lood (Pb) µg/l	12	0	0	1	3	2	1	2	0	3	2	0	1	0	1	3
Beryllium (Be) µg/l *	52	0,13	0,14	0,09	0,05	0,06	0,09	0,06	0,09	0,06	0,22	0,08	0,16	0,03	0,10	0,70
Beryllium (Be) µg/l	12	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
Vanadium (V) µg/l *	52	5,50	5,50	3,60	3,75	4,25	5,20	4,00	4,25	3,60	8,25	4,00	9,80	2,00	5,17	21,00
Vanadium (V) µg/l	12	0,00	1,00	0,00	2,00	2,00	2,00	2,00	2,00	2,00	1,00	1,00	4,00	0,00	1,58	4,00
Barium (Ba) µg/l *	52	101,25	96,25	96,00	88,75	92,50	71,00	110,00	112,50	114,00	111,25	162,50	71,00	65,00	101,15	205,00
Barium (Ba) µg/l	12	75,00	85,00	95,00	70,00	70,00	60,00	95,00	80,00	100,00	95,00	110,00	60,00	60,00	82,92	110,00
Cyanide (CN) µg/l *	0	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Bromide (Br) µg/l *	0	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
<b>Bacteriën</b>																
Bakt. coligroep 37 °C MF/ml	52	306	299	119	149	116	450	1383	1086	797	386	189	188	43	451	2750
Bakt. coligroep 44 °C MF/ml	52	73	53	25	26	31	76	106	111	147	65	37	70	7	69	310
Fecale streptococcon MF/ml	52	48	23	17	5	4	2	3	4	8	21	15	36	0	15	68

2.5.1.

Bijlage

De samenstelling van het Waalwater bij Tiel in het jaar 1982  
(maandgemiddelden)

n = aantal waarnemingen in het verslagjaar  
\* = in ongefiltreerd water  
z.d. = zonder dimensie

Voorzover niet anders vermeld, zijn alle meetresultaten uitgedrukt in de dimensie mg/l

	n	januari	februari	maart	april	mei	juni	juli	augustus	september	oktober	november	december	minimum	gemiddeld	maximum
<b>Algemeen</b>																
Waterafvoer (bij Lobith) m <sup>3</sup> /s	365	5241	3845	2820	2462	2164	2526	2362	2195	1605	2546	2065	3806	1347	2801	7931
Temperatuur* °C	52	3,8	5,8	7,6	10,0	14,3	19,4	21,8	20,0	19,5	14,3	10,4	6,5	2,0	12,9	23,0
Zuurstof (O <sub>2</sub> )*	52	11,0	9,9	9,9	11,4	9,4	8,5	10,3	9,8	10,1	7,9	9,1	11,0	7,0	9,8	13,0
Zuurstofverzadigingspercentage (O <sub>2</sub> )* %	52	85	82	86	104	94	94	120	106	110	79	80	91	65	94	145
Zwevende stof (gedroogd bij 110 °C)*	50	33,4	45,3	21,2	28,0	27,3	34,6	41,9	37,5	31,2	26,1	22,5	41,9	12,8	32,4	93,6
β-Restradioactiviteit (zonder <sup>40</sup> K)* mBq/l	12	0	0	0	0	0	66	0	0	0	0	0	48	0	10	66
Tritium ( <sup>3</sup> H)* Bq/l	11	8	17	8	8	17	16	15	11	12	6	9	—	6	12	17
Zuurgraad* pH-eenheden	52	7,85	7,73	7,76	7,88	7,78	7,88	8,15	7,96	7,75	7,55	7,54	7,65	7,50	7,79	8,40
<b>Anorganische stoffen</b>																
Elektr. geleidingsvermogen (bij 20 °C) mS/m	52	54,6	72,5	75,1	74,8	81,5	71,6	69,0	65,2	80,3	73,8	78,7	64,3	45,5	71,8	92,5
Chloride (Cl <sup>-</sup> )	306	80	117	139	145	155	135	117	115	172	149	171	131	50	136	234
Chloridevracht (bij Lobith) kg/s	306	379	421	386	348	332	339	275	251	272	356	348	406	177	341	675
Waterstofcarbonaat (HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup> )*	52	149	167	173	164	166	151	142	151	155	145	159	143	130	156	192
Sulfaat (SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup> )	52	53	68	75	73	74	59	60	58	71	69	70	60	46	66	84
Fluoride (F <sup>-</sup> )	52	0,17	0,23	0,21	0,17	0,23	0,22	0,20	0,22	0,25	0,24	0,25	0,20	0,11	0,22	0,35
Bromide (Br <sup>-</sup> ) µg/l	10	131	180	190	150	230	220	150	250	200	—	320	—	131	202	320
Cyanide (CN <sup>-</sup> )* µg/l	4	—	—	—	—	1	0	1	—	—	—	1	—	0	< 1	1
Natrium (Na <sup>+</sup> )	52	42	61	64	65	79	71	66	58	83	72	75	59	28	66	99
Kalium (K <sup>+</sup> )	52	4,6	5,4	5,5	5,8	6,2	5,3	5,0	5,2	6,9	7,4	6,4	5,5	4,2	5,8	9,6
Calcium (Ca <sup>2+</sup> )	52	64	79	83	82	81	70	69	71	76	74	87	73	55	76	92
Magnesium (Mg <sup>2+</sup> )	52	10,3	12,1	14,3	12,9	12,5	10,4	11,0	10,4	11,2	11,2	11,8	12,1	9,2	11,7	16,3
Totale hardheid mmol/l	52	2,0	2,5	2,7	2,6	2,6	2,3	2,2	2,2	2,4	2,3	2,5	2,3	1,8	2,4	2,9
<b>Organische stoffen</b>																
Totaal organische koolstof (TOC)	50	4,0	3,8	3,5	3,4	4,0	3,7	3,4	3,2	2,9	3,9	3,8	3,2	2,4	3,6	5,6
Chemisch zuurstofverbruik (COD)*	52	11	16	18	24	25	23	24	20	24	18	15	19	9	20	31
Chemisch zuurstofverbruik (COD)	52	9	12	15	16	14	14	11	14	16	13	12	12	7	13	19
Kaliumpermanganaatverbruik (KMnO <sub>4</sub> ) mg O <sub>2</sub> /l	52	13	13	13	11	14	14	12	15	14	15	17	15	8	14	20
UV-extinctie (golflengte 254 nm) 1/m	52	13,0	9,8	10,8	8,8	9,8	8,6	9,3	9,2	9,3	10,5	10,2	11,3	8,0	10,0	17,0
Kleur mg Pt/l	52	23	15	15	13	15	14	11	14	13	15	16	15	10	15	40
Reukgetal z.d.	50	11	12	21	28	43	27	15	14	24	19	15	11	6	19	55
Vluchtige fenolen* µg/l	52	4	3	4	4	6	5	3	4	3	6	4	3	0	4	8
Olie (IR-methode)* µg/l	52	10	110	90	100	70	80	70	80	140	80	50	80	< 10	80	240
Tot. polycycl. aromat. koolwaterstoffen (PAK's)* µg/l	12	0,45	0,38	0,26	0,16	0,22	0,24	0,26	0,32	0,17	0,15	0,23	0,14	0,14	0,25	0,45
— Fluorantheen* µg/l	12	0,19	0,16	0,10	0,06	0,08	0,09	0,09	0,15	0,07	0,08	0,07	0,05	0,05	0,10	0,19
— Benzo(b)fluorantheen* µg/l	12	0,08	0,07	0,05	0,03	0,04	0,05	0,06	0,07	0,03	0,02	0,05	0,03	0,02	0,05	0,08
— Benzo(k)fluorantheen* µg/l	12	0,03	0,03	0,02	0,01	0,02	0,02	0,02	0,02	0,01	0,01	0,02	0,01	0,01	0,02	0,03
— Benzo(a)pyreen* µg/l	12	0,06	0,04	0,03	0,02	0,03	0,03	0,03	0,04	0,02	0,02	0,04	0,02	0,02	0,03	0,06
— Benzo(ghi)peryleen* µg/l	12	0,04	0,03	0,02	0,02	0,02	0,01	0,03	0,03	0,02	0,01	0,03	0,01	0,01	0,02	0,04
— Indeno(1,2,3-cd)pyreen* µg/l	12	0,05	0,05	0,04	0,02	0,03	0,04	0,03	0,03	0,02	0,01	0,02	0,02	0,01	0,03	0,05
Hexachloorbenzeen (HCB)* µg/l	11	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	—	0,01	0,01	0,00	0,00	0,00	< 0,01	0,01
α-Hexachloorcyclohexaan (HCH)* µg/l	11	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	—	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
γ-Hexachloorcyclohexaan (HCH)* µg/l	11	0,00	0,00	0,00	0,00	0,01	0,01	0,01	—	0,01	0,02	0,01	0,02	0,00	0,01	0,02
Cholinesterase-remmers (als parathion)* µg/l	10	0,70	0,90	—	1,10	1,40	2,00	1,90	—	0,70	0,50	0,50	0,80	0,50	1,05	2,00
Anionactieve detergenten* µg/l	52	55	98	102	83	78	64	48	48	50	58	50	70	30	67	190
Chlorofyl-a* µg/l	50	2	4	8	56	62	42	80	49	51	8	3	2	1	28	106

12.5.11

## Vervolg bijlage

De samenstelling van het Waalwater bij Tiel in het jaar 1982  
(maandgemiddelden)

n = aantal waarnemingen in het verslagjaar

\* = in ongefiltreerd water

z.d. = zonder dimensie

Voorzover niet anders vermeld, zijn alle meetresultaten  
uitgedrukt in de dimensie mg/l

	n	januari	februari	maart	april	mei	juni	juli	augustus	september	oktober	november	december	minimum	gemiddeld	maximum	
<b>Eutrofiërende stoffen</b>																	
Ammonium (NH <sub>4</sub> *)	52	0,73	0,94	0,94	0,33	0,21	0,13	0,04	0,06	0,24	0,25	0,44	0,48	0,00	0,40	1,30	
Ammonium (als N)	52	0,56	0,73	0,73	0,26	0,17	0,1	0,03	0,05	0,19	0,19	0,34	0,37	0,00	0,31	1,01	
Kjeldahl stikstof (N)*	52	1,2	1,2	1,4	1,1	1,3	0,9	0,9	0,8	1,2	1,0	1,0	1,2	0,5	1,1	2,0	
Nitriet (NO <sub>2</sub> <sup>-</sup> )	51	0,14	0,19	0,23	0,24	0,29	0,23	0,16	0,17	0,23	0,30	0,26	0,17	0,11	0,22	0,36	
Nitriet (als N)	51	0,04	0,06	0,07	0,07	0,09	0,07	0,05	0,05	0,07	0,09	0,08	0,05	0,03	0,07	0,11	
Nitraat (NO <sub>3</sub> <sup>-</sup> )	52	16	18	19	18	16	12	11	12	14	16	18	18	10	16	22	
Nitraat (als N)	52	3,50	4,01	4,38	4,07	3,67	2,80	2,58	2,80	3,05	3,62	3,98	4,01	2,17	3,54	4,97	
Orthofosfaat (PO <sub>4</sub> <sup>3-</sup> )	52	0,64	0,90	1,03	1,05	1,03	0,99	0,80	0,87	1,10	1,23	1,19	0,88	0,50	0,98	1,54	
Orthofosfaat (als P)	52	0,21	0,29	0,34	0,34	0,34	0,32	0,26	0,28	0,36	0,40	0,39	0,29	0,16	0,32	0,50	
Totaal fosfaat (PO <sub>4</sub> *)	52	1,06	1,31	1,50	1,48	1,50	1,51	1,40	1,54	1,74	1,60	1,70	1,23	0,85	1,47	2,15	
Totaal fosfaat (als P)*	52	0,35	0,43	0,49	0,48	0,49	0,49	0,46	0,50	0,57	0,52	0,56	0,40	0,28	0,48	0,70	
Silicaat (als SiO <sub>2</sub> )	52	7,1	7,5	7,1	4,1	2,2	2,8	1,7	2,6	2,5	5,0	7,1	7,4	0,4	4,8	9,1	
<b>Overige anorganische stoffen</b>																	
IJzer (Fe)*	52	2,26	1,88	1,17	0,99	0,86	0,92	1,18	1,15	1,14	2,28	1,48	1,54	0,66	1,39	4,90	
Mangaan (Mn)*	52	88	113	102	88	95	82	100	80	88	113	96	118	50	96	190	
Chroom (Cr)*	52	9	10	5	5	6	4	6	5	5	10	8	11	3	7	22	
Chroom (Cr)	12	1	0	0	0	1	0	0	0	0	0	1	1	0	<1	1	
Cobalt (Co)*	51	1,8	0,5	1,0	0,8	1,0	1,0	1,0	0,0	0,0	0,5	0,8	1,0	0,0	0,8	3,0	
Cobalt (Co)	12	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	
Nikkel (Ni)*	52	7,0	7,0	5,4	4,5	4,8	8,2	6,0	3,8	4,3	5,8	5,0	6,5	3,0	5,7	19,0	
Nikkel (Ni)	11	4,0	4,0	4,0	3,0	4,0	3,0	6,0	-	2,0	3,0	4,0	4,0	2,0	3,7	6,0	
Koper (Cu)*	52	12	11	8	7	8	9	8	10	9	8	8	8	3	9	18	
Koper (Cu)	11	8	6	14	3	5	2	5	-	5	4	3	4	2	5	14	
Zink (Zn)*	52	63	86	89	63	63	62	60	52	65	69	71	64	35	67	130	
Zink (Zn)	11	45	30	60	25	30	40	30	-	15	25	40	50	15	36	60	
Arseen (As)*	52	8	5	3	3	3	2	4	3	4	5	3	5	2	4	15	
Arseen (As)	12	2	2	2	2	2	1	2	2	2	3	2	1	1	2	3	
Cadmium (Cd)*	52	0,5	0,7	0,8	1,1	0,9	0,8	0,8	0,7	1,3	1,0	1,1	0,7	0,2	0,9	2,1	
Cadmium (Cd)	12	0,0	0,5	0,5	0,6	0,4	0,3	0,3	0,6	0,2	0,7	0,4	0,5	0,0	0,4	0,7	
Kwik (Hg)*	50	0,3	0,4	0,1	0,3	0,2	0,1	0,1	0,0	0,1	0,0	0,0	0,0	0,0	0,2	0,6	
Kwik (Hg)	10	0,2	-	-	0,2	0,2	0,1	0,1	0,0	0,0	0,1	0,0	0,0	0,0	0,1	0,2	
Lood (Pb)*	52	8	11	11	8	8	7	9	8	9	10	9	10	4	9	19	
Lood (Pb)	11	2	0	2	1	1	1	0	-	0	0	0	0	0	<1	2	
Beryllium (Be)*	52	0,23	0,12	0,08	0,06	0,05	0,06	0,07	0,08	0,07	0,15	0,1	0,21	0,03	0,10	0,52	
Beryllium (Be)	12	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	
Vanadium (V)*	52	10,75	4,50	2,20	2,00	3,75	4,60	4,50	5,20	4,25	7,75	5,60	10,50	1,00	5,39	18,00	
Vanadium (V)	10	-	-	0,00	1,00	1,00	1,00	2,00	2,00	2,00	2,00	4,00	7,00	0,00	2,20	7,00	
Barium (Ba)*	52	92	84	174	149	125	98	90	89	114	120	126	130	80	116	190	
Barium (Ba)	12	45	50	150	130	110	85	60	65	90	100	80	120	45	90	150	
<b>Bakteriën</b>																	
Bakt. coligroep 37 °C*	aantal/ml	52	280	427	167	90	89	167	168	181	111	149	196	263	43	190	1025
Bakt. coligroep 44 °C*	aantal/ml	52	116	64	30	18	20	27	59	72	46	33	46	23	4	46	168
Fecale streptococcon*	aantal/ml	52	54	20	10	3	2	2	1	3	8	7	11	17	0	11	69

12.5.1.1

Bijlage

De samenstelling van het Rijnwater bij Lobith in het jaar 1983  
(maandgemiddelden)

n = aantal waarnemingen in het verslagjaar  
\* = in ongefiltreerd water  
z.d. = zonder dimensie  
- = niet gemeten

Voor zover niet anders vermeld, zijn alle meetresultaten  
uitgedrukt in de dimensie mg/l

	n	januari	februari	maart	april	mei	juni	juli	augustus	september	oktober	november	december	minimum	gemiddeld	maximum
<b>Algemeen</b>																
Waterafvoer m <sup>3</sup> /s	365	3554	3241	3053	5081	4112	3782	2034	1466	1575	1249	1008	1750	882	2652	9707
Temperatuur °C	52	6,5	5,5	7,5	10,5	13,0	17,5	23,0	23,0	18,0	15,0	9,5	6,5	4,0	13,0	25,0
Zuurstof (O <sub>2</sub> )* %	52	10,2	10,0	9,6	9,1	7,8	8,3	8,4	9,1	7,1	6,8	7,0	8,5	6,0	8,5	11,5
Zuurstofverzadigingspercentage* %	52	86	81	83	84	77	89	100	106	78	69	62	70	55	82	130
Zwevende stof (gedroogd bij 110 °C)*	52	37	26	42	68	43	40	43	44	33	23	31	35	19	39	160
β- Restradioactiviteit (zonder <sup>40</sup> K)* Bq/l	12	< 0,2	< 0,2	< 0,2	< 0,2	< 0,2	< 0,2	< 0,2	< 0,2	< 0,2	< 0,2	< 0,2	< 0,2	< 0,2	< 0,2	< 0,2
Tritium ( <sup>3</sup> H)* Bq/l	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Zuurgraad* pH-eenheden	52	7,6	7,6	7,7	7,6	7,7	7,9	8,0	7,8	7,7	7,6	7,6	7,7	7,1	7,7	8,1
<b>Anorganische stoffen</b>																
Elektr. geleidingsvermogen (bij 20 °C) mS/m	52	64	70	75	61	69	73	83	89	88	102	139	107	43	85	155
Chloride (Cl <sup>-</sup> )	350	99	125	132	90	109	108	148	183	198	240	303	227	47	162	370
Chloridevracht kg/s	350	348	382	392	405	400	364	292	266	304	300	303	396	188	346	690
Sulfaat (SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup> )	52	59	65	72	58	60	65	74	79	83	93	108	88	41	76	116
Waterstofcarbonaat (HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup> )*	52	146	161	165	147	159	171	168	158	153	165	179	164	132	162	192
Natrium (Na <sup>+</sup> )	52	53	66	70	53	63	62	80	93	97	112	178	126	27	89	218
Kalium (K <sup>+</sup> )	52	4,8	5,3	5,7	4,8	5,1	5,1	6,2	6,0	6,7	7,3	10	8,1	3,6	6,3	11
Calcium (Ca <sup>2+</sup> )	52	70	74	80	67	70	77	78	78	78	89	99	86	53	79	107
Magnesium (Mg <sup>2+</sup> )	52	11,5	12,0	13,7	10,8	11,9	13,4	13,5	13,7	12,7	13,4	15,6	13,1	9,4	13,0	17,9
Totale hardheid mmol/l	52	2,2	2,4	2,6	2,1	2,2	2,5	2,5	2,5	2,5	2,8	3,1	2,7	1,7	2,5	3,3
<b>Organische stoffen</b>																
Organische koolstof (DOC)	50	2,9	3,0	3,0	3,2	3,3	3,0	3,7	3,1	3,5	3,3	3,6	3,6	2,5	3,3	4,2
Chemisch zuurstofverbruik (COD)*	52	18	17	18	19	20	23	28	30	24	23	27	26	13	23	35
Chemisch zuurstofverbruik (COD)	52	13	12	12	12	14	14	16	15	18	18	21	21	8	15	24
Kaliumpermanganaatverbruik (KMnO <sub>4</sub> )	52	13	13	14	13	15	16	15	16	15	15	21	20	10	15	25
UV-extinctie (golflengte 254 nm) 1/m	52	10	12	10	10	11	10	9	9	9	9	11	11	8	10	20
Kleur (Pt-schaal)	52	16	16	13	18	19	18	19	14	15	14	16	15	10	16	45
Reukgetal* z.d.	52	15	20	27	15	13	25	21	38	13	20	28	21	9	22	66
Anionogene detergenten*	52	< 0,05	< 0,05	0,05	< 0,05	0,07	0,05	0,08	0,06	0,08	0,11	0,11	0,11	< 0,05	0,07	0,14
Fenolindex (als fenol)* µg/l	52	3	5	4	4	3	4	4	4	5	6	6	9	1	5	15
Olief (IR-methode)*	51	0,10	0,08	0,08	0,07	0,11	0,08	0,12	0,08	0,14	0,08	0,14	0,12	< 0,01	0,10	0,21
Tot. polycycl. arom. koolwaterstoffen (PAK's)* µg/l	12	0,23	0,13	0,22	0,20	0,10	0,08	0,10	0,28	0,10	0,12	0,21	0,19	0,08	0,16	0,28
- Fluorantheen* µg/l	12	0,08	0,02	0,09	0,08	0,03	0,01	0,02	0,13	0,01	0,05	0,08	0,08	0,01	0,06	0,13
- Benzo(b)fluorantheen* µg/l	12	0,05	0,03	0,04	0,03	0,03	0,02	0,02	0,05	0,03	0,02	0,04	0,04	0,02	0,03	0,05
- Benzo(k)fluorantheen* µg/l	12	0,02	0,01	0,02	0,02	0,01	0,01	0,01	0,02	0,01	0,01	0,02	0,02	0,01	0,02	0,02
- Benzo(ghi)peryleen* µg/l	12	0,02	0,02	0,02	0,02	0,01	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	< 0,01	< 0,01	0,02	0,02
- Benzo(a)pyreen* µg/l	12	0,04	0,03	0,03	0,03	0,02	0,01	0,02	0,04	0,02	0,01	0,03	0,03	0,01	0,03	0,04
- Indeno(1,2,3-cd)pyreen* µg/l	12	0,02	0,02	0,02	0,02	< 0,01	0,01	0,01	0,02	0,01	0,01	0,02	0,02	< 0,01	0,02	0,02
Adsorbeerbaar org. gebonden chloor (AOCl)* µg/l	12	55	25	70	25	55	50	50	50	75	45	45	95	25	55	95
Extraherbaar org. gebonden chloor (EOCl)* µg/l	5	19	5,0	13	-	-	3,1	2,2	-	-	-	-	-	2,2	8,5	19
Hexachloorbenzeen (HCB)* µg/l	11	< 0,01	0,01	-	< 0,01	< 0,01	< 0,01	< 0,01	< 0,01	< 0,01	< 0,01	< 0,01	0,03	< 0,01	0,01	0,03
α-Hexachloorcyclohexaan (HCH)* µg/l	11	< 0,01	< 0,01	-	< 0,01	< 0,01	< 0,01	< 0,01	< 0,01	< 0,01	0,07	0,01	0,07	< 0,01	0,02	0,07
γ-Hexachloorcyclohexaan (HCH)* µg/l	11	0,01	0,01	-	0,01	0,02	0,02	0,02	0,02	0,01	0,02	0,02	0,02	0,01	0,02	0,02
Cholinesterase-remmers (als parathion)* µg/l	12	< 1	< 1	< 1	1	1	1	1	< 1	1	< 1	< 1	< 1	< 1	1	1

2.5.1.1



Vervolg bijlage

De samenstelling van het Rijnwater bij Lobith in het jaar 1983  
(maandgemiddelden)

n = aantal waarnemingen in het verslagjaar

\* = in ongefiltreerd water

z.d. = zonder dimensie

- = niet gemeten

Voor zover niet anders vermeld, zijn alle meetresultaten uitgedrukt in de dimensie mg/l

	n	januari	februari	maart	april	mei	juni	juli	augustus	september	oktober	november	december	minimum	gemiddeld	maximum
<b>Eutrofiërende stoffen</b>																
Ammonium (NH <sub>4</sub> <sup>+</sup> )	52	0,94	1,3	1,1	0,51	0,45	0,24	0,20	0,35	0,55	0,66	1,5	2,2	0,11	0,84	2,9
Ammonium (als N)	52	0,73	0,98	0,88	0,40	0,35	0,19	0,16	0,27	0,43	0,51	1,2	1,7	0,09	0,65	2,3
Kjeldahl stikstof (N)*	52	1,2	1,5	1,5	0,90	1,0	0,83	1,2	1,5	1,2	1,2	1,5	2,0	0,60	1,3	2,9
Nitriet (NO <sub>2</sub> <sup>-</sup> )	52	0,21	0,21	0,27	0,21	0,31	0,31	0,33	0,40	0,50	0,53	0,49	0,28	0,17	0,34	0,60
Nitriet (als N)	52	0,06	0,06	0,08	0,06	0,10	0,10	0,10	0,12	0,15	0,16	0,15	0,09	0,05	0,10	0,18
Nitraat (NO <sub>3</sub> <sup>-</sup> )	52	17	19	19	16	16	15	15	15	16	20	23	18	13	17	24
Nitraat (als N)	52	3,8	4,2	4,3	3,6	3,5	3,3	3,3	3,4	3,7	4,5	5,3	4,0	2,9	3,9	5,4
Orthofosfaat (PO <sub>4</sub> <sup>3-</sup> )	52	0,78	0,92	1,0	0,61	0,69	0,62	0,89	1,0	1,2	1,5	1,9	1,4	0,38	1,1	2,0
Orthofosfaat (als P)	52	0,25	0,30	0,34	0,20	0,22	0,20	0,29	0,33	0,39	0,48	0,61	0,44	0,12	0,34	0,66
Totaal fosfor (als PO <sub>4</sub> )*	52	1,4	1,3	1,4	1,3	1,3	1,3	1,5	1,9	2,0	2,0	2,8	2,2	0,9	1,7	3,9
Totaal fosfor (P)*	52	0,45	0,42	0,47	0,43	0,42	0,40	0,48	0,61	0,65	0,65	0,92	0,72	0,30	0,56	1,3
Silicaat (als SiO <sub>2</sub> )	51	7,6	8,0	7,3	6,5	5,4	3,6	2,5	1,5	3,1	4,8	6,5	7,1	< 1,0	5,3	8,3
<b>Algenbiomassa</b>																
Chlorofyl-a*	52	< 2	3	8	6	16	38	69	75	31	14	7	3	< 2	23	101
Feofytine*	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
<b>Overige anorganische stoffen</b>																
IJzer (Fe)*	52	1,7	1,2	1,4	2,0	2,1	1,1	1,3	1,1	0,86	0,94	1,5	1,3	0,74	1,4	4,8
Mangaan (Mn)*	52	0,12	0,09	0,10	0,12	0,11	0,09	0,12	0,10	0,07	0,09	0,12	0,12	0,06	0,10	0,26
Arseen (As)*	52	4	4	2	5	4	3	3	2	3	3	3	2	1	3	15
Arseen (As)	12	1	1	1	1	1	2	2	2	2	2	2	1	1	2	2
Barium (Ba)*	52	130	95	105	105	85	70	95	120	115	115	140	195	70	115	220
Barium (Ba)	12	95	65	75	70	75	70	70	85	95	95	105	115	65	85	115
Beryllium (Be)*	52	0,15	0,11	0,10	0,19	0,13	0,08	0,07	0,07	0,06	0,05	0,07	0,06	0,03	0,09	0,45
Beryllium (Be)	12	< 0,01	< 0,01	0,01	< 0,01	< 0,01	< 0,01	< 0,01	< 0,01	< 0,01	< 0,01	< 0,01	< 0,01	< 0,01	< 0,01	0,01
Cadmium (Cd)*	52	0,8	1,0	0,6	0,3	0,2	0,2	0,3	0,4	0,3	0,4	0,7	0,5	0,1	0,5	1,4
Cadmium (Cd)	12	0,5	0,2	0,3	< 0,1	0,1	< 0,1	0,1	0,1	0,2	0,2	0,4	0,2	< 0,1	0,2	0,5
Chroom (Cr)*	52	9	7	6	11	8	6	8	6	6	5	7	7	4	7	27
Chroom (Cr)	12	< 1	< 1	< 1	1	< 1	< 1	2	1	< 1	1	< 1	2	< 1	1	2
Cobalt (Co)*	52	1	< 1	< 1	1	1	< 1	1	1	< 1	1	1	1	< 1	1	3
Cobalt (Co)	12	< 1	< 1	< 1	< 1	< 1	< 1	< 1	< 1	< 1	< 1	< 1	< 1	< 1	< 1	< 1
Koper (Cu)*	52	8	8	8	10	10	5	3	4	5	4	3	4	3	4	5
Koper (Cu)	12	4	3	4	3	4	4	3	4	5	4	3	4	3	4	5
Kwik (Hg)*	52	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	< 0,1	< 0,1	0,1	0,1	0,1	0,2	0,2	< 0,1	0,1	0,3
Kwik (Hg)	12	< 0,1	< 0,1	< 0,1	< 0,1	< 0,1	< 0,1	< 0,1	< 0,1	< 0,1	< 0,1	< 0,1	< 0,1	< 0,1	< 0,1	< 0,1
Lood (Pb)*	52	10	10	9	10	7	7	12	8	7	7	12	9	4	9	24
Lood (Pb)	12	< 1	< 1	< 1	< 1	2	< 1	2	1	< 1	2	2	2	< 1	1	2
Nikkel (Ni)*	52	6	6	5	6	5	4	4	4	6	5	8	6	3	5	13
Nikkel (Ni)	12	4	3	3	2	< 1	2	3	3	4	4	4	4	< 1	3	4
Vanadium (V)*	52	8,5	7,0	6,0	10,5	8,5	7,5	8,0	7,5	9,0	5,5	7,5	10,0	5,0	8,0	23,0
Vanadium (V)	12	< 2,5	< 2,5	< 2,5	< 2,5	< 2,5	< 2,5	3,0	3,0	7,0	3,0	4,0	5,0	< 2,5	2,5	7,0
Zink (Zn)*	51	80	71	50	46	47	40	40	42	39	51	77	68	20	54	120
Zink (Zn)	12	70	20	25	20	20	15	15	20	15	35	35	35	15	27	70
Bromide (Br <sup>-</sup> )	10	-	-	0,17	0,11	0,20	0,17	0,21	0,23	0,29	0,33	0,41	0,40	0,11	0,25	0,41
Cyanide (CN <sup>-</sup> )*	4	-	6	-	-	1	-	-	< 1	-	-	2	-	< 1	2	6
Fluoride (F <sup>-</sup> )	52	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,3	0,3	0,3	0,2	0,2	0,4
<b>Bacteriën</b>																
Bakt. coligroep 37 °C*	52	383	295	198	205	139	158	550	256	445	355	562	623	80	343	1150
Bakt. coligroep 44 °C*	52	93	83	52	40	38	32	81	88	144	98	81	145	20	80	270
Fecale streptococci*	52	33	31	21	10	5	1	2	2	6	8	19	44	1	15	75

# Bijlage 2.5.1.2.

Norm	A <sup>1)</sup>	B <sup>2)</sup>
<b>Algemene parameters</b>		
Zuurstofdeficiet (%)	20	40
Elektrisch geleidingsvermogen bij 20 °C (mS/m)	70	100
Kleur (mg/l Pt)	5	35
Reukbelasting (drempelwaarde)	10	100
<b>Anorganische stoffen</b>		
Chloride (mg/l)	100	200
Sulfaat (mg/l)	100	150
Nitraat (mg/l)	25	25
Ammonium (mg/l)	0,2	1,5
IJzer (totaal) (mg/l)	1	5
Fluoride (mg/l)	1	1
Arseen (µg/l)	10	50
Lood (µg/l)	30	50
Chroom (µg/l)	30	50
Cadmium (µg/l)	5	10
Koper (µg/l)	30	50
Kwik (µg/l)	0,5	1
Zink (µg/l)	500	1000
<b>Organische stoffen</b>		
Opgeloste organische koolstof (mg/l C)	4	8
Chemisch zuurstofverbruik (Bichromaatmethode) (mg/l O)	10	20
Koolwaterstoffen (mg/l)	0,05	0,2
Detergenten (als TBS) (mg/l)	0,1	0,3
Vluchtige fenolen (µg/l)	5	10
Organisch gebonden chloor (totaal) (µg/l)	50	100
Weinig vluchtige lipofiele organische chloorverbindingen (µg/l Cl)	10	20
Organische chloorpesticiden per afzonderlijke stof (µg/l Cl)	3	5
Cholinesteraseremmende stoffen als parathionequivalent (µg/l)	30	50

1)

Grenswaarden voor het Rijnwater welke bij toepassing van uitsluitend natuurlijke zuiveringsmethoden leiden tot goed drinkwater.

2)

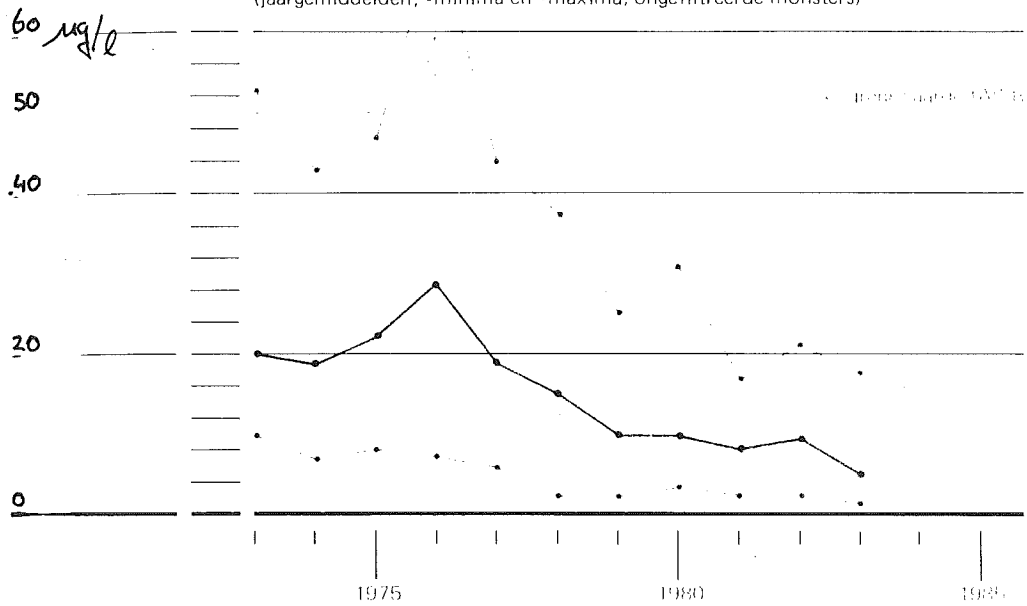
Grenswaarden bij toepassing van bekende en beproefde methoden voor fysisch-chemische drinkwaterbereiding, welke leiden tot een aanvaardbare kwaliteit drinkwater, echter zonder veiligheidsmarge.

# Bijlage 2.5.1.3

Figuur

## Het cadmiumgehalte van het Rijnwater bij de Duits-Nederlandse grens 1973 - 1983.

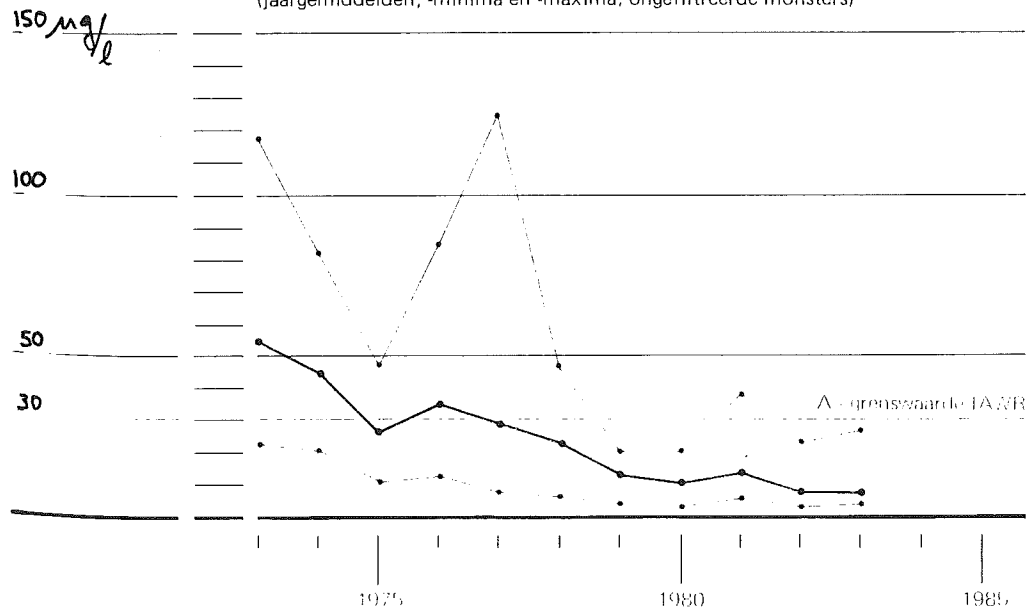
(jaargemiddelden, -minima en -maxima; ongefiltreerde monsters)



Figuur

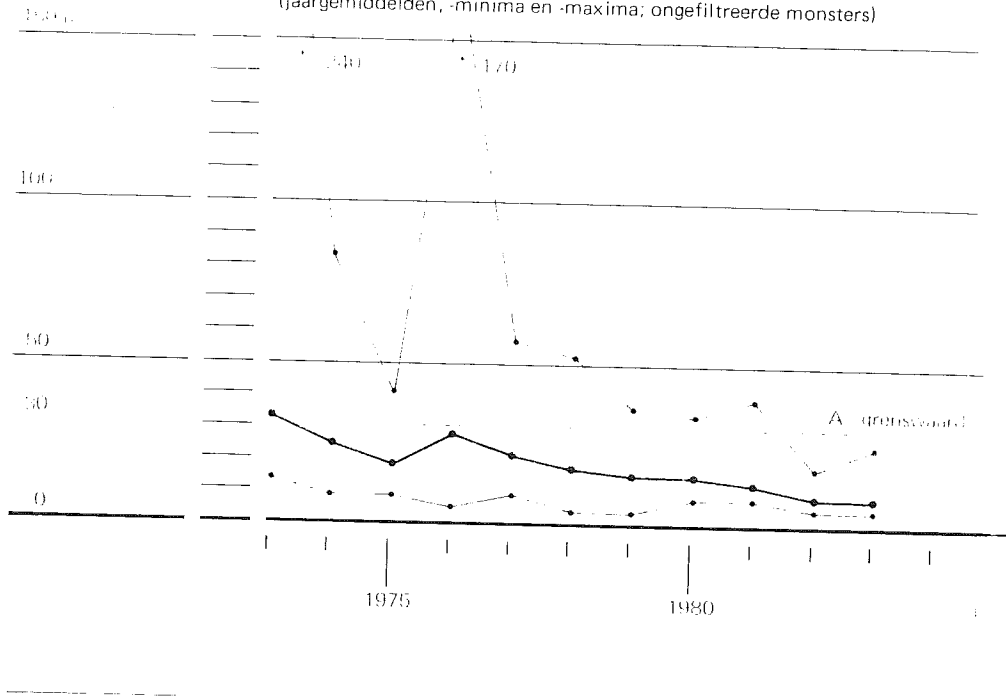
## Het chroomgehalte van het Rijnwater bij de Duits-Nederlandse grens 1973 - 1983.

(jaargemiddelden, -minima en -maxima; ongefiltreerde monsters)



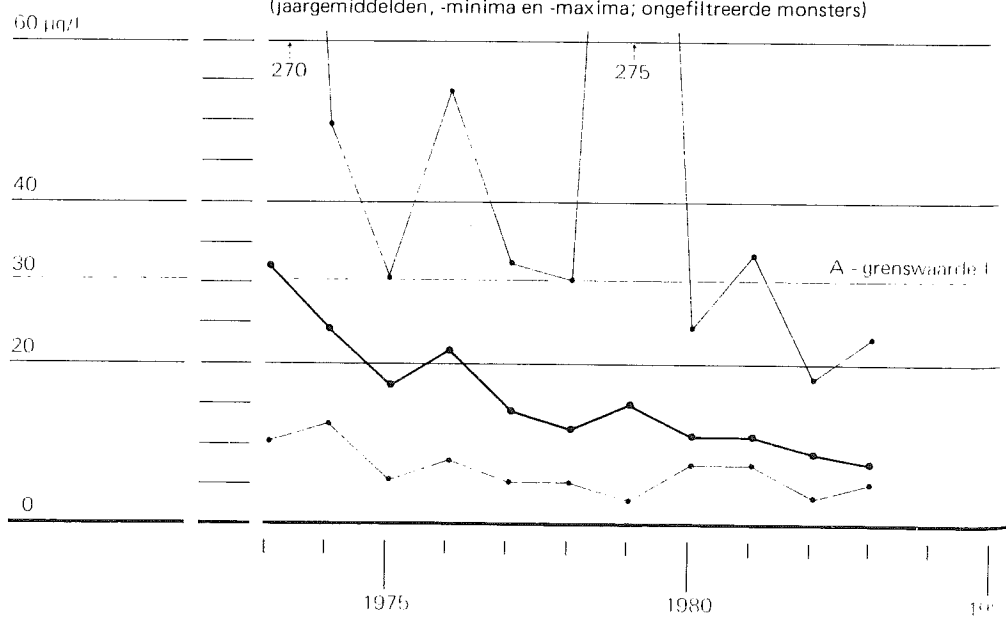
**Figuur**

**Het loodgehalte van het Rijnwater bij de Duits-Nederlandse grens 1973 - 1983.**  
(jaargemiddelden, -minima en -maxima; ongefiltreerde monsters)



**Figuur**

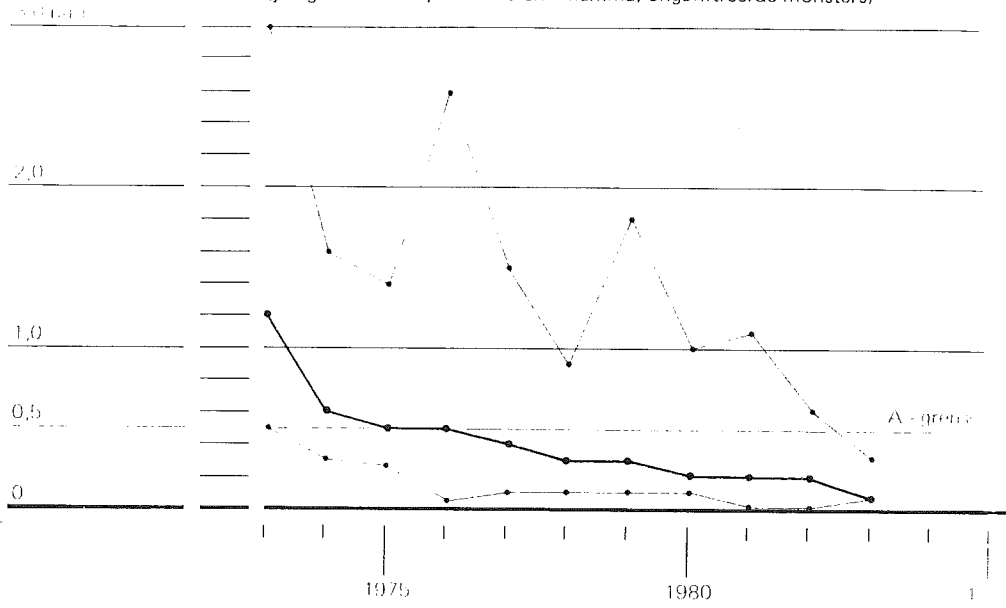
**Het kopergehalte van het Rijnwater bij de Duits-Nederlandse grens 1973 - 1983.**  
(jaargemiddelden, -minima en -maxima; ongefiltreerde monsters)



Figuur

### Het kwikgehalte van het Rijnwater bij de Duits-Nederlandse grens 1973 - 1983.

(jaargemiddelden, -minima en -maxima; ongefiltreerde monsters)



Te Nieuwegein gemelde incidentele verontreinigingen van de Rijn in 1980.  
(gegevens: N.V. WRK)

Nr.	Datum	Plaats	Soort vervuiling	Oorzaak
1	8 januari	Nederrijn bij Driel (str.km 888)	gasolie of benzine	onbekend
2	23 januari	Amsterdam-Rijnkanaal ten noorden van aftakking Merwede	gasolie (300 l)	onbekend
3	14 februari	Waal bij Tiel (str.km 915)	spijsolie (25 ton)	aanvaring
4	29 februari	Amsterdam-Rijnkanaal (Haven Lage Weide)	olie	lozing
5	24 maart	Waal bij Nijmegen (str. km 888-899)	gasolie (lengte 10 km, breedte 15 km)	onbekend
6	25 maart	Lekkanaal ten noorden van de Beatrixsluis	olie	onbekend
7	13 april	Rijn bij Bonn (str.km 656,5)	benzine (300 l)	lekgeslagen tanker
8	10 mei	Main bij Wiesbaden	Gemapol (15 ton)	lozing Hoechst
9	18 augustus	Oude Maas tussen Barendrecht en Puttershoek	gasolie	onbekend
10	23 september	Amsterdam-Rijnkanaal bij Nigtevegt	gasolie (200 l)	aanvaring
11	18 november	Rijn bij Neuwied (str.km 616,6)	gasolie (100 ton)	zinkend schip
12	21 december	Rijn bij Rees (str.km 829,5)	styreen (93 ton)	lekgeslagen tanker

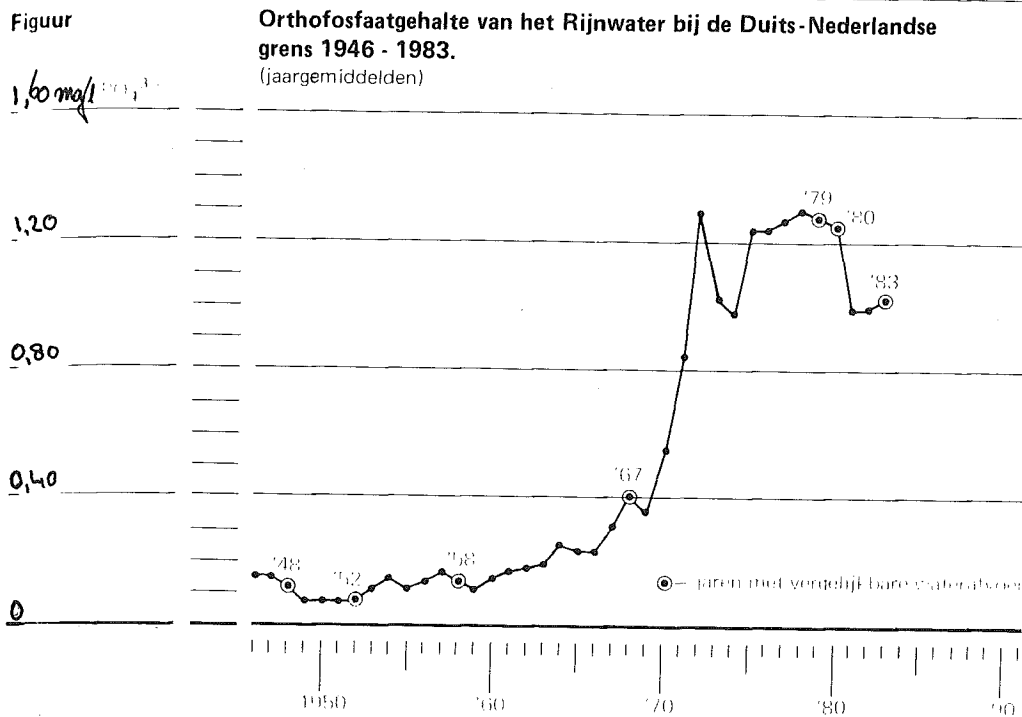
Bij de N.V. WRK te Nieuwegein ontvangen meldingen van incidentele verontreinigingen van de Rijn in 1981.

Nr.	Datum	Str.km.	Plaats	Soort vervuiling	Oorzaak
1	15 januari	769	Rijn, Duisburg	50 - 100 ton nafta	lekkage tanker
2	18 januari	908	Waal, Druten	1,5 - 2 ton afgewerkte olie	(lekkage) tijdens bunkeren
3	3 maart	962	Waal, Hardinxveld	over 10 km drijvende olie	onbekend
4	14 maart	966	Waal, Sliedrecht	20 ton nafta	aanvaring
5	7 april	955	Waal, Gorkum	gasolie	illegale lozing
6	23/24 april	845	Rijn, Emmerich	spijsolie	lozing
7	10 mei	950	Boven-Merwede, Gorkum	2 - 3 km gasolie	onbekend
8	29 mei	869 - 879	Waal, Pannerdense Kop	gasolie	onbekend
9	31 mei	990	Oude Maas, Zwijndrecht	4 500 l gasolie, 150 l smeeroilie	gezonken sleepboot
10	1 juni	958	IJssel, Olst	1,5 - 2 km olie	onbekend
11	2 juni	940	Waal, Haafden	40 m <sup>3</sup> benzine	aanvaring
12	3 juni	957	Boven-Merwede, Gorkum	diverse olieverontreinigingen	onbekend
13	3 juni	950 - 962	Lek, Vreeswijk	olie	onbekend
14	15 juni	884	Waal, Nijmegen	over 12 km gasolie	onbekend
15	21 juni	870	Waal, Millingen	14 m <sup>3</sup> gasolie	lekkage
16	11 juli	901	Waal, Dodewaard	laag afgewerkte olie	lozing
17	11 juli	888	Rijn, Oosterbeek	over 1,5 km olievlek	onbekend
18	8 augustus	945	Waal, Vuren	500 m <sup>3</sup> gasolie	onbekend
19	8 augustus	-	IJssel, Harculo	500 l 'zware' olie	onbekend
20	19 augustus	975	Beneden - Merwede, Papendrecht	over 4 km gasolie	onbekend
21	25 augustus	625	Rijn, Hönningen	10 - 30 ton gasolie	lekgeslagen schip
22	18 oktober	814	Rijn, Wesel	0,5 m <sup>3</sup> smeeroilie, 7 ton gasolie	zinkend schip
23	26 oktober	729	Rijn, Düsseldorf	100 ton dieselolie	aanvaring
24	29 oktober	864	Rijn, Millingen	3 ton benzine	lekkende tanker
25	5 november	629	Rijn, Linz	10 000 l nafta	lekkage tanker
26	20 december	932	Waal, Opijnen	petroleumcokes	zinkend schip
27	22 december	966	IJssel	20 ton stookolie	onbekend
28	27 december	897	Waal, Deest	1 000 ton ijzererts	zinkende duwbak
29	31 december	935	Waal	50 m <sup>3</sup> gasolie	aanvaring

Bij de N.V. WRK te Nieuwegein bekend geworden incidentele verontreinigingen van de Rijn in 1982.

Nr.	Datum	Str.km	Plaats	Soort vervuiling	Oorzaak
1	21 januari	933	Waal, Zaltbommel	gasolie, 30 ton	lekkage tanker
2	10 februari	898	Waal, Deest	stookolie, 10 m <sup>3</sup>	tankwagen gekanteld
3	1 april	430	Rijn, Mannheim	olie, 125 m <sup>3</sup>	aanvaring tanker
4	7 april	637	Rijn, Bonn	wijnsteenzuur, ammoniak, thiosulfaatpolyron, palatinol	gezonken containerschip
5	19 mei	910	Waal, Druten	oliefilm	onbekend
6	12 juli	898	Waal, Deest	gasolie, 130 x 100 m	onbekend
7	29 juli	-	Amsterdam-Rijnkanaal (nabij Zuiderluis)	olie	onbekend

Bijlage 2.5.1.4



8	9 augustus	950-962	Lek, Vreeswijk/Jaarsveld	olie	
9	19 augustus	890-910	Waal, Nijmegen/Druten	gasolie	onbekend
10	22 augustus	919	Waal, Dreumel	gasolie, 40 m <sup>3</sup>	aanvaring tankers
11	8 september	700	Rijn, Leverkusen	tetrachloorethaan, ca. 6 µg/l	bij blussen van brand in Rijn terechtgekomen
12	9 september	—	Amsterdam-Rijnkanaal	gasolie, 2 km	onbekend
13	10 september	984	Oude-Maas	nafta, 4 ton	aanvaring
14	15 september	—	Amsterdam-Rijnkanaal	olie, 70 liter	lozing bij bunkeren
15	20-30 sept.	497	Main	chloornitrobenzeen	
16	30 september	935-950	Waal, Gorkum/Zaltbommel	olie, 8 km x 50 m	onbekend
17	8 oktober	902	Waal, Druten	olie, 1,5 km x 50 m	lozing tanker
18	8 oktober	888	Waal, Weurt	olie, 500 liter	lozing duwcombinatie
19	20 oktober	890	Nederrijn, Oosterbeek	gasolie, 2 km	onbekend
20	28 november	903	Waal, Druten	gasolie, 10 km	onbekend
21	2 december	892-923	Nederrijn, Driel/Amerongen	olie, 10 km	onbekend
22	6 december	—	Amsterdam-Rijnkanaal (nabij Zuiderluis)	olie, 35 ton	aanvaring
23	8 december	—	Main	chloortolueen	onbekend

Bij de N.V. WRK te Nieuwegein bekend geworden incidentele verontreinigingen van de Rijn in 1983

Nr.	Datum	Str.km	Plaats	Soort vervuiling	Oorzaak
1	3 januari	667,8	Keulen	paraxylool	lozing tanker
2	3 januari	onbekend	onbekend	dimethylaniline (WRK-meting)	onbekend
3*	20 januari	699	Leverkusen	nitrobenzeen, ca. 1200 kg/dag	storing afvalwater- zuiveringsinst. Bayer
4	26 januari	onbekend	onbekend	diethylaniline, ca. 1150 kg/dag (WRK-meting)	onbekend
5	28 januari	743	Düsseldorf	dieselolie, ca. 20 t	aanvaring tankers
6*	28 januari	699	Leverkusen	3-chloornitrobenzeen ca. 90 kg, nitrobenzeen ca. 90 kg	bedrijfsstoring Bayer
7	9 februari	497	op de Main	trichloorethaan	onbekend
8	17 februari	607	Neuwied	cadmiumhoudend ruwfosfaat	gezonken schip
9	26 februari	667	Niederkassel	paraxyleen	onbekend
10	17 maart	681-692	Keulen	olievlek	onbekend
11	30 maart	692,5	Keulen-Mülheim	schuim (aard onbekend)	lozing regenwaterkanaal
12	6 april	916-930	Waal, Tiel	olie, vlek 10 km lang	onbekend
13	14 juni	663	Mondorf	detergenten	onbekend
14	16 juni	779	Duisburg	zwavelzuur 96%, 135 t	lozing
15	17 juni	650	Oberkassel	onbekend (vissterfte)	onbekend
16	26 juni	679	Keulen	olie, vlek 10 km lang	onbekend
17	29 juni	642	Bad Honnef	olie, vlek 16 km lang	onbekend
18	2 juli	765-781	Duisburg	gasolie, 5 m <sup>3</sup>	lek schip
19	16 juli	977	Merwede/Noord	gasolie	onbekend
20	31 juli	920	Waal, Tiel	olie, vlek 5 km lang	onbekend
21*	9 augustus	700	Leverkusen	chloornitrobenzeen, 760 kg	bedrijfsstoring Bayer
22*	13 september	700	Leverkusen	tertiair butylcresol	bedrijfsstoring Bayer
23	15 september	426	Mannheim	bariumchloride, 150 kg	verladingsfout
24	27 september	580	Koblenz	olie, 18 t	aanvaring tanker
25	30 september	568-600	Koblenz	olie, vlek 30 km lang	onbekend
26	4 oktober	onbekend	onbekend	N,N-dibutylformamide (WRK-meting te Lobith 40 µg/l)	onbekend
27	31 oktober	1000	Nieuwe Waterweg	olie, vlek 4 km lang	onbekend
28*	23 november	700	Leverkusen	ortho-dichloorbenzeen, 1000 kg	defekt afvalwater- zuiveringsinst. Bayer
29*	19 december	700	Leverkusen	triethylamine, 1000 kg	losofout bij Bayer
30*	2 december	700	Leverkusen	dichloormethaan, 800 kg	bedrijfsstoring Bayer
31	3 december	880	IJssel, Westervoort	natriumsulfaat, 4,5 t	lozing door ENKA
32**	22 december	424,4	Ludwigshafen	bis(chloorisobutyl)ether	lozing BASF



De samenstelling van het Maaswater  
bij Heusden over het jaar 1980

n = aantal waarnemingen per jaar  
\* = in ongefiltreerd water

Voorzover niet anders vermeld, zijn alle hoeveelheden  
uitgedrukt in mg/l

maandgemiddelden

n	januari	februari	maart	april	mei	juni	juli	augustus	september	oktober	november	december	minimum	gemiddeld	maximum	
<b>Algemeen</b>																
Waterafvoer m <sup>3</sup> /s (te Lith)	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	
Temperatuur °C	52	3,8	7,3	7,8	10,4	14,6	18,1	16,6	20,5	17,6	13,1	7,8	5,5	1,8	11,9	21,2
Zuurstof (O <sub>2</sub> ) *	52	11,6	11,1	11,4	11,1	11,0	9,2	8,6	8,4	9,1	10,1	11,3	11,8	7,1	10,4	12,8
Verzadigingspercentage (O <sub>2</sub> ) *	52	88	92	96	98	107	95	88	92	96	95	93	95	76	95	116
Zwevende stof gedroogd bij 110 °C *	50	30,0	37,5	15,6	17,8	12,8	9,8	66,3	8,3	11,8	16,8	19,0	37,0	4,0	23,1	95,0
Restradioactiviteit (zonder K) mBq/l *	1	—	—	—	—	—	—	—	0	—	—	—	—	0	0	0
Tritium Bq/l *	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
Waterstofexponent (pH) *	50	7,8	7,7	7,7	7,7	7,9	7,7	7,6	7,7	7,6	7,8	7,7	7,5	7,7	8,0	
<b>Anorganische stoffen</b>																
Elektr. geleidingsvermogen mS/m (20 °C)	51	42	39	48	45	54	60	37	49	57	61	51	44	31	49	67
Chloride (Cl <sup>-</sup> )	52	33	31	43	41	58	72	31	43	65	73	55	47	22	50	78
Chlorideafvoer kg/s	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
Hydrocarbonaat (HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup> ) *	51	153	143	159	155	167	169	123	162	172	177	160	153	100	158	183
Sulfaat (SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup> )	51	48	49	60	61	61	71	40	51	65	71	58	50	31	58	80
Fluoride (F <sup>-</sup> )	51	0,31	0,25	0,34	0,34	0,42	0,51	0,24	0,41	0,50	0,63	0,44	0,46	0,18	0,41	1,00
Natrium (Na <sup>+</sup> )	51	24	25	26	25	35	46	18	30	41	50	38	28	16	32	52
Kalium (K <sup>+</sup> )	51	4,4	3,8	4,7	4,8	4,9	6,0	4,2	5,1	5,7	6,0	5,3	5,2	1,7	5,0	6,8
Calcium (Ca <sup>2+</sup> )	47	63	55	62	58	59	68	45	60	71	71	62	55	41	62	76
Magnesium (Mg <sup>2+</sup> )	50	6,5	6,4	7,1	6,8	7,5	8,2	5,9	6,8	8,4	8,9	7,5	6,5	5,1	7,2	9,2
Totale hardheid in mmol/l	47	1,8	1,6	1,8	1,7	1,9	2,1	1,4	1,8	2,1	2,1	1,8	1,7	1,2	1,9	2,2
<b>Organische stoffen</b>																
Organische koolstof (TOC)	50	4,8	7,5	5,6	4,3	5,5	6,0	6,3	4,7	5,2	6,5	5,4	4,8	3,6	5,5	9,0
Chemisch zuurstofverbruik (COD) *	47	16	19	14	15	15	15	24	14	14	15	15	20	12	16	28
Chemisch zuurstofverbruik (COD)	47	10	12	10	11	11	11	13	12	11	13	12	11	9	11	16
Verbruik aan KMnO <sub>4</sub>	50	15	18	14	14	14	13	19	15	14	14	15	15	9	15	26
UV-extinctie (per meter) 254 nm	52	8	12	9	10	10	9	14	11	10	11	11	11	6	10	16
Kleurgetal mg Pt/l	52	13	25	15	15	22	15	24	16	16	24	17	18	8	18	47
Smaakgetal	50	8	8	7	8	8	9	11	9	6	8	6	6	5	8	21
Vluchtige fenolen µg/l *	16	4	15	3	3	—	3	0	1	0	—	—	18	0	5	27
Olie (I.R.-methode) µg/l *	44	186	193	158	113	55	48	155	50	36	140	110	110	10	114	300
Fluorantheen µg/l *	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
1,12 Benzofluorantheen µg/l *	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
3,4 Benzofluorantheen µg/l *	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
1,12 Benzoperyleen µg/l *	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
3,4 Benzopyreen µg/l *	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
Indeno (1,2,3,c,d) pyreen µg/l *	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
Hexachloorbenzeen (HCB) µg/l *	1	0,01	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	0,01	0,01	0,01
α-Hexachloorcyclohexaan (HCH) µg/l *	1	0,01	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	0,01	0,01	0,01
γ-Hexachloorcyclohexaan (HCH) µg/l *	1	0,02	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	0,02	0,02	0,02
Cholinesterase-remmers µg/l *	5	—	—	1	0	—	—	1	0	—	—	—	—	0	0	1
Anionische detergenten µg/l *	51	34	33	62	23	53	40	13	53	30	30	38	18	0	36	130
Chlorofyl a µg/l *	51	2	3	8	14	32	20	11	12	14	8	3	2	0	11	44

## Vervolg bijlage

n = aantal waarnemingen per jaar  
 \* = in ongefiltreerd water

Voorzover niet anders vermeld, zijn alle hoeveelheden  
 uitgedrukt in mg/l

maandgemiddelden

n	januari	februari	maart	april	mei	juni	juli	augustus	september	oktober	november	december	minimum	gemiddeld	maximum	
<b>Eutrofiërende stoffen</b>																
Ammonium (NH <sub>4</sub> <sup>+</sup> ) *	51	0,95	0,96	1,15	0,89	0,73	0,94	0,30	0,36	0,67	0,91	1,29	1,22	0,05	0,88	1,71
Kjeldahl stikstof (N) *	45	1,2	1,1	1,7	1,4	1,4	1,4	1,3	1,1	0,7	1,1	1,3	1,4	0,4	1,3	2,1
Nitriet (NO <sub>2</sub> <sup>-</sup> )	52	0,13	0,16	0,21	0,26	0,35	0,65	0,30	0,57	0,54	0,46	0,25	0,16	0,07	0,34	0,79
Nitraat (NO <sub>3</sub> <sup>-</sup> )	52	17	15	18	14	17	16	12	12	16	18	15	15	8	16	21
Orthofosfaat (PO <sub>4</sub> <sup>----</sup> )	52	0,75	0,68	1,39	1,06	1,12	1,80	0,71	1,11	1,33	1,58	1,19	1,15	0,40	1,17	2,70
Totaal fosfaat (PO <sub>4</sub> ) *	50	1,28	1,18	1,47	1,28	1,44	1,79	1,13	1,19	1,59	1,83	1,30	1,48	0,90	1,41	2,00
Siliciumdioxide (SiO <sub>2</sub> )	52	9,3	9,0	9,2	7,6	3,8	4,9	9,8	6,9	7,8	8,8	10,9	9,0	2,0	8,1	14,5
<b>Overige anorganische stoffen</b>																
IJzer (Fe) *	47	0,94	1,13	0,84	0,64	—	0,28	0,81	0,30	0,39	0,52	0,69	1,96	0,16	0,76	3,27
Mangaan (Mn) µg/l *	52	152	163	186	125	73	72	140	88	64	138	158	208	0	130	230
Chroom (Cr) µg/l *	51	3	4	2	3	4	2	3	2	2	2	4	1	1	3	5
Chroom (Cr) µg/l	11	1	1	2	1	2	2	3	—	1	1	—	—	1	2	3
Cobalt (Co) µg/l *	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
Cobalt (Co) µg/l	1	—	1,0	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	1,0	1,0	1,0
Nikkel (Ni) µg/l *	47	9,3	6,5	4,2	9,8	5,8	5,8	6,8	5,8	6,3	10,8	9,0	4,5	0,0	6,9	25,0
Nikkel (Ni) µg/l	9	9,0	4,0	2,0	7,0	3,0	1,0	—	—	4,0	5,0	7,0	—	1,0	4,7	9,0
Koper (Cu) µg/l *	50	9	12	5	11	7	4	7	9	7	9	12	13	0	8	26
Koper (Cu) µg/l	8	5	3	2	3	—	0	—	—	7	2	6	—	0	4	7
Zink (Zn) µg/l *	52	126	156	121	221	127	62	106	100	84	102	161	283	31	134	462
Zink (Zn) µg/l	9	74	79	35	308	—	45	—	—	55	77	81	—	35	90	308
Arseen (As) µg/l *	44	3	3	2	6	6	8	5	5	9	14	10	6	0	14	69
Arseen (As) µg/l	7	2	3	0	69	—	8	—	—	6	—	—	—	0	14	69
Cadmium (Cd) µg/l *	46	7,1	3,6	0,9	1,9	1,7	0,3	1,5	0,7	0,8	0,5	2,1	4,2	0,0	2,1	18,0
Cadmium (Cd) µg/l	7	0,0	0,0	0,0	—	0,0	—	—	—	0,5	0,0	0,0	—	0,0	0,0	0,5
Antimoon (Sb) µg/l *	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
Antimoon (Sb) µg/l	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
Kwik (Hg) µg/l *	45	0,6	0,3	0,2	0,5	0,5	0,5	0,4	0,2	0,3	0,3	0,3	0,2	0,0	0,4	2,0
Kwik (Hg) µg/l	9	0	0	—	1	1	—	0	—	0	0	—	—	0	0	1
Lood (Pb) µg/l *	50	16	12	6	10	7	4	14	9	6	5	11	20	0	10	31
Lood (Pb) µg/l	9	5	3	0	3	5	0	—	—	0	0	4	—	0	2	5
Cyanide (CN) µg/l *	23	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	0	0	0	2
<b>Bacteriën</b>																
Kiemgetal (agar) per µl:	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
3 dagen 22 °C *	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
2 dagen 37 °C *	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
MPN bacteriën coli-groep per ml *	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—

26.1.1

**De samenstelling van het Maaswater  
bij Heusden over het jaar 1981**

n = aantal waarnemingen per jaar  
\* = in ongefiltreerd water

Voorzover niet anders vermeld, zijn alle hoeveelheden  
uitgedrukt in mg/l

maandgemiddelden

n	januari	februari	maart	april	mei	juni	juli	augustus	september	oktober	november	december	minimum	gemiddeld	maximum	
<b>Algemeen</b>																
Waterafvoer m <sup>3</sup> /s (te Lith)	365	878	596	714	318	274	293	273	165	124	495	461	938	67	462	1269
Temperatuur °C	50	5,0	5,2	8,5	11,9	15,6	18,8	19,0	19,6	17,7	12,2	9,3	4,2	2,4	12,4	21,0
Zuurstof (O <sub>2</sub> ) *	50	11,0	11,2	10,4	9,6	8,9	7,5	8,2	6,5	7,7	9,6	10,7	11,1	4,6	9,3	11,8
Verzadigingspercentage (O <sub>2</sub> ) *	50	86	88	89	89	89	80	88	70	80	89	93	85	51	85	100
Zwevende stof gedroogd bij 110 °C *	51	56,3	29,5	29,3	14,4	11,8	18,3	12,2	13,3	12,6	56,1	42,8	56,7	7,5	28,6	114,4
Restradioactiviteit (zonder K) mBq/l *	3	—	24	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	24	49	90
Tritium Bq/l *	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
Waterstofexponent (pH) *	51	7,7	7,8	7,7	7,9	7,8	7,7	7,7	7,7	7,8	7,8	7,8	7,8	7,4	7,8	7,9
<b>Anorganische stoffen</b>																
Elektr. geleidingsvermogen mS/m (20 °C)	48	45	42	43	51	54	55	49	54	64	52	43	33	33	49	68
Chloride (Cl <sup>-</sup> )	51	39	38	41	48	57	50	51	60	79	52	39	32	27	49	87
Chlorideafvoer kg/s	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
Hydrocarbonaat (HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup> ) *	50	139	149	148	177	171	159	150	159	170	166	161	130	110	157	190
Sulfaat (SO <sub>4</sub> <sup>-</sup> ) *	50	46	44	51	53	54	62	54	60	63	55	45	37	30	53	75
Fluoride (F <sup>-</sup> )	48	0,20	0,22	0,25	0,34	0,53	0,40	0,39	0,46	0,49	0,44	0,30	0,19	0,15	0,35	0,69
Natrium (Na <sup>+</sup> )	51	21	22	25	30	33	29	31	34	49	35	24	15	13	29	52
Kalium (K <sup>+</sup> )	51	4,7	4,0	4,6	4,7	4,5	5,2	5,3	5,2	6,2	5,6	4,7	4,3	3,5	4,9	7,4
Calcium (Ca <sup>**</sup> )	50	55	58	62	81	70	55	61	66	73	68	61	54	39	64	114
Magnesium (Mg <sup>**</sup> )	51	6,1	4,7	6,2	9,0	7,1	6,3	7,2	7,7	8,5	7,3	6,6	6,6	1,5	6,9	13,6
Totale hardheid in mmol/l	50	1,6	1,7	1,8	2,4	2,1	1,6	1,8	2,0	2,2	2,0	1,8	1,6	1,2	1,9	3,4
<b>Organische stoffen</b>																
Organische koolstof (TOC)	48	5,4	3,9	4,6	3,7	5,6	5,9	5,3	4,3	5,0	6,2	4,9	4,6	2,9	5,0	8,1
Chemisch zuurstofverbruik (COD) *	47	19	15	14	12	15	14	16	14	14	22	17	18	10	16	31
Chemisch zuurstofverbruik (COD)	47	9	9	11	9	11	11	11	11	12	12	11	10	7	10	13
Verbruik aan KMnO <sub>4</sub>	49	15	12	15	11	12	13	14	13	12	13	15	12	7	13	21
UV-extinctie (per meter) 254 nm	47	11	8	10	8	9	10	12	9	10	11	11	10	7	10	14
Kleurgetal mg Pt/l	50	16	14	17	12	15	17	17	13	19	19	19	15	9	16	26
Reukgetal	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
Vluchtige fenolen µg/l *	19	—	1	5	3	0	0	2	3	5	1	—	—	0	2	6
Olie (I.R.-methode) µg/l *	39	170	68	50	270	—	27	90	22	25	125	176	107	0	88	510
Polycyclische aromaten µg/l *	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
Fluorantheen µg/l *	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
11,12 Benzofluorantheen µg/l *	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
3,4 Benzofluorantheen µg/l *	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
1,12 Benzoperyleen µg/l *	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
3,4 Benzopyreen µg/l *	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
Indeno (1,2,3,c,d) pyreen µg/l *	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
Hexachloorbenzeen (HCB) µg/l *	2	—	—	—	0,02	—	—	0,00	—	—	—	—	—	0,00	0,01	0,02
α-Hexachloorcyclohexaan (HCH) µg/l *	2	—	—	—	0,03	—	—	0,01	—	—	—	—	—	0,01	0,02	0,03
γ-Hexachloorcyclohexaan (HCH) µg/l *	2	—	—	—	0,12	—	—	0,02	—	—	—	—	—	0,02	0,07	0,12
Cholinesterase-remmers µg/l *	2	—	—	—	—	—	—	0	1	—	—	—	—	0	0	1
Anionische detergenten µg/l *	47	—	30	30	23	28	30	33	32	63	25	26	43	0	32	110
Chlorofyl a µg/l *	48	4	2	3	16	21	16	14	23	24	7	2	2	0	11	39

2611  
11

Vervolg bijlage

n = aantal waarnemingen per jaar  
 \* = in ongefiltreerd water

Voorzover niet anders vermeld, zijn alle hoeveelheden uitgedrukt in mg/l

maandgemiddelden

n	januari	februari	maart	april	mei	juni	juli	augustus	september	oktober	november	december	minimum	gemiddeld	maximum	
<b>Eutrofiërende stoffen</b>																
Ammonium (NH <sub>4</sub> <sup>+</sup> )	50	0,84	0,78	1,03	0,69	0,96	0,39	0,53	0,30	0,50	0,72	0,72	0,47	0,14	0,66	1,85
Kjeldahl stikstof (N) *	50	1,1	1,2	1,2	0,9	1,3	0,8	1,0	0,9	1,2	1,3	1,1	0,9	0,4	1,1	1,8
Nitriet (NO <sub>2</sub> <sup>-</sup> )	51	0,16	0,09	0,19	0,37	0,45	0,45	0,44	0,39	0,54	0,38	0,22	0,07	0,00	0,32	0,69
Nitraat (NO <sub>3</sub> <sup>-</sup> )	51	16	15	15	15	17	14	14	15	17	14	13	14	8	15	20
Orthofosfaat (PO <sub>4</sub> <sup>---</sup> )	51	0,47	0,52	0,84	0,67	0,98	0,85	0,95	1,15	1,40	1,17	0,75	0,37	0,34	0,86	1,66
Totaal fosfaat (PO <sub>4</sub> ) *	48	1,10	0,86	1,10	1,16	1,20	1,20	1,25	1,50	1,59	1,74	1,12	0,83	0,55	1,23	2,10
Siliciumdioxide (SiO <sub>2</sub> )	51	8,9	8,9	8,9	6,4	4,5	6,0	8,0	8,3	7,0	11,1	12,4	11,0	3,0	8,4	13,0
<b>Overige anorganische stoffen</b>																
IJzer (Fe) *	43	—	0,05	1,13	0,55	0,43	0,50	0,42	0,37	0,43	1,11	1,16	1,41	0,05	0,73	2,80
Mangaan (Mn) µg/l *	48	205	146	161	138	82	87	92	78	64	125	130	130	46	117	257
Chroom (Cr) µg/l *	47	10	7	7	3	7	1	5	3	4	13	10	10	0	6	25
Chroom (Cr) µg/l	12	—	3	2	1	0	1	2	1	2	1	2	2	0	2	3
Cobalt (Co) µg/l *	37	2,2	—	1,7	0,4	0,8	0,6	1,0	1,4	1,6	2,0	1,5	1,7	0,0	1,4	3,3
Cobalt (Co) µg/l	9	—	—	1,2	0,0	0,6	0,0	0,0	0,7	—	0,0	0,0	0,0	0,0	0,3	1,2
Nikkel (Ni) µg/l *	38	—	5,4	7,0	5,3	6,8	6,4	6,0	6,3	13,0	9,8	10,2	8,3	2,0	7,7	16,0
Nikkel (Ni) µg/l	8	—	—	6,5	5,0	10,0	8,2	8,0	—	—	5,0	5,0	9,0	5,0	7,1	10,0
Koper (Cu) µg/l *	45	25	18	17	11	20	7	12	19	9	10	9	8	0	14	43
Koper (Cu) µg/l	10	—	—	4	7	3	3	12	5	—	3	24	0	0	7	24
Zink (Zn) µg/l *	4	260	160	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	100	210	260
Zink (Zn) µg/l	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
Arseen (As) µg/l *	41	3	9	1	1	1	3	3	3	13	9	3	3	0	4	14
Arseen (As) µg/l	8	—	4	0	—	1	3	2	—	8	2	2	0	0	3	8
Cadmium (Cd) µg/l *	43	2,4	1,6	1,5	0,5	0,8	0,8	1,1	0,3	1,8	2,6	2,1	2,3	0,0	1,5	4,5
Cadmium (Cd) µg/l	10	—	0,9	0,5	0,0	0,0	0,7	0,0	—	0,0	0,0	3,2	0,0	0,0	0,5	3,2
Kwik (Hg) µg/l *	43	0,6	0,4	0,2	0,2	0,3	0,3	0,2	0,2	0,0	0,5	0,3	1,7	0,0	0,4	2,9
Kwik (Hg) µg/l	11	—	0	0	0	0	0	0	—	0	1	0	0	0	0	1
Lood (Pb) µg/l *	49	20	18	11	5	8	7	10	5	6	25	17	38	0	13	54
Lood (Pb) µg/l	12	—	5	0	0	7	0	4	3	3	0	5	15	0	4	15
Beryllium (Be) µg/l *	43	0,15	0,13	0,10	0,10	0,03	0,05	0,01	0,00	0,03	0,18	0,10	0,15	0,00	0,09	0,52
Beryllium (Be) µg/l	9	—	0,00	0,00	0,06	—	0,00	0,00	—	—	0,00	0,05	0,00	0,00	0,02	0,11
Vanadium (V) µg/l *	43	—	8,4	4,6	6,6	2,9	3,9	4,6	4,2	5,3	6,6	5,8	5,2	0,0	5,3	14,0
Vanadium (V) µg/l	13	9,1	4,5	2,4	0,0	3,4	3,4	3,2	3,8	3,3	2,8	2,2	0,0	0,0	3,6	12,7
Barium (Ba) µg/l *	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
Barium (Ba) µg/l	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
Cyanide (CN) µg/l *	14	2	0	3	0	0	0	0	—	—	—	—	—	0	0	7
Bromide (Br) µg/l *	23	57	51	56	122	109	—	144	185	198	132	52	111	34	112	217
<b>Bacteriën</b>																
Bakt. coligroep 37 °C MF/ml	47	—	132	126	83	158	153	204	228	1478	1168	128	290	40	361	4600
Bakt. coligroep 44 °C MF/ml	47	—	38	20	15	32	34	31	43	262	212	54	163	6	77	800
Fecale streptococci MF/ml	47	—	23	13	5	0	20	0	1	3	48	45	34	0	17	163

**De samenstelling van het Maaswater bij Heusden in het jaar 1982**  
 (maandgemiddelden)

	n	januari	februari	maart	april	mei	juni	juli	augustus	september	oktober	november	december	minimum	gemiddeld	maximum
<b>Algemeen</b>																
Waterafvoer m <sup>3</sup> /s	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
Temperatuur* °C	52	3,4	6,0	7,1	10,9	14,2	19,8	21,3	20,6	18,5	14,3	10,3	6,4	1,2	12,9	22,8
Zuurstof (O <sub>2</sub> )*	52	10,8	10,8	10,5	9,7	8,4	7,3	7,3	8,4	9,0	8,4	9,5	10,9	6,5	9,2	11,8
Zuurstofverzadigingspercentage (O <sub>2</sub> )* %	52	81	86	86	87	81	79	81	93	95	81	84	89	70	85	123
Zwevende stof (gedroogd bij 110 °C)*	52	43,9	35,2	27,2	13,8	14,3	11,8	13,2	16,6	7,5	36,4	20,0	66,2	3,8	25,0	117,9
β-Restradiodactiviteit (zonder <sup>40</sup> K)* mBq/l	4	—	< 20	—	—	< 20	—	< 20	—	—	< 20	—	—	< 20	< 20	< 20
Tritium ( <sup>3</sup> H)* Bq/l	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
Zuurgraad* pH-eenheden	52	7,8	7,8	7,9	7,9	7,9	7,6	7,7	8,0	7,8	7,8	7,9	7,9	7,4	7,8	8,5
<b>Anorganische stoffen</b>																
Elektr. geleidingsvermogen (bij 20 °C) mS/m	52	38	44	47	49	53	53	56	63	67	53	51	38	33	51	70
Chloride (Cl <sup>-</sup> )	52	31	39	46	50	57	58	69	82	89	64	56	32	22	56	96
Waterstofcarbonaat (HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup> )*	52	153	170	168	165	169	157	161	173	181	153	162	142	123	163	186
Sulfaat (SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup> )	51	39	49	56	47	58	55	60	70	73	58	55	38	30	55	77
Fluoride (F <sup>-</sup> )	52	0,22	0,27	0,24	0,29	0,39	0,34	0,48	0,55	0,60	0,44	0,34	0,22	0,15	0,37	0,72
Bromide (Br <sup>-</sup> ) µg/l	21	41	77	71	144	210	109	215	237	234	131	177	60	26	145	262
Cyanide (CN <sup>-</sup> )* µg/l	3	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	1,7	2,5	1,2	1,9	2,5
Natrium (Na <sup>+</sup> )	50	17	25	26	29	35	37	44	53	61	38	34	20	13	34	64
Kalium (K <sup>+</sup> )	50	4,3	5,0	4,7	4,2	4,9	5,2	5,9	6,0	6,7	6,3	5,2	4,2	3,5	5,2	7,6
Calcium (Ca <sup>2+</sup> )	50	59	65	67	68	68	64	68	60	67	57	66	54	48	64	73
Magnesium (Mg <sup>2+</sup> )	50	5,7	6,8	7,1	7,4	8,3	8,1	8,4	8,9	9,4	7,2	7,5	5,7	4,8	7,5	10,2
Totale hardheid mmol/l	50	1,7	1,9	2,1	2,0	2,0	1,9	2,1	1,9	2,1	1,7	2,0	1,6	1,4	1,9	3,0
<b>Organische stoffen</b>																
Totaal organische koolstof (TOC)	52	4,0	4,2	5,4	3,9	4,5	5,1	5,0	5,6	5,1	4,2	3,5	3,6	3,0	4,6	7,3
Chemisch zuurstofverbruik (COD)*	48	14,5	15,5	15,1	14,2	15,9	14,6	18,5	19,2	15,3	19,5	16,5	25,0	11,1	17,0	32,9
Chemisch zuurstofverbruik (COD)	48	8,8	9,6	9,9	9,2	10,3	11,7	13,7	12,6	12,2	11,1	11,4	11,1	7,8	10,9	16,4
Kaliumpermanganaatverbruik (KMnO <sub>4</sub> ) mg O <sub>2</sub> /l	33	12	13	14	12	11	15	12	11	13	14	13	13	9	13	16
UV-extinctie (golflengte 254 nm) 1/m	52	10	9	9	8	9	11	12	10	10	12	11	11	7	10	13
Kleur mg Pt/l	52	17	12	14	21	20	19	22	13	16	17	14	15	9	17	42
Reukgetal z.d.	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
Vluchtige fenolen* µg/l	18	3	1	1	1	1	1	1	1	4	1	< 1	—	< 1	1	4
Olie (IR-methode)* µg/l	50	50	70	50	30	30	10	30	20	< 10	90	40	190	< 10	50	320
Tot. polycycl. arom. koolwaterstoffen (PAK's)* µg/l	4	0,40	—	0,09	0,14	—	0,03	—	—	—	—	—	—	0,03	0,17	0,40
— Fluorantheen* µg/l	4	0,19	—	0,02	0,05	—	0,01	—	—	—	—	—	—	0,01	0,07	0,19
— Benzo(b)fluorantheen* µg/l	4	0,06	—	0,02	0,01	—	< 0,01	—	—	—	—	—	—	< 0,01	0,02	0,06
— Benzo(k)fluorantheen* µg/l	4	0,03	—	0,01	0,03	—	0,01	—	—	—	—	—	—	0,01	0,02	0,03
— Benzo(a)pyreen* µg/l	4	0,06	—	0,02	0,02	—	0,01	—	—	—	—	—	—	0,01	0,03	0,06
— Benzo(ghi)peryleen* µg/l	4	0,03	—	0,01	0,01	—	< 0,01	—	—	—	—	—	—	< 0,01	0,01	0,03
— Indeno(1,2,3-cd)pyreen* µg/l	4	0,03	—	0,01	0,01	—	< 0,01	—	—	—	—	—	—	< 0,01	0,01	0,03
Hexachloorbenzeen (HCB)* µg/l	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
α-Hexachloorcyclohexaan (HCH)* µg/l	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
γ-Hexachloorcyclohexaan (HCH)* µg/l	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
Cholinesterase-remmers (als parathion)* µg/l	12	0,7	0,4	0,3	0,3	0,3	0,5	0,5	0,3	0,4	0,3	0,4	0,3	0,3	0,4	0,7
Anionactieve detergenten* µg/l	29	50	40	50	60	40	40	20	< 10	60	30	30	20	< 10	40	80
Chlorofyl-a* µg/l	51	< 2	2	11	34	17	28	35	38	17	12	4	5	< 2	17	66

n = aantal waarnemingen in het verslagjaar

\* = in ongefiltreerd water

z.d. = zonder dimensie

Voor zover niet anders vermeld, zijn alle meetresultaten  
uitgedrukt in de dimensie mg/l

Vervolg bijlage

De samenstelling van het Maaswater bij Heusden in het jaar 1982  
(maandgemiddelden)

	n	januari	februari	maart	april	mei	juni	juli	augustus	september	oktober	november	december	minimum	gemiddeld	maximum	
<b>Eutrofiërende stoffen</b>																	
Ammonium (NH <sub>4</sub> <sup>+</sup> )	52	0,66	1,01	1,05	0,65	0,91	0,88	0,50	0,27	0,62	0,75	0,71	0,56	0,13	0,72	1,43	
Ammonium (als N)	52	0,51	0,78	0,81	0,51	0,71	0,68	0,39	0,21	0,48	0,58	0,55	0,43	0,10	0,56	1,11	
Kjeldahl stikstof (N)*	52	1,3	1,5	1,5	1,3	1,5	1,2	0,6	1,1	1,1	1,2	1,2	1,2	0,3	1,2	2,0	
Nitriet (NO <sub>2</sub> <sup>-</sup> )	52	0,03	0,14	0,13	0,16	0,31	0,44	0,59	0,46	0,34	0,39	0,31	0,13	< 0,02	0,29	0,66	
Nitriet (als N)	52	0,01	0,04	0,04	0,05	0,09	0,13	0,18	0,14	0,11	0,12	0,10	0,04	< 0,01	0,09	0,20	
Nitraat (NO <sub>3</sub> <sup>-</sup> )	52	12	16	16	15	15	14	14	13	14	14	15	14	10	14	17	
Nitraat (als N)	52	2,78	3,55	3,50	3,41	3,34	3,23	3,17	2,86	3,19	3,20	3,34	3,04	2,21	3,22	3,80	
Orthofosfaat (PO <sub>4</sub> <sup>3-</sup> )	52	0,36	0,60	0,70	0,76	0,97	0,90	0,98	1,14	1,30	0,89	1,11	0,55	0,25	0,86	1,59	
Orthofosfaat (als P)	52	0,12	0,20	0,23	0,25	0,32	0,30	0,32	0,37	0,42	0,29	0,36	0,18	0,08	0,28	0,52	
Totaal fosfaat (PO <sub>4</sub> )*	52	0,76	0,93	1,06	1,03	1,30	1,21	1,23	1,55	1,56	1,51	1,47	2,04	0,60	1,31	3,70	
Totaal fosfaat (als P)*	52	0,25	0,30	0,35	0,34	0,43	0,40	0,40	0,51	0,51	0,49	0,48	0,67	0,20	0,43	1,21	
Silicaat (als SiO <sub>2</sub> )	52	10,8	11,5	10,8	5,5	3,4	6,0	3,5	1,7	2,3	6,8	8,7	8,4	< 0,05	6,6	12,0	
<b>Overige anorganische stoffen</b>																	
IJzer (Fe)*	52	1,25	1,08	0,71	0,46	0,57	0,43	0,35	0,39	0,49	1,47	0,90	2,01	0,09	0,83	4,00	
Mangaan (Mn)*	49	142	162	152	98	67	83	83	83	83	145	147	181	39	121	270	
Chroom (Cr)*	48	8,5	7,2	7,2	5,0	5,3	4,6	4,9	5,3	4,9	6,0	8,7	31,4	2,2	8,3	48,1	
Chroom (Cr)	11	1,5	< 0,5	-	3,4	5,8	3,1	2,2	-	< 0,5	3,6	1,0	1,5	< 0,5	2,0	5,8	
Cobalt (Co)*	41	1,7	2,3	1,8	2,0	1,2	0,6	1,0	0,9	0,6	1,2	0,9	-	< 0,5	1,4	2,9	
Cobalt (Co)	9	< 0,5	< 0,5	< 0,5	< 0,5	< 0,5	0,7	0,6	-	< 0,5	< 0,5	-	-	< 0,5	0,5	0,7	
Nikkel (Ni)*	41	8	9	7	9	9	12	10	7	8	11	8	-	5	9	21	
Nikkel (Ni)	10	5	5	5	4	9	7	7	-	7	3	-	-	3	6	9	
Koper (Cu)*	39	6	6	6	11	13	10	10	9	11	17	12	-	2	10	26	
Koper (Cu)	9	4	2	-	15	7	8	10	-	5	2	-	-	2	7	15	
Zink (Zn)*	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
Zink (Zn)	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
Arseen (As)*	32	< 1,3	< 1,3	-	3,3	3,8	3,1	3,4	3,2	3,1	-	2,4	3,7	< 1,3	2,7	6,3	
Arseen (As)	7	< 1,3	2,6	-	< 1,3	-	-	1,8	-	< 1,3	-	1,8	< 1,3	< 1,3	< 1,3	2,6	
Cadmium (Cd)*	37	1,6	1,5	2,6	1,9	4,2	2,6	1,6	3,7	1,7	4,8	0,9	-	0,6	2,4	7,4	
Cadmium (Cd)	7	-	-	0,9	< 0,5	< 0,5	< 0,5	1,6	-	< 0,5	-	-	-	< 0,5	< 0,5	1,6	
Kwik (Hg)*	17	0,4	0,1	-	0,3	-	-	< 0,1	-	-	0,3	0,2	-	< 0,1	0,2	1,2	
Kwik (Hg)	4	< 0,1	< 0,1	-	< 0,1	-	-	-	-	-	< 0,1	-	-	< 0,1	< 0,1	< 0,1	
Lood (Pb)*	41	19	25	16	14	8	9	10	13	13	17	9	-	5	14	65	
Lood (Pb)	9	3	< 2	< 2	5	11	6	13	-	2	-	-	-	< 2	5	13	
Beryllium (Be)*	45	0,08	0,08	< 0,05	< 0,05	< 0,05	< 0,05	0,07	< 0,05	< 0,05	0,09	0,11	0,20	< 0,05	0,06	0,35	
Beryllium (Be)	11	< 0,05	< 0,05	< 0,05	< 0,05	< 0,05	< 0,05	< 0,05	< 0,05	< 0,05	< 0,05	< 0,05	< 0,05	< 0,05	< 0,05	< 0,05	
Vanadium (V)*	37	4,9	4,2	4,1	3,7	3,1	4,9	5,0	5,6	5,2	6,6	3,7	-	< 1,5	4,5	8,5	
Vanadium (V)	8	< 1,5	< 1,5	2,3	2,2	2,5	3,9	< 1,5	-	3,8	-	-	-	< 1,5	1,8	3,9	
Barium (Ba)*	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
Barium (Ba)	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
<b>Bacteriën</b>																	
Bakt. coligroep 37 °C*	aantal/ml	51	360	67	69	58	577	866	113	115	119	120	76	349	13	248	2200
Bakt. coligroep 44 °C*	aantal/ml	49	81	47	53	9	111	293	49	32	46	39	14	91	1	77	700
Fecale streptococci*	aantal/ml	51	32	17	10	1	3	6	< 1	1	1	5	4	12	< 1	8	41

n = aantal waarnemingen in het verslagjaar  
\* = in ongefiltreerd water  
z.d. = zonder dimensie

Voor zover niet anders vermeld, zijn alle meetresultaten uitgedrukt in de dimensie mg/l

Bijlage

De samenstelling van het Maaswater bij Heusden in het jaar 1983  
(maandgemiddelden)

	n	januari	februari	maart	april	mei	juni	juli	augustus	september	oktober	november	december	minimum	gemiddeld	maximum
<b>Algemeen</b>																
Waterafvoer m <sup>3</sup> /s (te Lith)	365	676	626	558	762	655	497	216	96	97	82	123	244	36	384	1126
Temperatuur* °C	52	6,5	4,0	8,0	10,5	14,0	19,5	23,0	21,5	16,5	13,0	8,5	6,0	3,0	12,5	24,0
Zuurstof (O <sub>2</sub> )*	51	11,2	12,2	10,5	9,7	8,5	8,5	7,8	7,8	8,6	9,7	9,8	10,9	7,1	9,6	13,3
Zuurstofverzadigingspercentage* %	51	90	93	89	87	82	92	90	88	87	90	84	87	68	88	107
Zwevende stof (gedroogd bij 110 °C)*	52	21	22	23	31	28	19	11	10	8,6	5,3	11	12	3,4	17	54
β- Restradioactiviteit (zonder <sup>40</sup> K)* Bq/l	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
Tritium ( <sup>3</sup> H)* Bq/l	9	—	—	11	<10	<10	16	<10	21	19	15	12	—	<10	12	21
Zuurgraad* pH-eenheden	52	7,8	7,8	7,7	7,6	7,6	7,7	7,6	7,7	8,0	7,8	7,7	7,7	7,4	7,7	8,0
<b>Anorganische stoffen</b>																
Elektr. geleidingsvermogen (bij 20 °C) mS/m	49	42	45	43	38	44	44	50	60	65	69	78	67	34	53	87
Chloride (Cl <sup>-</sup> )	52	36	40	38	31	35	39	49	73	90	94	103	75	23	59	107
Sulfaat (SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup> )	51	43	47	49	42	44	47	57	67	73	76	84	70	35	58	87
Waterstofcarbonaat (HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup> )*	51	152	159	157	148	156	176	161	170	184	190	193	173	124	168	195
Natrium (Na <sup>+</sup> )	50	19	21	23	16	20	22	28	44	54	56	64	42	14	35	66
Kalium (K <sup>+</sup> )	51	4,0	4,3	4,3	3,8	4,0	4,0	4,8	5,6	5,8	7,0	7,6	6,9	3,1	5,2	8,0
Calcium (Ca <sup>2+</sup> )	51	61	60	63	58	59	73	65	75	83	81	89	76	49	70	98
Magnesium (Mg <sup>2+</sup> )	51	6,1	6,5	6,8	6,6	6,9	7,2	7,9	9,1	10,0	9,8	9,9	8,5	5,5	8,0	10,2
Totale hardheid mmol/l	51	1,8	1,8	1,8	1,7	1,7	2,1	2,0	2,2	2,5	2,4	2,6	2,3	1,4	2,1	2,9
<b>Organische stoffen</b>																
Organische koolstof (DOC)	52	3,4	5,1	5,7	4,2	4,9	4,4	5,0	4,9	4,7	5,3	5,5	6,8	2,4	4,9	7,9
Chemisch zuurstofverbruik (COD)*	48	14	16	17	16	18	17	18	15	13	16	16	16	11	16	26
Chemisch zuurstofverbruik (COD)	48	10	10	11	9	12	12	12	12	10	13	14	14	8	12	16
Kaliumpermanganaatverbruik (KMnO <sub>4</sub> )	25	14	12	13	12	14	14	14	14	14	13	13	15	7	13	19
UV-extinctie (golflengte 254 nm) 1/m	51	9	9	10	9	11	10	11	9	9	10	10	12	7	10	16
Kleur (Pt-schaal)	51	12	16	14	14	18	15	17	12	13	16	16	22	10	15	27
Reukgetal* z.d.	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
Anionogene detergenten*	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
Fenolindex (als fenol)* µg/l	5	—	—	—	—	—	< 3	—	5	3	4	—	—	< 3	4	6
Olief (IR-methode)*	47	0,05	0,07	0,09	0,10	0,07	< 0,05	< 0,05	0,05	< 0,05	< 0,05	< 0,05	< 0,05	< 0,05	0,05	0,17
Tot. polycycl. aromat. koolwaterstoffen (PAK's)* µg/l	12	0,17	0,14	1,26	0,15	0,09	—	0,07	0,04	0,11	—	0,03	0,05	0,03	0,20	1,26
— Fluorantheen* µg/l	11	0,07	0,08	0,71	0,07	0,02	—	0,01	0,01	0,03	—	0,01	0,02	0,01	0,10	0,71
— Benzo(b)fluorantheen* µg/l	11	0,03	0,03	0,07	0,02	0,01	—	0,02	0,01	0,03	—	0,01	0,01	0,01	0,02	0,07
— Benzo(k)fluorantheen* µg/l	11	0,02	0,02	0,15	0,03	0,02	—	0,01	< 0,01	0,01	—	< 0,01	0,01	< 0,01	0,03	0,15
— Benzo(ghi)peryleen* µg/l	11	0,02	0,01	0,07	0,01	0,01	—	0,01	0,01	0,02	—	< 0,01	< 0,01	< 0,01	0,02	0,07
— Benzo(a)pyreen* µg/l	11	0,03	0,03	0,12	0,03	0,02	—	0,01	0,01	< 0,01	—	< 0,01	0,01	< 0,01	0,03	0,12
— Indeno(1,2,3-cd)pyreen* µg/l	11	0,02	0,02	0,14	0,01	0,01	—	0,01	< 0,01	0,02	—	< 0,01	0,01	< 0,01	0,02	0,14
Adsorbeerbaar org. gebonden chloor (AOC1)* µg/l	4	—	—	—	—	—	13	17	17	17	—	—	—	13	16	17
Extraherbaar org. gebonden chloor (EOC1)* µg/l	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
Hexachloorbenzeen (HCB)* µg/l	4	—	< 0,01	—	—	< 0,01	—	—	0,01	—	< 0,01	—	—	< 0,01	< 0,01	0,01
α-Hexachloorcyclohexaan (HCH)* µg/l	4	—	< 0,01	—	—	< 0,01	—	—	< 0,01	—	< 0,01	—	—	< 0,01	< 0,01	0,01
γ-Hexachloorcyclohexaan (HCH)* µg/l	4	—	0,04	—	—	0,03	—	—	< 0,01	—	0,03	—	—	< 0,01	0,03	0,04
Cholinesterase-remmers (als parathion)* µg/l	11	1	< 1	< 1	< 1	< 1	< 1	—	< 1	< 1	< 1	< 1	< 1	< 1	< 1	1

n = aantal waarnemingen in het verslagjaar

\* = in ongefiltreerd water

z.d. = zonder dimensie

— = niet gemeten

Voor zover niet anders vermeld, zijn alle meetresultaten uitgedrukt in de dimensie mg/l

Vervolg bijlage

De samenstelling van het Maaswater bij Heusden in het jaar 1983

(maandgemiddelden)

n = aantal waarnemingen in het verslagjaar

\* = in ongefilterd water

z.d. = zonder dimensie

- = niet gemeten

Voor zover niet anders vermeld, zijn alle meetresultaten

uitgedrukt in de dimensie mg/l

	n	januari	februari	maart	april	mei	juni	juli	augustus	september	oktober	november	december	minimum	gemiddeld	maximum
<b>Eutrofiërende stoffen</b>																
Ammonium (NH <sub>4</sub> <sup>+</sup> )	51	0,69	0,89	0,82	0,39	0,45	0,41	0,33	0,36	0,61	0,96	1,5	1,7	0,21	0,75	1,9
Ammonium (als N)	51	0,54	0,69	0,65	0,30	0,35	0,32	0,26	0,28	0,47	0,75	1,2	1,3	0,16	0,58	1,5
Kjeldahl stikstof (N)*	48	1,2	1,3	1,5	0,83	0,98	0,90	0,93	0,99	1,0	1,5	2,1	2,5	0,56	1,2	2,7
Nitriet (NO <sub>2</sub> <sup>-</sup> )	52	0,14	0,15	0,20	0,15	0,23	0,33	0,52	0,47	0,51	0,34	0,30	0,24	0,04	0,30	0,66
Nitriet (als N)	52	0,04	0,04	0,06	0,04	0,07	0,10	0,16	0,14	0,16	0,11	0,09	0,08	0,01	0,09	0,20
Nitraat (NO <sub>3</sub> <sup>-</sup> )	52	15	17	15	13	14	13	15	14	16	16	19	17	11	15	19
Nitraat (als N)	52	3,4	3,7	3,4	3,0	3,1	2,9	3,4	3,1	3,5	3,5	4,3	3,8	2,4	3,4	4,4
Orthofosfaat (PO <sub>4</sub> <sup>3-</sup> )	52	0,54	0,53	0,68	0,46	0,57	0,69	0,72	0,87	1,2	1,4	1,8	1,4	0,21	0,90	1,9
Orthofosfaat (als P)	52	0,18	0,17	0,22	0,15	0,19	0,22	0,23	0,28	0,39	0,47	0,58	0,46	0,069	0,30	0,62
Totaal fosfor (als PO <sub>4</sub> )*	49	1,0	1,1	1,2	1,0	1,2	1,0	1,0	1,2	1,5	1,7	2,2	1,7	0,8	1,3	2,4
Totaal fosfor (P)*	49	0,31	0,34	0,37	0,31	0,39	0,33	0,33	0,39	0,49	0,55	0,71	0,55	0,24	0,42	0,78
Silicaat (als SiO <sub>2</sub> )	52	8,3	8,7	7,2	6,2	5,7	4,9	4,1	1,3	3,9	7,1	9,7	8,7	< 1,0	6,3	10
<b>Algenbiomassa</b>																
Chlorofyl-a*	52	< 2	4	10	13	17	18	22	24	13	9	7	5	< 2	12	37
Feofytine*	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
<b>Overige anorganische stoffen</b>																
IJzer (Fe)*	52	0,84	1,0	1,1	0,92	0,94	0,46	0,43	0,39	0,48	0,31	0,43	0,59	0,22	0,66	1,9
Mangaan (Mn)*	51	0,12	0,15	0,13	0,11	0,11	0,08	0,06	0,09	0,10	0,12	0,19	0,21	0,04	0,12	0,24
Arseen (As)*	17	1	< 1	< 1	< 1	2	2	-	-	-	-	-	-	< 1	1	3
Arseen (As)	5	< 1	< 1	< 1	< 1	2	-	-	-	-	-	-	-	< 1	< 1	2
Barium (Ba)*	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Barium (Ba)	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Beryllium (Be)*	22	0,10	0,10	0,07	< 0,05	< 0,05	< 0,05	-	-	-	-	-	-	< 0,05	0,06	0,28
Beryllium (Be)	6	< 0,01	< 0,01	< 0,01	< 0,01	< 0,01	-	-	-	-	-	-	-	< 0,01	< 0,01	< 0,01
Cadmium (Cd)*	25	-	-	-	-	-	-	0,6	0,4	0,3	0,4	0,5	0,4	0,1	0,4	1,4
Cadmium (Cd)	6	-	-	-	-	-	-	< 0,1	0,3	0,1	< 0,1	< 0,1	0,2	< 0,1	0,1	0,3
Chroom (Cr)*	26	9	7	9	8	6	3	-	-	-	-	-	-	1	7	16
Chroom (Cr)	10	3	1	2	3	1	1	-	-	-	-	-	-	< 1	1	3
Cobalt (Co)*	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Cobalt (Co)	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Koper (Cu)*	25	-	-	-	-	-	-	2	5	3	5	7	5	1	4	10
Koper (Cu)	6	-	-	-	-	-	-	1	6	1	3	2	6	1	3	6
Kwik (Hg)*	4	< 0,1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	< 0,1	< 0,1	< 0,1
Kwik (Hg)	1	< 0,1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	< 0,1	< 0,1	< 0,1
Lood (Pb)*	25	-	-	-	-	-	-	5	6	4	5	8	4	< 2	5	13
Lood (Pb)	6	-	-	-	-	-	-	< 2	< 2	< 2	< 2	2	< 2	< 2	< 2	2
Nikkel (Ni)*	23	-	-	-	-	-	-	6	7	6	8	10	7	3	7	14
Nikkel (Ni)	5	-	-	-	-	-	-	2	11	-	6	8	6	2	7	11
Vanadium (V)*	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Vanadium (V)	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Zink (Zn)*	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Zink (Zn)	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Bromide (Br <sup>-</sup> )	22	0,10	0,08	0,15	0,08	0,10	0,18	0,19	0,26	0,18	0,22	0,26	0,16	0,06	0,16	0,31
Cyanide (CN <sup>-</sup> )*	16	-	-	-	1	1	1	< 1	< 1	1	1	1	-	< 1	1	2
Fluoride (F <sup>-</sup> )	51	0,2	0,2	0,2	0,2	0,3	0,3	0,3	0,4	0,7	0,6	0,7	0,5	0,2	0,4	0,8
<b>Bacteriën</b>																
Bakt. coligroep 37 °C*	28	-	-	-	-	-	196	67	87	190	79	13	101	1	103	460
Bakt. coligroep 44 °C*	28	-	-	-	-	-	75	32	27	52	4	1	36	< 1	31	210

12.6.1.



# Bijlage 2621

Nr.	Datum	Plaats	Soort Vervuiling	Oorzaak
1	feb. '80	Empel	ijzer, cyanide, zink	chemisch afvalstort onder water
2	1 juli '80	Monsin	cyanide	onbekend
3	juli '80	Lanaken	lood, kwik, cadmium	afvalstort onder water
4	juli '80	Vlijmen	cyanide	afvalstort onder water
5	23 sept. '80	Seraing	cyanide	onbekend
6	22 juli '81	Agimont	mangaan (6520 µg/l)	onbekend
7	8 dec. '81	Luik	olie	tankschip gezonken
8	6 apr. '82	Ougrée	detergenten	onbekend
9	4 aug. '82	Agimont	mangaan (1200 µg/l)	onbekend
10	19 sept '82	Luik	diverse; met anaerobiteit tot gevolg,	
11	27 sept '82	Luik	waarna grote vissterfte op trad.	
12	26 okt. '82	Luik	cyanide	onbekend
13	5 nov. '82	Tihange	Bijna vervuiling met radio-actief koelwater (0,74 Bq/m <sup>3</sup> ) t.g.v. lozing door kerncentrale, echter tijdig opgevangen in spaarbekken.	
14	21 apr. '83	Ivoz Ramez	fosfaat	scheepsaverij
15	31 jul. '83	Seraing	cyanide (400-600 µg/l) koper (11300 µg/l)	lozing vanuit de elektrolysebaden door de metaalindustrie
16	10 aug. '83		cyanide	lozing vanuit de elektrolysebaden door de metaalindustrie
17	2 okt. '83	Luikse regio	koper	
18	23 okt. '83		zink	
19	18 dec. '83			
20	19 sept. '83	Luik	detergenten	onbekend

# Bijlage 271 berekeningen overzicht.

Maand	Chloor conc. Maas mg/l	afloop conc. Rijn mg/l	Q <sub>Maas</sub> m <sup>3</sup> /s	Q centr. toel. m <sup>3</sup> /s	Q <sub>WAAAL</sub> m <sup>3</sup> /s	Mogelijk Q centrale bij gem. Q <sub>WAAAL</sub> m <sup>3</sup> /s					Mogelijk Q centrale bij max Q <sub>Maas</sub> m <sup>3</sup> /s								Mogelijk Q centrale m <sup>3</sup> /s	Chloor Concentratie Maas mg/l			
						1100	1150	1200	1250	1300	300	350	400	450	500	550	600	650			700	750	
						jan 80	33	161	530	582	1624	524	476	424	376	324	0	0			0	0	0
feb 80	31	107	530	5181	5080	1930	1830	1800	1850	1780	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	31
mrt 80	43	132	660	223	1200	100	50	0	0	0	0	0	40	80	140	190	240	290	340	390	0	43	
apr 80	41	153	400	445	1651	557	501	457	401	357	0	0	0	50	100	150	200	250	300	350	0	41	
mei 80	53	185	200	153	1413	313	263	213	163	213	100	150	200	250	300	350	400	450	500	550	153	100	
jun 80	72	149	170	37	1696	536	536	486	436	386	130	180	230	280	330	380	430	480	530	580	37	100	
jul 80	51	36	770	0	3073	1973	1923	1873	1823	1773	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	51
aug 80	43	113	240	1052	1653	553	503	453	403	353	60	110	160	210	260	310	360	410	460	510	160	71	
sep 80	65	140	140	54	1115	15	0	0	0	0	160	210	260	310	360	410	460	510	560	610	0	65	
okt 80	73	225	170	36	1061	0	0	0	0	0	130	180	230	280	330	380	430	480	530	580	0	73	
nov 80	75	197	270	125	1150	50	0	0	0	0	30	80	130	180	230	280	330	380	430	480	0	75	
dec 80	47	183	635	410	1715	615	565	515	465	415	0	0	0	0	0	0	0	0	15	65	15	30	
jan 81	80	125	073	492	2230	130	80	30	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	80
feb 81	38	148	536	770	2043	343	343	343	197	143	0	0	0	0	0	0	4	34	104	154	104	34	
mrt 81	41	137	714	1130	2633	1533	1483	1433	1383	1333	0	0	0	0	0	0	0	0	0	36	0	41	
apr 81	48	120	318	570	1841	741	691	641	591	541	0	32	82	132	182	232	282	332	382	432	82	65	

Maand	chloor conc. Maas mg/l	ohloor conc. Rijn mg/l	Q <sub>max</sub> m³/s	Q <sub>centr. toel.</sub> m³/s	Q <sub>WAAL</sub> m³/s	Mogelijk Q centrale bij gem. Q <sub>WAAL</sub> m³/s					Mogelijk Q centrale bij max Q <sub>maas</sub> m³/s								Mogelijk Q centrale	Chloor Concentratie Maas			
						1100	1150	1200	1250	1300	300	350	400	450	500	550	600	650			700	750	
						mei 31	57	165	274	223	1463	363	313	263	213	163	26	76			126	176	226
jun 31	50	143	243	341	1646	546	496	446	396	346	7	57	107	157	207	257	307	357	407	457	107	75	
jul 31	51	149	273	273	1507	407	357	307	257	207	27	77	127	177	227	277	327	377	427	477	27	32	
aug 31	60	121	165	314	1544	444	394	344	294	244	135	185	235	285	335	385	435	485	535	585	235	36	
sep 31	79	183	124	31	1063	0	0	0	0	0	176	226	276	326	376	426	476	526	576	626	0	73	
okt 31	52	120	295	1188	2380	1280	1230	1180	1130	1080	0	0	0	0	5	55	105	155	205	255	0	52	
nov 31	32	142	461	1278	1040	840	740	640	540	440	0	0	0	0	37	87	137	187	237	287	37	52	
dec 31	32	84	438	0	3407	2327	2277	2227	2177	2127	0	0	0	0	0	0	?	0	0	0	0	0	52
jan 32	31	80	840	0	3459	2359	2309	2259	2209	2159	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	51
feb 32	39	117	510	1820	2537	1437	1387	1337	1287	1237	0	0	0	0	0	40	90	140	190	240	190	60	
mrt 32	46	139	480	664	1861	761	711	661	611	561	0	0	0	0	20	70	120	170	220	270	70	58	
apr 32	50	145	340	878	1624	524	474	424	374	324	0	10	60	110	160	210	260	310	360	410	60	55	
mei 32	57	155	260	0	1428	328	278	228	178	128	100	90	140	190	240	290	340	390	440	490	140	51	
jun 32	58	185	0	162	668	568	518	468	418	368	100	180	260	340	420	500	580	660	740	820	162	100	
jul 32	63	117	120	212	1859	1759	1659	1559	1459	1359	180	230	280	330	380	430	480	530	580	630	212	100	
aug 32	82	115	100	120	1449	649	599	549	499	449	207	250	300	350	400	450	500	550	600	650	120	100	

Maand	Chlor conc. Maas mg/l	Chlor conc. Rijn mg/l	Q <sub>Maas</sub> m <sup>3</sup> /s	Q <sub>centr. totd.</sub> m <sup>3</sup> /s	Q <sub>WAAL</sub> m <sup>3</sup> /s	Mogelijk Q <sub>centrale</sub> bij gem. Q <sub>WAAL</sub> m <sup>3</sup> /s					Mogelijk Q <sub>centrale</sub> bij max Q <sub>Maas</sub> m <sup>3</sup> /s								Mogelijke Q <sub>centrale</sub>	Chlor Concentratie Maas				
						1100	1150	1200	1250	1300	300	350	400	450	500	550	600	650			700	750		
						sept 32	32	172	30	12	1003	0	0	0	0	0	220	270			320	370	410	470
okt 32	64	149	300	254	1620	580	530	480	430	380	0	0	50	100	150	200	250	300	350	400	50	75		
nov 32	56	141	800	217	363	263	215	163	113	63	0	0	50	100	150	200	250	300	350	400	113	84		
dec 32	32	131	780	1711	2512	1112	1362	1312	1262	1112	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	20	
jan 33	86	133	676	0	2346	1246	1146	1146	1046	1046	0	0	0	0	0	0	0	0	0	41	74	44	50	
feb 33	40	125	626	1501	2134	1034	984	934	884	834	0	0	0	0	0	0	0	0	24	74	147	14	50	
mar 33	88	132	558	1051	2015	515	565	515	465	415	0	0	0	0	0	0	42	52	142	192	0	39		
apr 33	31	30	762	0	8353	1253	1203	1153	1103	1053	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
mei 33	85	103	655	4731	2714	1614	1564	1514	1464	1414	0	0	0	0	0	0	0	0	0	45	35	0	30	
jun 33	33	100	407	3704	2446	1306	1846	1246	126	1196	0	0	0	0	3	53	103	153	203	253	0	0	0	
jul 33	43	148	26	230	1342	242	192	142	92	42	34	134	184	234	284	334	384	434	484	534	584	634	684	734
aug 33	73	133	36	31	368	0	0	0	0	0	107	254	304	354	404	454	504	554	604	654	0	0	73	
sep 33	30	138	37	10	1020	0	0	0	0	0	203	253	303	353	403	453	503	553	603	653	0	0	30	
okt 33	34	140	32	3	344	0	0	0	0	0	213	263	313	363	413	463	513	563	613	663	0	0	34	
nov 33	103	303	123	0	665	0	0	0	0	0	177	227	277	327	377	427	477	527	577	627	0	0	103	
dec 33	75	227	244	48	1155	55	5	0	0	0	56	106	156	206	256	306	356	406	456	506	0	0	75	

VERGELIJKINGEN RESULTATEN RECENTE ONDERZOEKEN.

## RESULTATEN HASKONING (1981)

LOCATIE : ↓	ENERGIE PER JAAR [GWh] ↓	BOUWKOSTEN [ $10^6$ f] ↓	KWh - prijs [ct] ↓
BORN	63	45	4
MAASBRACHT	69	45	4
HEEL	87	80	6
LITH	23	60	16
GRAVE	24	60	15

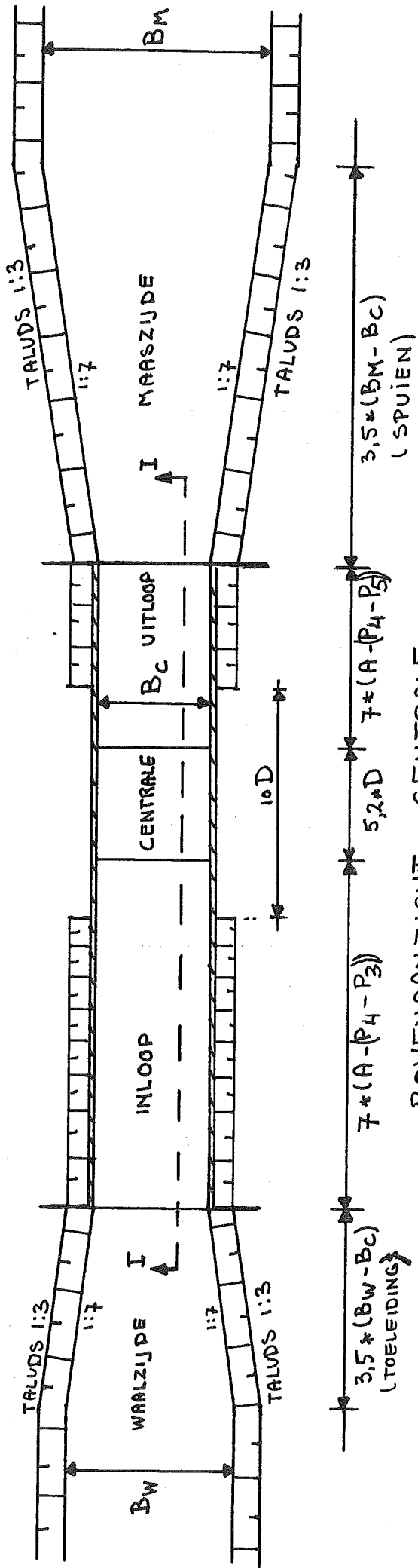
## RESULTATEN v. TERWISGA (1982)

LOCATIE : ↓	ENERGIE /JAAR [GWh] ↓	BOUWKOSTEN [ $10^6$ f] ↓	KWh - PRIJS [ct] ↓
BORN + MAASBRACHT	29,2	20,5	4
HEEL	50,2	56	7
LITH	37	55,7	9

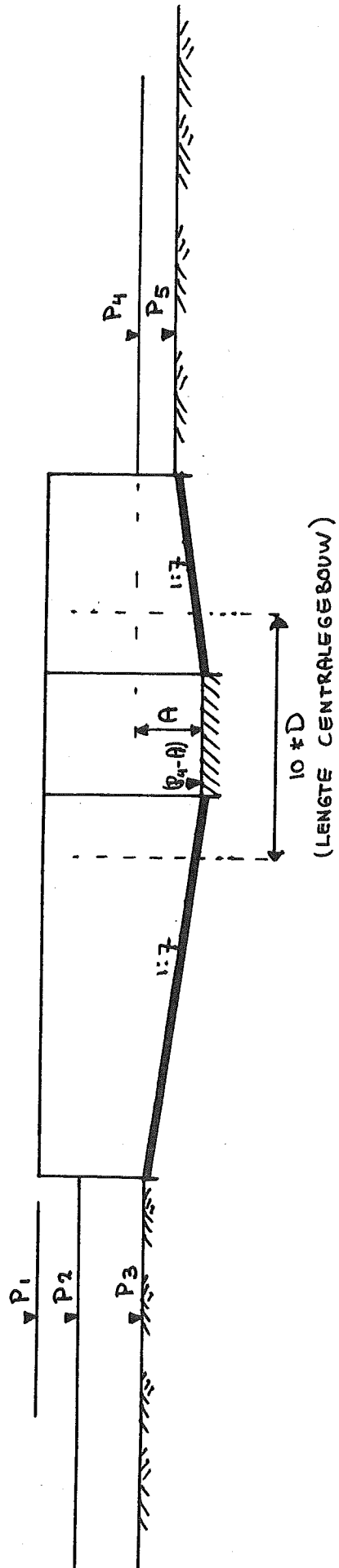
## RESULTATEN v. BOCHOVE (1982)

LOCATIE: ↓	ENERGIE/JAAR [GWh] ↓	BOUWKOSTEN [ $10^6$ f] ↓	KWh - PRIJS [ct] ↓
GRAVE	15,6	30	12

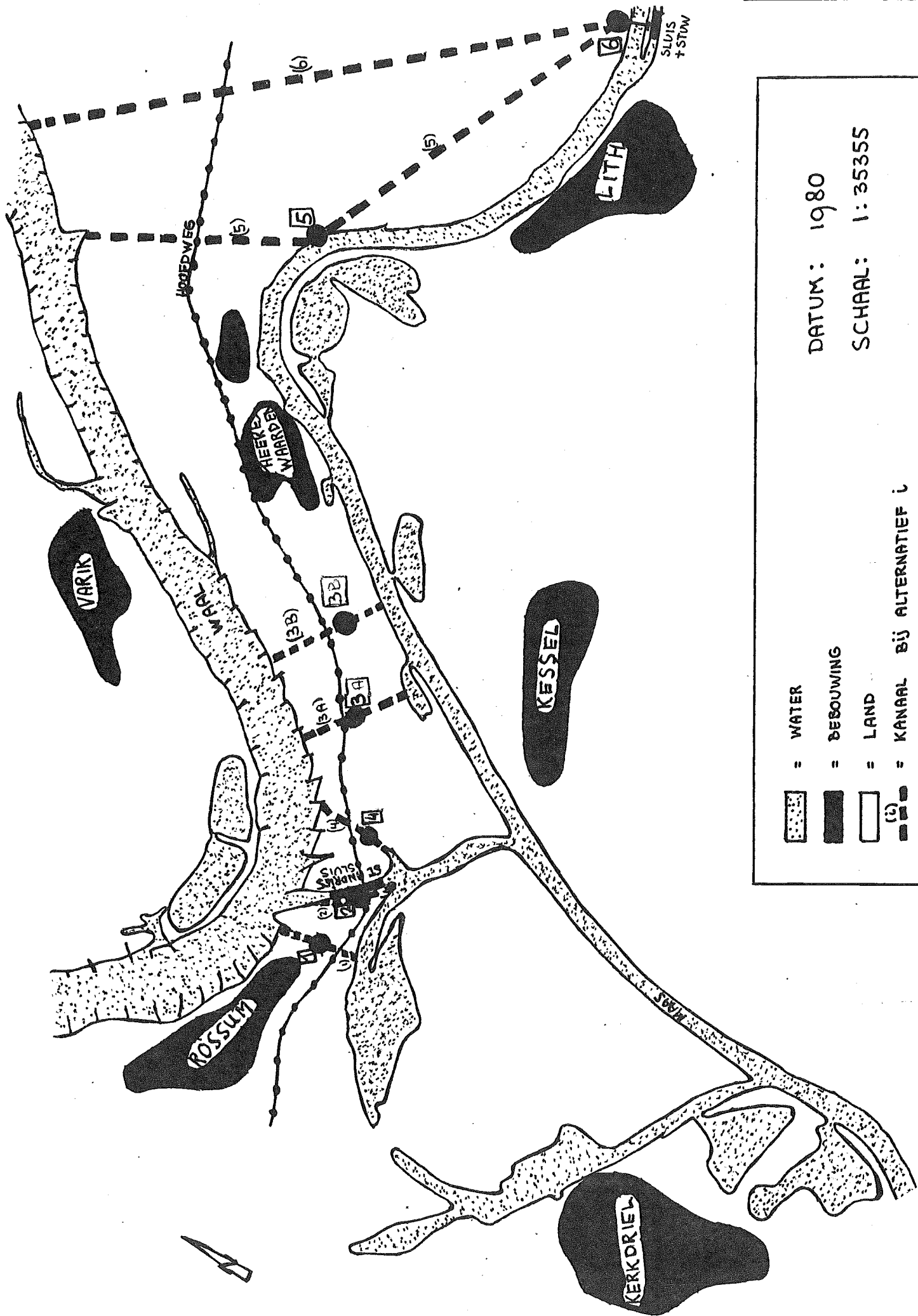
KWh - PRIJZEN ZIJN BEREKEND VOOR HET GEVAL VAN EEN INTERNE RENTEVOET VAN 4%, AFSCHRIJVINGSTERMIJN 40 JAAR EN EEN BOUWRENTE VAN 20 %

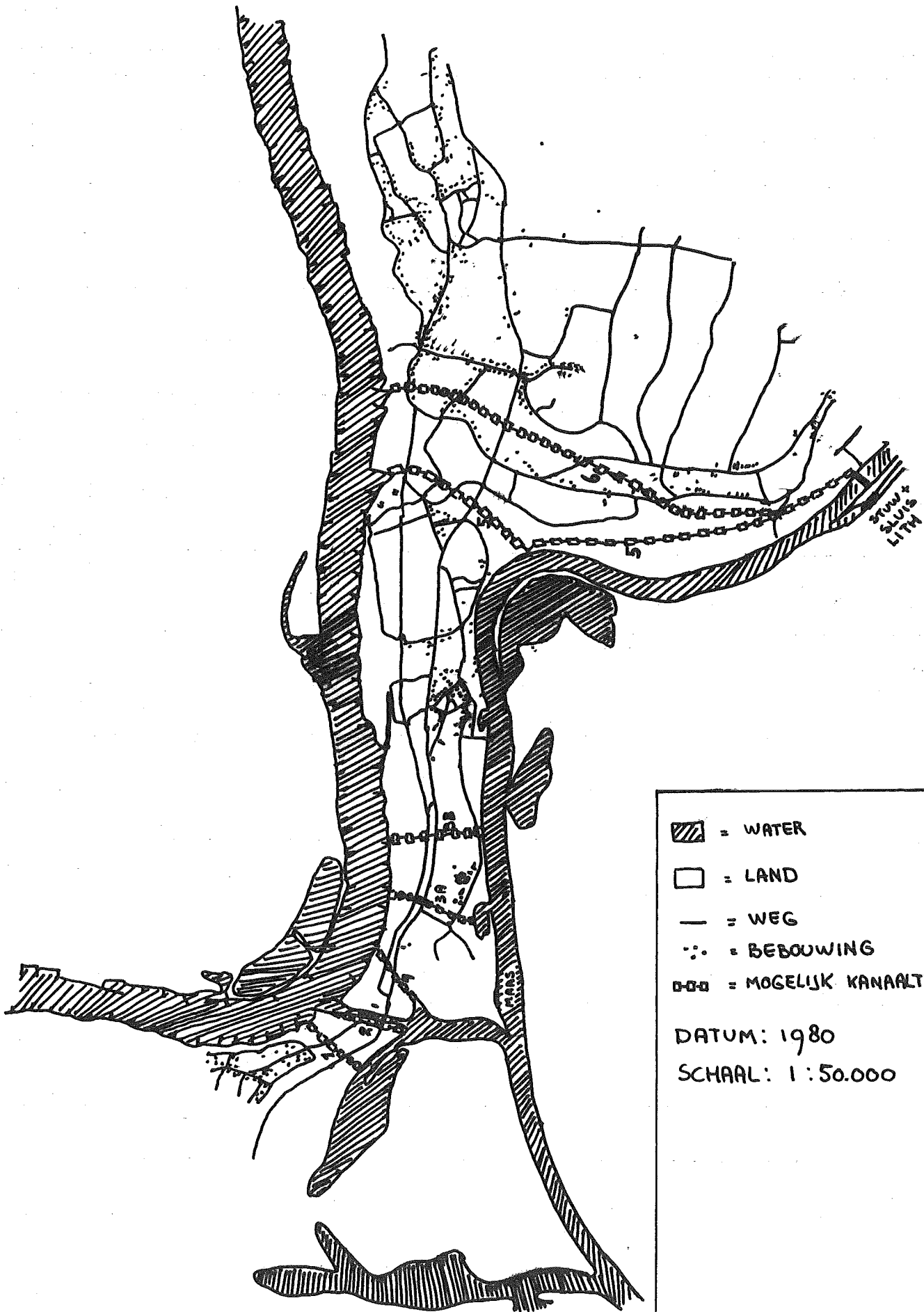


BOVENAANZICHT CENTRALE

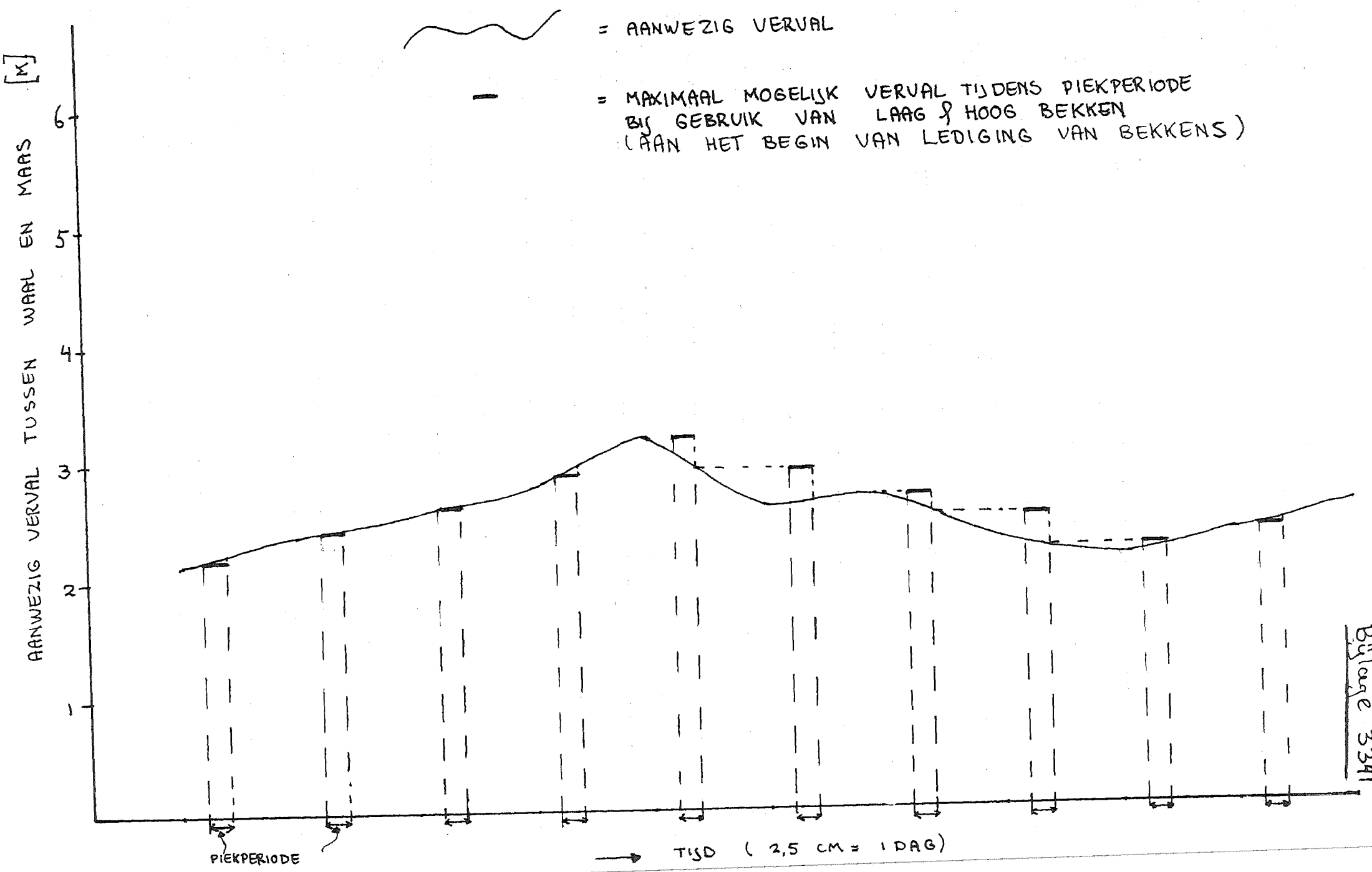


DOORSNEDE I-I









Accumulatiesysteem van § 3.3.4 : afleiding formules.

I. Accumulatie met constante doorstroomopening A.

Systeemvergelijkingen: (1)  $Q(t) = A \cdot \sqrt{2gH(t)}$   
 (2)  $Q(t) = -O \cdot (dH/dt)$   
 (3)  $P(t) = \eta \rho g QH$

Beginvoorwaarden :  $\begin{cases} t=0 \\ H=H_0 \end{cases}$

Uitwerking: (1) + (2) :  $A \cdot \sqrt{2gH} = -O \frac{dH}{dt}$   
 $\Rightarrow \frac{-A \sqrt{2g}}{2O} \cdot dt = \frac{dH}{2\sqrt{H}}$   
 $\Rightarrow \sqrt{H} = -\frac{A\sqrt{2g}}{2O} t + X_0$   
 ( $X_0 = \text{integratieconstante}$ )

$\begin{cases} t=0 \\ H=H_0 \end{cases}$  invullen  $\Rightarrow X_0 = \sqrt{H_0}$

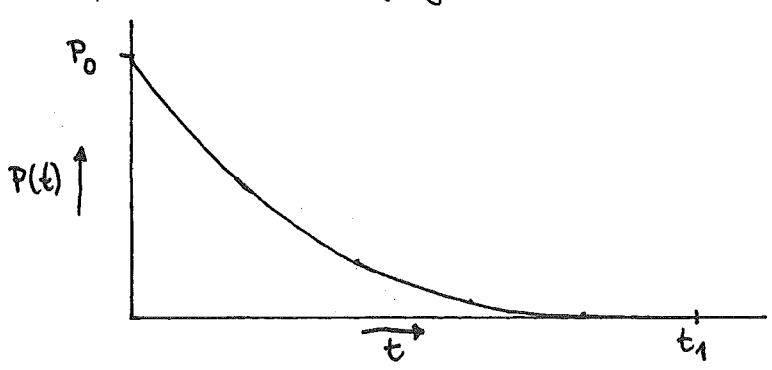
en  $\boxed{\sqrt{H} = \sqrt{H_0} - \frac{A\sqrt{2g}}{2O} \cdot t}$

anders geschreven  $\sqrt{H} = \sqrt{H_0} \cdot (1 - t/t_1)$  met  $t_1 = \frac{2O\sqrt{H_0}}{A\sqrt{2g}}$   
 invullen in (3) levert op:

$P(t) = \eta \rho g QH = \eta \rho g A \sqrt{2gH} \cdot H$  (met (1) ingevuld)  
 en  $P(t) = \eta \rho g A \sqrt{2gH_0} \cdot H_0 \cdot (1 - t/t_1)^3$

$P(t) = P_0 \cdot (1 - t/t_1)^3$   
 met  $P_0 = P(t=0) = \eta \rho g A \sqrt{2gH_0} \cdot H_0$   
 en  $t_1 = \frac{2O\sqrt{H_0}}{A\sqrt{2g}} = \text{tijdsduur waarin vermogen geleverd wordt.}$

Grafisch weergegeven :



II. Accumulatie met variabele doorstroomopening, waarbij deze gevarieerd wordt van  $A_0$  voor  $t=0$  tot  $A_2$  voor  $t=t_2$  ( $A_2 > A_0$ ), zodanig dat in de tijdsduur tussen  $t=0$  en  $t=t_2$  een constant vermogen  $P_c$  geleverd wordt.

Systeemvergelijkingen (geldig voor  $0 \leq t \leq t_2$ ):

$$(1) \quad P_c = \eta \rho g A(t) \cdot H(t) \cdot \sqrt{2gH(t)} = \text{constant}$$

$$(2) \quad P_c = \eta \rho g \left( -O \cdot H(t) \cdot \frac{dH}{dt} \right) = \text{constant}$$

Beginvoorwaarde:  $\begin{cases} t=0 \\ H=H_0 \end{cases}$

Uitwerking: (1)+(2):

herschrijven (2):  $H \frac{dH}{dt} = \frac{-P_c}{\eta \rho g O}$

$$\Rightarrow H^2 = \frac{-2P_c}{\eta \rho g O} \cdot t + X_1 \quad (X_1 = \text{Integratieconstante})$$

$$\begin{cases} t=0 \\ H=H_0 \end{cases} \rightarrow \text{invullen} \Rightarrow X_1 = H_0^2$$

hiermee:

$$H^2 = H_0^2 \cdot \left(1 - t/t_3\right) \quad \text{met} \quad t_3 = \frac{\eta \rho g O H_0^2}{2P_c}$$

( $t_3$  is de fictieve tijdsduur waarin verval en dus vermogen aanwezig is wanneer  $A_2$  oneindig groot zou kunnen worden,  $t_3$  is dus eigenlijk geen rekenwaarde waaraan geen fysische betekenis gehecht moet worden)

invullen van het gevonden resultaat in (1) levert:

$$P_c = \eta \rho g A \sqrt{2g} \cdot \left( H_0^{3/2} \cdot \left(1 - t/t_3\right)^{3/4} \right)$$

$$\begin{cases} t=0 \\ A=A_0 \end{cases} \Rightarrow P_c = \eta \rho g A_0 H_0 \sqrt{2gH_0}$$

$$\text{en} \quad A(t) = \frac{P_c}{\eta \rho g \sqrt{2g} \cdot \left( H_0^{3/2} \cdot \left(1 - t/t_3\right)^{3/4} \right)} = A_0 \cdot \left(1 - t/t_3\right)^{-3/4}$$

$$\begin{cases} t=t_2 \\ A=A_2 \end{cases} \Rightarrow A_2 = A_0 \cdot \left(1 - t_2/t_3\right)^{-3/4}$$

$$\rightarrow t_2 = t_3 \cdot \left(1 - \left(\frac{A_0}{A_2}\right)^{4/3}\right)$$

Andere wijze van schrijven van de laatste vergelijking:

$$t_2 = t_3 \cdot \left(1 - \left(\frac{A_0}{A_2}\right)^{4/3}\right) = \frac{\eta \rho g O H_0^2}{2 P_c} \cdot \left(1 - \left(\frac{A_0}{A_2}\right)^{4/3}\right)$$

ofwel

$$P_c = \frac{C}{t_2} \quad \text{met} \quad C = \frac{1}{2} \eta \rho g O H_0^2 \cdot \left(1 - \left(\frac{A_0}{A_2}\right)^{4/3}\right) = \text{constan}$$

Grafisch weergegeven:

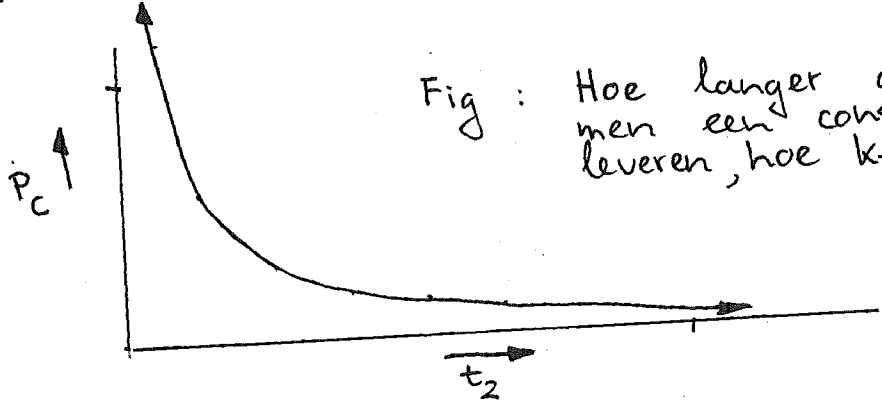


Fig: Hoe langer de tijdsduur  $t_2$  waarin men een constant vermogen  $P_c$  wil leveren, hoe kleiner  $P_c$  zal zijn.

Op tijdstip  $t_2$  is de doorstroomopening  $A = A_2 = \text{maximaal}$ , hierna zal het verdere verloop geschieden zoals eerder berekend is voor een constante doorstroomopening.

Op tijdstip  $t_2$  geldt:

$$H_2^2 = H_0^2 \cdot \left(1 - t_2/t_3\right) = H_0^2 \cdot \left(1 - \left(1 - \left(\frac{A_0}{A_2}\right)^{4/3}\right)\right) = H_0^2 \cdot \left(\frac{A_0}{A_2}\right)^{4/3}$$

Na  $t = t_2$  stroomt het hoge bekken met constante doorstroomopening  $A_2$  leeg in het lage bekken. De duur van dit proces bedraagt:

$$t_4 = \frac{20\sqrt{H_2}}{A_2\sqrt{2g}} = \frac{20\sqrt{H_0}}{A_2\sqrt{2g}} \cdot \left(\frac{A_0}{A_2}\right)^{1/3}$$

Verder is nog nader uit te werken dat:

$$t_2 = t_3 \cdot \left(1 - \left(\frac{A_0}{A_2}\right)^{4/3}\right) = \frac{\eta \rho g O H_0^2}{2 \eta \rho g O A_0 H_0 \sqrt{2g H_0}} \cdot \left(1 - \left(\frac{A_0}{A_2}\right)^{4/3}\right)$$

$$\Rightarrow t_2 = \frac{20\sqrt{H_0}}{A_2\sqrt{2g}} \cdot \left(\frac{A_2}{4A_0} \cdot \left(1 - \left(\frac{A_0}{A_2}\right)^{4/3}\right)\right)$$

$$\text{En: } P_c = \eta \rho g A_0 H_0 \sqrt{2g H_0} = \frac{A_0}{A_2} \cdot P_0$$

Met alle afgeleide formules is het nu mogelijk om een grafische weergave te maken van verschillende mogelijke accumulatie-strategieën, uitgaande van een centrale met doorstroomopening (maximaal)  $A_2$  en verval op  $t=0$  van  $H=H_0$ .

Strategie 1: doorstroomopening constant houden:

$$P(t) = P_0 \left(1 - \frac{t}{t_1}\right)^3$$

Strategie 2: doorstroomopening eerst variëren van  $A_0 = \frac{1}{2} A_2$  tot  $A_2$ :

$$P(t) = P_c = \frac{A_0}{A_2} P_0 = \frac{1}{2} P_0 \quad \text{voor } 0 \leq t \leq t_2$$

$$P(t) = \frac{1}{2} P_0 \cdot \left(1 - \frac{(t-t_2)}{t_4}\right)^3 \quad \text{voor } t_2 \leq t \leq t_2 + t_4$$

$$\text{met } t_2 = \frac{A_2}{4A_0} \cdot \left(1 - \left(\frac{A_0}{A_2}\right)^{4/3}\right) \cdot t_1 = 0.30 t_1$$

$$t_4 = \left(\frac{A_0}{A_2}\right)^{1/3} \cdot t_1 = 0.79 t_1$$

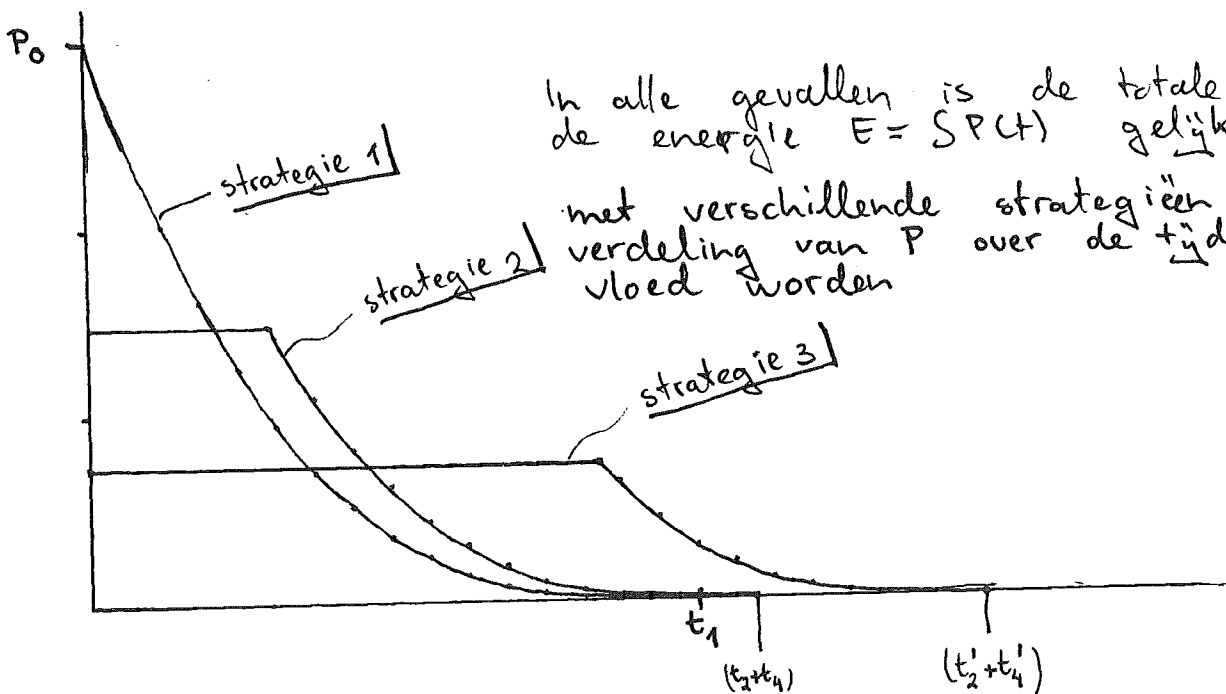
Strategie 3: doorstroomopening eerst variëren van  $A_0 = \frac{1}{4} A_2$  tot  $A_2$

$$P(t) = \frac{1}{4} P_0 \quad 0 \leq t \leq t_2'$$

$$P(t) = \frac{1}{4} P_0 \left(1 - \frac{(t-t_2')}{t_4}\right)^3 \quad t_2' \leq t \leq t_2' + t_4$$

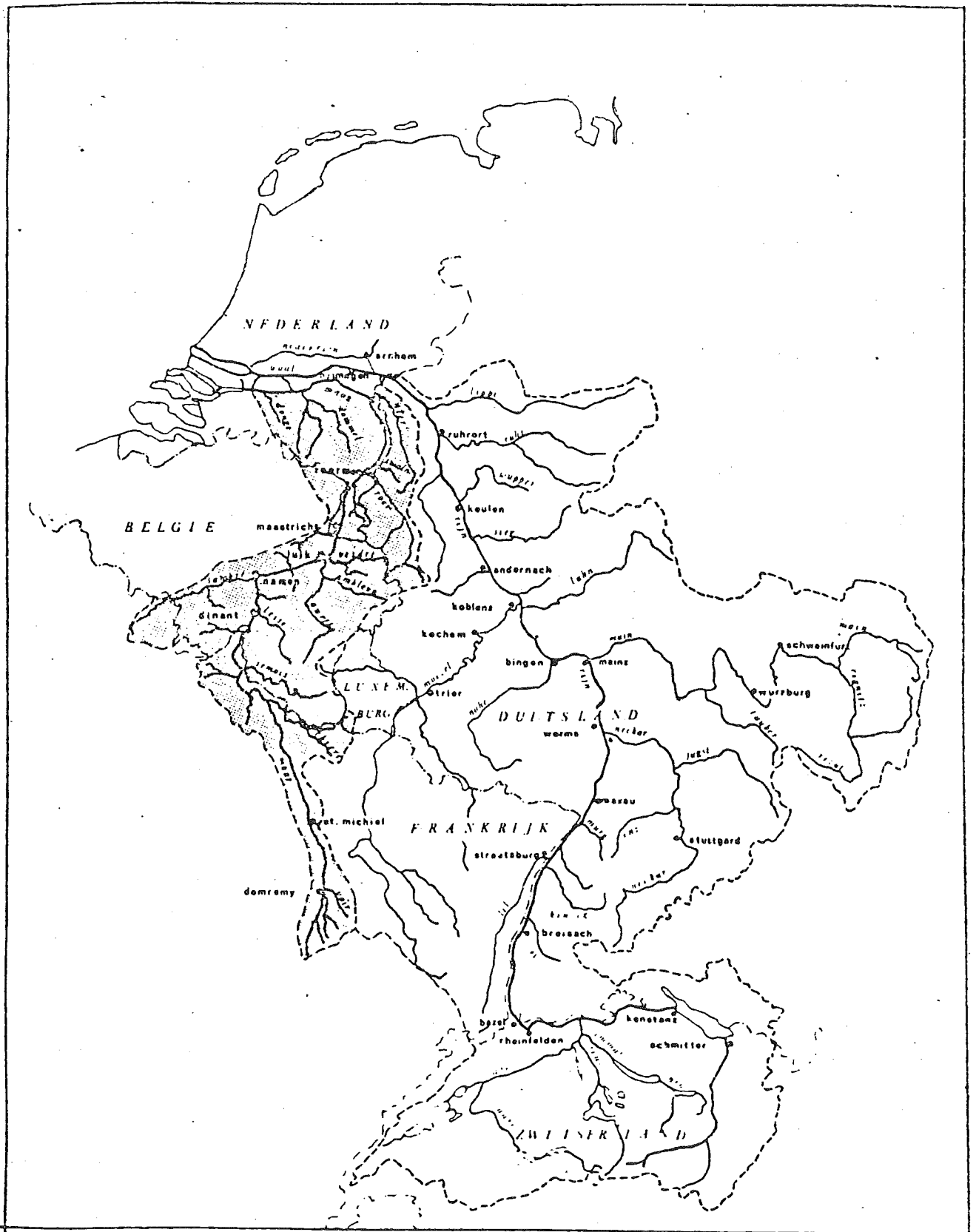
$$\text{met } t_2 = 0.84 t_1$$

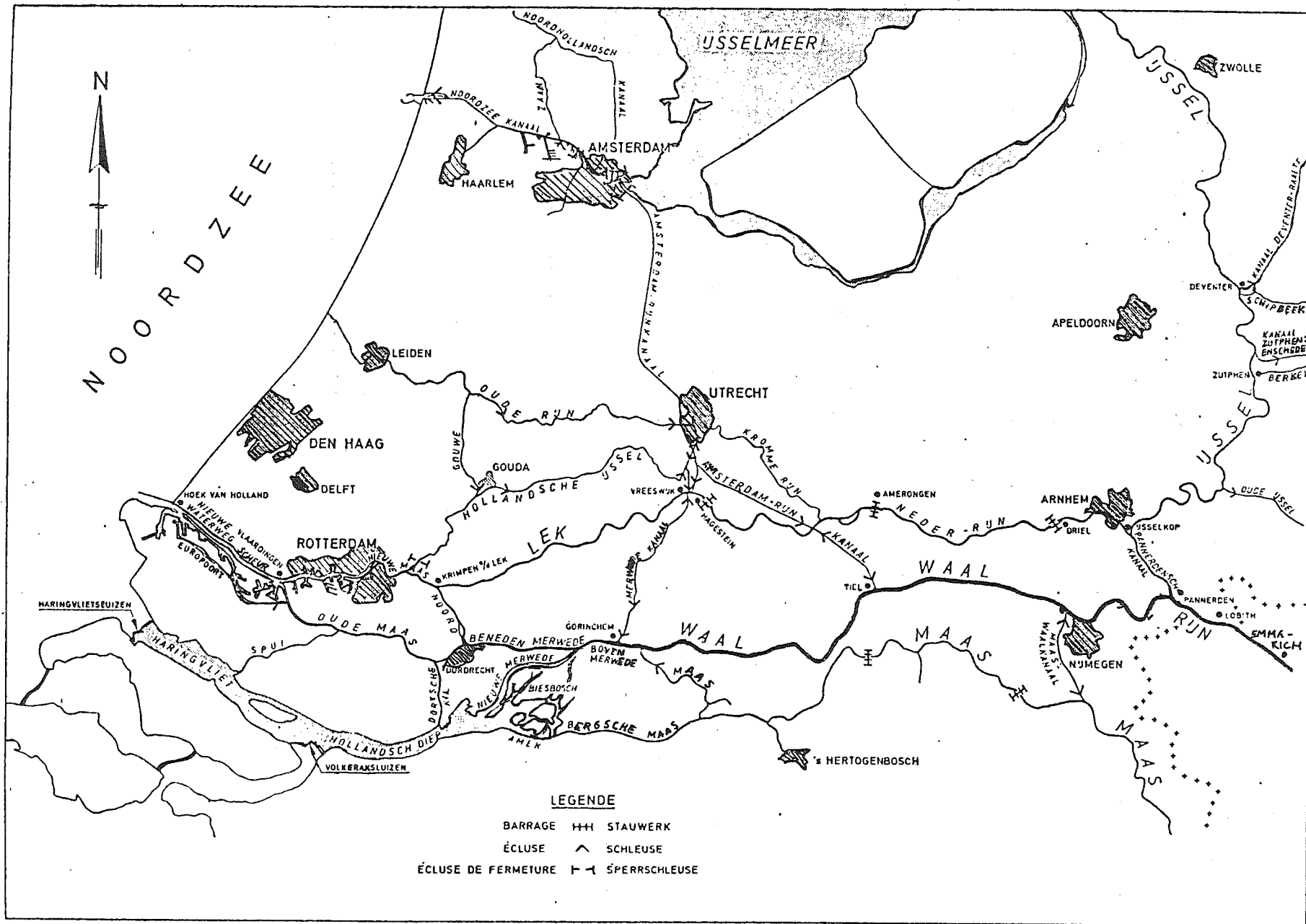
$$t_4 = 0.63 t_1$$



In alle gevallen is de totale geleverde energie  $E = \int P(t) dt$  gelijk ( $E = \frac{P_0 t_1}{4}$ ) met verschillende strategieën kan de verdeling van  $P$  over de tijd beïnvloed worden

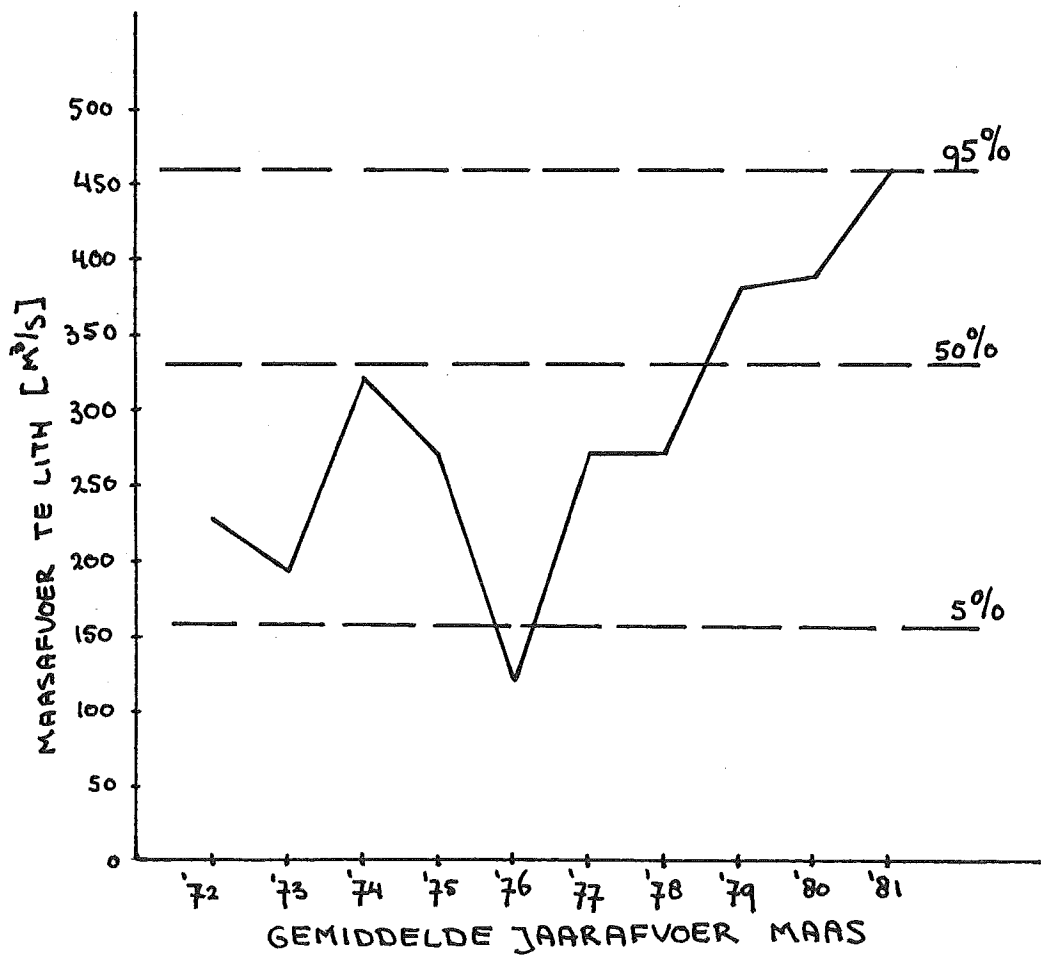
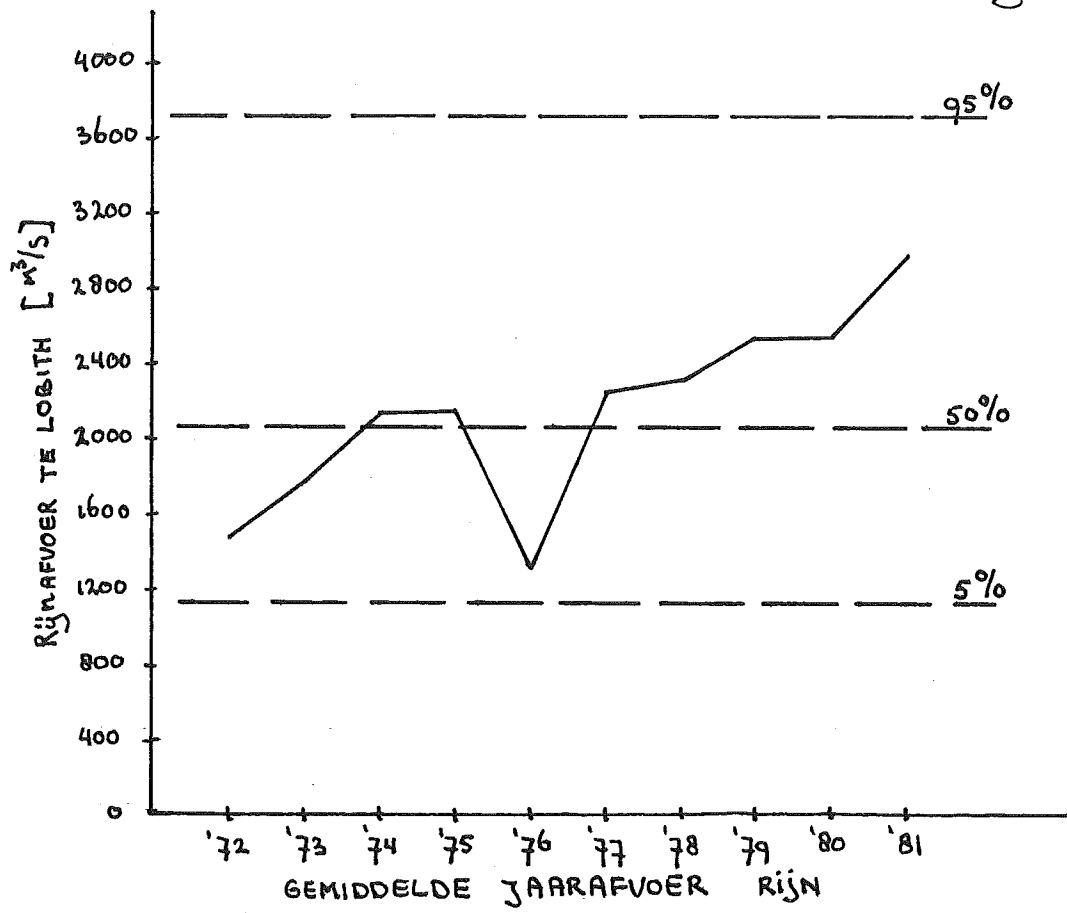
STROOMGEBIEDEN      MAAS EN RIJN.



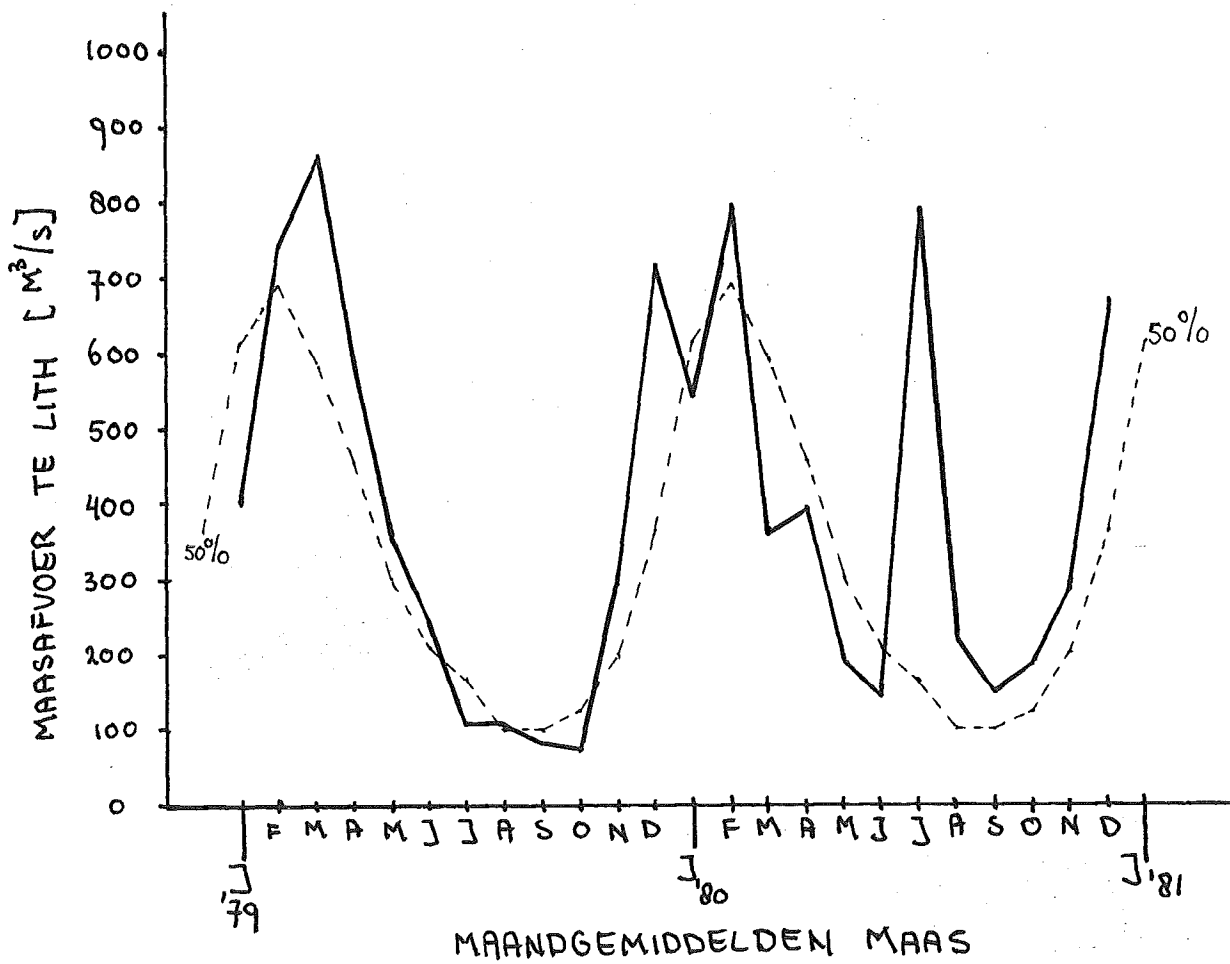
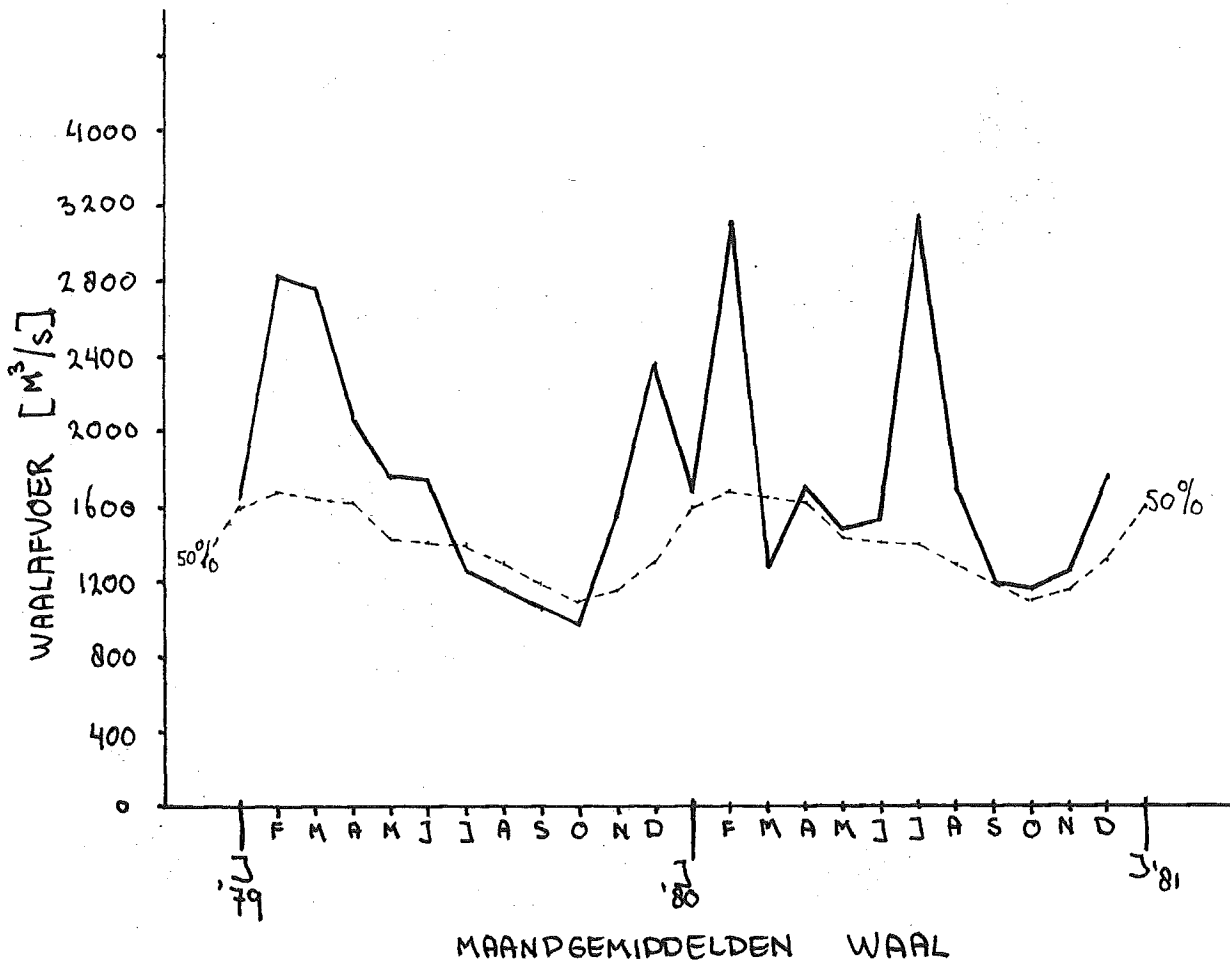


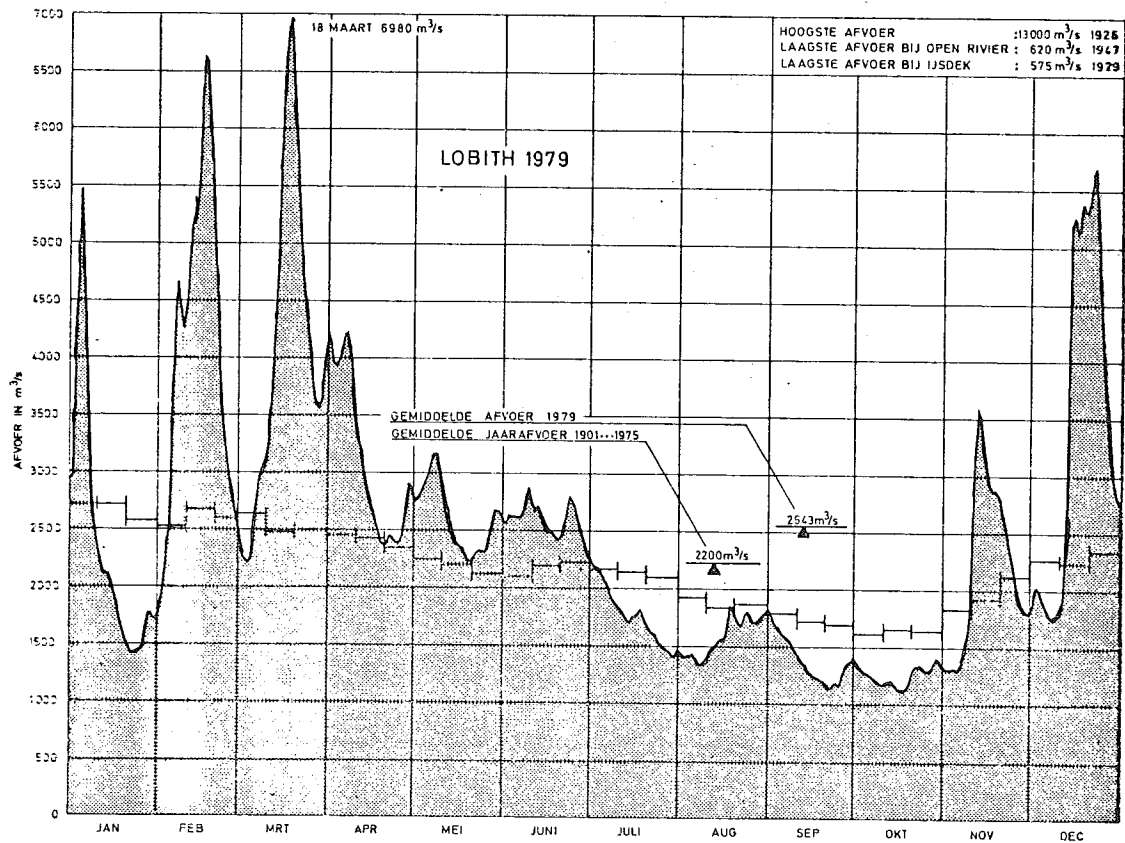
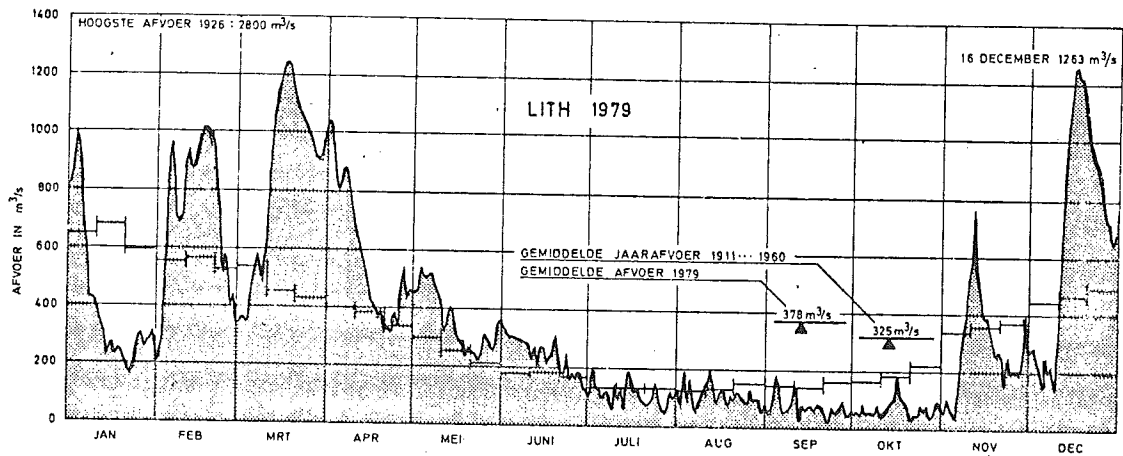
DE RIJN IN NEDERLAND

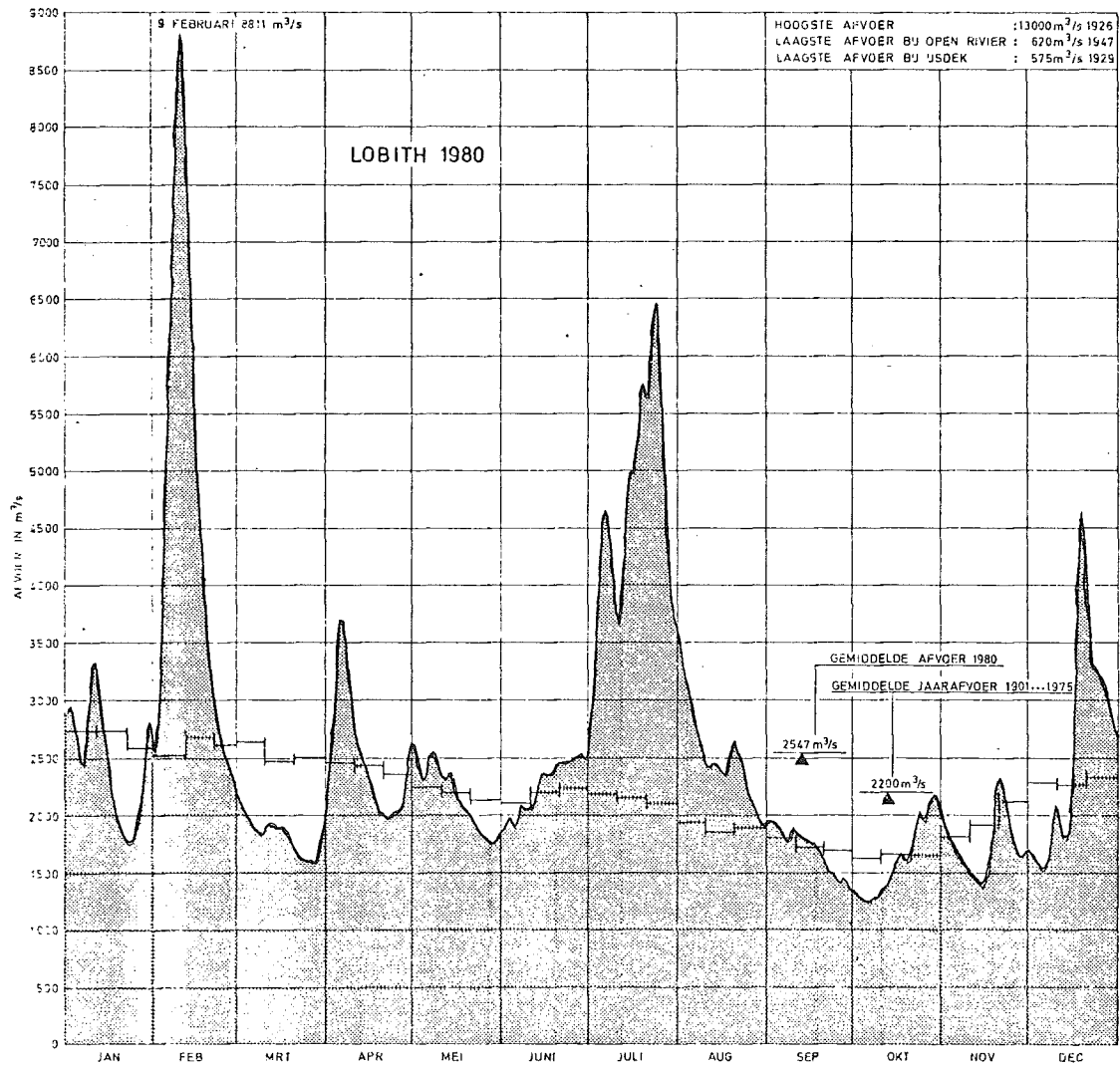
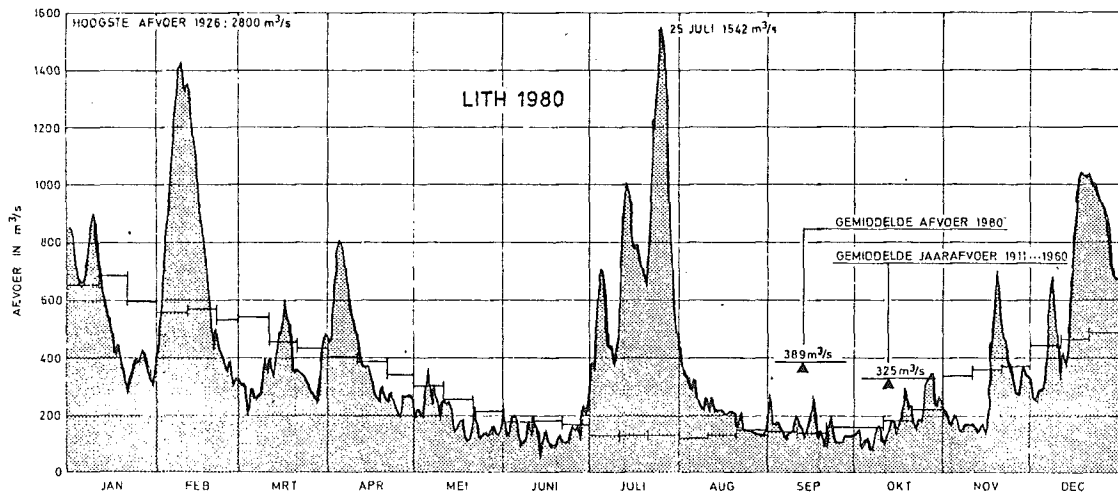
Bijlage 3422

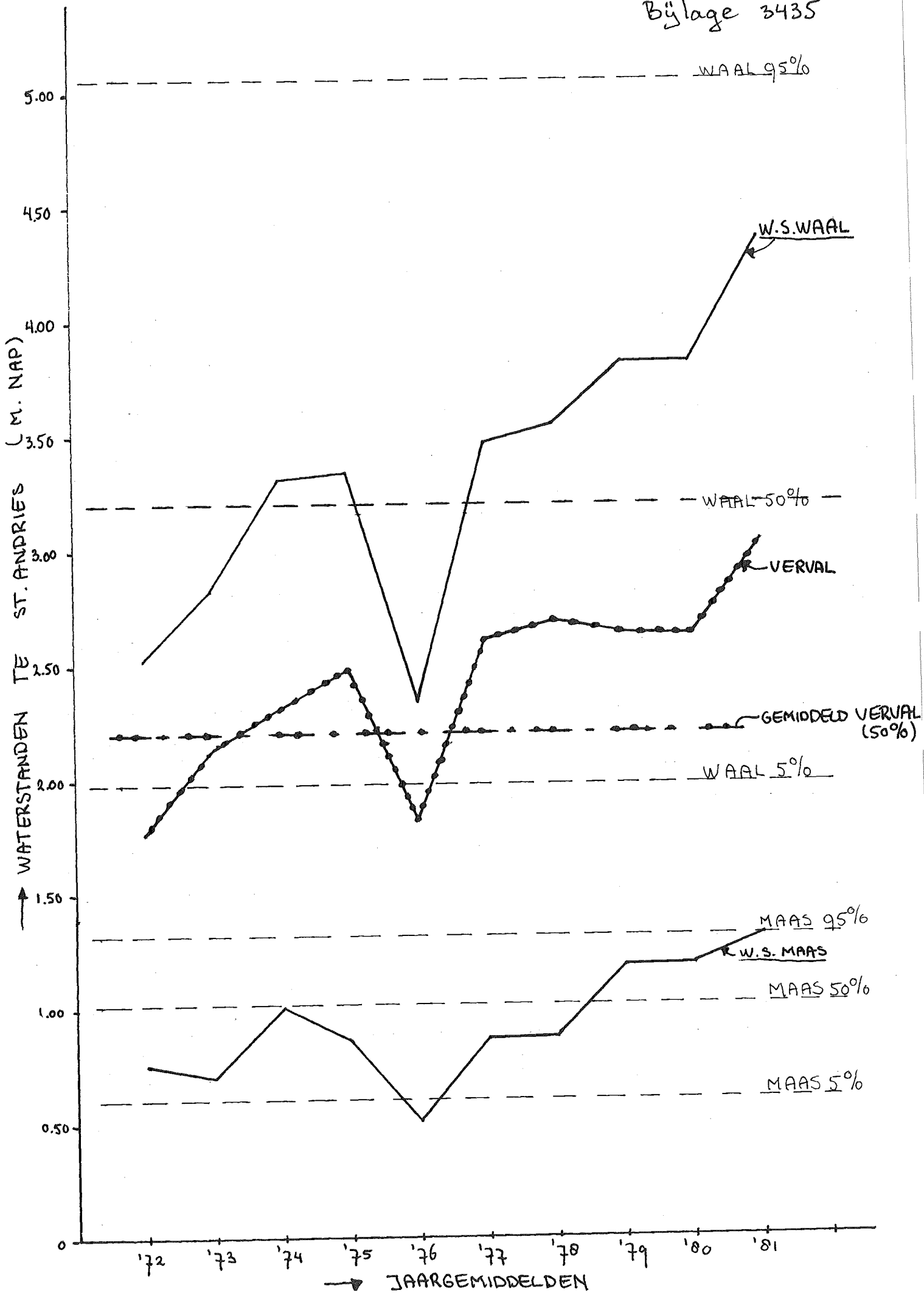




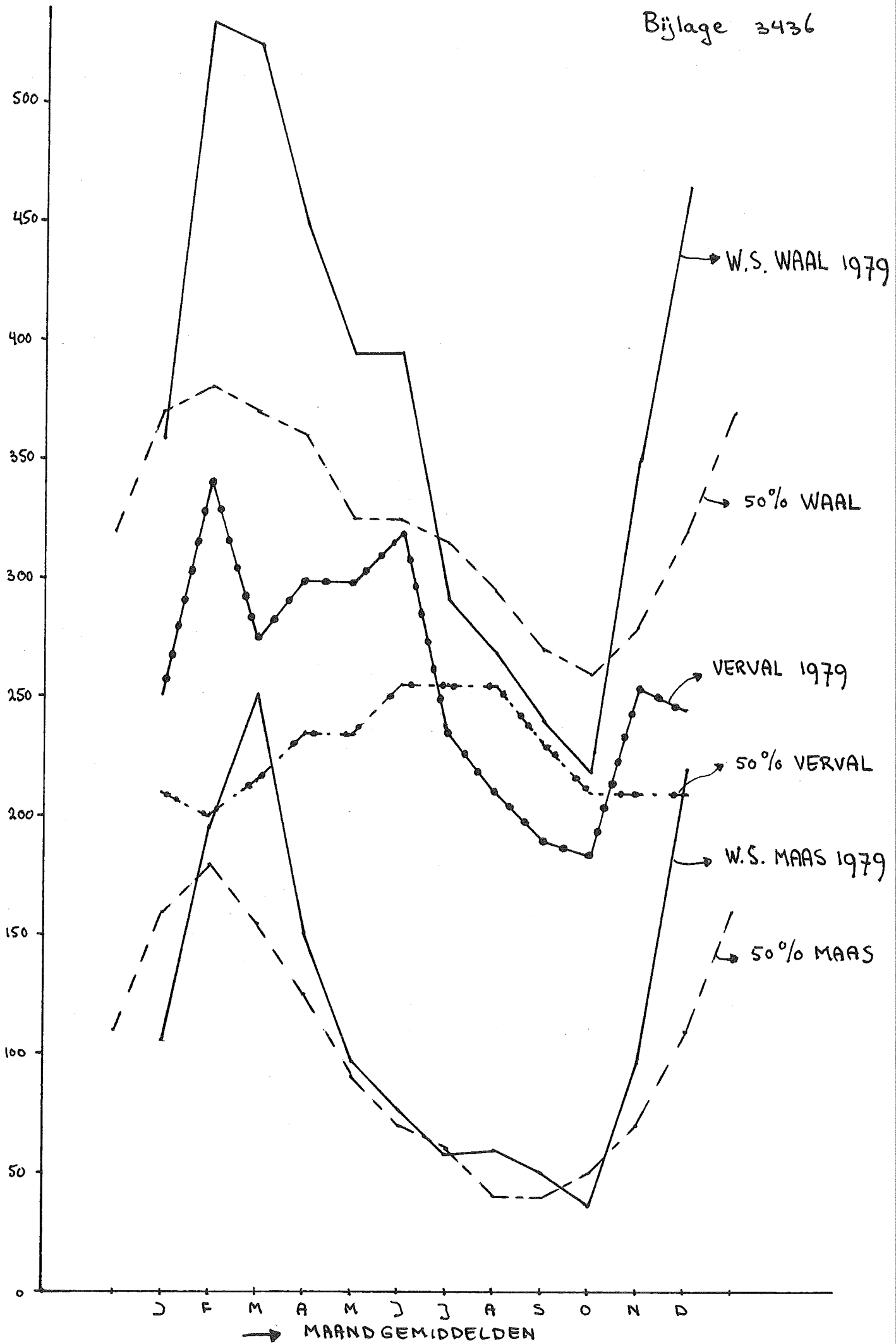


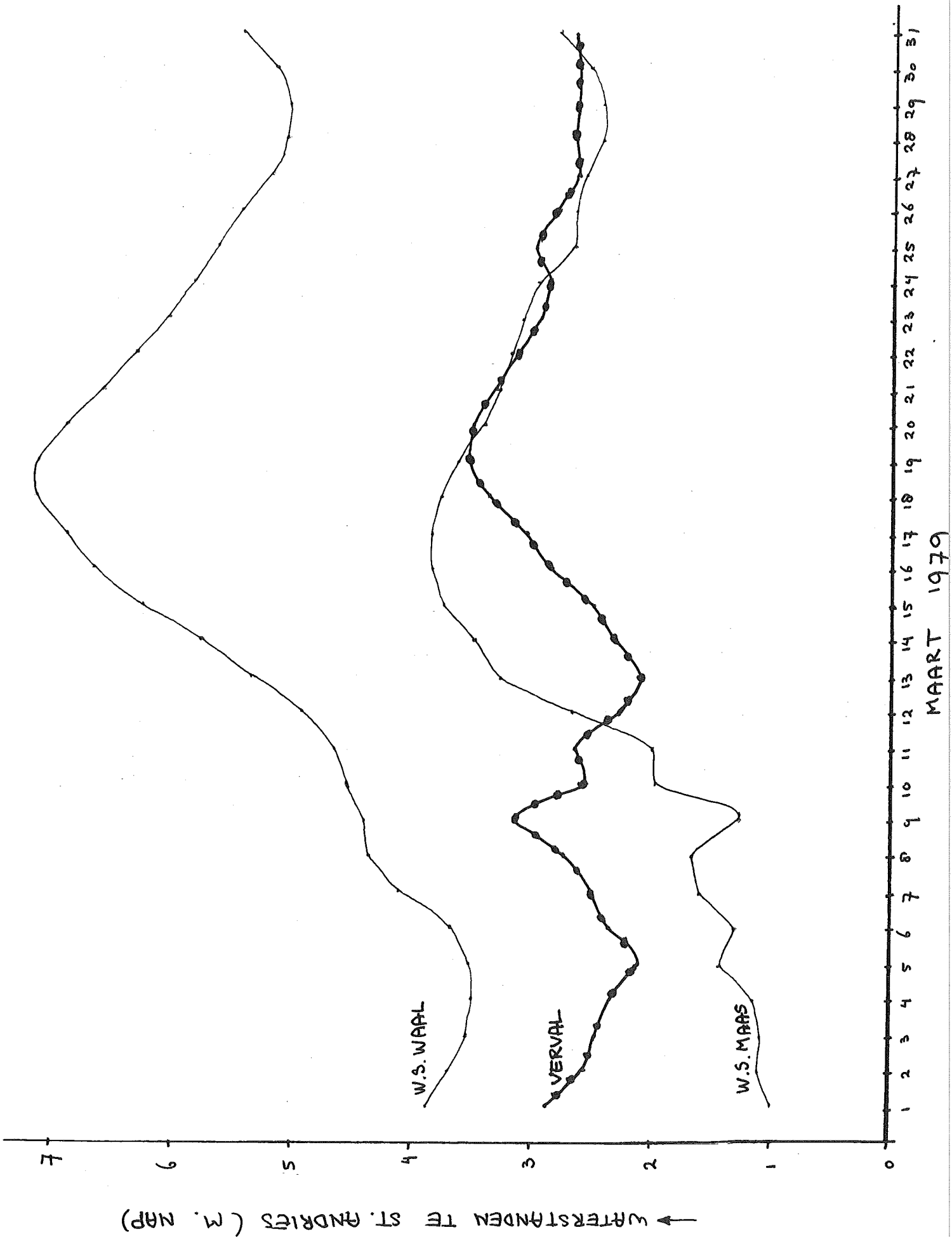






WATERSTANDEN TE ST. ANDRIES (CM. NAP)





## Opmerkingen bij gemiddelden berekening voor afvoer en waterstan

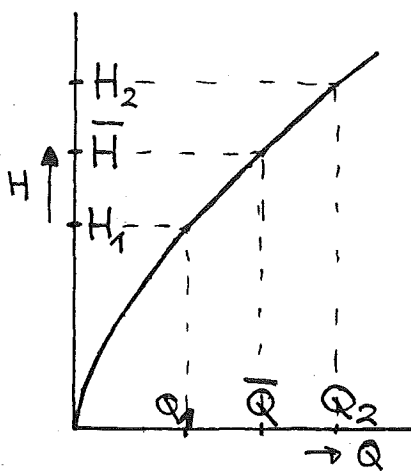


fig. 1.

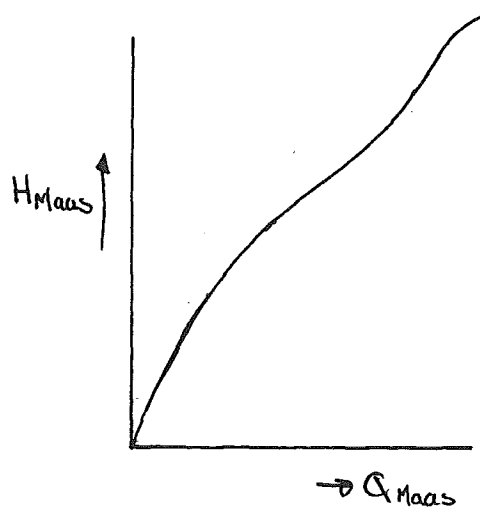


fig. 2.

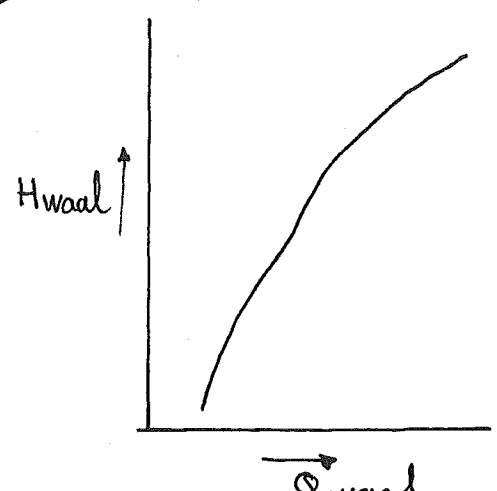


fig. 3.

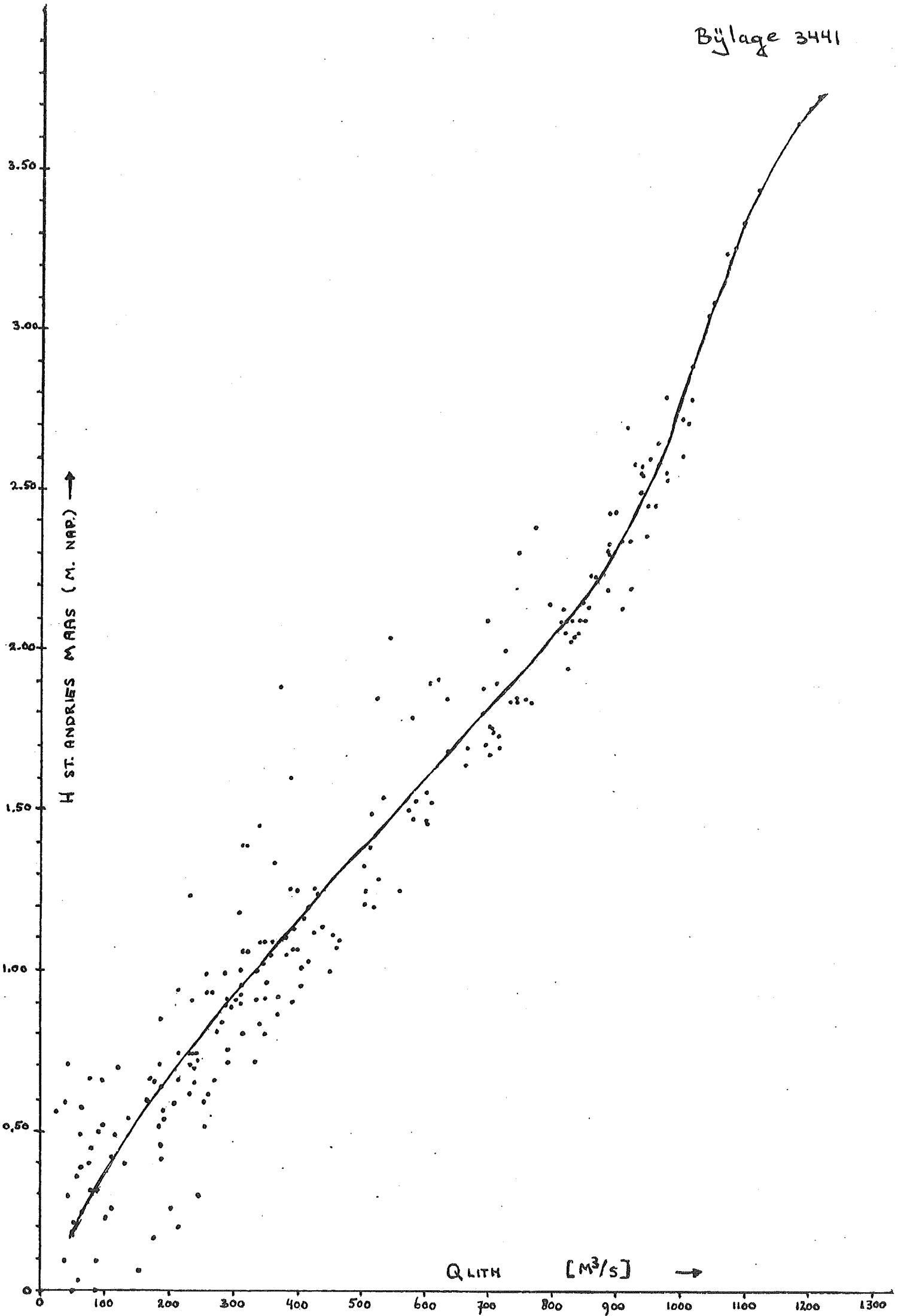
In figuur 1 hierboven is het verband  $Q-H$  geschetst. Wanneer de stroming in een rivier voldoet aan Chezy's relatie ( $Q=CA Ri$ ) en de voorwaarden dat de ruwheid  $C$  constant is, het verhang  $i$  constant is, de hydraulische straal  $R$  gelijk is aan de waterdiepte  $H$  en het doorstroomde oppervlak  $A$  recht evenredig is met de waterdiepte  $H$ , dan zou het verband  $Q-H$  van figuur 1 gelden. In dat geval zou gelden:

$$\bar{Q} = (Q_1 + Q_2) / 2 \quad \text{en} \quad \bar{H} = ((H_1 + H_2) / 2)$$

In de figuren 2 en 3 hierboven zijn schematisch de in dit rapport bepaalde  $Q-H$  relaties voor Maas en Waal weergegeven. Vooral voor de Maas blijkt dat niet klakkeloos van het verband  $Q-H$  kan worden uitgegaan. Mogelijke oorzaken hiervoor liggen in de volgende zaken:

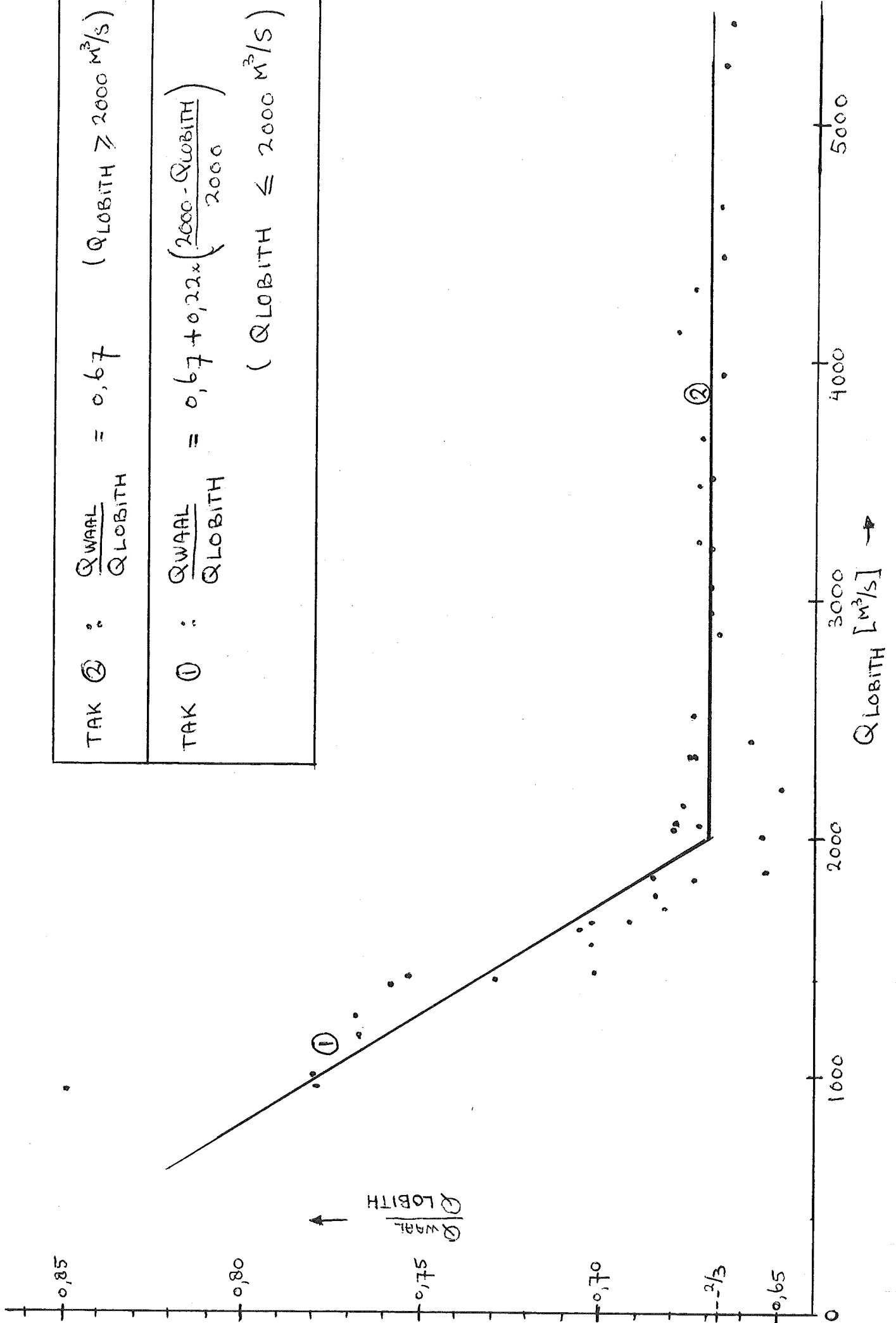
- De genoemde voorwaarden zijn nooit geheel de waarheid, wel gelden ze bij benadering. De ruwheid  $C$  kan berekend worden uit  $C=18 \cdot \log(12 \cdot H/D_{90})$  waarin de korrelmaat  $D_{90}$  als constant verondersteld kan worden.  $C$  is dus wel afhankelijk van  $H$ , wel is het zo dat een grote verandering in  $H$  slechts leidt tot een kleine verandering in  $C$ . De voorwaarde  $R=H$  geldt in principe alleen als de breedte van de rivier zeer veel groter is dan de waterdiepte; in de gevallen van Maas en Waal te St. Andries is dit wel een reële veronderstelling. De voorwaarde  $A \propto H$  geldt in principe wel bij een mooie tot een rechte bak met loodrechte wanden geschematiseerde rivier, maar in de praktijk zal de rivier dit niet zijn, waarmee deze voorwaarde op losse schroeven komt te staan; ook hier zullen de verschillen tussen theorie en praktijk echter niet groot zijn.
- In het geval van Maas en Waal is er sprake van uiterwaarden die ook als doorstromingsoppervlak gerekend moeten worden voor hoge waterstanden. Dit leidt tot een knik in de  $Q-H$  relatie.
- Hysteresis invloeden op de waterstanden maken dat het verband tussen  $Q$  en  $H$  niet eenduidig is. Bij het opstellen van een grafische  $Q-H$  relatie leidt dit ertoe dat men een beste lijn door een puntenwolk moet trekken. Dit kan tot onjuistheden leiden.
- Vooral bij de Maas te St. Andries is sprake van behoorlijk grote getij-invloeden op de waterstanden (verhogingen en verlagingen tot 50 cm. op de waterstanden). Dit leidt tot afwijkingen van debieten en waterstanden, afwijkingen ten opzichte van waarden zoals die volgens Chezy berekend zouden worden. Bij het opstellen van de  $Q-H$  relatie voor de Maas moest dan ook een beste lijn getrokken worden door een puntenwolk met zeer grote spreiding.

Al met al blijkt het niet raadzaam te zijn uit te gaan van een  $Q-H$  relatie zoals geschetst in figuur 1. Bij de bepaling van gemiddelde waterstanden zal dan ook niet uitgegaan worden van een dergelijk verband; in plaats daarvan zal voor elke  $Q$  met de opgestelde  $Q-H$  relaties een  $H$  bepaald worden en zullen deze waarden van  $H$  vervolgens gemiddeld worden.

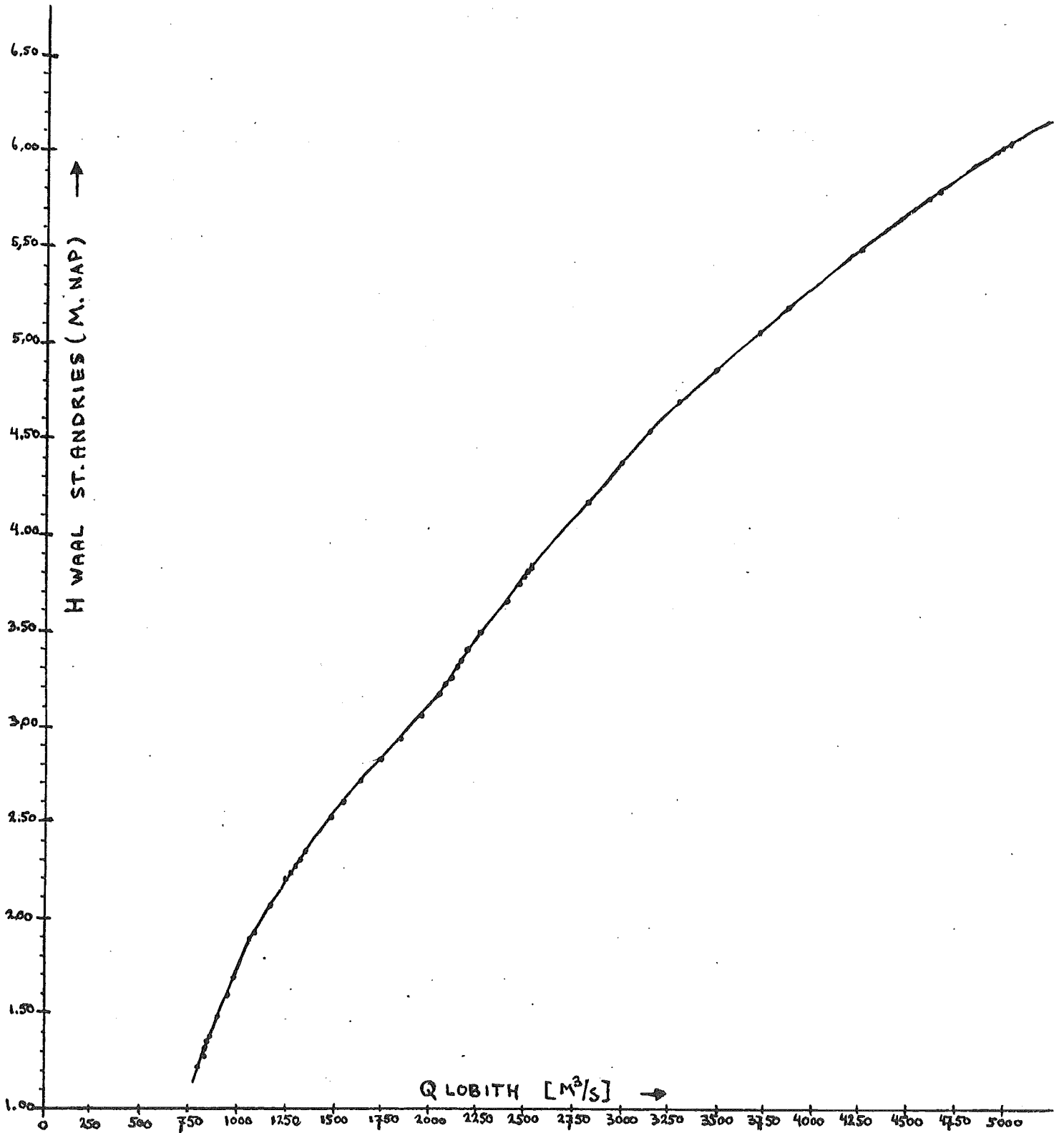




TAK ② : $\frac{Q_{WAAL}}{Q_{LOBITH}} = 0,67$	$(Q_{LOBITH} \geq 2000 \text{ M}^3/\text{s})$
TAK ① : $\frac{Q_{WAAL}}{Q_{LOBITH}} = 0,67 + 0,22 \times \left( \frac{2000 - Q_{LOBITH}}{2000} \right)$	$(Q_{LOBITH} \leq 2000 \text{ M}^3/\text{s})$

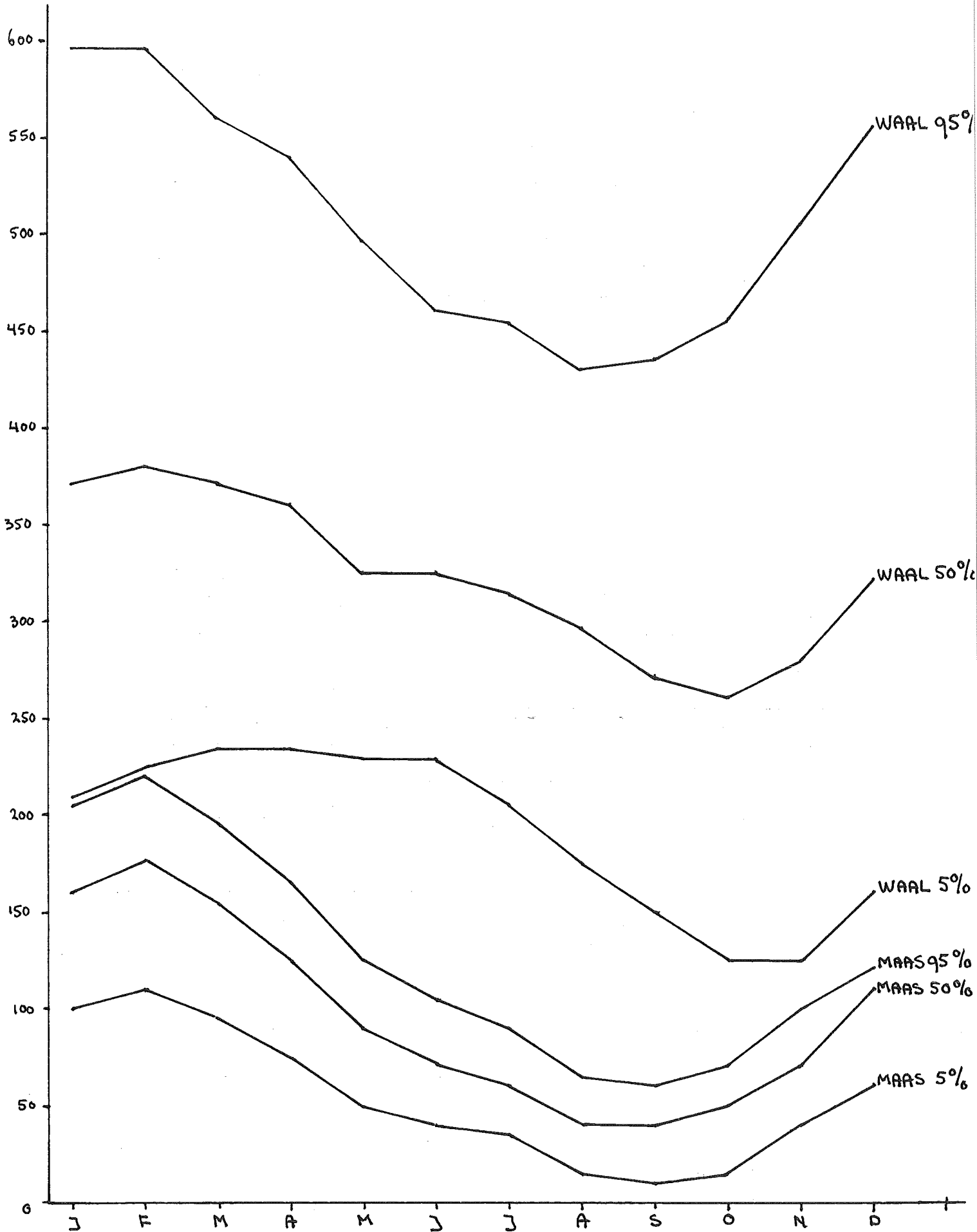


Tijd- stip	50% Q LOBITH [M <sup>3</sup> /s]	50% Q WAAL [M <sup>3</sup> /s]	50% H PANNERDENSE KOP [CM NAP]	50% H ST. ANDRIES [CM NAP]
1 JAN	2270	1513	995	349
15 JAN	2500	1667	1030	379
1 FEB	2520	1680	1034	382
15 FEB	2510	1673	1032	381
1 MAA	2470	1647	1027	376
15 MAA	2430	1620	1020	370
1 APR	2420	1613	1018	368
15 APR	2400	1600	1015	366
1 MEI	2200	1467	985	340
15 MEI	2050	1367	958	317
1 JUN	2080	1387	964	322
15 JUN	2110	1407	968	325
1 JUL	2100	1400	966	324
15 JUL	2080	1387	964	322
1 AUG	1960	1316	945	306
15 AUG	1850	1265	932	294
1 SEP	1740	1211	918	282
15 SEP	1640	1160	904	271
1 OCT	1550	1112	891	260
15 OCT	1480	1074	880	252
1 NOV	1580	1129	896	264
15 NOV	1700	1191	913	278
1 DEC	1840	1260	931	293
15 DEC	2000	1333	950	310



MÅNAD	QLOBITH [M³/s]			QLITH [M³/s]			HWAAL (CM. NAP.)			HMAAS (CM. NAP.)			VERVAL (CM.)						
	5%	50%	95%	5%	50%	95%	5%	50%	95%	5%	50%	95%	5%	50%	95%				
JAN	1210	2430	4890	2400	390	800	390	210	370	595	365	100	160	205	115	110	210	390	250
FEBR	1290	2500	4850	4100	740	850	740	225	380	595	540	110	180	220	195	115	200	375	345
MAR	1340	2440	4360	4050	850	740	850	235	370	560	535	95	155	195	220	140	215	365	315
APR	1340	2340	4130	3300	600	620	600	235	360	540	470	75	125	165	160	160	235	375	310
MAI	1320	2110	3550	2600	370	460	370	230	325	495	390	50	90	125	110	180	235	370	280
JUN	1300	2100	3210	2600	240	350	240	230	325	460	390	40	70	105	75	190	255	355	315
JUL	1160	2050	3130	1600	110	300	110	205	315	455	265	35	60	90	45	170	255	365	220
AUG	1000	1850	2900	1450	110	190	110	175	295	430	250	15	40	65	45	160	255	365	205
SEP	890	1650	2950	1300	70	170	70	150	270	435	225	10	40	60	30	140	230	375	195
OKT	820	1540	3150	1150	50	215	50	125	260	455	205	15	50	70	20	110	210	385	185
NOV	830	1710	3710	2250	310	335	310	125	280	505	345	40	70	100	90	85	210	405	255
DEC	950	2040	4300	3500	700	415	700	160	320	555	490	60	110	120	185	100	210	435	305
GEN	1120	2060	3760	2525	380	455	380	190	320	505	375	55	95	125	110	140	225	380	265

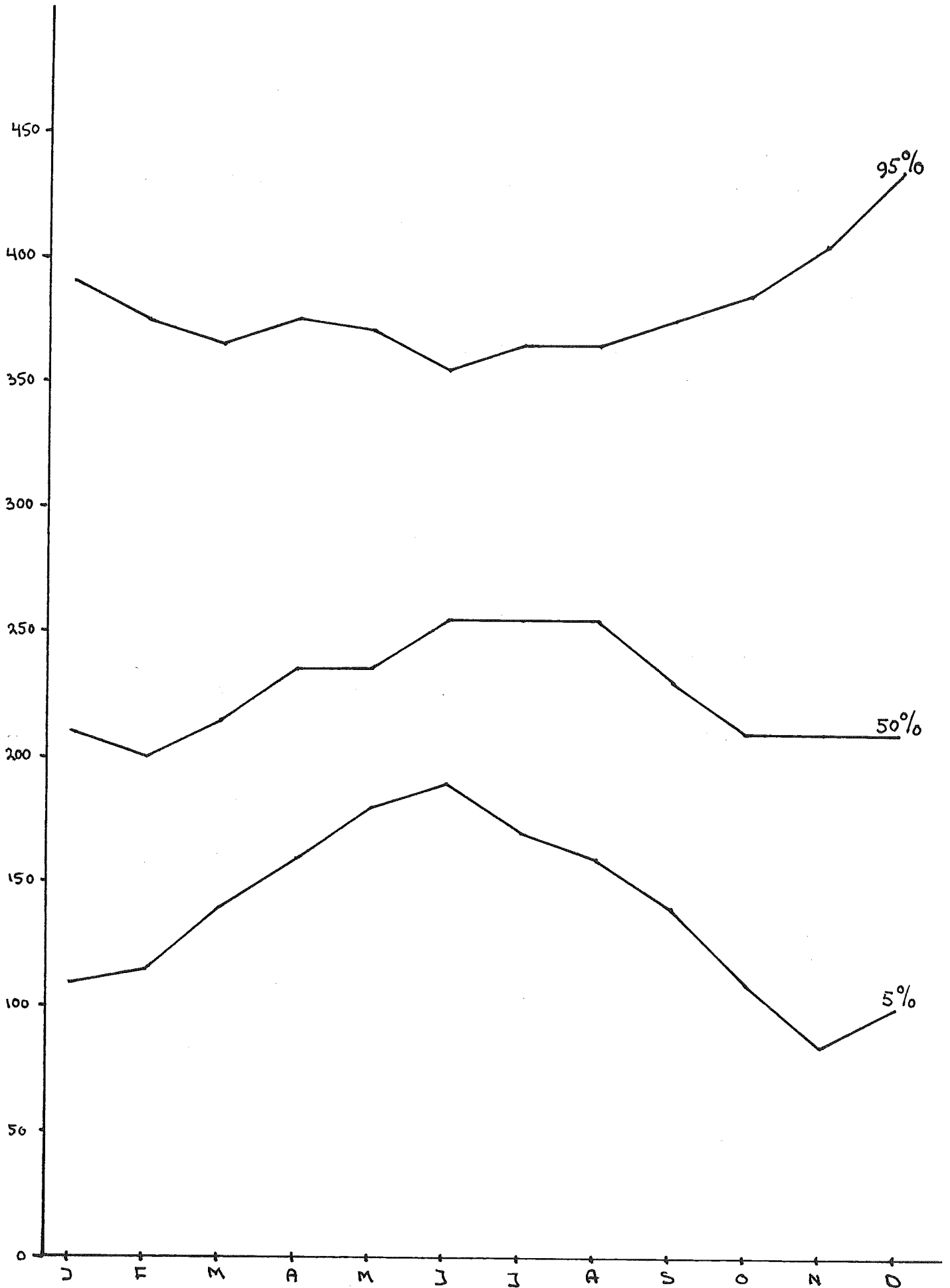
(cm NAP)



% ONDERSCHREDEN

LIJNEN VOOR MAANDGEMIDDELDEN WATERSTANDEN  
ST. ANDRIES

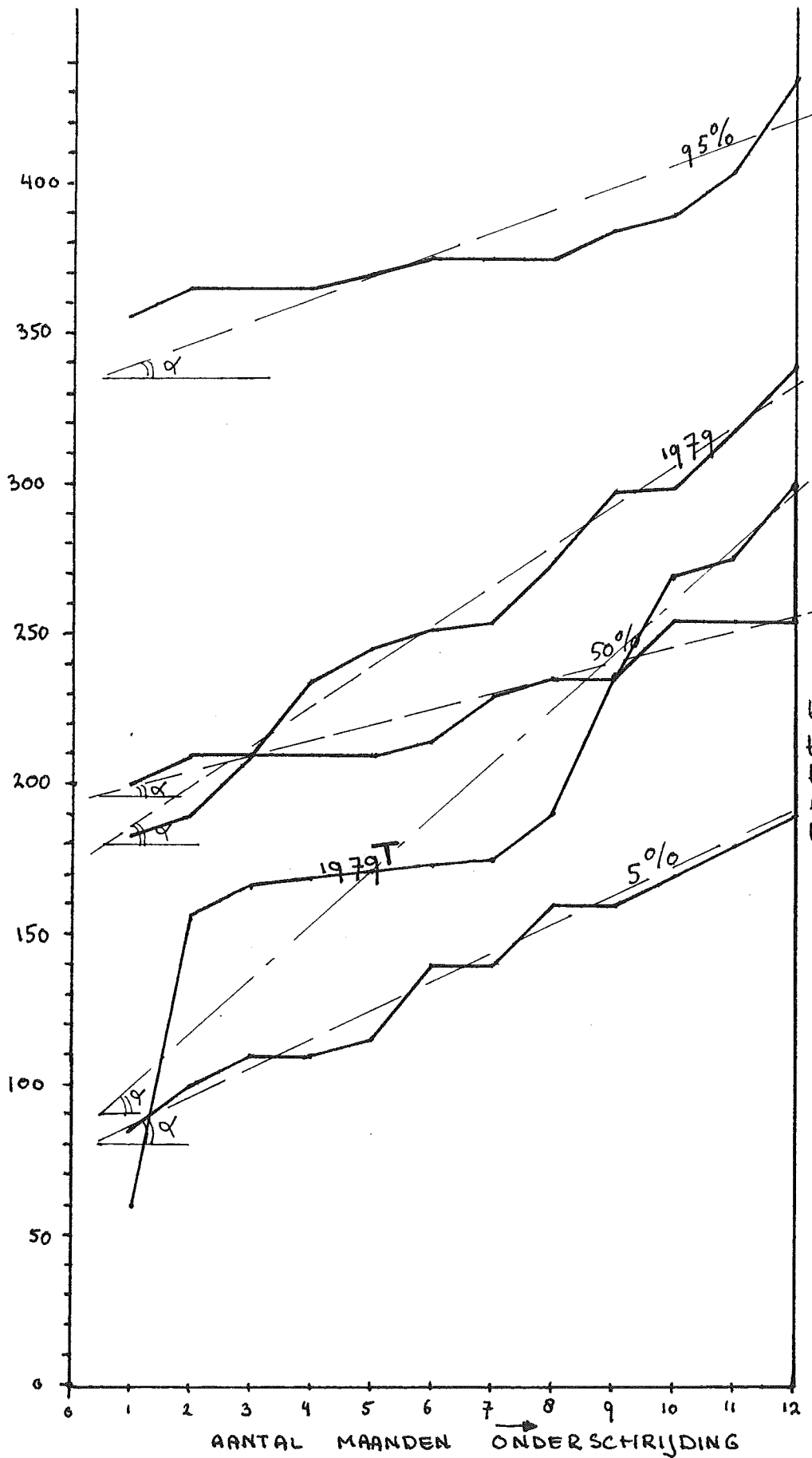
(CM. NAP)



MAANDGEMIDDELDEN VERVAL TE ST. ANDRIES

DAG NR.	JAN.	FEB.	MAA.	APR.	MEI	JUN.	JUL.	AUG.	SEP.	OCT.	NOV.	DEC.
1	201	213	286	247	271	286	295	196	250	215	162	198
2	255	208	256	284	281	286	278	193	239	200	154	208
3	300	160	244	298	262	313	289	175	208	199	172	229
4	368	134	233	330	288	318	288	183	207	192	194	237
5	435	176	210	322	306	313	286	186	200	182	173	256
6	410	290	237	292	313	305	268	195	208	189	152	212
7	382	397	251	328	325	312	250	193	215	185	141	219
8	342	393	273	348	338	322	229	182	227	199	131	210
9	306	392	315	360	339	337	239	181	230	184	125	222
10	267	348	257	353	323	342	231	188	209	179	145	189
11	245	375	264	337	337	347	249	195	200	166	215	136
12	205	391	226	331	310	334	252	187	203	158	330	83
13	210	397	209	323	304	352	262	205	204	155	364	164
14	213	400	232	319	295	316	232	220	167	146	378	235
15	241	404	252	315	288	296	226	213	157	129	354	233
16	241	393	283	312	295	298	232	199	165	114	341	219
17	246	409	305	289	277	307	227	203	158	117	336	238
18	228	430	339	290	283	306	225	215	141	127	365	251
19	243	404	353	281	284	296	208	226	131	127	335	251
20	249	391	350	284	284	306	194	224	145	154	347	265
21	243	388	331	268	278	315	192	216	152	170	342	306
22	237	384	313	277	284	319	189	224	159	210	351	330
23	225	375	295	265	284	330	189	230	170	238	312	332
24	184	345	285	261	279	343	192	239	178	239	294	362
25	160	339	300	255	272	340	212	241	183	238	277	340
26	154	340	282	243	276	342	229	244	189	237	269	338
27	164	312	262	248	297	336	231	222	173	226	218	319
28	185	324	266	301	310	327	232	216	193	227	216	294
29	200		264	312	335	321	220	231	213	201	190	266
30	228		262	294	312	300	202	246	231	187	197	244
31	223		265		305		208	253		194		205
MAAND- GEMID- DELDE	251	340	274	299	298	319	234	210	190	183	253	245
MAX.	435	430	353	360	339	347	295	253	250	239	378	362
MIN.	154	134	209	243	262	286	189	175	131	114	125	083

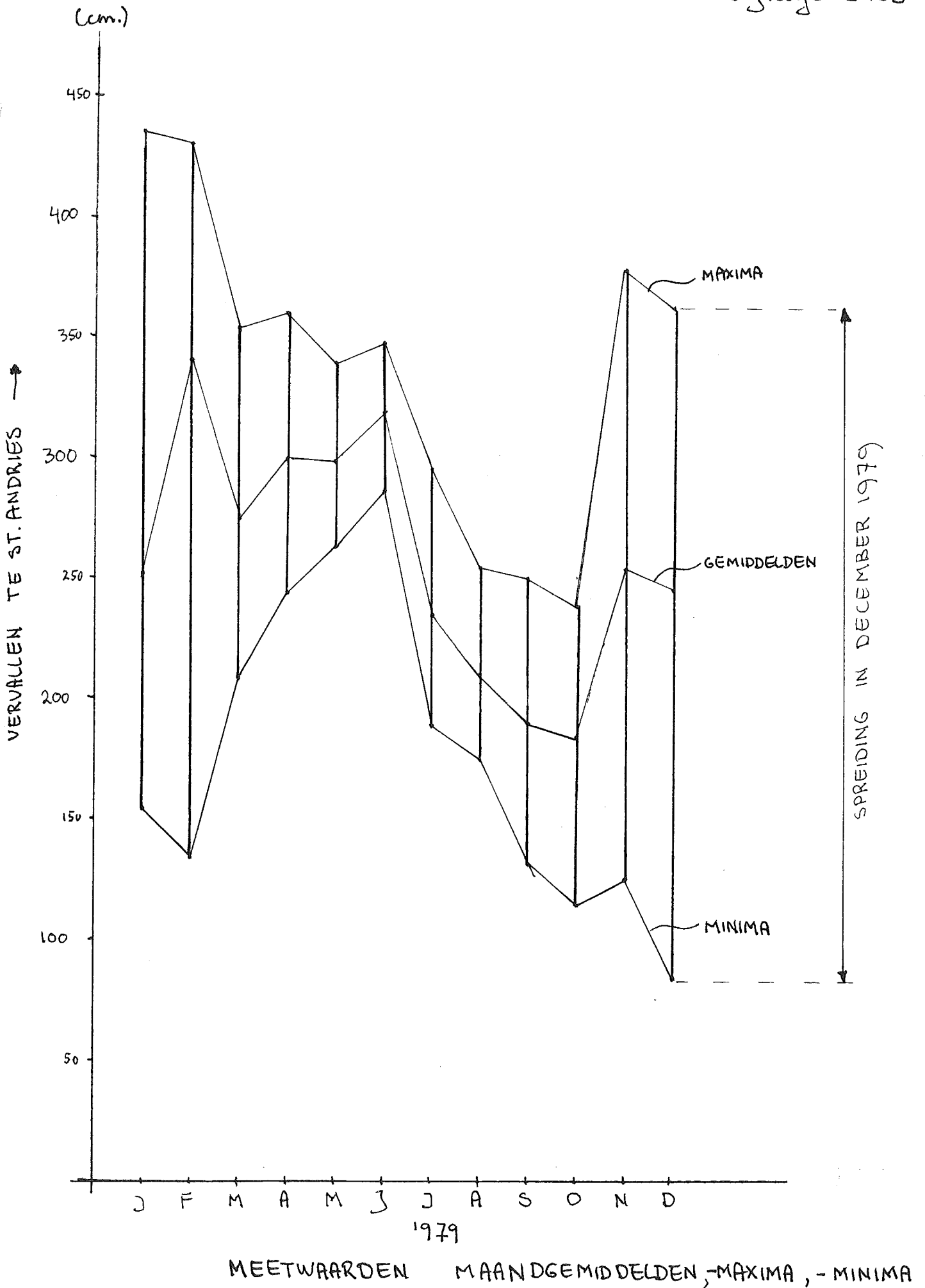
GEMETEN VERVALLEN TE ST. ANDRIES 1979.

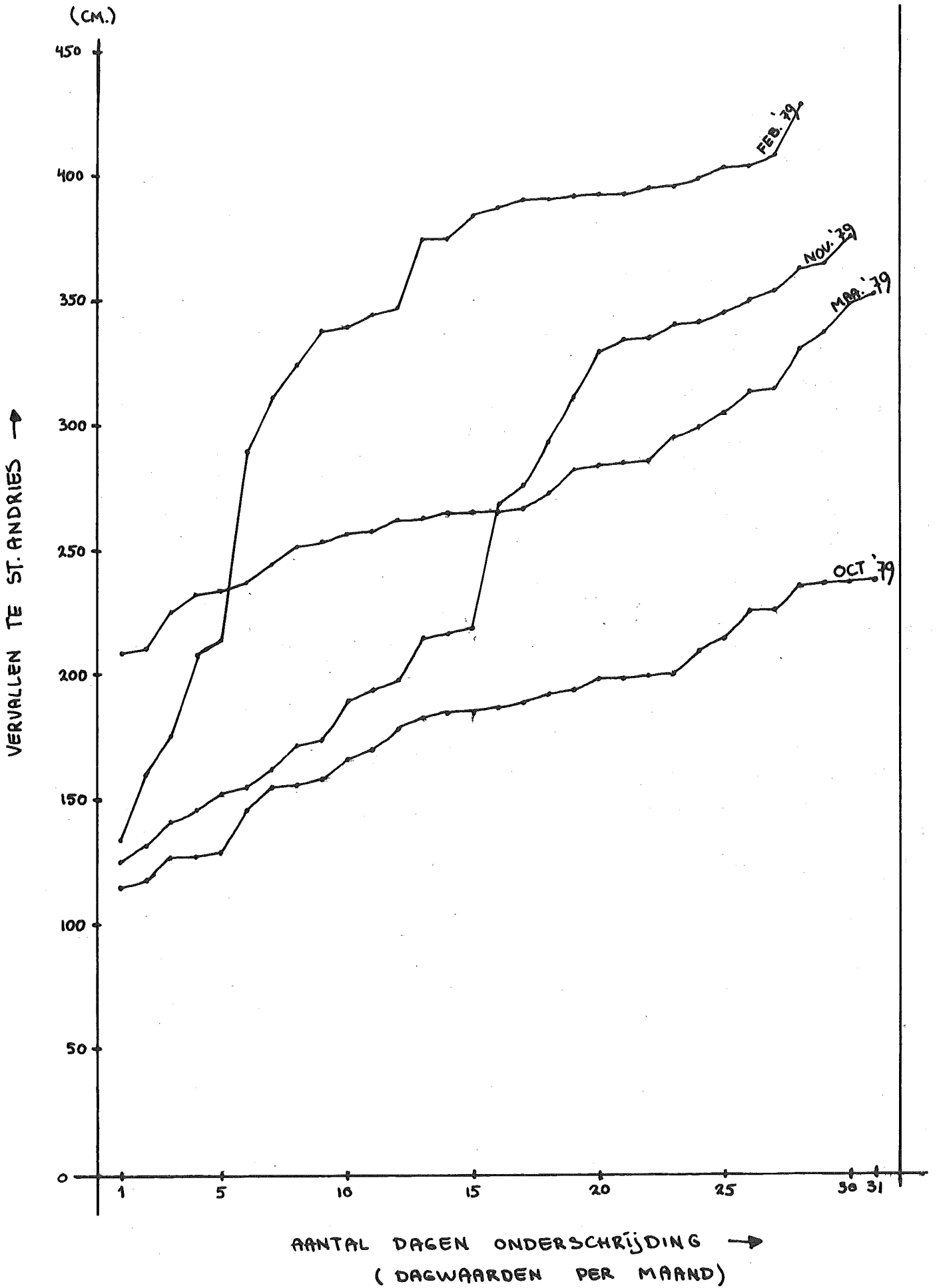


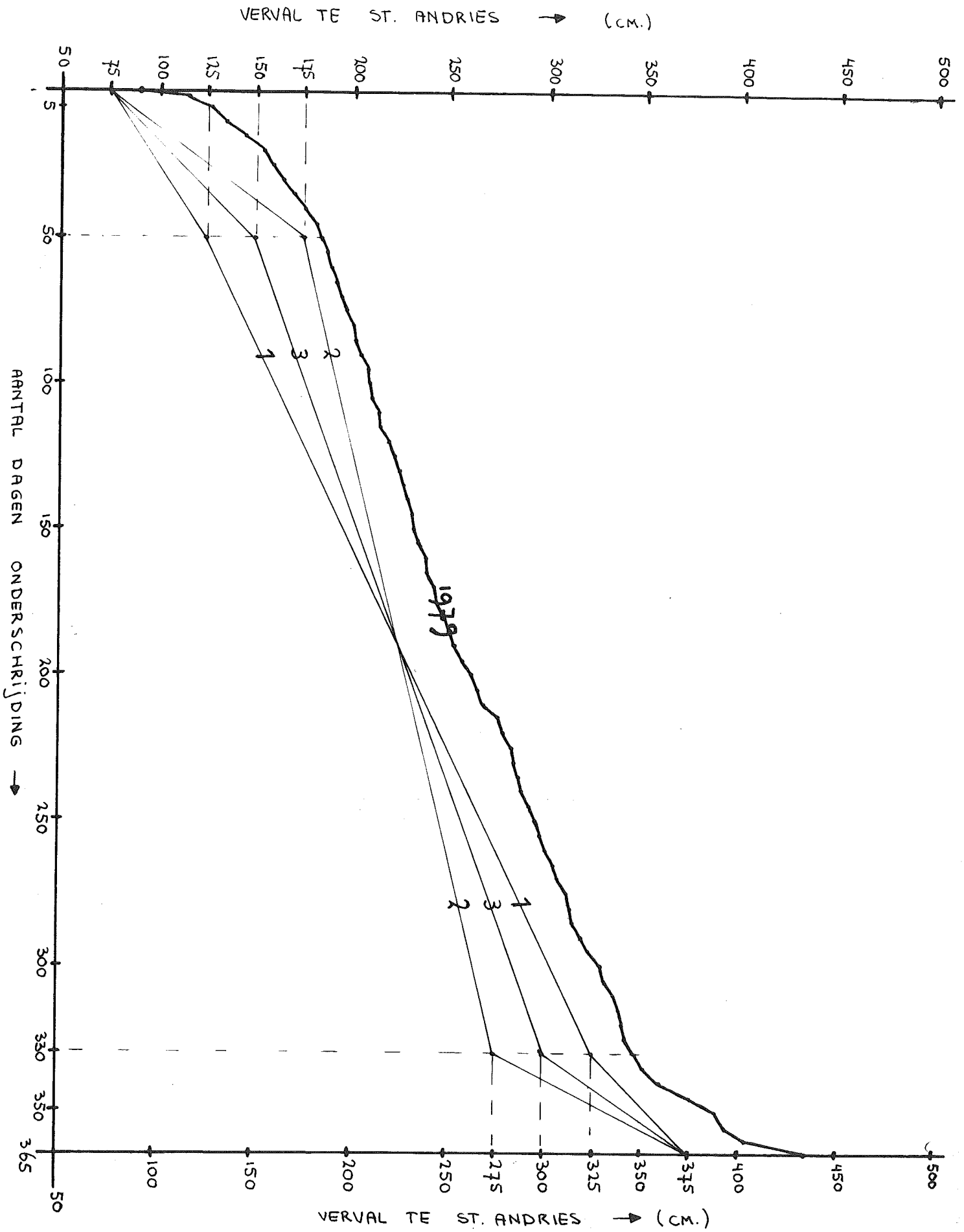
$\text{tg } \alpha(95\%) = 0,37$   
 $\text{tg } \alpha(1979) = 0,61$   
 $\text{tg } \alpha(50\%) = 0,34$   
 $\text{tg } \alpha(5\%) = 0,48$   
 $\text{tg } \alpha(1979T) = 0,91$

(MAANDGEMIDDELDDES)

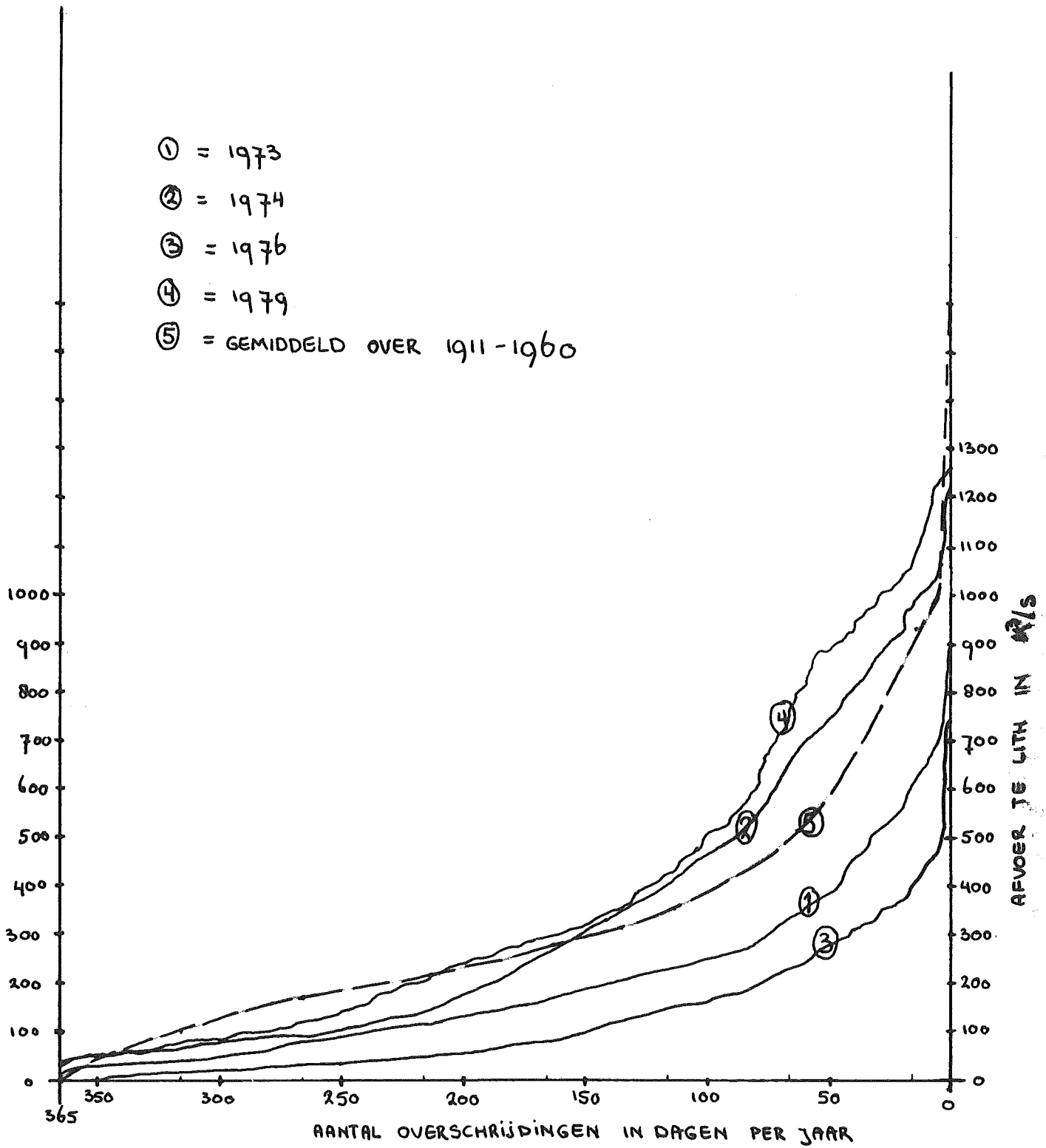


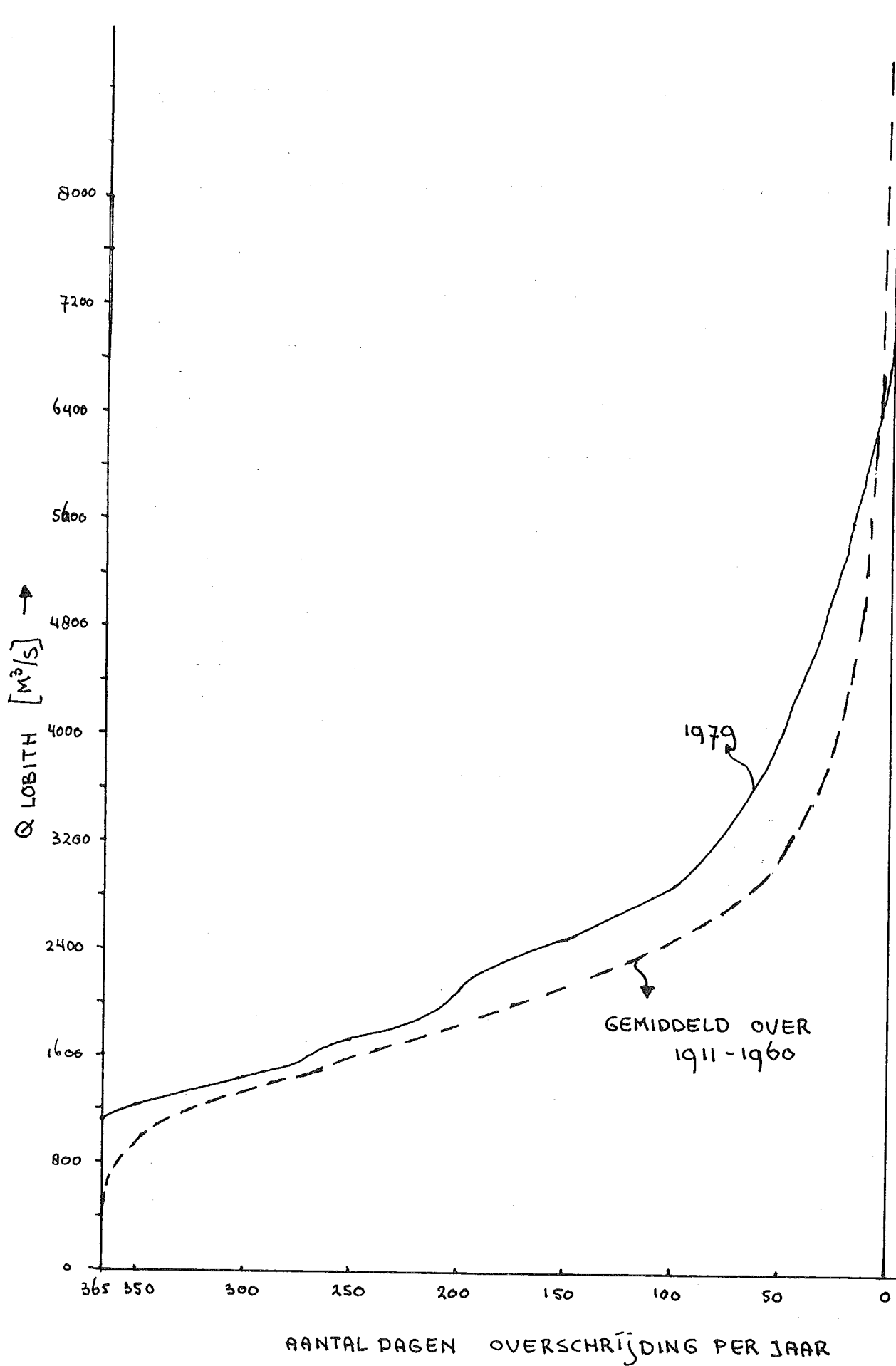






- ① = 1973
- ② = 1974
- ③ = 1976
- ④ = 1979
- ⑤ = GEMIDDELD OVER 1911-1960





WATERSTAND WAAL 1979 (cm.)			
	GEMETEN	BEREKEND	$\Delta_W$
J	359	365	-6
F	534	540	-6
M	525	535	-10
A	450	470	-20
M	395	390	+5
J	396	390	+6
J	292	265	+27
A	269	250	+19
S	240	225	+15
O	219	205	+14
N	350	395	-45
D	465	490	-25
GEMIDDELD	375	377	-2

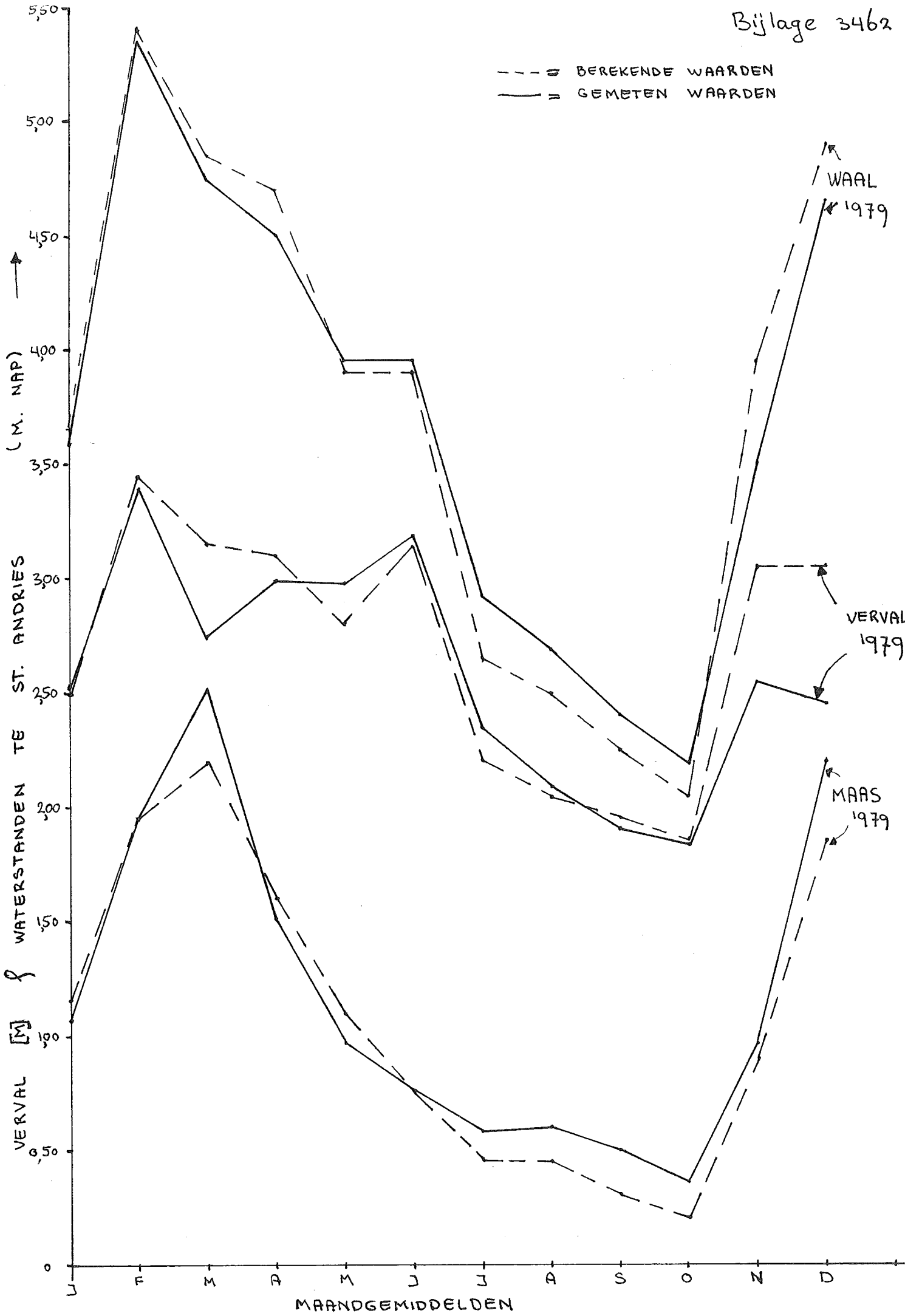
WATERSTAND MAAS 1979 (cm.)			
	GEMETEN	BEREKEND	$\Delta_M$
J	107	115	-8
F	195	195	0
M	251	220	+31
A	151	160	-9
M	97	110	-13
J	77	75	+2
J	58	45	+13
A	60	45	+15
S	50	30	+20
O	36	20	+16
N	97	90	+7
D	220	185	+35
GEMIDDELD	117	108	+9

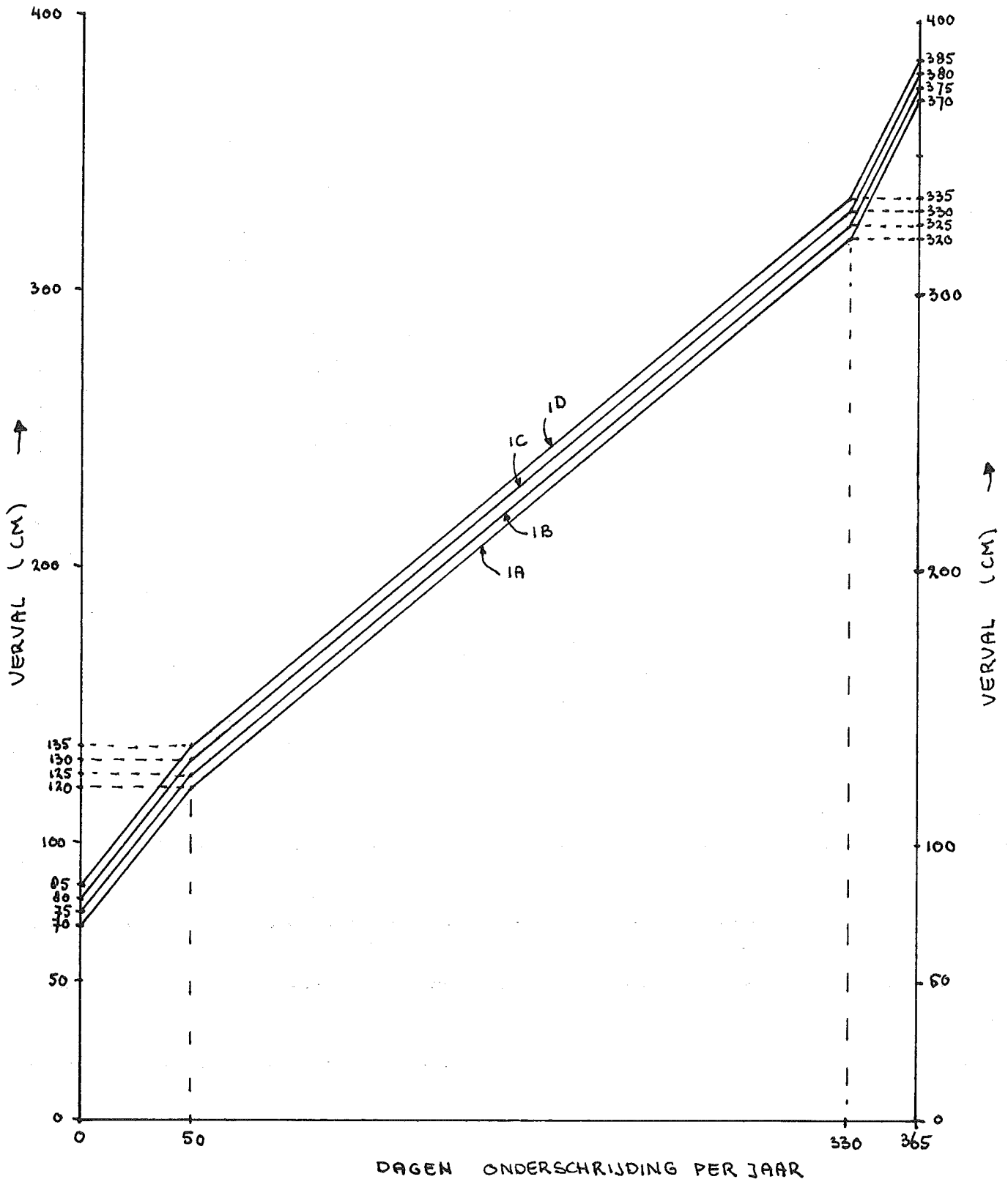
VERVAL 1979 (cm.)			
	GEMETEN	BEREKEND	$\Delta_V$ ( $-\Delta_W - \Delta_M$ )
J	252	250	+2
F	339	345	-6
M	274	315	-41
A	299	310	-11
M	298	280	+18
J	319	315	+4
J	234	220	+14
A	209	205	+4
S	190	195	-5
O	183	185	-2
N	253	305	-52
D	245	305	-60
GEMIDDELD	258	269	-11

VERGELIJKING MAANDGEMIDDELDEN

1979

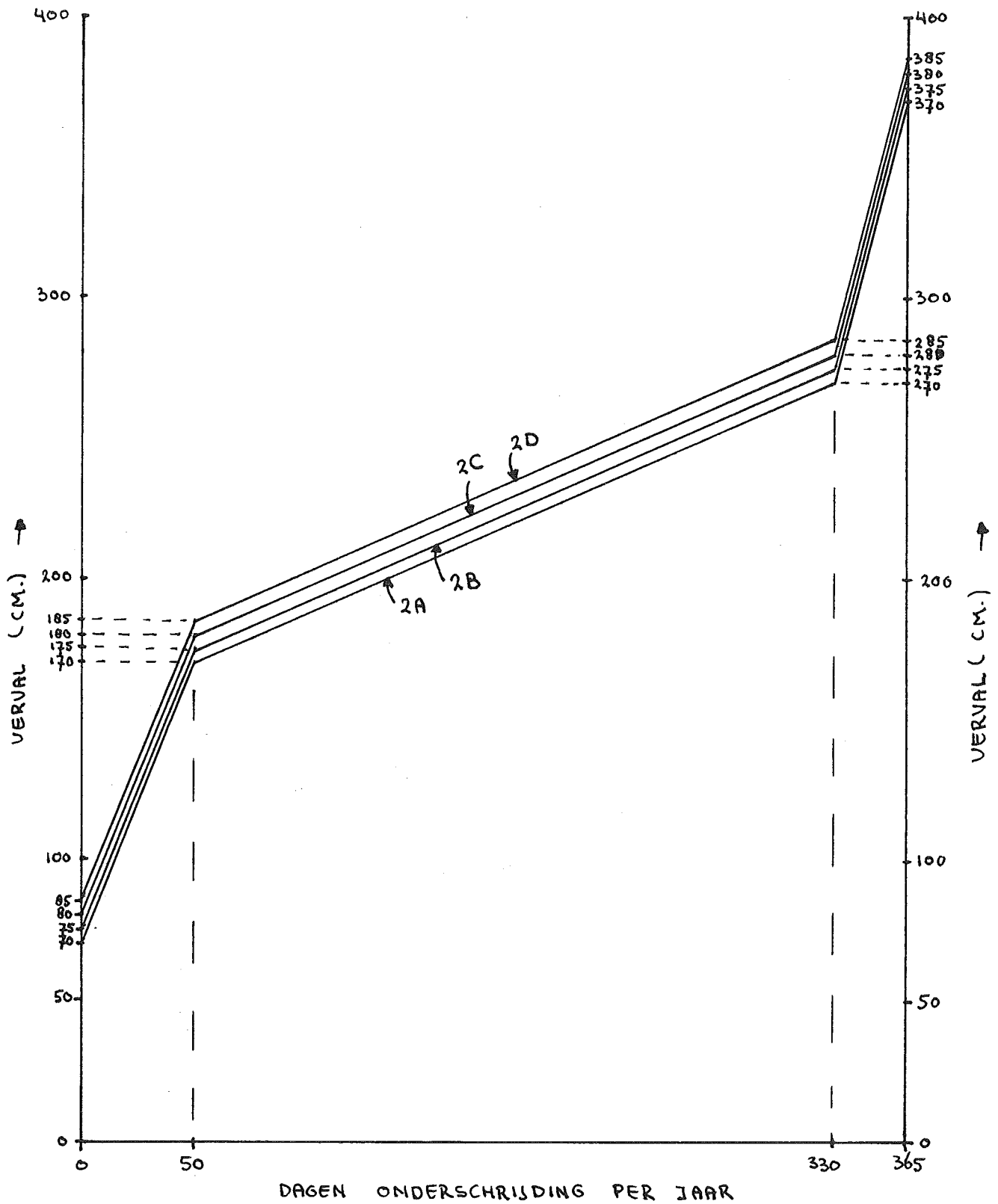
--- = BEREKENDE WAARDEN  
— = GEMETEN WAARDEN





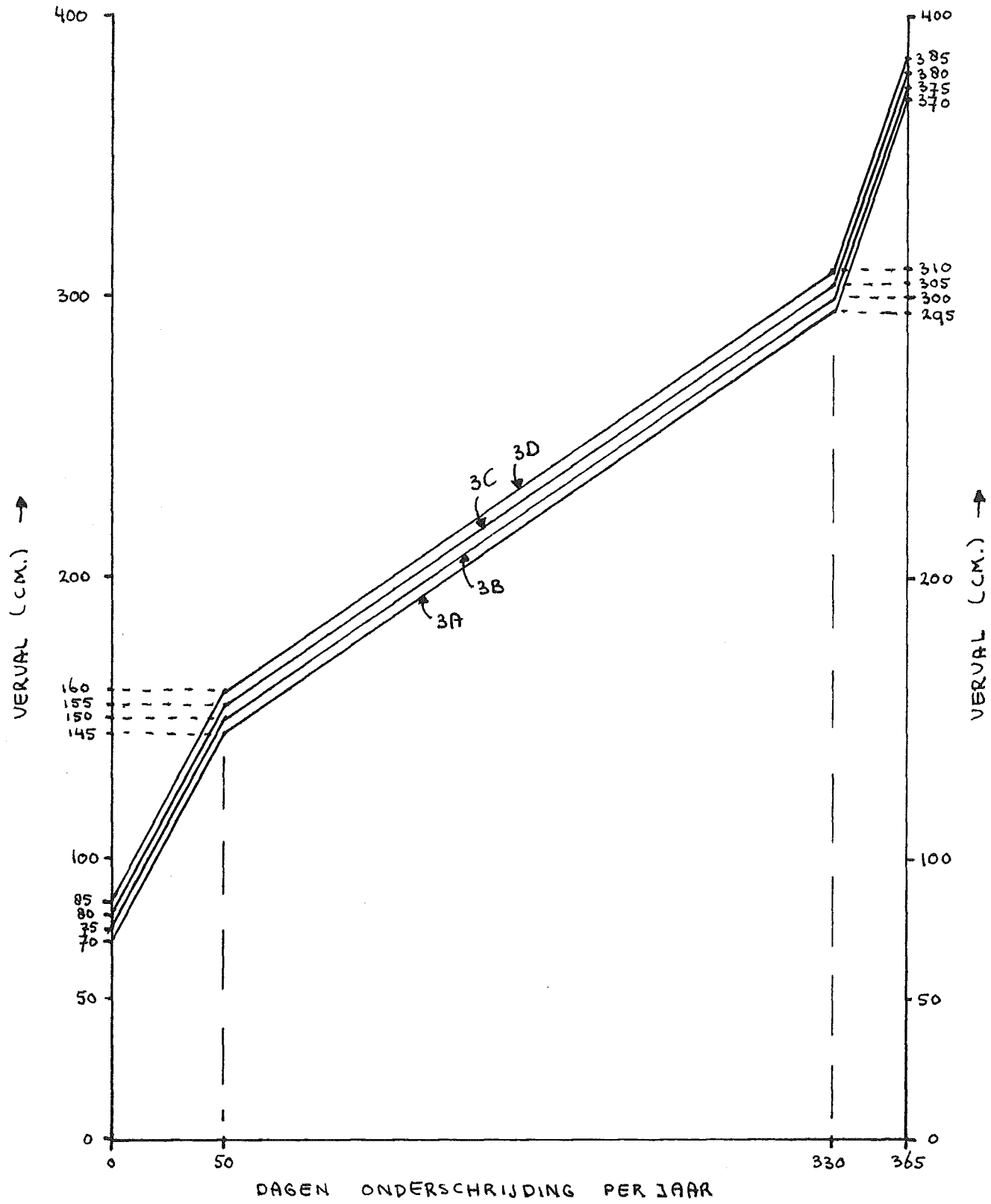
ONDERSCHRIJDINGSLIJNEN : SPREIDINGSCATEGORIE 1 (GROTE SPREIDING)  
 JAAR GEMIDDELDEN VOOR VERVAL :  
 LIJN IA : 215 CM.  
 LIJN IB : 220 CM.  
 LIJN IC : 225 CM.  
 LIJN ID : 230 CM.





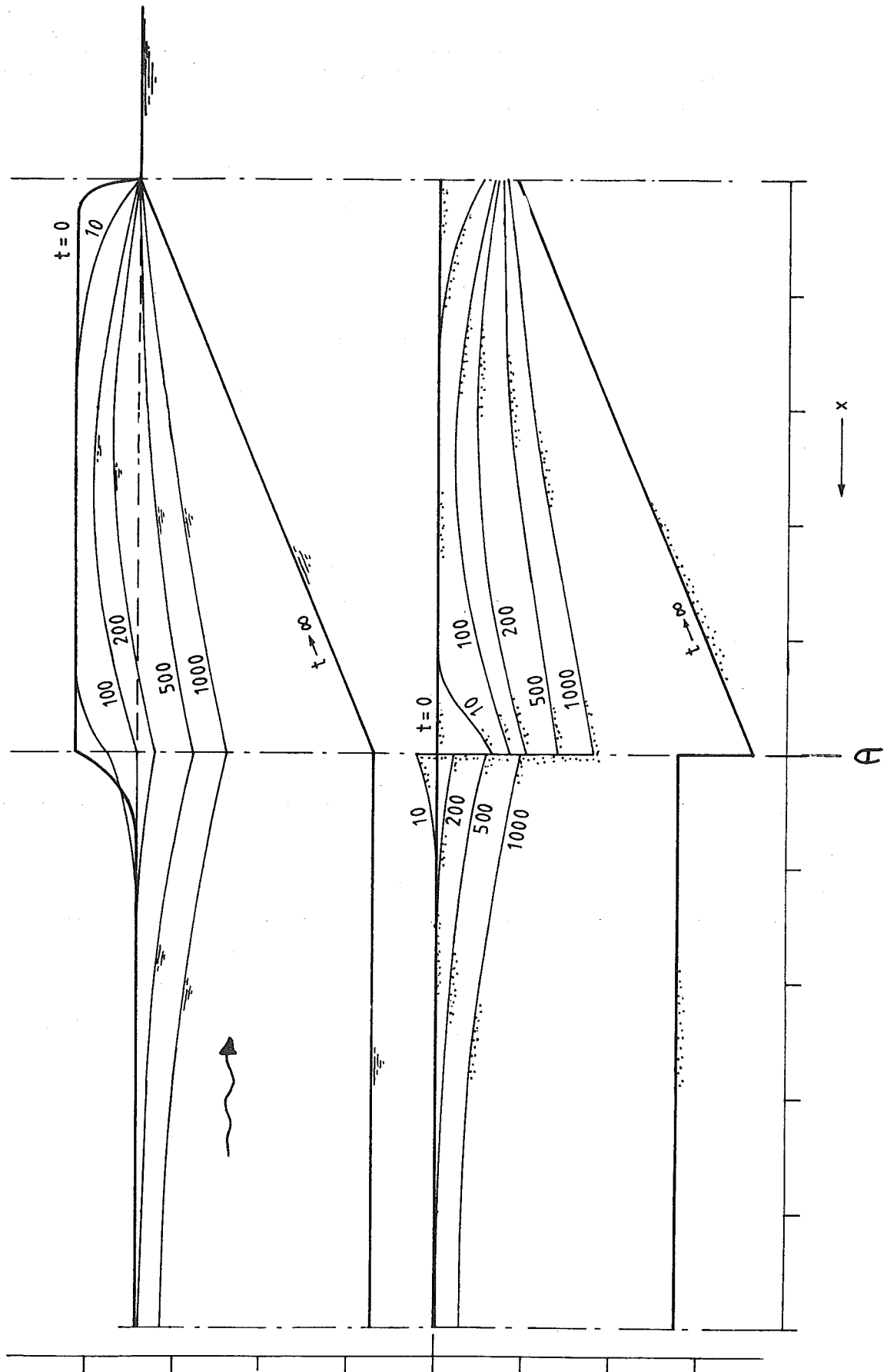
ONDERSCHRIJDINGSLIJNEN : SPREIDINGSCATEGORIE 2 (KLEINE SPREIDING)  
 JAARGEMIDDELDEN VOOR VERVAL :

LIJN 2A :	215	CM.
LIJN 2B :	220	CM.
LIJN 2C :	225	CM.
LIJN 2D :	230	CM.

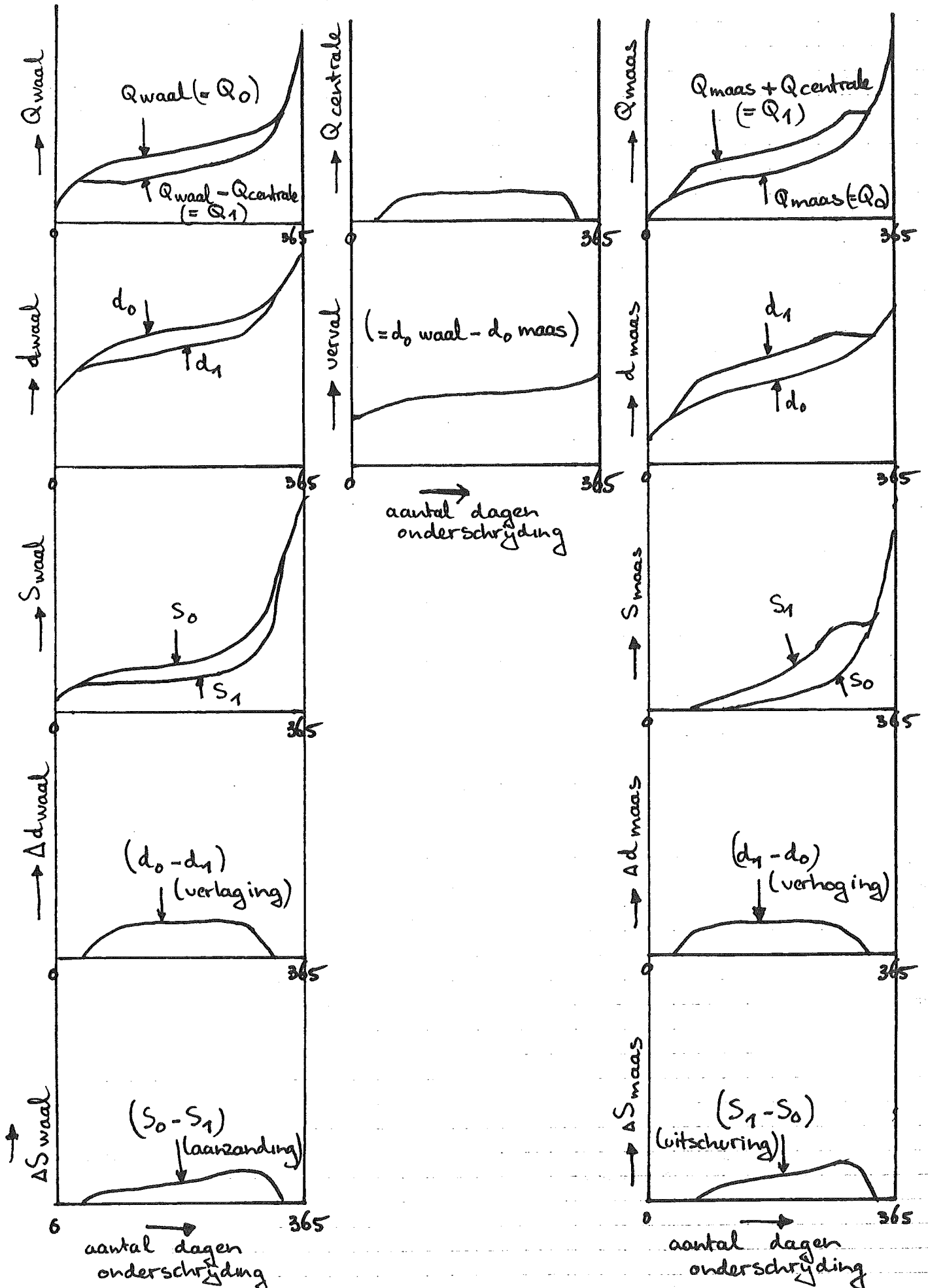


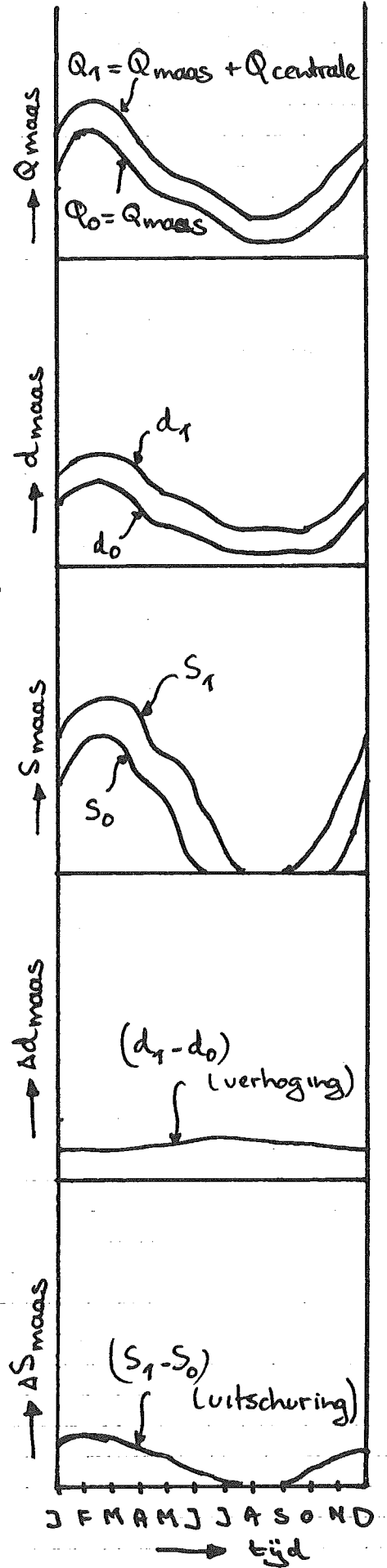
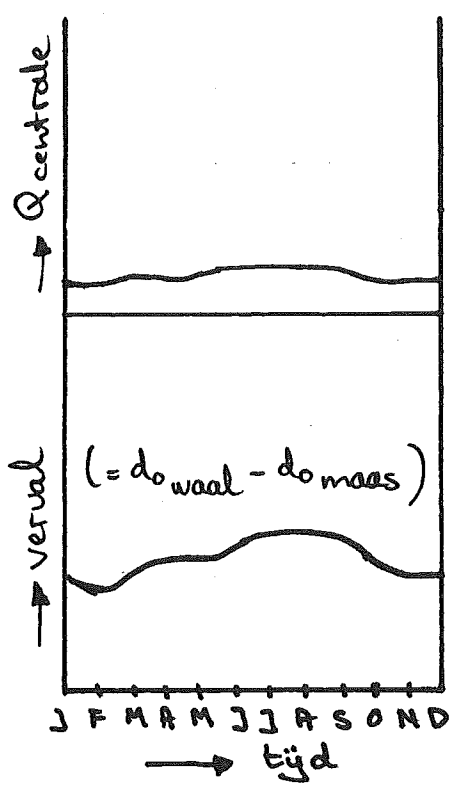
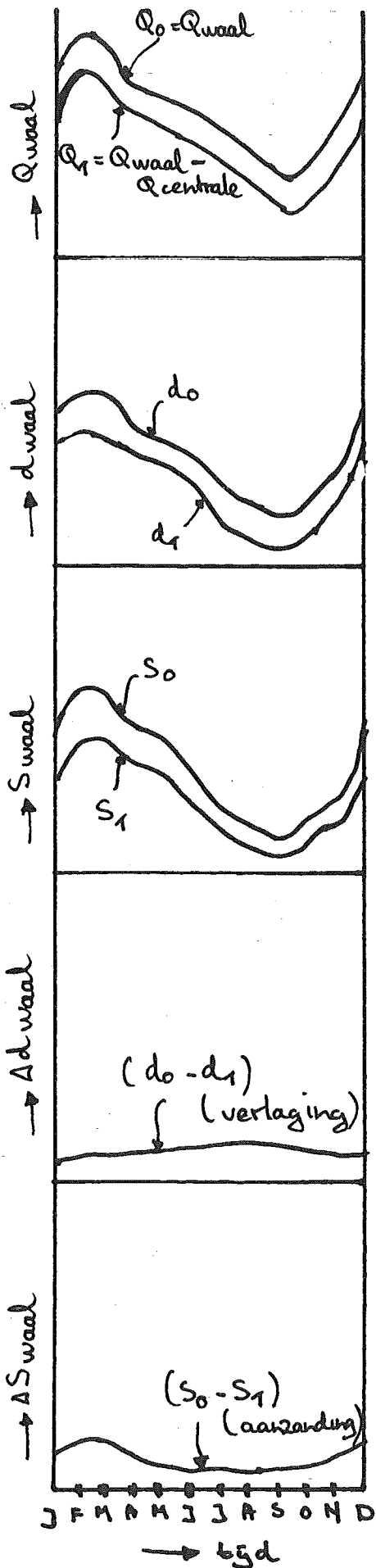
ONDERSCHRIJDINGSLIJNEN: SPREIDINGSCATEGORIE 3 (GEMIDDELTE SPREIDING)  
 JAARGEMIDDELDEN VOOR HET VERVAL : LIJN 3A : 215 CM.  
 LIJN 3B : 220 CM.  
 LIJN 3C : 225 CM.  
 LIJN 3D : 230 CM.

VOORBEELD MORFOLOGISCH PROCES

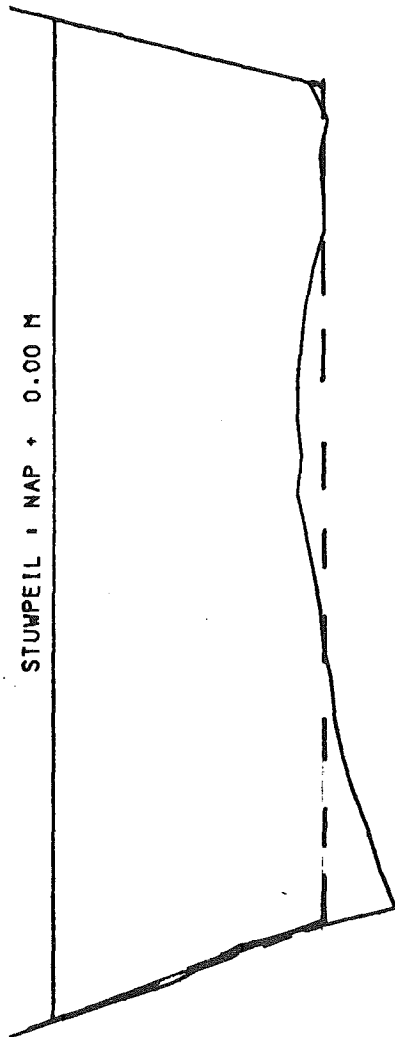


SCHEMATISATIE MET ONDERSCHRIJDINGS LIJNEN





RP R.O.



$z_b = -3.6 \text{ m. NAP}$

$B_0 = 113 \text{ m}$

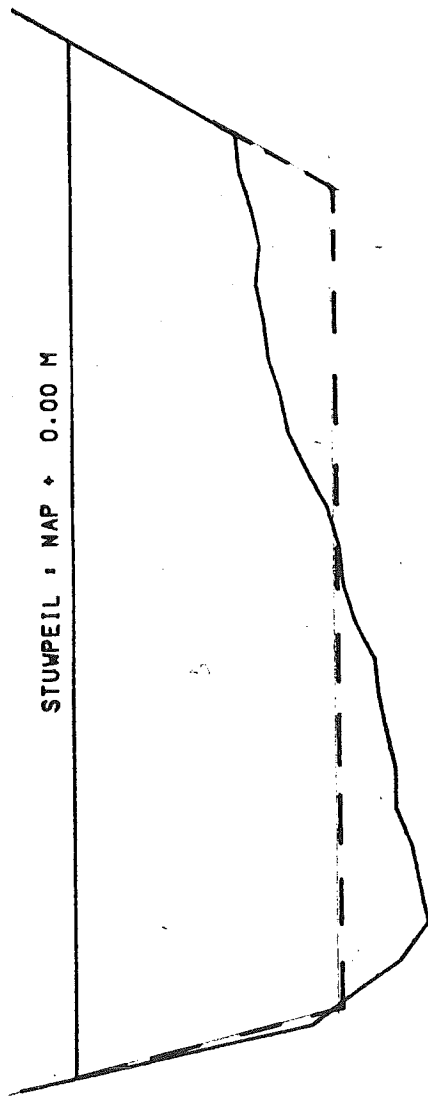
$\bar{u} = 3.61$

↑ 1CM = 10 M  
 ↓ 1CM = 1 M

peiling maas 1984 dwarsprofiel kmr 202.000	getek.	gecontr.	gezien
	proj.		
			bijlage

rijkswaterstaat

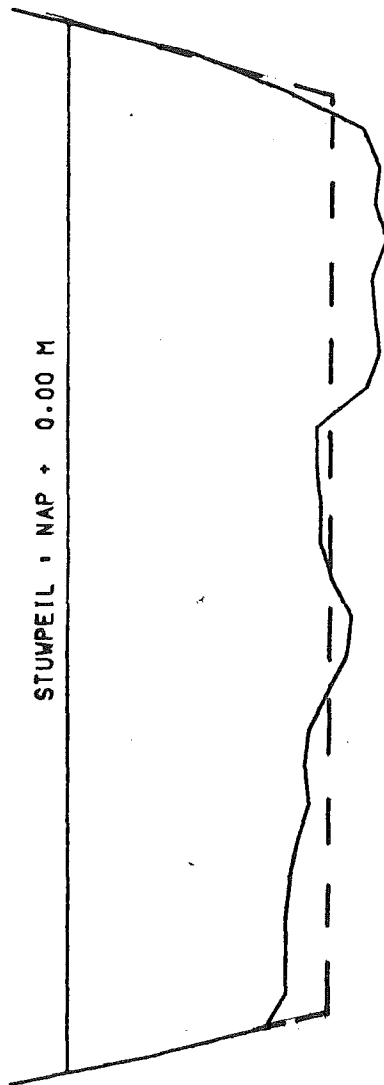
RP R.O.



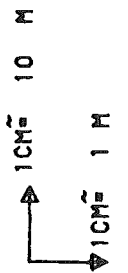
$z_b = -3.5 \text{ m NAP}$   
 $B_0 = 110\text{m}$   
 $w = 4.14$

$\uparrow 1\text{CM} = 10 \text{ M}$   
 $\downarrow 1\text{CM} = 1 \text{ M}$

peiling maas 1984	getek.	gecontr.	gezien
	proj.	bijlage	
rijkswaterstaat directie-limburg			



$Z_b = -3.5 \text{ m. NAP}$   
 $B_0 = 122 \text{ m}$   
 $K = 2.71$



RP L-10

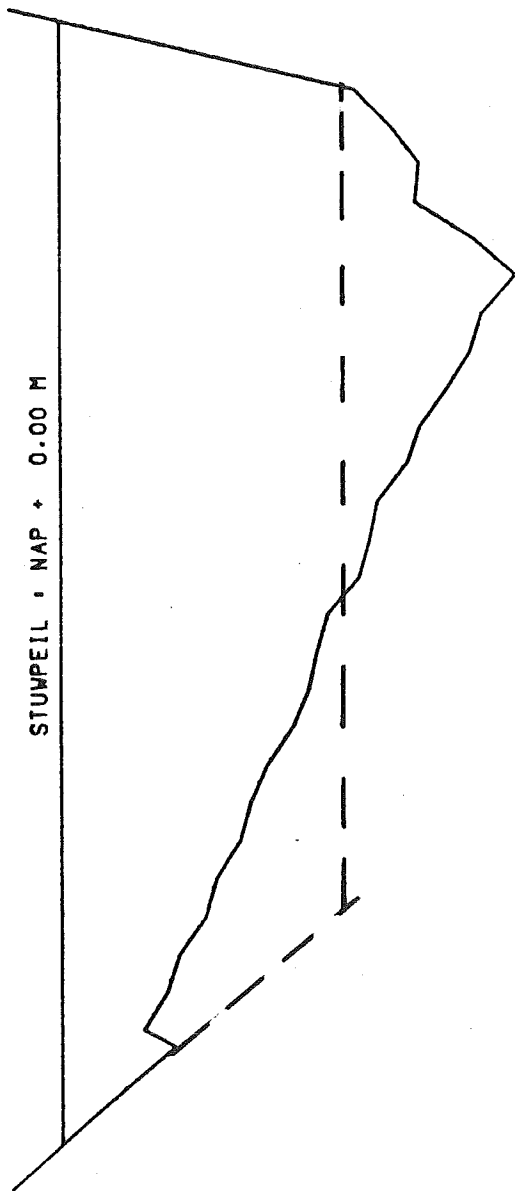
peiling maas 1984  
 dwarsprofiel kmr 204.000

getek.	gecontr.	gezien
proj.		
		bijlage



RP R.O.

STUMPEIL • NAP + 0.00 M



$z_b = -3.75$  m. NAP

$B_0 = 110$  m.

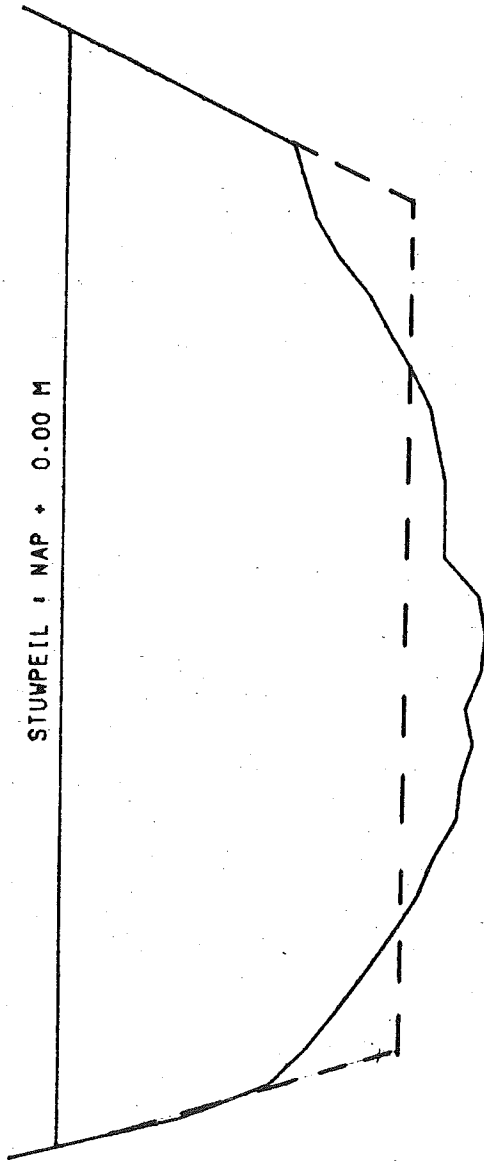
$\bar{w} = 5.33$

1CM = 10 M

1CM = 1 M

peiling maas 1984	getek.	gecontr.	gezien
	proj.	bijlage	
dwarsprofiel van 205.000			
na k R.P. waterenstaart			

RP R.O.



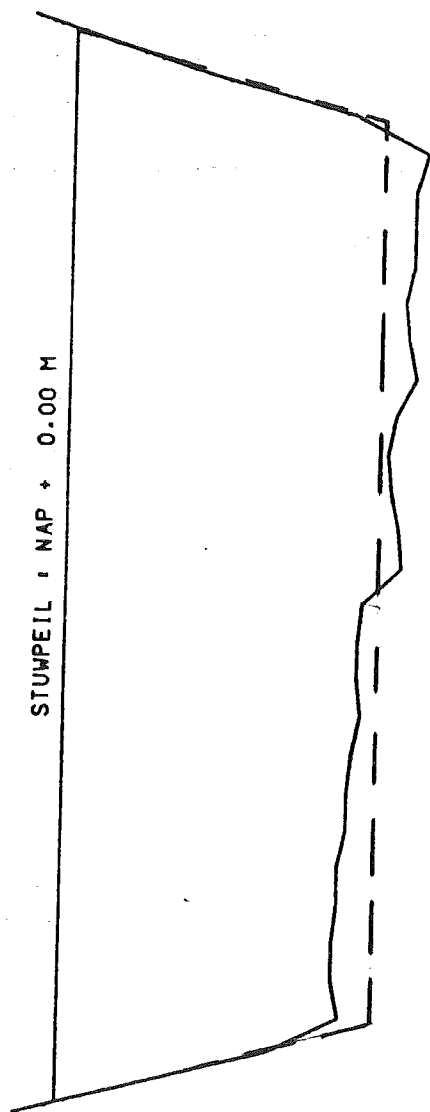
$z_b = -4.55$  m NAP  
 $B_0 = 114$   
 $n = 3.96$

↑ 1CM = 10 M  
 ↓ 1CM = 1 M

peiling maas 1984  
 dwarsprofiel kmr 206.000

getek.	gecontr.	gezien
proj.	bijlage	

RP R.O.

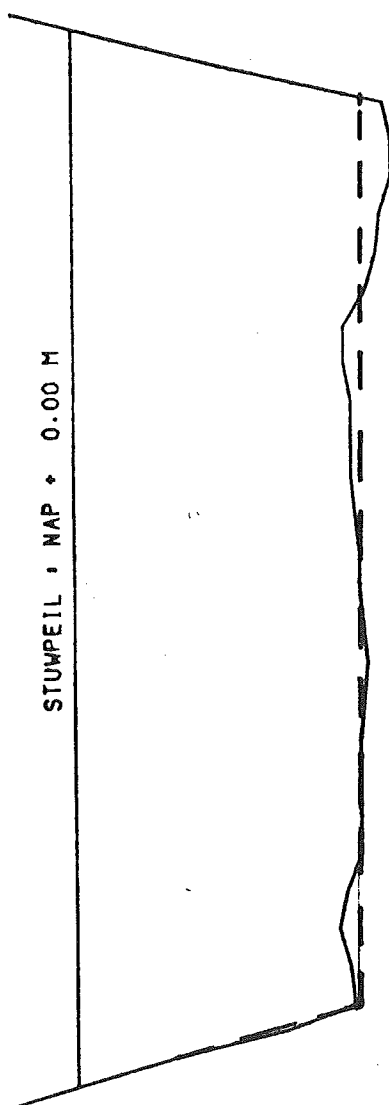


$z_b = -4.15$  m NAP  
 $B_0 = 12.1$  m.  
 $\bar{w} = 2.65$

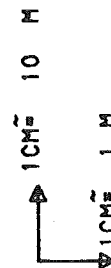
$\uparrow 1\text{CM} = 10$  M  
 $\downarrow 1\text{CM} = 1$  M

RP L.O. peiling maas 1984 dwarsprofiel knr 207.000	getek.	gecontr.	gezien
	proj.		
		bijlage	
	rijkswaterstaat		

RP R.O.



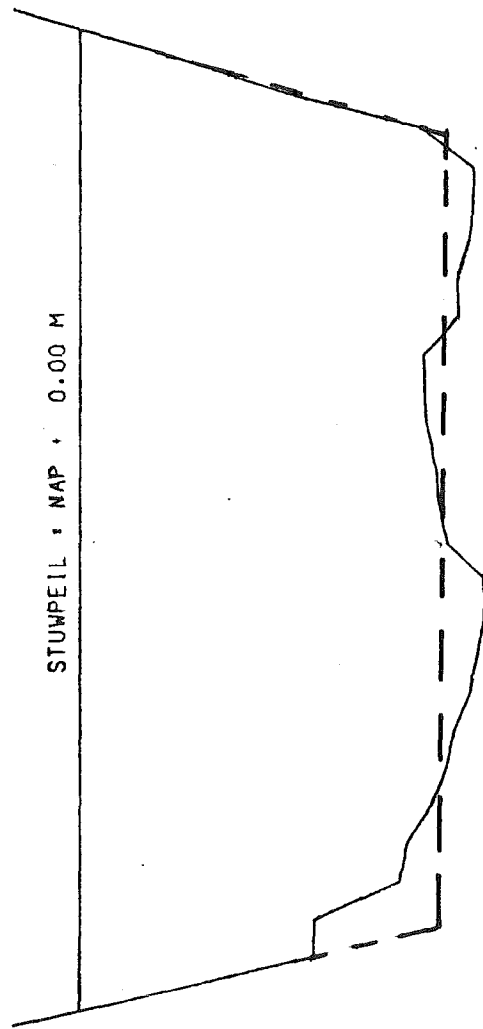
$z_b = -3.8 \text{ m. NAP}$   
 $B_0 = 121 \text{ m.}$   
 $\bar{u} = 2.76$



peiling maas 1984 dwarsprofiel kmr 208.000	getek.	gecontr.	gezien
	proj.		
		bijlage	

rijkswaterstaat

RP R.O.



$Z_b = -4.8 \text{ m NAP}$   
 $B_0 = 10.6 \text{ m.}$   
 $\bar{w} = 2.60$

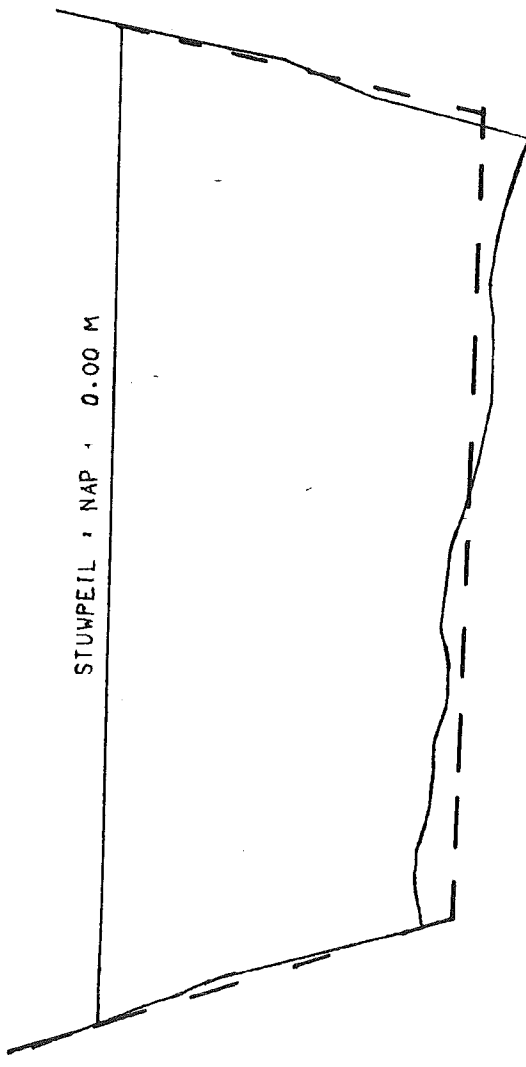
1 CM = 10 M  
 1 CM = 1 M

RP R.O.

peiling maas 1984  
 dwansprofiel kmr 209.000

getek.	gecontr.	gezien
proj.	bijlage	

RP R.O.

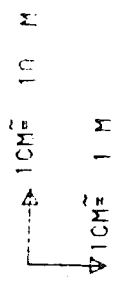


NAP

$$z_b = 4.7 \text{ m}$$

$$B_0 = 108 \text{ m}$$

$$\bar{v} = 2.66$$



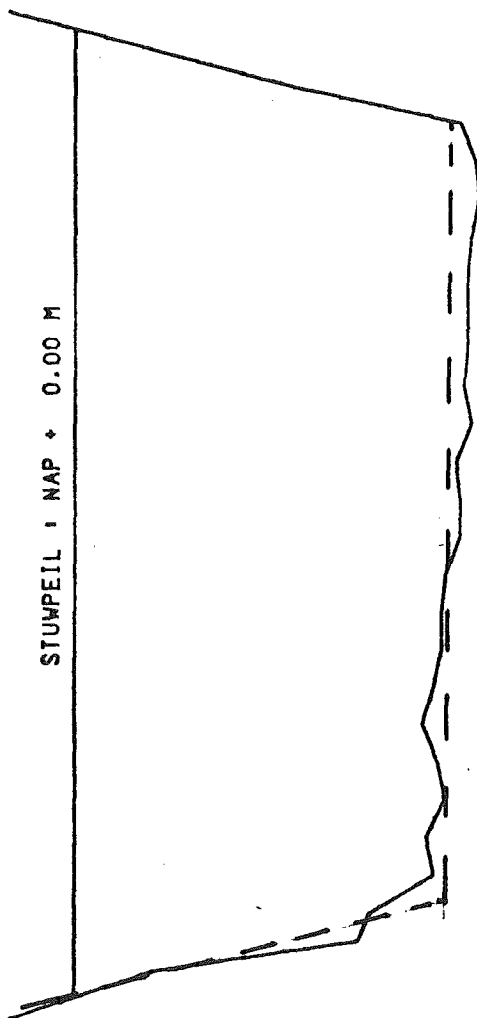
uiting maas 1984

ex. profiel km 216.000

getek.	gecontr.	gezien
proj.	bijlage	

rijkswaterstaat.

RP R.O.

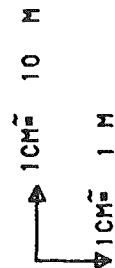


$z_b = -5 \text{ m NAP}$

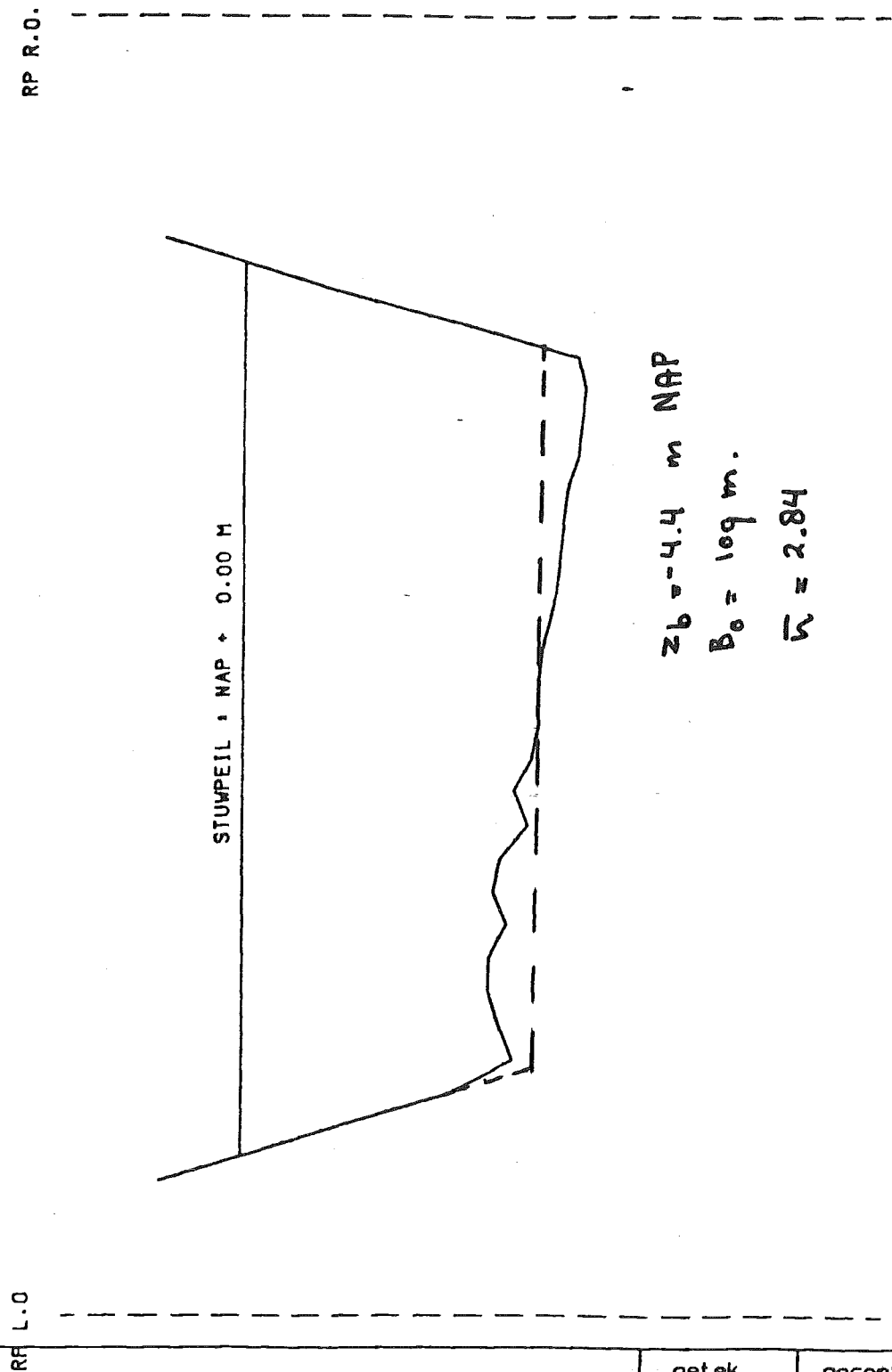
$B_0 = 104 \text{ m}$

$\bar{u} = 2.50$

RP L.O.



peiling maas 1984 dwarsprofiel kmr 211.000	getek.	gecontr.	gezien
	proj.		
	bijlage		
	rijkswaterstaat		



peiling maas 1984  
 dwarsprofiel kmr 212.000

getek.	gecontr.	gezien
proj.	bijlage	

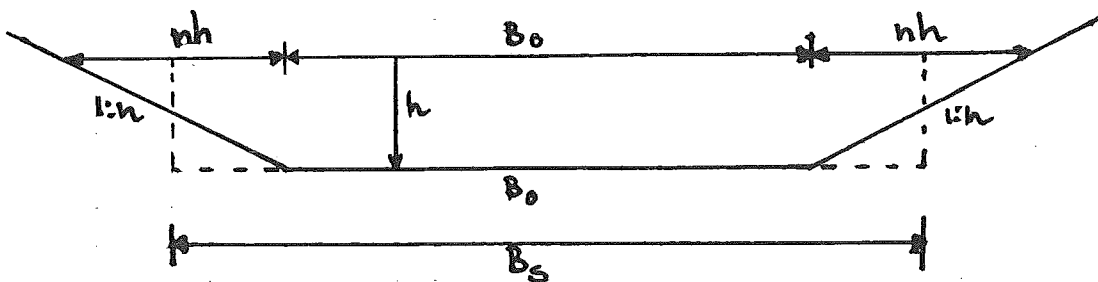


kmr.	$z_B$	$\bar{n}$	$B_0$	$B_0 + \bar{n}h$
202	-3.60 m NAP	3.61	113 m	141.88
203	-3.50 m NAP	4.14	110 m	143.12
204	-3.50 m NAP	2.71	122 m	143.68
205	-3.75 m NAP	5.33	110 m	152.64
206	-4.55 m NAP	3.96	114 m	145.68
207	-4.15 m NAP	2.65	121 m	142.20
208	-3.80 m NAP	2.76	121 m	143.08
209	-4.80 m NAP	2.60	106 m	126.80
210	-4.70 m NAP	2.66	108 m	129.28
211	-5.00 m NAP	2.50	104 m	124.00
212	-4.40 m NAP	2.84	109 m	131.72
GEMIDDELD		3.25	112.5 m	138.60

T<sub>E</sub> ST. ANDRIES MAASZIJDE

$$z_B = -4.00 \text{ m NAP}$$

$$B_s = B_0 + \bar{n} \cdot h = 112.5 + 3.25h \text{ [m]}.$$



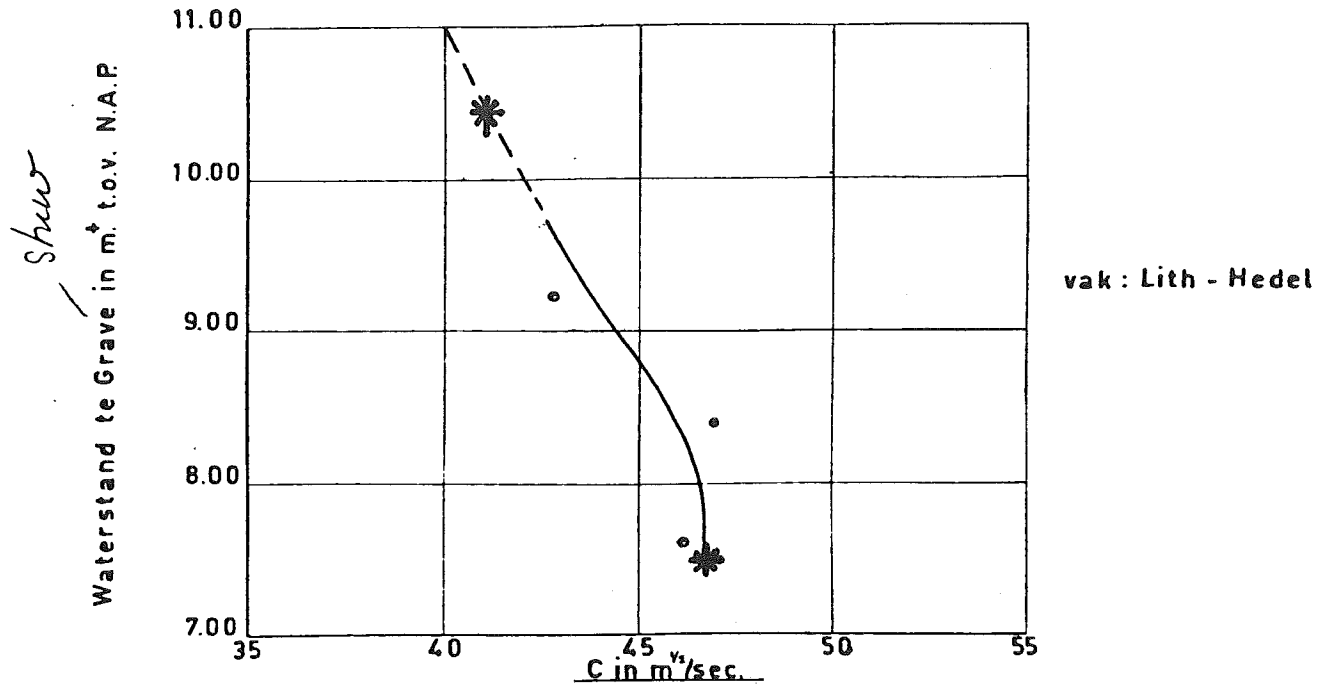
VERBAND TUSSEN STROOMVOERENDE BREEDTE EN AFVOER (MAAS)

$Q [m^3/s]$	$h [m]$	$B_S [m]$	$(B_S(Q) - B_S(Q=0)) / Q$
0	4.15	126	0
100	4.42	126,9	0.0090
200	4.67	127,7	0.0085
300	4.91	128,5	0.0083
400	5.14	129,2	0.0080
500	5.36	129,9	0.0078
600	5.59	130,7	0.0078
700	5.83	131,4	0.0077
800	6.05	132,2	0.0078
900	6.34	133,1	0.0079
1000	6.80	134,6	0.0086
1100	7.38	136,5	0.0095
1200	7.72	137,6	0.0097
1300	7.96	138,4	0.0095
GEMIDDELD :			0.0085

DUS :

$$B_S = 126 + 0.0085 \cdot Q$$

TE ST. ANDRIES MAASZIJDE

VERBAND TUSSEN MAASAFVOER EN BODEMRUWHEID

Verband tussen C-waarden en waterstand te Grave

R.W.S. Dir. Limburg afd. studiedienst Maas

Uit het 'jaarboek der waterhoogten 1980' van Rijkswaterstaat blijkt dat voor  $Q=0$  de waterstand bovenstrooms van de stuw te Grave ca. 7.5 m boven NAP bedraagt, voor toenemende debieten toenemend tot ca. 10.5 m boven NAP voor  $Q=$  ca  $1500 \text{ m}^3/\text{s}$ . Dit correspondeert volgens bovenstaande grafiek met een C-waarde van  $47 \text{ m}^{1/2}/\text{s}$  voor  $Q=0$ , afnemend tot  $41 \text{ m}^{1/2}/\text{s}$  voor  $Q=$  ca  $1500 \text{ m}^3/\text{s}$ . Voor deze berekeningen wordt dit afnemen als lineair aangenomen, zodat voor de C-waarde van de Maas in het gebied beneden de stuw bij Lith de volgende formule gebruikt zal worden:

$$C_{\text{maas}} = 47 - 0.004 * Q \quad \text{m}^{1/2}/\text{s} \quad , \quad (\text{met } Q \text{ in } \text{m}^3/\text{s})$$

## BEREKENING WATERSPIEGELVERHANG MAAS

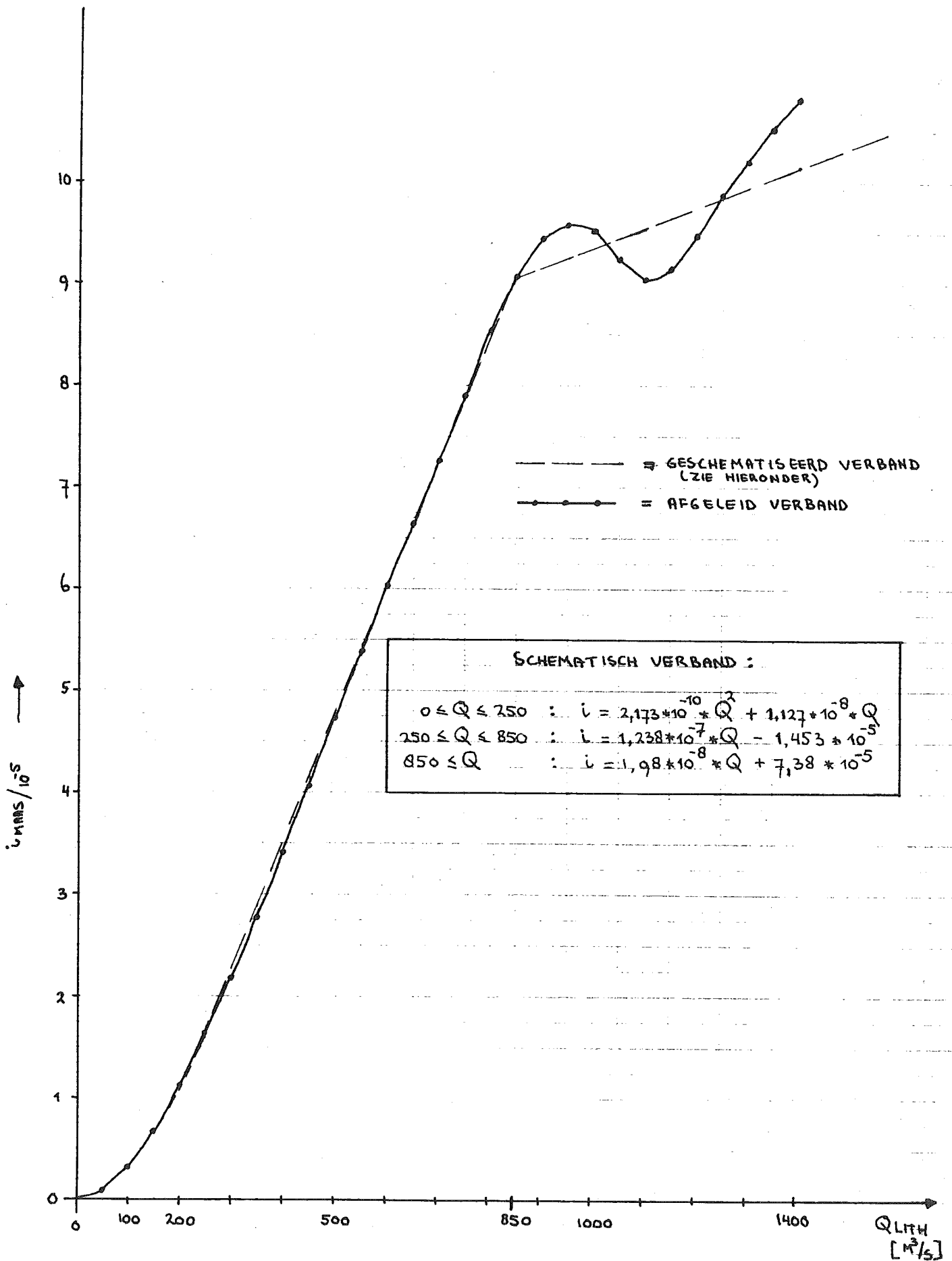
Q <sub>LITH</sub> [M <sup>3</sup> /s]	C [M <sup>1/2</sup> /s]	d [M]	B <sub>s</sub> [M]	i/10 <sup>-5</sup>
0	47	4.15	126	0
50	46.8	4.18	126.43	0.10
100	46.6	4.42	126.85	0.33
150	46.4	4.57	127.28	0.68
200	46.2	4.67	127.70	1.13
250	46	4.79	128.13	1.64
300	45.8	4.91	128.55	2.19
350	45.6	5.03	128.98	2.78
400	45.4	5.14	129.40	3.41
450	45.2	5.25	129.83	4.06
500	45	5.36	130.25	4.73
550	44.8	5.47	130.68	5.39
600	44.6	5.59	131.10	6.03
650	44.4	5.71	131.53	6.65
700	44.2	5.83	131.95	7.27
750	44	5.94	132.38	7.91
800	43.8	6.05	132.80	8.54
850	43.6	6.18	133.23	9.07
900	43.4	6.34	133.65	9.45
950	43.2	6.55	134.08	9.57
1000	43	6.80	134.50	9.51
1050	42.8	7.10	134.93	9.24
1100	42.6	7.38	135.35	9.05
1150	42.4	7.58	135.78	9.16
1200	42.2	7.72	136.20	9.47
1250	42	7.83	136.63	9.88
1300	41.8	7.96	137.05	10.21
1350	41.6	8.29	137.48	10.52
1400	41.4	8.22	137.90	10.83

d = WATERDIEPTE MAAS TE ST. ANDRIES VOLGENS BIJLAGE 3441  
EN BODEMDIEPTE z<sub>B</sub> = -4 M. NAP

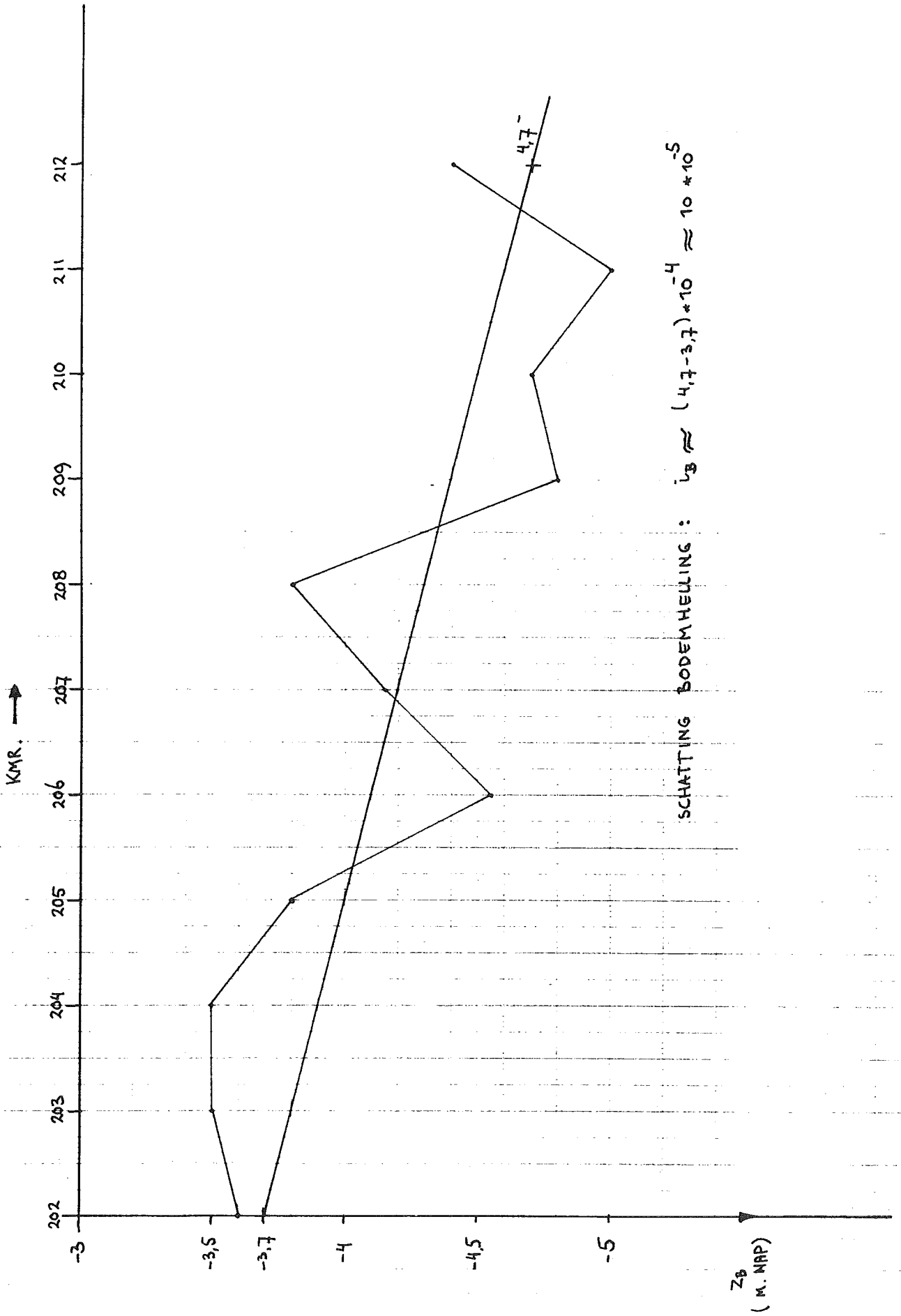
C EN B<sub>s</sub> : C = 47 - 0.004 Q  
B<sub>s</sub> = 126 + 0.0085 Q

i volgens Chezy :  $i = Q^2 / (B_s^2 C^2 d^3)$

VERBAND TUSSEN AFVOER EN VERHANG (MAAS)



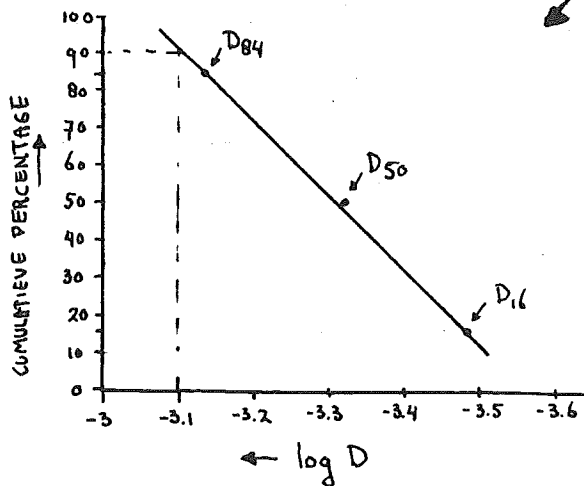
SCHATTING BODEMHELLING MAAS



KORRELDIAMETERS MAAS

KM	D84	D50	D16
202.000	0.81	0.52	0.33
203.000	0.80	0.57	0.37
204.000	0.75	0.52	0.35
205.000	0.77	0.51	0.34
206.000	0.72	0.47	0.32
207.000	0.80	0.54	0.38
208.000	0.67	0.48	0.34
209.000	0.70	0.49	0.34
210.000	0.75	0.51	0.35
211.000	0.67	0.41	0.32
212.000	0.59	0.37	0.29
213.000	0.65	0.46	0.33
214.000	0.59	0.43	0.32
215.000	0.82	0.51	0.33
216.000	0.81	0.52	0.34
217.000	0.67	0.43	0.31
218.000	0.75	0.49	0.33
219.000	0.59	0.43	0.31
220.000	0.59	0.41	0.31
221.000	0.64	0.41	0.31
222.000	1.24	0.45	0.31
223.000	0.69	0.46	0.32
224.000	0.74	0.43	0.33
225.000	0.81	0.51	0.35
226.000	0.87	0.50	0.32
<b>GEMIDDELD</b>	<b>0.74</b> MM	<b>0.48</b> MM	<b>0.33</b> MM

← BODEMGESEVENS RW,  
MAAS, KM 202-226,  
DATUM : JANUARI 1986



UIT DE GESCHEMATISEERDE ZEEFKROMME VOLGT VOOR HET BODEMMATERIAAL VAN DE MAAS BENEDEN LITH:

$$\underline{D_{50} = 0.48 \times 10^{-3} \text{ M}}$$

EN:  $\log D_{90} = -3.1$

$$\Rightarrow \underline{D_{90} = 0.79 \times 10^{-3} \text{ M}}$$

OVERZICHT SCHEMATISATIE MAAS-REGIME GEDEELTE LITH-UITMONDING HOLLANDS DIEP

Uitgaande van een Q-waarde te Lith ( in  $m^3/s$  ) wordt als volgt berekend :

- C-waarde volgt uit :  $C = 47 - 0.004 * Q \quad m^{1/2}/s$
- Gemiddelde stroomvoerende breedte :  $B_s = 126 + 0.0085 * Q \quad m$
- Sedimenttransporterende breedte :  $B_{sed} = 112.5 \quad m$
- Bodem te St.Andries op 4.00 m -NAP
- i-waarde volgt uit:

$$Q < 250 \quad : \quad i = 2.173 * 10^{-10} * Q^2 + 1.127 * 10^{-8} * Q$$

$$250 \leq Q \leq 850 \quad : \quad i = 1.238 * 10^{-7} * Q - 1.453 * 10^{-5}$$

$$850 < Q \quad : \quad i = 1.98 * 10^{-8} * Q + 7.38 * 10^{-5}$$

- Bodemhelling :  $i_b = 10 * 10^{-5}$
- Waterdiepte volgens Chezy :  $d^3 = Q^2 / (B_s^2 * C^2 * i)$

- Bodemmateriaal :  $D_{50} = 0.48 * 10^{-3} \quad m$  en  $D_{90} = 0.79 * 10^{-3} \quad m$

- Sedimenttransport berekening met de formule van Meyer-Peter-Müller :

$$s = 13.3 * \sqrt{g * \Delta * D_{50}^3} * (m * d * i / (\Delta * D_{50}) - 0.047)^{3/2} \quad m^2/s \quad , \quad \text{met}$$

$$m = (C / C_k)^{3/2} \quad \text{en} \quad C_k = 18 * \log(12 * d / D_{90}) .$$

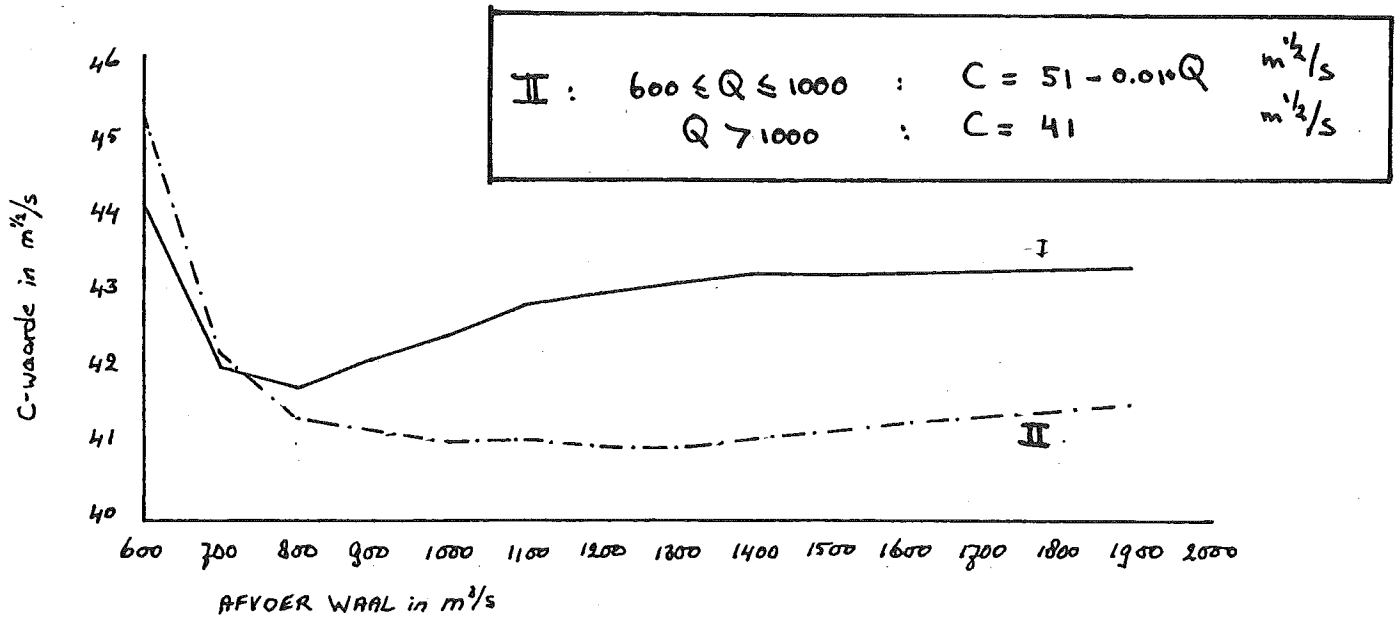
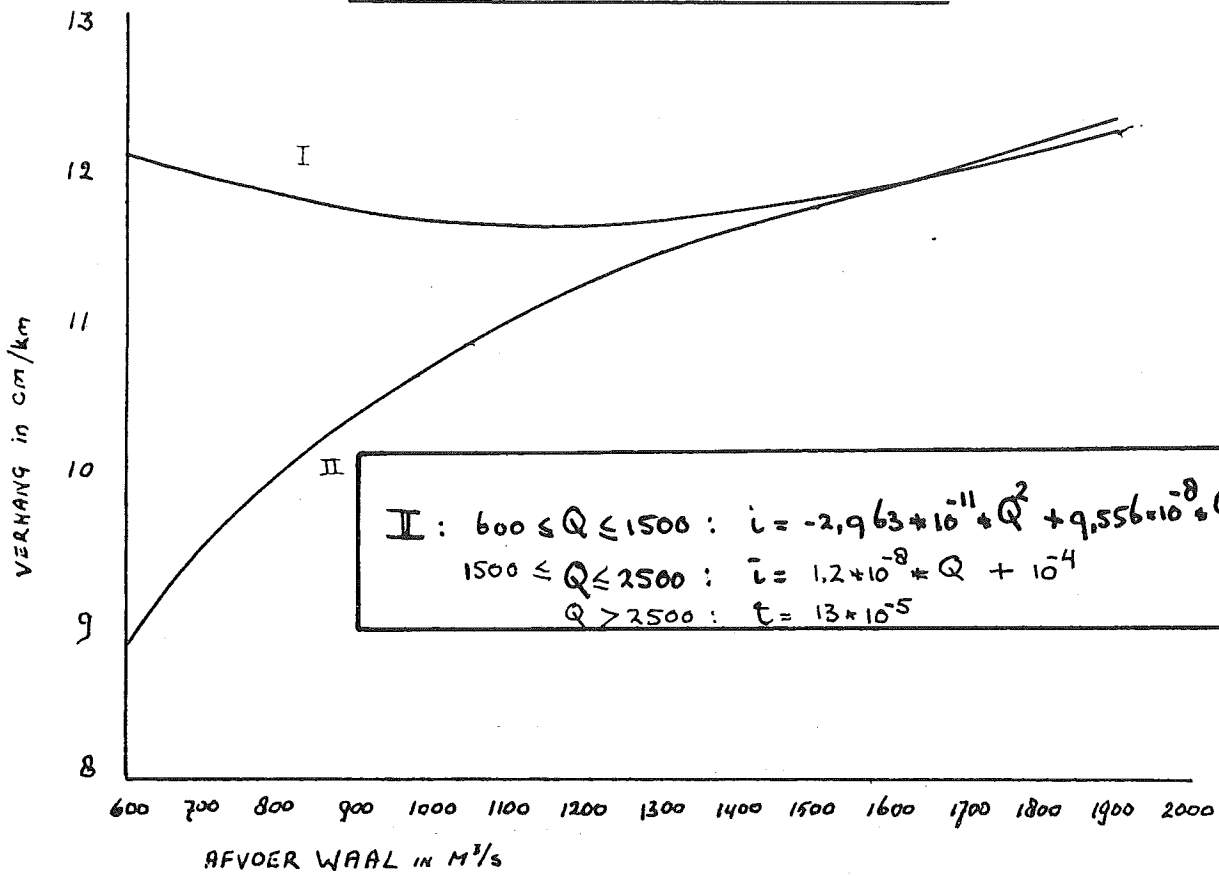
met  $\Delta = 1.65$  ,  $g = 9.81 \quad m/s^2$  , bovenstaande waarden voor  $D_{50}$  en  $D_{90}$  en 86400 seconden in een dag , wordt dit :  $(S = s * B_{sed})_{50}$

$$S_{dag} = 5469.6 * (1262.6 * m * d * i - 0.047)^{3/2} \quad m^3/dag \quad \text{met}$$

$$m = (C / (18 * \log(15190 * d)))^{3/2}$$



i-Q EN C-Q VERBANDEN WAAL



VAK I km 909.000 - km 913.250 (=P.S. TIEL)

VAK II km 913.250 - km 918.000

(uit: C-waarden onderzoek 1972)

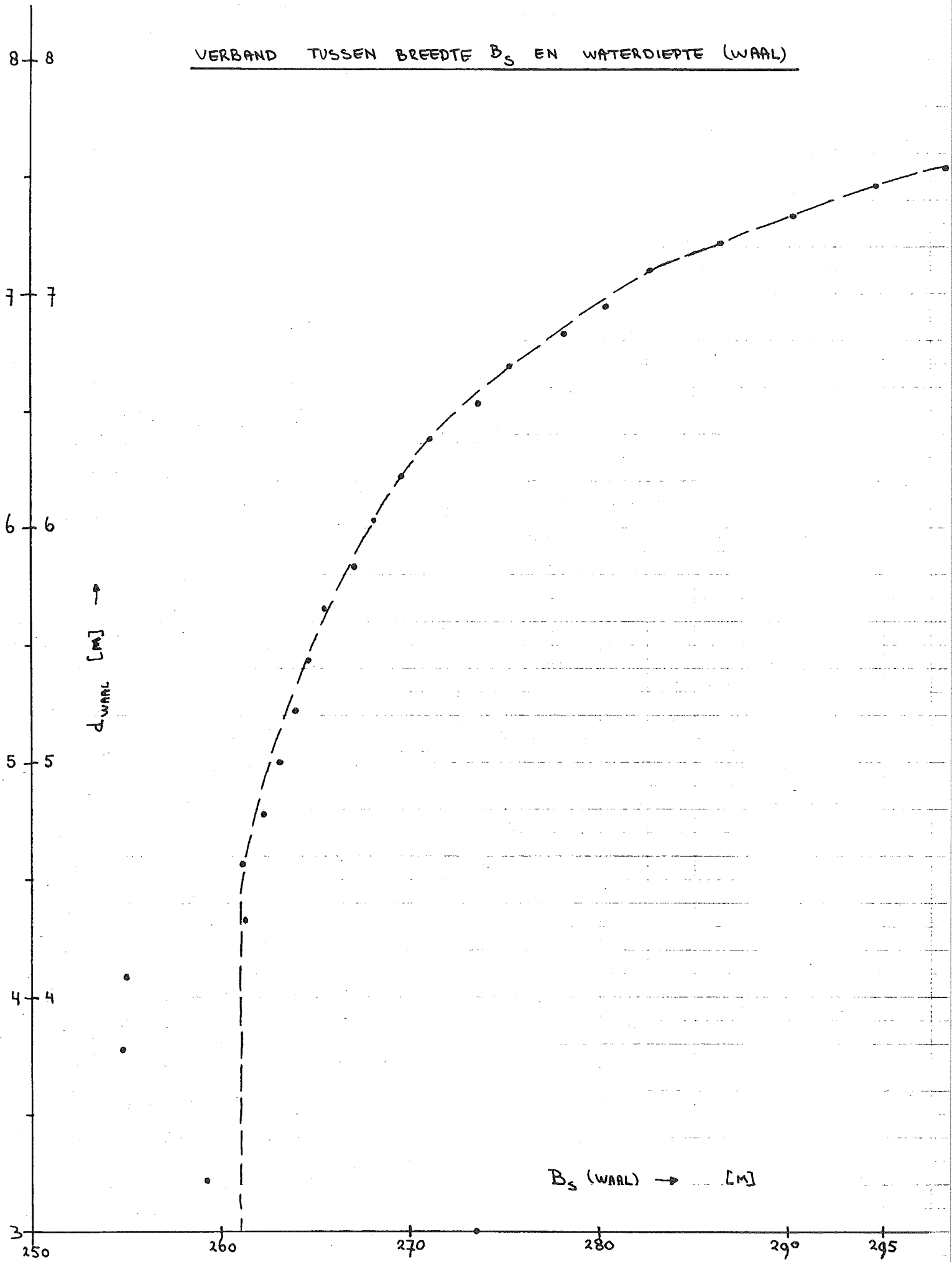
BRON: RIJSWATERSTAAT STUDIEDIENST

## BEREKENING STROOMVOERENDE BREEDTE WAAL

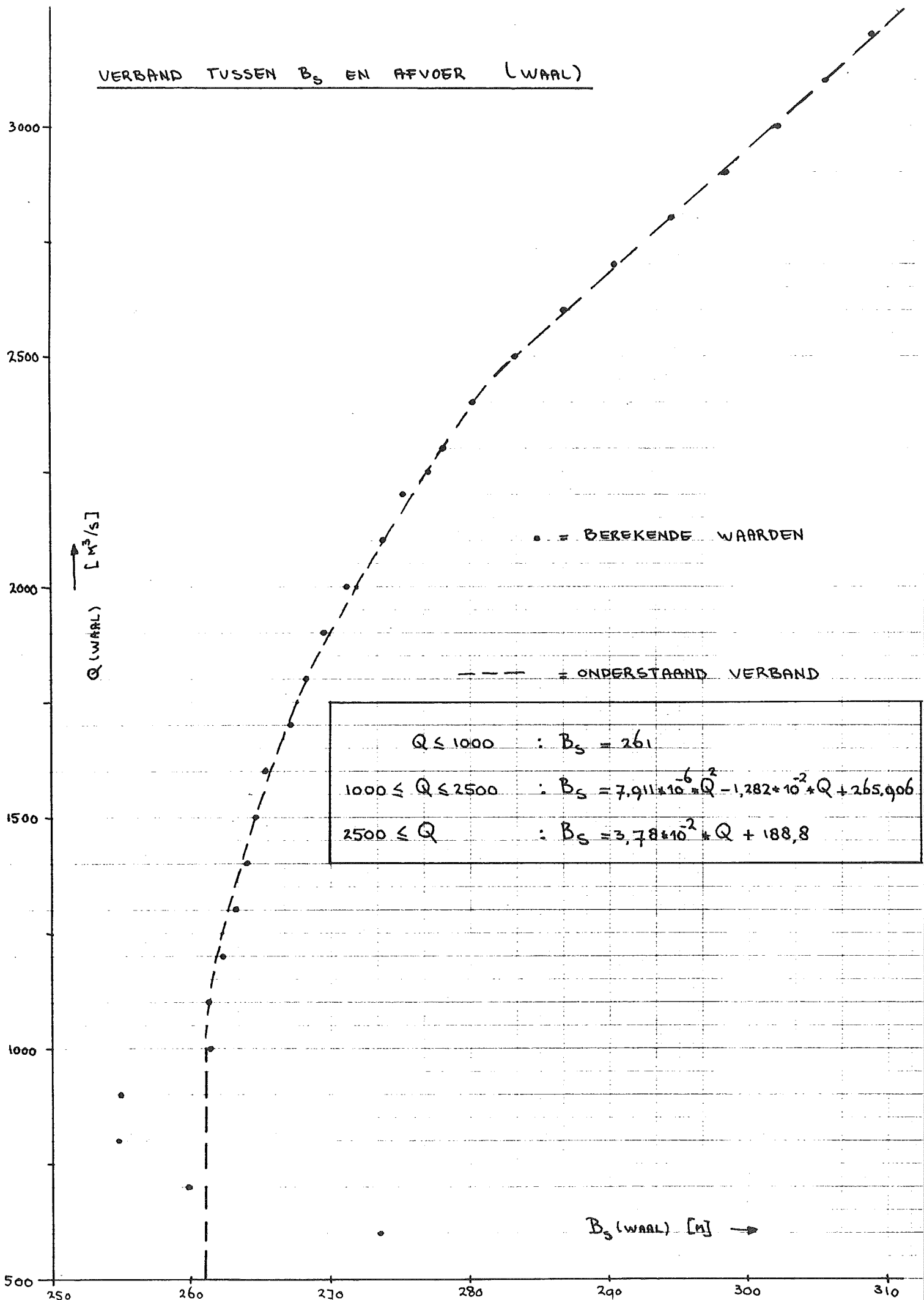
$Q_{LOBITH}$ [M <sup>3</sup> /s]	$Q_{WAAL}$ [M <sup>3</sup> /s]	$C_{WAAL}$ [M <sup>1/2</sup> /s]	$i_{WAAL}/10^{-5}$ [-]	$d_{WAAL}$ [M]	$B_{S,WAAL}$ [M]
743	600	45	8,80	3,00	273,5
883	700	44	9,37	3,42	259,9
1030	800	43	9,88	3,78	254,7
1185	900	42	10,33	4,09	254,9
1349	1000	41	10,73	4,33	261,3
1523	1100	41	11,06	4,57	261,1
1710	1200	41	11,33	4,79	262,3
1913	1300	41	11,55	5,01	263,1
2090	1400	41	11,70	5,23	263,9
2239	1500	41	11,80	5,45	264,7
2388	1600	41	11,92	5,66	265,4
2537	1700	41	12,04	5,85	267,1
2687	1800	41	12,16	6,04	268,2
2836	1900	41	12,28	6,22	269,6
2985	2000	41	12,40	6,39	271,2
3134	2100	41	12,52	6,54	273,7
3284	2200	41	12,64	6,70	275,2
3433	2300	41	12,76	6,83	278,2
3582	2400	41	12,88	6,97	280,3
3731	2500	41	13,00	7,10	282,7
3881	2600	41	13	7,22	286,7
4030	2700	41	13	7,34	290,4
4179	2800	41	13	7,45	294,6
4328	2900	41	13	7,56	298,4
4478	3000	41	13	7,67	302,1
4627	3100	41	13	7,78	305,6
4776	3200	41	13	7,89	308,9

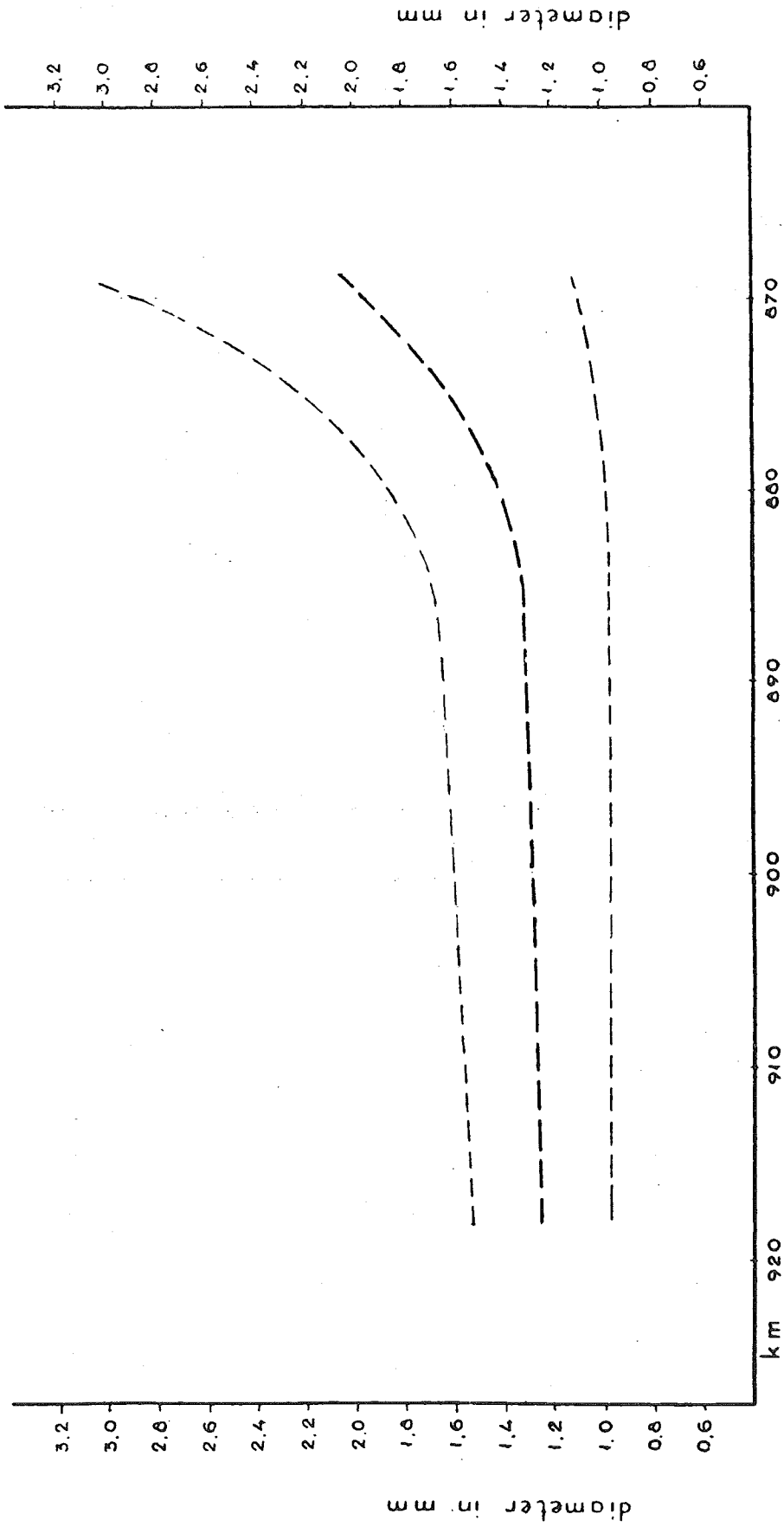
- $Q_{WAAL}$  BEREKEND MET BIJLAGE 3442
- $C$  EN  $i$  VOLGENS VOORGAANDE VERBANDEN
- $d_{WAAL}$  VOLGENS BIJLAGE 3444 EN BODEMDIEPTE TE ST. ANDRIES (WAAL):  $Z_B = -2.00$  M. NAP
- $B_{S,WAAL}$  VOLGENS CHEZY :  $B = \left( \frac{Q^2}{23 \cdot i} \right)^{1/2}$

VERBAND TUSSEN BREEDTE  $B_s$  EN WATERDIEPTE (WAAL)



VERBAND TUSSEN  $B_S$  EN AFVOER (WAAL)





ST-ANDRIES (KM 926 en verder)  
 $D_{50} = 1.22 \cdot 10^{-3} \text{ m.}$   
 $D_{90} = 6.30 \cdot 10^{-3} \text{ m.}$

---  $d_{50}$  B.M.N. (metingen '60-'66)

====  $d_{90}$  gebied behorend bij  $d_{50}$  B.M.N. (metingen '60-'66)

VERLOOP KORRELDIAMETERS LANGS NO. 71.5  
 DE WAAL  
 R.W.S. Dir. Bovenrivieren afd. Studiedienst

## OVERZICHT SCHEMATISATIE WAAL-REGIME GEDEELTE ST.ANDRIES-UITMONDING HOLLANDS DIEP

Uitgaande van een Waaldebiet  $Q$  (in  $m^3/s$ ) wordt als volgt berekend :

$$\begin{aligned} \text{-C-waarde volgt uit: } & 600 \leq Q \leq 1000 : C = 51 - 0.01 * Q \quad m^{1/2}/s \\ & 1000 < Q : C = 41 \quad m^{1/2}/s \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{-Gemiddelde stroomvoerende breedte : } & Q \leq 1000 : B_s = 261 \text{ m} \\ & 1000 < Q \leq 2500 : B_s = 265.906 - 12.82 * (Q/1000) + 7.911 * (Q/1000)^2 \text{ m} \\ & 2500 < Q : B_s = 188.800 + 37.80 * (Q/1000) \text{ m} \end{aligned}$$

$$\text{-Sedimenttransporterende breedte : } B_{sed} = 261 \text{ m.}$$

-Waalbodem te St.Andries op 2.00 m -NAP

$$\begin{aligned} \text{-i-waarde volgt uit : } & \\ & 600 \leq Q \leq 1500 : i = 10^{-5} * ( 4.133 + 9.556 * (Q/1000) - 2.963 * (Q/1000)^2 ) \\ & 1500 < Q \leq 2500 : i = 10^{-5} * ( 10.00 + 1.200 * (Q/1000) ) \\ & 2500 < Q : i = 10^{-5} * ( 13.00 ) \end{aligned}$$

$$\text{-Bodemhelling : } i_b = 13 * 10^{-5}$$

$$\text{-Waterdiepte volgens Chezy : } d^3 = Q^2 / (B_s^2 * C^2 * i)$$

$$\text{-Bodem materiaal : } D_{50} = 1.22 * 10^{-3} \text{ m} \quad \text{en} \quad D_{90} = 6.30 * 10^{-3} \text{ m}$$

-Sedimenttransport berekening met de formule van Meyer-Peter-Müller :

$$\begin{aligned} s &= 13.3 * \sqrt{g * \Delta * D_{50}^3} * ( m * d * i / (\Delta * D_{50}) - 0.047 )^{3/2} \quad m^2/s \quad \text{met} \\ m &= ( C / C_k )^{3/2} \quad \text{en} \quad C_k = 18 * \log(12 * d / D_{90}) . \end{aligned}$$

met  $\Delta = 1.65$  ,  $g = 9.81 \text{ m/s}^2$  , bovenstaande waarden voor  $D_{50}$  ,  $D_{90}$  ,  $B_{sed}$  , 86400 seconden in een dag en  $S = s * B_{sed}$  , wordt dit :

$$S_{dag} = 51418.8 * ( 496.77 * m * d * i - 0.047 )^{3/2} \quad m^3/dag \quad \text{met}$$

$$m = ( C / ( 18 * \log ( 1904.76 * d ) ) )^{3/2}$$

## OVERSCHRIJDINGSLIJNEN AFVOEREN + CENTRALE VARIANTEN

t (aantal dagen overschrij- ding)	Q <sub>MARS</sub> [m <sup>3</sup> /s]	Q <sub>WRAH</sub> [m <sup>3</sup> /s]	Q <sub>centrale</sub> (versie 1) [m <sup>3</sup> /s]	Q <sub>centrale</sub> (versie 2) [m <sup>3</sup> /s]	Q <sub>centrale</sub> (versie 3) [m <sup>3</sup> /s]	Q <sub>centrale</sub> (versie 4) [m <sup>3</sup> /s]
365	0	340	0	0	0	0
350	45	750	50	50	50	50
300	130	1000	50	100	150	200
250	185	1150	50	100	150	200
200	230	1280	50	100	150	200
150	290	1450	50	100	150	200
100	385	1680	50	100	150	200
50	590	2130	50	100	150	200
7	1000	3930	0	0	0	0
0	1600	6330	0	0	0	0
Jaarge- middelde	330	1574	45,1	85,7	126,3	166,9

(UITGANGSSITUATIE + CENTRALE VARIANTEN 1 & 2)

Situatie	t (dagen overschrij- ding)	Q <sub>tot.</sub> (m <sup>3</sup> /s)	C (m <sup>1/2</sup> /s)	B <sub>s</sub> (m)	$\bar{c}/10^5$ (-)	d (m)	m (-)	S <sub>dag</sub> (m <sup>3</sup> /dag)
Geen centraledebiet	365	0	47	126.0	0	<3.94	-	0
	350	45	46.82	126.4	0.09	3.94	-	0
	300	130	46.48	127.1	0.51	4.55	-	0
	250	185	46.26	127.6	0.95	4.69	-	0
	200	230	46.08	128.0	1.41	4.76	-	0
	150	290	45.84	128.5	2.14	4.84	0.379	0,7
	100	385	45.46	129.3	3.31	5.06	0.372	30,8
	50	590	44.64	131.0	5.85	5.58	0.357	173,5
	7	1000	43,00	134,5	9,36	6,84	0,329	558,6
	0	1600	40,60	139,6	10,55	9,11	0,291	923,6
Centraledebiet volgens versie 1	365	0	47	126,0	0	<3,94	-	0
	350	95	46,82	126,8	0,30	4,40	-	0
	300	180	46,28	127,5	0,91	4,68	-	0
	250	235	46,06	128,0	1,46	4,77	-	0
	200	280	45,88	128,4	2,01	4,82	-	0
	150	340	45,64	128,9	2,76	4,95	0,375	12,7
	100	435	45,26	129,7	3,93	5,19	0,368	57,1
	50	640	44,44	131,4	6,47	5,70	0,354	221,0
	7	1000	43,00	134,5	9,36	6,84	0,329	558,6
	0	1600	40,60	139,6	10,55	9,11	0,291	923,6
Centraledebiet volgens versie 2	365	0	47	126,0	0	<3,94	-	0
	350	95	46,82	126,8	0,30	4,40	-	0
	300	230	46,08	128,0	1,41	4,76	-	0
	250	285	45,86	128,4	2,08	4,83	0,379	0,2
	200	330	45,68	128,8	2,63	4,93	0,376	9,6
	150	390	45,44	129,3	3,38	5,07	0,371	33,2
	100	485	45,06	130,1	4,55	5,32	0,364	89,2
	50	690	44,24	131,9	7,09	5,82	0,350	272,8
	7	1000	43,00	134,5	9,36	6,84	0,329	558,6
	0	1600	40,60	139,6	10,55	9,11	0,291	923,6

geen centraledebiet :  $\sum S = 26840$  m<sup>3</sup>/jaar  
 centraledebiet volgens versie 1 :  $\sum S = 30964$  m<sup>3</sup>/jaar  
 centraledebiet volgens versie 2 :  $\sum S = 36493$  m<sup>3</sup>/jaar



## BEREKENINGEN SCHEMATISATIE MET OVERSCHRIJDINGSLIJNEN MAAS

(CENTRALE VARIANTEN 3 &amp; 4)

Situatie	t (dagen overschrij- ding)	Q <sub>bot</sub> (m <sup>3</sup> /s)	C (m <sup>1/2</sup> /s)	B <sub>s</sub> (m)	i/10 <sup>5</sup> (-)	d (m)	m (-)	S <sub>dag</sub> (m <sup>3</sup> /dag)
Centraledebiet volgens versie 3	365	0	47	126,0	0	<3,94	-	0
	350	95	46,62	126,8	0,30	4,40	-	0
	300	280	45,88	128,4	2,01	4,82	-	0
	250	335	45,66	128,8	2,69	4,94	0,375	11,1
	200	380	45,48	129,2	3,25	5,05	0,372	28,5
	150	440	45,24	129,7	3,99	5,20	0,368	60,1
	100	535	44,86	130,5	5,17	5,44	0,361	126,6
	50	740	44,04	132,3	7,71	5,94	0,347	328,9
	7	1000	43,00	134,5	9,36	6,84	0,329	558,6
	0	1600	40,66	139,6	10,55	9,11	0,291	923,6
Centraledebiet volgens versie 4	365	0	47	126,0	0	<3,94	-	0
	350	95	46,62	126,8	0,30	4,40	-	0
	300	330	45,68	128,8	2,63	4,93	0,376	9,6
	250	385	45,46	129,3	3,31	5,06	0,372	30,8
	200	430	45,28	129,7	3,87	5,18	0,368	54,2
	150	490	45,04	130,2	4,61	5,33	0,364	92,8
	100	585	44,66	131,0	5,79	5,57	0,357	169,0
	50	790	43,84	132,7	8,23	6,05	0,344	388,9
	7	1000	43,00	134,5	9,36	6,84	0,329	558,6
	0	1600	40,66	139,6	10,55	9,11	0,291	923,6

centraledebiet volgens versie 3 :  $\Sigma S = 43806 \text{ m}^3/\text{jaar}$   
centraledebiet volgens versie 4 :  $\Sigma S = 53101 \text{ m}^3/\text{jaar}$

## BEREKENINGEN SCHEMATISATIE MET OVERSCHRIJDINGSLIJNEN WAAL

(UITGANGSSITUATIE + CENTRALE VARIANTEN 1 &amp; 2)

Situatie	t (dagen overschrij- ding)	Q <sub>tot</sub> (m <sup>3</sup> /s)	C (m <sup>2</sup> /s)	B <sub>s</sub> (m)	$\bar{c}/10^5$ (-)	d (m)	m (-)	S <sub>dag</sub> (m <sup>3</sup> /dag)
geen centraledebiet	365	340	45	261	7,00	2,30		0
	350	750	43,5	261	9,63	3,56	0,501	387,5
	300	1000	41	261	10,73	4,33	0,443	670,8
	250	1150	41	261,6	11,20	4,68	0,438	893,4
	200	1280	41	262,5	11,51	4,97	0,434	1082,8
	150	1450	41	263,9	11,76	5,34	0,428	1314,3
	100	1680	41	266,7	12,02	5,81	0,423	1618,0
	50	2130	41	274,5	12,56	6,58	0,414	2221,8
	7	3930	41	337,4	13	8,53	0,398	3674,3
	0	6330	41	428,1	13	10,00	0,388	4730,1
centraledebiet volgens versie 1	365	340	45	261	7,00	2,30	-	0
	350	700	44	261	9,37	3,41	0,513	329,3
	300	950	41,5	261	10,59	4,18	0,454	616,8
	250	1100	41	261,4	11,06	4,57	0,440	819,2
	200	1230	41	262,1	11,40	4,86	0,435	1010,8
	150	1400	41	263,5	11,70	5,24	0,430	1248,8
	100	1630	41	266,0	11,96	5,72	0,424	1550,9
	50	2080	41	273,5	12,50	6,51	0,415	2155,1
	7	3930	41	337,4	13	8,53	0,398	3674,3
	0	6330	41	428,1	13	10,00	0,388	4730,1
centraledebiet volgens versie 2	365	340	45	261	7,00	2,30	-	0
	350	700	44	261	9,37	3,41	0,513	329,3
	300	900	42	261	10,33	4,03	0,466	561,1
	250	1050	41	261,2	10,90	4,45	0,442	744,9
	200	1180	41	261,8	11,28	4,75	0,437	937,7
	150	1350	41	263,0	11,63	5,13	0,431	1181,6
	100	1580	41	265,4	11,90	5,62	0,425	1483,9
	50	2030	41	272,5	12,44	6,43	0,416	2088,2
	7	3930	41	337,4	13	8,53	0,398	3674,3
	0	6330	41	428,1	13	10,00	0,388	4730,1

geen centraledebiet :  $\Sigma S = 503285$  m<sup>3</sup>/jaar  
centraledebiet volgens versie 1 :  $\Sigma S = 481652$  m<sup>3</sup>/jaar  
centraledebiet volgens versie 2 :  $\Sigma S = 461646$  m<sup>3</sup>/jaar

## BEREKENINGEN SCHEMATISATIE MET OVERSCHRIJDINGSLIJNEN WAAL

(CENTRALE VARIANTEN 3 &amp; 4)

Situatie	t (dagen overschrij- ding)	Q <sub>tot</sub> (m <sup>3</sup> /s)	C (m <sup>3</sup> /s)	B <sub>s</sub> (m)	$\bar{v}/10^5$ (-)	d (m)	m (-)	S <sub>dag</sub> (m <sup>3</sup> /dag)
centraledebiet volgens versie 3	365	340	45	261	7,00	2,30	-	0
	350	700	44	261	9,37	3,41	0,513	329,3
	300	850	42,5	261	10,11	3,87	0,477	503,9
	250	1000	41	261	10,73	4,33	0,443	670,8
	200	1130	41	261,5	11,15	4,64	0,439	863,8
	150	1300	41	262,6	11,55	5,02	0,433	1111,2
	100	1530	41	264,8	11,84	5,52	0,426	1417,1
	50	1980	41	271,5	12,38	6,35	0,417	2021,2
	7	3930	41	337,4	13	8,53	0,398	3674,3
	0	6330	41	428,1	13	10,00	0,388	4730,1
centraledebiet volgens versie 4	365	340	45	261	7,00	2,30	-	0
	350	700	44	261	9,37	3,41	0,513	329,3
	300	800	43	261	9,88	3,72	0,489	445,9
	250	950	41,5	261	10,54	4,18	0,454	616,8
	200	1080	41	261,3	11,00	4,52	0,440	789,5
	150	1250	41	262,2	11,45	4,91	0,435	1039,8
	100	1480	41	264,3	11,79	5,41	0,428	1352,4
	50	1930	41	270,6	12,32	6,26	0,418	1954,1
	7	3930	41	337,4	13	8,53	0,398	3674,3
	0	6330	41	428,1	13	10,00	0,388	4730,1

centraledebiet volgens versie 3 :  $\Sigma S = 441441$  m<sup>3</sup>/jaar  
centraledebiet volgens versie 4 :  $\Sigma S = 422201$  m<sup>3</sup>/jaar.

## BEREKENINGEN SCHEMATISATIE MET OVERSCHRIJDINGSLIJNEN

## (OVERZICHT WATERSTANDSVERSCHILLEN DOOR CENTRALEDEBIET)

t (dagen overschrij- ding)	versie 1				versie 2			
	$\Delta d$ maas [m]	$\Delta d$ waal [m]	$X$ maas [m]	$X$ waal [m]	$\Delta d$ maas [m]	$\Delta d$ waal [m]	$X$ maas [m]	$X$ waal [m]
365	0	0			0	0		
350	0,46	-0,15			0,46	-0,15		
300	0,13	-0,15	0,26	-0,30	0,21	-0,30	0,21	-0,30
250	0,08	-0,11	0,16	-0,22	0,14	-0,23	0,14	-0,23
200	0,06	-0,11	0,12	-0,22	0,17	-0,22	0,17	-0,22
150	0,11	-0,10	0,22	-0,20	0,23	-0,21	0,23	-0,21
100	0,13	-0,09	0,26	-0,18	0,26	-0,19	0,26	-0,19
50	0,12	-0,07	0,24	-0,14	0,24	-0,15	0,24	-0,15
7	0	0			0	0		0
0	0	0			0	0		0
gemiddeld			0,21	-0,21			0,21	-0,22

t (dagen overschrij- ding)	versie 3				versie 4			
	$\Delta d$ maas [m]	$\Delta d$ waal [m]	$X$ maas [m]	$X$ waal [m]	$\Delta d$ maas [m]	$\Delta d$ waal [m]	$X$ maas [m]	$X$ waal [m]
365	0	0			0	0		
350	0,46	-0,15			0,46	-0,15		
300	0,27	-0,46	0,18	-0,31	0,38	-0,61	0,19	-0,31
250	0,25	-0,35	0,17	-0,23	0,37	-0,50	0,19	-0,25
200	0,29	-0,33	0,19	-0,22	0,42	-0,45	0,21	-0,23
150	0,36	-0,32	0,24	-0,21	0,49	-0,43	0,25	-0,22
100	0,38	-0,29	0,25	-0,19	0,51	-0,40	0,25	-0,20
50	0,36	-0,23	0,24	-0,15	0,47	-0,32	0,24	-0,16
7	0	0			0	0		
0	0	0			0	0		
gemiddeld			0,21	-0,22			0,22	-0,23

—  $X = \Delta d$  per centraledebiet van  $100 \text{ m}^3/\text{sec}$ ,  
 dus  $100 * \Delta d / Q_{\text{centrale}}$

TOTAALOVERZICHT RESULTATEN BEREKENING VOLGENS SCHEMATISATIE MET OVERSCHRIJDINGSLIJNEN

versie	Maas			Waal				$a_{40}$ [s/m <sup>2</sup> ]	$a_0$ [s/m <sup>2</sup> ]	$\Delta V_{40}$ [m]	$\Delta V_0$ [m]	$\Delta d_{40}$ [m]	$\Delta d_{gem}$ [m]
	$\Delta S_{jaar}$ [m <sup>3</sup> /jaar]	$\Delta Z_{40}$ [m]	$\Delta d_{gem}$ [m]	$\Delta S_{jaar}$ [m <sup>3</sup> /jaar]	$\Delta Z_{40}$ [m]	$\Delta d_{gem}$ [m]	$\Delta V_{40}$ [m]						
1 ( $Q_c = 50 \text{ m}^3/\text{s}$ )	+4124	0,044	+0,105	-21633	+0,099	-0,105	0,210	0,00420	0,067	0,00134			
2 ( $Q_c = 100 \text{ m}^3/\text{s}$ )	+9653	0,103	+0,208	-41633	+0,191	-0,217	0,425	0,00425	0,131	0,00131			
3 ( $Q_c = 150 \text{ m}^3/\text{s}$ )	+16966	0,181	+0,318	-61844	+0,284	-0,330	0,648	0,00432	0,183	0,00122			
4 ( $Q_c = 200 \text{ m}^3/\text{s}$ )	+26261	0,280	+0,440	-81084	+0,373	-0,452	0,892	0,00446	0,239	0,00120			

\* :  $\Delta Z_{maas}$  (na 40 jaar) =  $n \cdot 40 \cdot \Delta S_{jaar} / B_{sed} \cdot L_m = 1,65 \cdot 40 \cdot \Delta S / 112,5 \cdot 55 \cdot 10^3 = 10,667 \cdot 10^{-6} \cdot \Delta S$   
 $\Delta Z_{waal}$  (na 40 jaar) =  $n \cdot 40 \cdot \Delta S_{jaar} / B_{sed} \cdot L_m = 1,65 \cdot 40 \cdot \Delta S / 261 \cdot 55 \cdot 10^3 = 4,598 \cdot 10^{-6} \cdot \Delta S$

\*\* :  $\Delta V_0$  = vervalverkleining direct =  $|\Delta d_{maas}| + |\Delta d_{waal}|$   
 $\Delta V_{40}$  = vervalverkleining na 40 jaar =  $\Delta V_0 - |\Delta Z_{maas}| - |\Delta Z_{waal}|$

\*\*\* :  $\Delta V_0 = a_0 \cdot Q_c$  ;  $\Delta V_{40} = a_{40} \cdot Q_c$

SCHEMATISATIE AFVOER MET 5%, 50%, 95% ONDERSCHREDEN JAARVERLOPEN  
 (OVERZICHT MAANDGEMIDDELDE AFVOEREN EN BEREKEND CENTRALEDEBIET)

MAAND	Q <sub>LOUWTH</sub> [m³/s]			Q <sub>WAAL</sub> [m³/s]			Q <sub>MAAS</sub> [m³/s]			VERVAL IN CM.			Q <sub>CENTRALE</sub> [m³/s]		
	5%	50%	95%	5%	50%	95%	5%	50%	95%	5%	50%	95%	5%	50%	95%
J	1210	2430	4890	916	1628	3276	330	620	800	110	210	390	64,4	124,7	0
F	1290	2500	4850	965	1675	3250	385	685	850	115	200	375	68,3	119,7	0
M	1340	2440	4360	995	1635	2921	320	585	740	140	215	365	85,8	127,1	130,5
A	1340	2340	4130	995	1568	2767	225	455	620	160	235	375	98,1	130,5	130,5
M	1320	2110	3550	983	1414	2379	120	300	460	180	235	370	109,4	130,5	130,5
J	1300	2100	3210	971	1407	2151	90	210	350	190	255	355	114,6	130,5	130,5
J	1160	2050	3130	884	1374	2097	80	170	300	170	255	365	103,9	130,5	130,5
A	1000	1850	2900	780	1270	1943	40	100	190	160	255	365	0	130,5	130,5
S	890	1650	2950	705	1169	1977	30	100	170	140	230	375	0	130,5	130,5
O	820	1540	3150	656	1110	2111	45	125	215	110	210	385	0	124,7	130,5
N	830	1710	3710	663	1200	2486	160	200	335	85	210	405	0	124,7	130,5
D	950	2040	4300	746	1367	2881	160	370	415	100	210	435	0	124,7	130,5

SCHEMATISATIE AFVOER MET ONDERSCHREDEN JAARVERLOPEN

(BEREKENINGEN MAAS - ZONDER CENTRALEWERKING)

TYPE JAAR	MAAND	QLTH (m³/s)	C (m³/s)	B <sub>s</sub> (m)	i/10 <sup>-5</sup> (-)	d (m)	m (-)	S <sub>dag</sub> (m³/dag)
5%	J	330	45,68	128,8	2,63	4,93	0,376	9,6
	F	385	45,46	129,3	3,31	5,06	0,372	30,8
	M	320	45,72	128,7	2,51	4,90	0,376	6,7
	A	225	46,10	127,9	1,35	4,76	-	0
	M	120	46,52	127,0	0,45	4,51	-	0
	J	90	46,64	126,8	0,28	4,37	-	0
	J	80	46,68	126,7	0,23	4,31	-	0
	A	40	46,84	126,3	0,08	3,85	-	0
	S	30	46,88	126,3	0,05	3,64	-	0
	O	45	46,82	126,4	0,09	3,94	-	0
	N	100	46,60	126,9	0,33	4,43	-	0
	D	160	46,36	127,4	0,74	4,64	-	0
50%	J	620	44,52	131,3	6,22	5,66	0,355	201,4
	F	685	44,26	131,8	7,03	5,81	0,351	267,5
	M	585	44,66	131,0	5,79	5,57	0,357	169,0
	A	455	45,18	129,9	4,18	5,24	0,367	69,3
	M	300	45,80	128,6	2,26	4,86	0,378	2,2
	J	210	46,16	127,8	1,19	4,73	-	0
	J	170	46,32	127,4	0,82	4,66	-	0
	A	100	46,60	126,9	0,33	4,43	-	0
	S	100	46,60	126,9	0,33	4,43	-	0
	O	125	46,50	127,1	0,48	4,53	-	0
	N	200	46,20	127,7	1,09	4,72	-	0
	D	370	45,52	129,1	3,13	5,02	0,373	24,2
95%	J	806	43,80	132,8	8,45	6,07	0,343	401,4
	F	850	43,60	133,2	9,07	6,18	0,340	466,0
	M	740	44,04	132,3	7,71	5,94	0,347	328,9
	A	620	44,52	131,3	6,22	5,66	0,355	201,4
	M	460	45,16	129,9	4,24	5,25	0,366	72,5
	J	350	45,60	129,0	2,88	4,97	0,374	16,3
	J	300	45,80	128,6	2,26	4,86	0,378	2,2
	A	190	46,24	127,6	4,00	4,70	-	0
	S	170	46,32	127,4	0,82	4,66	-	0
	O	215	46,14	127,8	1,25	4,74	-	0
	N	335	45,66	128,8	2,69	4,94	0,375	11,1
	D	415	45,34	129,5	3,68	5,14	0,369	45,9

5% - Jaar :  $\Sigma S = 1375 \text{ m}^3/\text{jaar}$   
 50% - Jaar :  $\Sigma S = 21937 \text{ m}^3/\text{jaar}$   
 95% - Jaar :  $\Sigma S = 46406 \text{ m}^3/\text{jaar}$   
 ( Februari gerekend voor 28,25 dagen )

(BEREKENINGEN MAAS - MET CENTRALEWERKING)

TYPE JAAR	MAAND	Q <sub>LITH + CENTRALE</sub> (m <sup>3</sup> /s)	C (m <sup>1/2</sup> /s)	B <sub>S</sub> (m)	i/10 <sup>5</sup> (-)	d (m)	m (-)	S <sub>dag</sub> (m <sup>3</sup> /dag)
5%	J	394,4	45,42	129,4	3,43	5,08	0,371	35,3
	F	453,3	45,19	129,9	4,16	5,24	0,367	68,2
	M	405,8	45,38	129,4	3,57	5,11	0,370	41,0
	A	323,1	45,71	128,7	2,55	4,91	0,376	7,6
	M	229,4	46,08	127,9	1,40	4,76	-	0
	J	204,6	46,18	127,7	1,14	4,73	-	0
	J	183,9	46,26	127,6	0,94	4,69	-	0
	A	40	46,84	126,3	0,08	3,85	-	0
	S	30	46,88	126,3	0,05	3,64	-	0
	O	45	46,82	126,4	0,09	3,94	-	0
	N	100	46,60	126,9	0,33	4,43	-	0
	D	160	46,36	127,4	0,74	4,64	-	0
50%	J	744,7	44,02	132,3	7,77	5,95	0,347	334,4
	F	804,7	43,78	132,8	8,51	6,08	0,343	407,3
	M	712,1	44,15	132,1	7,36	5,87	0,349	297,1
	A	585,5	44,66	131,0	5,80	5,57	0,357	169,5
	M	430,5	45,28	129,7	3,88	5,18	0,368	54,5
	J	340,5	45,64	128,9	2,76	4,95	0,375	12,9
	J	300,5	45,80	128,6	2,27	4,86	0,378	2,3
	A	230,5	46,08	128,0	1,41	4,76	-	0
	S	230,5	46,08	128,0	1,41	4,76	-	0
	O	249,7	46,00	128,1	1,64	4,79	-	0
	N	324,7	45,70	128,8	2,57	4,91	0,376	8,0
	D	494,7	45,02	130,2	4,67	5,34	0,364	96,1
95%	J	800	43,80	132,8	8,45	6,07	0,343	401,4
	F	850	43,66	133,2	9,07	6,18	0,340	466,0
	M	870,5	43,52	133,4	9,10	6,27	0,338	478,3
	A	750,5	44,00	132,4	7,84	5,96	0,346	341,2
	M	590,5	44,64	131,0	5,86	5,58	0,357	174,0
	J	480,5	45,08	130,1	4,50	5,31	0,365	86,1
	J	430,5	45,28	129,7	3,88	5,18	0,368	54,5
	A	320,5	45,72	128,7	2,51	4,90	0,376	6,8
	S	300,5	45,80	128,6	2,27	4,86	0,378	2,3
	O	345,5	45,62	128,9	2,82	4,96	0,375	14,6
	N	465,5	45,14	130,0	4,31	5,27	0,366	76,1
	D	545,5	44,82	130,6	5,30	5,47	0,360	135,1

5% jaar : ΣS = 4520 m<sup>3</sup>/jaar  
 50% jaar : ΣS = 41535 m<sup>3</sup>/jaar  
 95% jaar : ΣS = 67541 m<sup>3</sup>/jaar  
 (Februari gerekend voor 28.25 dagen)



(BEREKENINGEN WAAL - ZONDER CENTRALEWERKING)

TYPE JAAR	MAAND	Q <sub>WAAL</sub> (m <sup>3</sup> /s)	C (m <sup>1/2</sup> /s)	B <sub>s</sub> (m)	i/10 <sup>5</sup> (-)	d (m)	m (-)	S <sub>dag</sub> (m <sup>3</sup> /dag)
5%	J	916	41,84	261,0	10,40	4,07	0,462	579,1
	F	965	41,35	261,0	10,60	4,23	0,451	633,2
	M	995	41,05	261,0	10,71	4,32	0,445	665,5
	A	995	41,05	261,0	10,71	4,32	0,445	665,5
	M	983	41,17	261,0	10,66	4,28	0,447	652,7
	J	971	41,29	261,0	10,62	4,24	0,450	639,7
	J	884	42,16	261,0	10,27	3,98	0,469	542,9
	A	780	43,20	261,0	9,78	3,66	0,494	422,6
	S	705	43,95	261,0	9,40	3,43	0,512	335,1
	O	656	44,44	261,0	9,13	3,27	0,525	278,8
	N	663	44,37	261,0	9,17	3,29	0,523	286,8
	D	746	43,54	261,0	9,61	3,55	0,502	382,9
50%	J	1628	41	266,0	11,95	5,71	0,424	1548,2
	F	1675	41	266,6	12,01	5,80	0,423	1611,3
	M	1635	41	266,1	11,96	5,73	0,424	1557,6
	A	1568	41	265,3	11,88	5,59	0,425	1467,9
	M	1414	41	263,6	11,72	5,27	0,429	1267,4
	J	1407	41	263,5	11,71	5,25	0,430	1258,2
	J	1374	41	263,2	11,67	5,18	0,431	1213,8
	A	1270	41	262,4	11,49	4,95	0,432	1068,5
	S	1169	41	261,7	11,25	4,72	0,437	921,5
	O	1110	41	261,4	11,09	4,59	0,439	834,1
	N	1200	41	261,9	11,33	4,79	0,436	967,1
	D	1367	41	263,2	11,66	5,16	0,431	1204,3
95%	J	3276	41	312,6	13	7,95	0,402	3275,7
	F	3250	41	311,7	13	7,92	0,402	3258,4
	M	2921	41	299,2	13	7,58	0,405	3030,4
	A	2767	41	293,4	13	7,41	0,407	2916,6
	M	2379	41	280,2	12,85	6,94	0,411	2550,7
	J	2151	41	274,9	12,58	6,61	0,414	2249,8
	J	2097	41	273,8	12,52	6,53	0,415	2177,8
	A	1943	41	270,9	12,33	6,28	0,417	1971,6
	S	1977	41	271,5	12,37	6,34	0,417	2017,2
	O	2111	41	274,1	12,53	6,55	0,415	2196,5
	N	2486	41	282,9	12,98	7,07	0,410	2689,7
	D	2881	41	297,7	13	7,54	0,406	3001,3

5% Jaar :  $\Sigma S = 184960$  m<sup>3</sup>/jaar  
 50% Jaar :  $\Sigma S = 453471$  m<sup>3</sup>/jaar  
 95% Jaar :  $\Sigma S = 952573$  m<sup>3</sup>/jaar

## SCHEMATISATIE AFVOER MET ONDERSCHREDEN JAARVERLOPEN

(BEREKENINGEN WAAL - MET CENTRALEWERKING)

TYPE JAAR	MAAND	QWAAL (m <sup>3</sup> /s)	C (m <sup>1/2</sup> /s)	B <sub>s</sub> (m)	$\bar{c}/10^{-5}$ (-)	d (m)	m (-)	S <sub>dag</sub> (m <sup>3</sup> /dag)
5%	J	851,6	42,48	261	10,12	3,88	0,477	505,8
	F	896,7	42,03	261	10,32	4,02	0,466	557,3
	M	909,2	41,91	261	10,37	4,05	0,463	571,4
	A	896,9	42,03	261	10,32	4,02	0,466	557,6
	M	873,6	42,26	261	10,22	3,94	0,472	531,0
	J	856,4	42,44	261	10,14	3,89	0,475	511,3
	J	780,1	43,20	261	9,78	3,66	0,494	422,7
	A	780	43,20	261	9,78	3,66	0,494	422,6
	S	705	43,95	261	9,40	3,43	0,512	335,1
	O	656	44,44	261	9,13	3,27	0,525	278,8
	N	663	44,37	261	9,17	3,29	0,523	286,8
	D	746	43,54	261	9,61	3,55	0,502	382,9
50%	J	1503,3	41	264,5	11,80	5,46	0,427	1381,5
	F	1555,3	41	265,1	11,87	5,57	0,426	1450,9
	M	1507,9	41	264,6	11,81	5,47	0,427	1387,7
	A	1437,5	41	263,8	11,75	5,32	0,429	1298,2
	M	1283,5	41	262,5	11,52	4,98	0,433	1087,8
	J	1276,5	41	262,4	11,50	4,96	0,434	1077,8
	J	1243,5	41	262,2	11,43	4,89	0,435	1036,4
	A	1139,5	41	261,6	11,17	4,66	0,438	877,9
	S	1038,5	41	261,1	10,86	4,42	0,442	727,8
	O	985,3	41,15	261,0	10,67	4,29	0,447	655,1
	N	1075,3	41	261,3	10,98	4,51	0,441	782,5
	D	1242,3	41	262,2	11,43	4,89	0,435	1028,7
95%	J	3276	41	312,6	13	7,95	0,402	3275,7
	F	3250	41	311,7	13	7,92	0,402	3258,4
	M	2790,5	41	294,3	13	7,44	0,406	2934,3
	A	2636,5	41	288,5	13	7,26	0,408	2816,5
	M	2248,5	41	277,1	12,70	6,76	0,413	2379,1
	J	2020,5	41	272,3	12,42	6,41	0,416	2075,5
	J	1966,5	41	271,3	12,36	6,32	0,417	2003,1
	A	1812,5	41	268,7	12,18	6,06	0,420	1796,1
	S	1846,5	41	269,2	12,22	6,12	0,419	1841,8
	O	1980,5	41	271,5	12,38	6,35	0,417	2021,9
	N	2355,5	41	279,6	12,83	6,90	0,411	2519,9
	D	2750,5	41	292,8	13	7,39	0,407	2904,2

5% Jaar :  $\Sigma S = 163039$  m<sup>3</sup>/Jaar  
 50% Jaar :  $\Sigma S = 388499$  m<sup>3</sup>/Jaar  
 95% Jaar :  $\Sigma S = 906467$  m<sup>3</sup>/Jaar  
 (Februari gerekend voort 28,25 dagen)

## (OVERZICHT GEMETEN AFVOEREN + BEREKENING CENTRALEDEBIETEN)

MAAND	Q <sub>WAAL</sub> [m <sup>3</sup> /s]	d <sub>WAAL</sub> [m]	Q <sub>MAAS</sub> [m <sup>3</sup> /s]	d <sub>MAAS</sub> [m]	VERVAL* [m]	Q <sub>centrale</sub> [m <sup>3</sup> /s]
1976	J	1528	325	4.90	2.61	130,5
	F	1261	350	4.97	1.96	117,7
	M	989	182	4.69	1.61	98,7
	A	865	113	4.23	1.42	87,1
	M	889	69	4.15	1.76	107,2
	J	954	37	4.15	2.04	121,7
	J	748	20	4.15	1.41	48 **
	S	872	13	4.15	1.79	108,8 **
	O	794	21	4.15	1.55	94 **
	N	825	34	4.15	1.65	101,0 **
	D	776	72	4.27	1.38	76 **
		1251	4.91	208	4.74	2.17
1979	J	1608	390	5.07	2.60	130.5
	F	2747	740	5.94	3.45	130.5
	M	2714	850	6.18	3.17	50 ***
	A	2211	600	5.60	3.10	130.5
	M	1742	370	5.02	2.91	130.5
	J	1742	240	4.78	3.15	130.5
	J	1142	110	4.46	2.20	129.5
	A	1059	110	4.46	2.01	122.2
	S	971	70	4.19	2.95	117.2
	O	878	50	4.15	1.81	112.0
	N	1508	310	4.88	2.59	130.5
	D	2345	700	5.85	3.04	130.5

\* : HET VERVAL IS GELIJK AAN  $((d_{WAAL} - d_{MAAS}) + 2)$  m. ; DE VERDISCONTEERDE 2 M. VOLGT UIT HET VERSCHIL IN BODEMDIEPTE (Z<sub>WAAL</sub> = -2 m NAP , Z<sub>MAAS</sub> = -4 m NAP)

\*\* : HIER WORDT HET CENTRALEDEBIET BEPERKT DOOR DE EIS Q<sub>WAAL</sub> ≥ 700 m<sup>3</sup>/s IN VERBAND MET o.a. SCHEEPVAARTBELANGEN .

\*\*\*: HIER WORDT HET CENTRALEDEBIET BEPERKT DOOR DE EIS Q<sub>MAAS</sub> ≤ 900 m<sup>3</sup>/s IN VERBAND MET o.a. HOOGWATERBELANGEN.

MAAND	WAARL							MARS						
	Q [m <sup>2</sup> /s]	C [m <sup>1/2</sup> /s]	B <sub>s</sub> [m]	i/10 <sup>5</sup> [-]	d [m]	m/10 <sup>3</sup> [-]	S [m <sup>3</sup> /dag]	Q [m <sup>2</sup> /s]	C [m <sup>1/2</sup> /s]	B <sub>s</sub> [m]	i/10 <sup>5</sup> [-]	d [m]	m/10 <sup>3</sup> [-]	S [m <sup>3</sup> /dag]
1976 J F M A M J J A S O N D	1528	41	264,8	11,83	5,51	426	1410,2	325	45,7	128,8	2,59	4,90	376	8,6
	1261	41	262,3	11,47	4,93	434	1054,3	350	45,6	129,0	2,88	4,97	374	16,6
	989	41,11	261	10,69	4,30	446	660,4	182	46,27	127,6	0,92	4,69	-	0
	865	42,35	261	10,18	3,92	473	520,0	113	46,55	127,0	0,40	4,23	-	0
	889	42,11	261	10,29	3,99	468	548,4	69	46,72	126,6	0,18	4,15	-	0
	954	41,46	261	10,55	4,19	454	622,0	37	46,85	126,3	0,07	4,15	-	0
	748	43,52	261	9,62	3,56	501	384,4	20	46,92	126,2	0,03	4,15	-	0
	872	42,28	261	10,21	3,94	472	529,3	13	46,95	126,1	0,02	4,15	-	0
	794	43,06	261	9,85	3,70	490	438,1	21	46,92	126,2	0,03	4,15	-	0
	815	42,75	261	10,00	3,80	483	477,4	34	46,86	126,3	0,06	4,15	-	0
	776	43,24	261	9,76	3,65	494	417,9	72	46,71	126,6	0,19	4,27	-	0
	1251	41	262,2	11,45	4,91	434	1039,4	208	46,17	127,8	1,17	4,74	-	0
	1979 J F M A M J J A S O N D	1608	41	265,8	11,93	5,67	424	1516,9	390	45,44	129,3	3,88	5,07	371
2747		41	292,6	13	7,39	407	2905,1	740	44,04	132,3	7,71	5,94	347	333,0
2714		41	291,4	13	7,35	407	2874,0	850	43,66	133,2	9,07	6,18	340	470,8
2211		41	276,2	12,65	6,70	413	2324,1	600	44,60	131,1	5,98	5,60	356	184,4
1742		41	267,6	12,09	5,93	421	1698,2	370	45,52	129,2	3,13	5,02	373	24,8
1742		41	267,6	12,09	5,93	421	1698,2	340	46,04	128,0	1,52	4,78	-	0
1142		41	261,6	11,18	4,66	438	879,0	110	46,56	127,0	0,39	4,46	-	0
1059		41	261,2	10,93	4,47	441	756,3	110	46,56	127,0	0,39	4,46	-	0
971		41,49	261	10,62	4,24	450	639,1	70	46,72	126,6	0,19	4,19	-	0
878		42,22	261	10,24	3,96	470	535,3	150	46,80	126,4	0,11	4,15	-	0
1508		41	264,6	11,81	5,47	427	1389,0	310	45,76	128,6	2,38	4,88	377	4,4
2345		41	279,4	12,81	6,89	411	2499,8	700	44,20	132,0	7,21	5,85	350	287,8

1979: { ΣS<sub>WAARL</sub> = 596590 m<sup>3</sup>/jaar  
ΣS<sub>MARS</sub> = 40408 m<sup>3</sup>/jaar

1976: { ΣS<sub>WAARL</sub> = 246258 m<sup>3</sup>/jaar  
ΣS<sub>MARS</sub> = 736 m<sup>3</sup>/jaar

BEREKENINGEN VOOR 1976 EN 1979 , MET CENTRALEWERKING

MAAND	WAAR						MAAS								
	Q [m <sup>3</sup> /s]	C [m <sup>1/2</sup> /s]	B <sub>s</sub> [m]	τ [10 <sup>-5</sup> [-]]	d [m]	m/10 <sup>3</sup> [-]	S [m <sup>3</sup> /dag]	Q [m <sup>3</sup> /s]	C [m <sup>1/2</sup> /s]	B <sub>s</sub> [m]	τ [10 <sup>-5</sup> [-]]	d [m]	m/10 <sup>3</sup> [-]	S [m <sup>3</sup> /dag]	
1976 J F M A M J J A S O N D	1397,5	41	263,4	11,70	5,23	430	1245,4	455,5	45,18	129,9	4,19	5,24	367	70,0	
	1143,3	41	261,6	11,19	4,67	438	885,8	467,7	45,13	130,0	4,34	5,27	366	77,8	
	890,3	42,10	261	10,29	4,00	468	552,5	280,7	45,88	128,4	2,02	4,83	-	0	
	777,9	43,22	261	9,77	3,65	494	419,3	206,1	46,20	127,7	1,10	4,71	-	0	
	781,8	43,18	261	9,79	3,66	493	423,0	176,2	46,30	127,5	0,87	4,69	-	0	
	832,3	42,68	261	10,03	3,82	481	483,5	158,7	46,37	127,4	0,73	4,63	-	0	
	700	44	261	9,37	3,41	513	328,4	68	46,73	126,6	0,18	4,19	-	0	
	763,2	43,37	261	9,70	3,61	498	405,6	121,8	46,51	127,0	0,46	4,52	-	0	
	700	44	261	9,37	3,41	513	328,4	115	46,54	127,0	0,42	4,48	-	0	
	724	43,76	261	9,50	3,48	507	355,1	135	46,46	127,2	0,55	4,56	-	0	
	700	44	261	9,37	3,41	513	328,4	145	46,42	127,2	0,62	4,60	-	0	
	1123	41	261,5	11,13	4,62	439	854,8	336	45,66	128,9	2,71	4,94	375	11,5	
	1979 J F M A M J J A S O N D	1477,5	41	264,2	11,78	5,40	428	1348,0	529,5	44,92	130,4	4,99	5,41	362	115,5
		2616,5	41	287,7	13	7,23	408	2795,1	870,5	43,52	133,4	9,16	6,27	338	476,4
2664		41	289,5	13	7,29	408	2841,5	900	43,4	133,7	9,16	6,41	336	496,9	
2080,5		41	273,5	12,50	6,51	415	2157,8	730,5	44,08	132,2	7,59	5,92	348	319,1	
1611,5		41	265,8	11,93	5,68	424	1522,9	500,5	45,0	130,3	4,74	5,36	363	100,1	
1611,5		41	265,8	11,93	5,68	424	1522,9	370,5	45,52	129,2	3,13	5,03	373	24,5	
1012,5		41	261,0	10,77	4,36	443	687,6	239,5	46,04	128,0	1,52	4,77	-	0	
936,8		41,63	261	10,48	4,14	457	600,9	232,2	46,07	128,0	1,43	4,77	-	0	
853,8		42,46	261	10,13	3,88	476	506,3	187,2	46,25	127,6	0,97	4,70	-	0	
766		43,34	261	9,71	3,61	497	404,3	162	46,35	127,4	0,75	4,65	-	0	
1377,5		41	263,3	11,67	5,19	431	1222,4	440,5	45,24	129,7	4,00	5,20	368	60,5	
2214,5		41	276,3	12,66	6,71	413	2335,0	830,5	43,68	133,1	8,83	6,14	341	440,3	

1976 : { Σ S<sub>WAAR</sub> = 200920 m<sup>3</sup>/jaar  
Σ S<sub>MAAS</sub> = 4725 m<sup>3</sup>/jaar

1979 : { Σ S<sub>WAAR</sub> = 542823 m<sup>3</sup>/jaar  
Σ S<sub>MAAS</sub> = 61319 m<sup>3</sup>/jaar

OVERZICHT WATERSTANDSVERANDERINGEN VOOR SCHEMATISATIE  
 MET 5%, 50% EN 95% ONDERSCHREDEN JAARAFVOERVERLOPEN

Maand	5% - Jaar			50% - Jaar			95% - Jaar		
	Ad maas (m)	Δd waal (m)	X* maas waal	Ad maas (m)	Δd waal (m)	X* maas waal	Ad maas (m)	Δd waal (m)	X* maas waal
J	0.15	-0.19	0.23	0.29	-0.25	0.23	-	-	-
F	0.18	-0.21	0.26	0.27	-0.23	0.23	-	-	-
M	0.21	-0.27	0.24	0.30	-0.26	0.24	0.33	-0.14	0.25
A	0.15	-0.30	0.15	0.33	-0.27	0.25	0.30	-0.15	0.23
M	0.25	-0.34	0.23	0.32	-0.29	0.25	0.33	-0.18	0.25
J	0.36	-0.35	0.31	0.22	-0.29	0.17	0.34	-0.20	0.26
J	0.38	-0.32	0.37	0.20	-0.29	0.15	0.32	-0.21	0.25
A	-	-	-	0.33	-0.29	0.25	0.20	-0.22	0.15
S	-	-	-	0.33	-0.30	0.25	0.20	-0.22	0.15
O	-	-	-	0.26	-0.30	0.21	0.22	-0.20	0.17
N	-	-	-	0.19	-0.28	0.15	0.33	-0.17	0.25
D	-	-	-	0.32	-0.27	0.26	0.33	-0.15	0.25
Gemiddeld			0.26			0.22			0.22
			-0.31			-0.22			-0.14

\* : X = 100 \* Ad / Qc ( Ad per centraledebiet van 100 m<sup>3</sup>/s )

OVERZICHT WATERSTANDSVERANDERINGEN VOOR SCHEMATISATIE  
 MET GEMETEN MAANDELIJKSE AFVOEREN IN 1976 EN 1979

JAAR; MAAND	$\Delta d_{WAAL}$ [m]	* $X_{WAAL}$ [m]	$\Delta d_{MAAS}$ [m]	* $X_{MAAS}$ [m]
1976 J F M A M J J A S O N D	-0,28	-0,21	+0,34	+0,26
	-0,26	-0,22	+0,30	+0,27
	-0,30	-0,30	+0,14	+0,14
	-0,27	-0,31	+0,48	+0,55
	-0,33	-0,31	+0,54	+0,50
	-0,37	-0,30	+0,48	+0,39
	-0,15	-0,31	+0,04	+0,08
	-0,33	-0,30	+0,37	+0,34
	-0,29	-0,31	+0,33	+0,35
	-0,32	-0,32	+0,41	+0,41
	-0,24	-0,32	+0,33	+0,43
	-0,29	-0,23	+0,20	+0,16
	GEMIDDELD	-0,286	-0,287	+0,330
1979 J F M A M J J A S O N D	-0,27	-0,21	+0,34	+0,26
	-0,16	-0,12	+0,33	+0,25
	-0,06	-0,12	+0,23	+0,46
	-0,19	-0,15	+0,32	+0,25
	-0,25	-0,19	+0,34	+0,26
	-0,25	-0,19	+0,25	+0,19
	-0,30	-0,23	+0,31	+0,24
	-0,33	-0,27	+0,31	+0,25
	-0,36	-0,31	+0,51	+0,44
	-0,35	-0,31	+0,50	+0,45
	-0,28	-0,21	+0,32	+0,25
	-0,18	-0,14	+0,29	+0,22
	GEMIDDELD	-0,248	-0,204	+0,338

\*:  $X = \Delta d * 100 / Q_{centrale}$

(dus: het waterstandsverschil per centraledebiet van  $100 \text{ m}^3/\text{s}$ )

TOTAALOVERZICHT DER WATERSTANDS- EN BODEMVERANDERINGEN ZOALS VOLGT UIT DE BEREKENINGEN MET ONDERSCHREDEN JAARVERLOPEN EN UIT DE BEREKENINGEN MET MEETWAARDEN VOOR 1976 EN 1979

Jaar	Maas					Waal				
	$\Delta S_{\text{jaar}}$ [m <sup>3</sup> /jaar]	$\Delta z_{40}^*$ [m]	$\Delta d_{\text{gem}}$ [m]	$\Delta S_{\text{jaar}}$ [m/jaar]	$\Delta z_{40}^*$ [m]	$\Delta d_{\text{gem}}$ [m]	$\Delta V_0^{**}$ [m]	$\Delta V_{40}^{**}$ [m]	$Q_0^{***}$ [s/m <sup>2</sup> ]	$Q_{40}^{***}$ [s/m <sup>2</sup> ]
5%	+3145	-0,034	+0,240	-21921	+0,101	-0,283	0,523	0,388	0,0040	0,0030
50%	+19598	-0,209	+0,280	-64972	+0,299	-0,276	0,556	0,048	0,0043	0,0004
95%	+21135	-0,225	+0,290	-46166	+0,212	-0,184	0,474	0,037	0,0036	0,0003
1976	+3989	-0,043	+0,330	-45338	+0,208	-0,286	0,616	0,287	0,0047	0,0022
1979	+20911	-0,223	+0,338	-53767	+0,247	-0,248	0,586	0,115	0,0045	0,0009

\* :  $\Delta z_{\text{Maas}} (\text{na } 40 \text{ jaar}) = n \times 40 \times \Delta S_{\text{jaar}} / B_{\text{sed}} + L_m = 1,65 \times 40 + \Delta S / 112,5 \times 55 \times 10^3 = 10,667 \times 10^6 + \Delta S$   
 $\Delta z_{\text{Waal}} (\text{na } 40 \text{ jaar}) = n \times 40 \times \Delta S_{\text{jaar}} / B_{\text{sed}} + L_m = 1,65 \times 40 + \Delta S / 261 \times 55 \times 10^3 = 4,598 \times 10^6 + \Delta S$

\*\* :  $\Delta V_0 = \text{vervalverkleining direct} = |\Delta d_{\text{Maas}}| + |\Delta d_{\text{Waal}}|$   
 $\Delta V_{40} = \text{vervalverkleining na } 40 \text{ jaar} = \Delta V_0 + |\Delta z_{\text{Maas}}| + |\Delta z_{\text{Waal}}|$

\*\*\* :  $\Delta V_0 = Q_{ac}$  ;  $\Delta V_{40} = Q_{40} + Q_{ac}$  met  $Q_{ac} = 130,5 \text{ m}^3/\text{s}$





BESCHOUWDE ONDERSCHRIJDINGSLIJNEN (EN CORRECTIES HIEROP)  
VOOR HET VERVAL TE ST. ANDRIES

GEVAL NUMMER ↓	JAARGEMIDDELTE VERVAL [CM.]	SPREIDINGS- CATEGORIE	a [ $S/m^2$ ]	b [m.]
1 (Gemiddeld)	225	3	0,0025	0
2	215	3	0,0025	0
3	220	3	0,0025	0
4	230	3	0,0025	0
5	225	1	0,0025	0
6	225	2	0,0025	0
7	225	3	0,0010	0
8	225	3	0,0040	0
9	225	3	0,0025	+ 0,10
10	225	3	0,0025	- 0,10
11 (Gunstigst)	230	2	0,0010	- 0,10
12 (Ongunstigst)	215	1	0,0040	+ 0,10

```

10 : INPUT "H(ST)?";A
20 : INPUT "N?";B
30 : INPUT "D?";C
33 : INPUT "A?";S(1)
37 : INPUT "B?";S(2)
40 : INPUT "H(1)?";X(1)
50 : INPUT "H(2)?";X(2)
60 : INPUT "H(3)?";X(3)
70 : INPUT "H(4)?";X(4)
80 : Z=1000
90 : A=A+0.05
100: D=2.78*B*C2*A1/2
110: E=S(1)*D + S(2)
120: F=(A/3+E-X(1))*50/(X(2)-X(1))
130: G=(A+E-X(2))*280/(X(3)-X(2))+50
140: H=(1.5*X(1)-1.5*E-0.5*A)*(50-F)+3*(X(2)-X(1))*(2500-F2)/200
150: I=(1.5*X(2)-1.5*E-0.5*A)*(G-50)+3*(X(3)-X(2))*(G-50)2/1120
160: J=(X(2)-E)*(330-G)+(X(3)-X(2))*(78400-(G-50)2)/560
170: K=(X(3)-E)*35+17.5*(X(4)-X(3))
180: L=(H+I+J+K)/(365-F)
190: M=8469.8*((0.87*(G-F)+0.72*(365-G))/(365-F))*D*L*10-6
200: N=(365-F)*M*0.024
210: V=0.01*D*A
220: P=B*C*(3.2+0.12*V/B)
230: Q=(1.5+C/4)*(0.6*B+0.4)+3*B+1
240: T=(230*D2+5700*D+1574*B*C3+(8900+26668*B-10836*B2)*C2+
      +(105490-58166*B)*C-134562)*10-6
250: W=(11274*D-264*D2-(27.6-21*B)*C*(88*D+4894)+3995535)*10-6
260: Y=P+Q+T
270: R=Z
280: Z=6.12*(Y+W)/N+2*V/N
290: IF Z<R THEN GOTO 90
300: PRINT "H(OPT)=";A
310: PRINT "Q(AC)=";D
320: PRINT "P(GEM)=";M
330: PRINT "N(AC)=";V
340: PRINT "E(JAAR)=";N
350: PRINT "K(TUR)=";P
360: PRINT "K(VAST)=";Y
370: PRINT "K(VAR)=";W
380: PRINT "KWH-PRIJS=";Z
390: END

```

BESCHRIJVING EN INVOERGEGEVENS VAN DE  
GEVALLEN 1 t/m 16 (ZIE § 3.4.8)

GEVAL NO. (ZIE § 3.4.8)	GEMIDDELD BRUTO VERVAL [M.]	SPREIDINGS-CATEGORIE	a [ $S/M^2$ ]	b [M.]	H(1) [M.]	H(2) [M.]	H(3) [M.]	H(4) [M.]	correctie op variabele kosten [%]
1	2,25	3	0,0025	0	0,80	1,55	3,05	3,80	0
2	2,15	3	0,0025	0	0,70	1,45	2,95	3,70	0
3	2,20	3	0,0025	0	0,75	1,50	3,00	3,75	0
4	2,30	3	0,0025	0	0,85	1,60	3,10	3,85	0
5	2,25	1	0,0025	0	0,80	1,30	3,30	3,80	0
6	2,25	2	0,0025	0	0,80	1,80	2,80	3,80	0
7	2,25	3	0,001	0	0,80	1,55	3,05	3,80	0
8	2,25	3	0,004	0	0,80	1,55	3,05	3,80	0
9	2,25	3	0,0025	+0,10	0,80	1,55	3,05	3,80	0
10	2,25	3	0,0025	-0,10	0,80	1,55	3,05	3,80	0
11	2,25	3	0,0025	0	0,80	1,55	3,05	3,80	-25%
12	2,25	3	0,0025	0	0,80	1,55	3,05	3,80	+25%
13	2,30	2	0,001	-0,10	0,85	1,85	2,85	3,85	-25%
14	2,15	1	0,004	+0,10	0,70	1,20	3,20	3,70	+25%
15 *	2,30	2	0,001	-0,10	0,85	1,85	2,85	3,85	-25%
16 *	2,15	1	0,004	+0,10	0,70	1,20	3,20	3,70	+25%

\* : de gevallen 15 en 16 zijn identiek aan 13 en 14 voor wat betreft de invoergegevens; het verschil zit hier in de keuze van de constructievalhoogte  $H_f$ . In de gevallen 13 en 14 wordt de optimale waarde  $H_{opt}$  gekozen die hoort bij die extreme situaties, in de gevallen 15 en 16 de waarde  $H_{opt}$  die hoort bij geval 1, dus een gemiddelde situatie (dit is meer realistisch).



## RESULTATEN RENTABILITEITSBEREKENING VOOR DIVERSE GEVALLEN

BIJ EEN TURBINEPOTENTIEEL VAN  $N=1$  MET  $D=5$ ; EN VOOR

ENKELE, ANDERE RELATIEF GUNSTIGE POTENTIELEN VOOR HET MEEST GUNSTIGE GEVAL (13).

GEVAL NO. (ZIE BIJL. 3512)	Hopt [M.]	Qac [ $M^3/s$ ]	Pgem [MW]	Nac [MW]	Ejaar [GWh]	Ktur. [ $10^6 f$ ]	Kvast [ $10^6 f$ ]	Kvar [ $10^6 f$ ]	KWh-prijs [cent]	
1	2,40	108	1,37	2,58	11,40	17,55	28,50	12,76	22,6	
2	2,30	105	1,29	2,42	10,59	17,45	28,28	12,64	24,1	
3	2,35	107	1,33	2,50	10,99	17,50	28,39	12,70	23,3	
4	2,40	108	1,40	2,58	11,77	17,55	28,50	12,76	21,9	
5	2,30	105	1,34	2,42	11,01	17,45	28,28	12,64	23,2	
6	2,45	109	1,41	2,67	11,84	17,60	28,61	12,83	21,9	
7	2,60	112	1,52	2,91	12,87	17,75	28,94	13,00	20,4	
8	2,15	102	1,22	2,19	10,08	17,31	27,95	12,44	25,0	
9	2,45	109	1,44	2,67	12,20	17,60	28,61	12,83	21,2	
10	2,40	108	1,30	2,58	10,65	17,55	28,55	12,76	24,2	
11	2,40	108	1,37	2,58	11,40	17,55	28,50	9,57	20,9	
12	2,40	108	1,37	2,58	11,40	17,55	28,50	15,95	24,3	
13	2,65	113	1,53	3,00	12,96	17,80	29,05	9,79	18,8	
14	2,10	101	1,22	2,12	9,77	17,27	27,84	15,46	27,6	
15	2,40	108	1,47	2,58	12,60	17,55	28,50	9,57	18,9	
16	2,40	108	1,28	2,58	9,92	17,55	28,50	15,95	28,0	
13* A	2,50	158	2,11	3,96	17,86	22,05	37,09	11,04	(16,9)	18,1
13* B	2,45	218	2,82	5,33	23,75	35,20	59,40	13,57	19,2	
13* C	2,25	300	3,76	6,76	31,58	43,26	78,67	12,91	(18,2)	19,5

\* : ALLE GEVALLEN ZIJN DOORGEREKEND VOOR  $N=1$  MET  $D=5$  M. TER VERGE-  
LIJKING IS HET GUNSTIGSTE GEVAL NO. 13 NOG VOOR ENKELE ANDERE  
POTENTIELEN BEZIEN : VOOR  $N=1$  MET  $D=6$  M. (13\*A) ; VOOR  $N=2$  MET  
 $D=5$  M. (13\*B) EN VOOR  $N=2$  MET  $D=6$  M. (13\*C).

BEREKENING MAXIMAAL BRUIKBAAR DEEL VAN EEN CENTRALE (MET KOPPELING) VOOR SUPPLETIE EN BEREKENING MAXIMALE SUPPLETIE DEBIETEN IN EEN GEMIDDELD JAAR.

d	Q <sub>L</sub> [m <sup>3</sup> /s]	H <sub>L</sub> [m]	M <sub>AL</sub> [m <sup>2</sup> ]	Q <sub>la</sub> = 500 m <sup>3</sup> /s			Q <sub>la</sub> = 425 m <sup>3</sup> /s			Q <sub>la</sub> = 340 m <sup>3</sup> /s		
				M <sub>AW</sub> [m <sup>2</sup> ]	Q <sub>W</sub> (5) [m <sup>3</sup> /s]	Q <sub>W</sub> (6) [m <sup>3</sup> /s]	M <sub>AW</sub> [m <sup>2</sup> ]	Q <sub>W</sub> (5) [m <sup>3</sup> /s]	Q <sub>W</sub> (6) [m <sup>3</sup> /s]	M <sub>AW</sub> [m <sup>2</sup> ]	Q <sub>W</sub> (5) [m <sup>3</sup> /s]	Q <sub>W</sub> (6) [m <sup>3</sup> /s]
0	0	4,36	0	63,5	331	308	52	284	266	40,2	231	217
30	65	4,31	7	56,5	303	283	45	254	237	33,2	197	185
50	100	4,26	10,8	52,7	287	268	41,2	236	221	29,4	177	166
80	140	4,21	15,3	48,2	268	250	36,7	214	201	24,9	153	144
100	160	4,16	17,5	46	258	241	34,5	203	191	22,7	141	132
130	185	4,09	20,5	43	244	229	31,5	188	177	19,7	124	117
150	205	4,03	22,8	40,7	234	219	29,2	176	165	17,4	111	104
180	235	3,92	26,5	37	216	202	25,5	156	147	13,7	88	83
200	260	3,84	29,7	33,8	200	187	22,3	139	130	10,5	69	65
230	300	3,70	34,9	28,6	173	162	17,1	109	102	5,3	36	34
250	340	3,58	40,2	23,3	144	136	11,8	77	72	0	0	0
280	425	3,34	52,0	11,5	75	71	0	0	0	0	0	0
300	500	3,10	63,5	0	0	0	0	0	0	0	0	0
330	775	2,30	114,3	0	0	0	0	0	0	0	0	0
355	900	0	∞	0	0	0	0	0	0	0	0	0
10 DAGEN STUW GETROKKEN			0	63,5	331	308	52	284	266	40,2	231	217

ENERGIEPRODUCTIE BIJ VERSCHILLENDE ONTWERPDEBIETEN  $Q_{WA}$ ,  
 VOOR TRACÉ 6 IN GEVAL  $Q_{LA} = 340 \text{ m}^3/\text{s}$ .

d	$Q_{WA} = 150$	$Q_{WA} = 100$	$Q_{WA} = 50$	$Q_{WA} = 150 \text{ m}^3/\text{s}$		$Q_{WA} = 100 \text{ m}^3/\text{s}$		$Q_{WA} = 50 \text{ m}^3/\text{s}$	
	$Q_w [\text{m}^3/\text{s}]$	$Q_w [\text{m}^3/\text{s}]$	$Q_w [\text{m}^3/\text{s}]$	P [MW]	E [GWh]	P [MW]	E [GWh]	P [MW]	E [GWh]
0	150	100	50	1,86	1,34	1,35	0,97	0,73	0,53
30	150	100	50	1,86	0,89	1,35	0,65	0,73	0,35
50	150	100	50	1,86	1,32	1,35	0,97	0,73	0,53
80	144	100	50	1,80	0,84	1,35	0,65	0,73	0,35
100	132	100	50	1,69	1,16	1,35	0,97	0,73	0,53
130	117	100	50	1,53	0,70	1,35	0,65	0,73	0,35
150	104	100	50	1,39	0,91	1,35	0,90	0,73	0,53
180	83	83	50	1,15	0,50	1,15	0,50	0,73	0,35
200	65	65	50	0,93	0,52	0,93	0,52	0,73	0,45
230	34	34	34	0,51	0,12	0,51	0,12	0,51	0,12
250	0	0	0	0	0	0	0	0	0
10 DAGEN STW GR. TRAKKEN	150	100	50	1,86	0,45	1,35	0,32	0,73	0,18
					$E_{\text{tot}} = 8,75$		$E_{\text{tot}} = 7,22$		$E_{\text{tot}} = 4,27$





ENERGIEPRODUCTIE BIJ VERSCHILLENDE ONTWERPDEBIETEN  $Q_{WA}$ ,  
 VOOR TRACE 6 IN GEVAL  $Q_{LA} = 500 \text{ m}^3/\text{s}$

d	$Q_{WA} = 200$		$Q_{WA} = 150$		$Q_{WA} = 100$		$Q_{WA} = 200 \text{ m}^3/\text{s}$		$Q_{WA} = 150 \text{ m}^3/\text{s}$		$Q_{WA} = 100 \text{ m}^3/\text{s}$		
	$Q_w [\text{m}^3/\text{s}]$	$Q_w [\text{m}^3/\text{s}]$	$Q_w [\text{m}^3/\text{s}]$	$Q_w [\text{m}^3/\text{s}]$	$Q_w [\text{m}^3/\text{s}]$	$Q_w [\text{m}^3/\text{s}]$	P [MW]	E [GWh]	P [MW]	E [GWh]	P [MW]	E [GWh]	
0	200	150	100	2,25	1,62	1,86	1,34	1,35	0,97	1,35	0,97	1,35	0,65
30	200	150	100	2,25	1,08	1,86	0,89	1,35	0,65	1,35	0,65	1,35	0,65
50	200	150	100	2,25	1,62	1,86	1,34	1,35	0,97	1,35	0,97	1,35	0,65
80	200	150	100	2,25	1,08	1,86	0,89	1,35	0,65	1,35	0,65	1,35	0,65
100	200	150	100	2,25	1,62	1,86	1,34	1,35	0,97	1,35	0,97	1,35	0,65
130	200	150	100	2,25	1,08	1,86	0,89	1,35	0,65	1,35	0,65	1,35	0,65
150	200	150	100	2,25	1,62	1,86	1,34	1,35	0,97	1,35	0,97	1,35	0,65
180	200	150	100	2,25	1,08	1,86	0,89	1,35	0,65	1,35	0,65	1,35	0,65
200	187	150	100	2,16	1,06	1,86	0,89	1,35	0,65	1,35	0,65	1,35	0,65
230	162	150	100	1,96	1,48	1,86	1,34	1,35	0,97	1,35	0,97	1,35	0,65
250	136	136	100	1,73	0,89	1,73	0,86	1,35	0,65	1,35	0,65	1,35	0,65
280	71	71	71	1,00	0,98	1,00	0,98	1,00	0,85	1,00	0,85	1,00	0,85
300	0	0	0	0	0,24	0	0,24	0	0,24	0	0,24	0	0,24
isobogen toekenning	200	150	100	2,25	0,54	1,86	0,45	1,35	0,32	1,35	0,32	1,35	0,32
					$E_{\text{tot}} = 14,91$				$E_{\text{tot}} = 12,79$				$E_{\text{tot}} = 9,51$

ENERGIEPRODUCTIE BIJ VERSCHILLENDE ONTWERPDEBIETEN  $Q_{WA}$ ,  
 VOOR TRACE 5 IN GEVAL  $Q_{LA} = 340 \text{ m}^3/\text{s}$

d	$Q_{WA} = 231$	$Q_{WA} = 200$	$Q_{WA} = 150$	$Q_{WA} = 100$	$Q_{WA} = 231 \text{ m}^3/\text{s}$		$Q_{WA} = 200 \text{ m}^3/\text{s}$		$Q_{WA} = 150 \text{ m}^3/\text{s}$		$Q_{WA} = 100 \text{ m}^3/\text{s}$	
	$Q_w [\text{m}^3/\text{s}]$	$Q_w [\text{m}^3/\text{s}]$	$Q_w [\text{m}^3/\text{s}]$	$Q_w [\text{m}^3/\text{s}]$	P [MW]	E [GWh]	P [MW]	E [GWh]	P [MW]	E [GWh]	P [MW]	E [GWh]
0	231	200	150	100	2,87	1,97	2,63	1,88	2,14	1,54	1,54	1,11
30	197	197	150	100	2,60	1,20	2,60	1,20	2,14	1,54	1,54	0,74
50	177	177	150	100	2,41	1,65	2,41	1,65	2,14	1,54	1,54	1,11
80	153	153	150	100	2,17	1,01	2,17	1,01	2,14	1,54	1,54	0,74
100	141	141	141	100	2,04	1,40	2,04	1,40	2,04	1,54	1,54	1,11
130	124	124	124	100	1,84	0,84	1,84	0,84	1,84	1,54	1,54	0,74
150	111	111	111	100	1,68	1,10	1,68	1,10	1,68	1,54	1,54	1,05
180	88	88	88	88	1,38	0,60	1,38	0,60	1,38	1,38	1,38	0,60
200	69	69	69	69	1,11	0,62	1,11	0,62	1,11	1,11	1,11	0,62
230	36	36	36	36	0,61	0,15	0,61	0,15	0,61	0,61	0,61	0,15
250	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
$\sum$	231	200	150	100	2,87	0,69	2,63	0,63	2,14	0,51	1,54	0,37
						$E_{\text{tot}} = 11,23$		$E_{\text{tot}} = 11,08$		$E_{\text{tot}} = 10,33$		$E_{\text{tot}} = 8,34$

ENERGIEPRODUCTIE BIJ VERSCHILLENDE ONTWERPDEBIETEN  $Q_{WA}$ ,  
 VOOR TRACE 5 IN GEVAL  $Q_{LA} = 425 \text{ m}^3/\text{s}$

d	$Q_{WA} = 284$	$Q_{WA} = 250$	$Q_{WA} = 200$	$Q_{WA} = 284 \text{ m}^3/\text{s}$		$Q_{WA} = 250 \text{ m}^3/\text{s}$		$Q_{WA} = 200 \text{ m}^3/\text{s}$	
	$Q_w [\text{m}^3/\text{s}]$	$Q_w [\text{m}^3/\text{s}]$	$Q_w [\text{m}^3/\text{s}]$	P [MW]	E [GWh]	P [MW]	E [GWh]	P [MW]	E [GWh]
0	284	250	200	3,19	2,24	3,00	2,16	2,63	1,89
30	254	250	200	3,03	1,43	3,00	1,42	2,63	1,26
50	236	236	200	2,91	2,03	2,91	2,03	2,63	1,89
80	214	214	200	2,74	1,29	2,74	1,29	2,63	1,26
100	203	203	200	2,65	1,86	2,65	1,86	2,63	1,85
130	188	188	188	2,52	1,18	2,52	1,18	2,52	1,18
150	176	176	176	2,41	1,66	2,41	1,66	2,41	1,66
180	156	156	156	2,20	1,01	2,20	1,01	2,20	1,01
200	139	139	139	2,02	1,32	2,02	1,32	2,02	1,32
230	109	109	109	1,65	0,69	1,65	0,69	1,65	0,69
250	77	77	77	1,22	0,44	1,22	0,44	1,22	0,44
280	0	0	0	0	0	0	0	0	0
$\Sigma$	284	250	200	3,19	0,77	3,00	0,72	2,63	0,63
				$E_{tot} = 15,92$		$E_{tot} = 15,78$		$E_{tot} = 15,08$	

ENERGIEPRODUCTIE BIJ VERSCHILLENDE ONTWERPDEBIETEN  $Q_{WA}$ ,  
 VOOR TRACE 5 IN GEVAL  $Q_{LA} = 500 \text{ m}^3/\text{s}$

d	$Q_{WA} = 331$	$Q_{WA} = 250$	$Q_{WA} = 200$	$Q_{WA} = 331 \text{ m}^3/\text{s}$		$Q_{WA} = 250 \text{ m}^3/\text{s}$		$Q_{WA} = 200 \text{ m}^3/\text{s}$	
	$Q_W [\text{m}^3/\text{s}]$	$Q_W [\text{m}^3/\text{s}]$	$Q_W [\text{m}^3/\text{s}]$	P [MW]	E [GWh]	P [MW]	E [GWh]	P [MW]	E [GWh]
0	331	250	200	3,37	2,39	3,00	2,16	2,63	1,89
30	303	250	200	3,27	1,56	3,00	1,44	2,63	1,26
50	287	250	200	3,21	2,28	3,00	2,16	2,63	1,89
80	268	250	200	3,11	1,48	3,00	1,44	2,63	1,26
100	258	250	200	3,05	2,16	3,00	2,15	2,63	1,89
130	244	244	200	2,96	1,40	2,96	1,40	2,63	1,26
150	234	234	200	2,89	2,03	2,89	2,03	2,63	1,89
180	216	216	200	2,76	1,29	2,76	1,29	2,63	1,26
200	200	200	200	2,63	1,80	2,63	1,80	2,63	1,80
230	173	173	173	2,38	1,07	2,38	1,07	2,38	1,07
250	144	144	144	2,07	1,18	2,07	1,18	2,07	1,18
280	75	75	75	1,20	0,29	1,20	0,29	1,20	0,29
300	0	0	0	0		0		0	
$\Sigma$	331	250	200	3,37	0,81	3,00	0,72	2,63	0,63
$\Sigma$					$E_{tot} = 19,74$				$E_{tot} = 17,57$

## OVERZICHT ENERGIEPRODUCTIES EN RENTABILITEITSBEPALING

TRACÉ 5					
$Q_{LA}$ [ $m^3/s$ ]	$Q_{WA}$ [ $m^3/s$ ]	$E_{tot}$ [GWh]	$K_{supp}$ [ $10^6 f$ ]	$KWh$ [cent]	
340	231	11,23	101	55,0	
340	200	11,08	98	54,1	
340	150	10,33	92	54,5	
340	100	8,34	87	63,8	
425	284	15,92	121	46,5	
425	250	15,78	118	45,8	
425	200	15,08	113	45,9	
500	331	19,74	139	43,1	
500	250	19,13	131	41,9	
500	200	17,57	126	43,9	

TRACÉ 6				
$Q_{LA}$ [ $m^3/s$ ]	$Q_{WA}$ [ $m^3/s$ ]	$E_{tot}$ [GWh]	$K_{supp}$ [ $10^6 f$ ]	$KWh$ [cent]
340	150	8,75	62	43,4
340	100	7,22	48	40,7
340	50	4,27	35	50,2
425	200	12,70	76	36,6
425	150	11,34	62	33,5
425	100	8,71	48	33,7
500	200	14,91	76	31,2
500	150	12,79	62	29,7
500	100	9,51	48	30,9

HERBEREKENING KWh-PRIJS VOOR HET GUNSTIGSTE GEVAL  
 ( $Q_{la} = 500 \text{ m}^3/\text{s}$  EN  $Q_{wa} = 150 \text{ m}^3/\text{s}$ , trace 6) MET  
 VERVALVERKLEINING  $\Delta H = 0,001 * Q_w - 0,1 \text{ [M]}$

dagen onderschrijding	$Q_l$ [ $\text{m}^3/\text{s}$ ]	Hl [M]	$\mu A_l$ [ $\text{m}^2$ ]	$\mu A_w$ [ $\text{m}^2$ ]	$Q_w^{(6)}_{\text{max}}$ [ $\text{m}^3/\text{s}$ ]	$Q_w^{(6)}$ [ $\text{m}^3/\text{s}$ ]	$P_w^{(6)}$ [MW]	$E_w^{(6)}$ [GWh]
0	0	4,36	0	63,5	378	150	2,25	1,62
30	65	4,31	7	56,5	340	150	2,25	1,08
56	100	4,26	10,8	52,7	319	150	2,25	1,62
80	140	4,21	15,3	48,2	294	150	2,25	1,08
100	160	4,16	17,5	46	281	150	2,25	1,62
130	185	4,09	20,5	43	264	150	2,25	1,08
150	205	4,03	22,8	40,7	251	150	2,25	1,62
180	235	3,92	26,5	37	229	150	2,25	1,08
200	260	3,84	29,7	33,8	211	150	2,25	1,62
230	300	3,76	34,9	28,6	180	150	2,25	1,07
250	340	3,58	40,2	23,3	147	147	2,21	1,21
280	425	3,34	52,0	11,5	74	74	1,15	0,28
300	500	3,10	63,5	0	0	0	0	0,54
10 D.S.G.			0	63,5	378	150	2,25	0,54

$$E_{\text{tot}} = 15,52 \text{ GWh}$$

$$K_{\text{tot}} = 62 * 10^6 \text{ Hfl (bijlage 3628)}$$

$$\begin{aligned} \text{KWh-prijs} &= 1,2 * 0,051 * 62 * 10^6 / 15,52 * 10^6 = \text{fl } 0,244 / \text{KWh} \\ &= 24,4 \text{ cent/KWh} \end{aligned}$$

In de berekening ingevoerde waarden:

$$\begin{aligned} \bar{H} &= 2,05 \text{ m.}; & a &= 0,1 \text{ (in } 10^{-2} \text{ s/m}^2\text{)}; & b &= 0,1 \text{ m.}; \\ g &= 10 \text{ m/s}^2; & \rho &= 10^3 \text{ kg/m}^3; & \eta &= 0,75; & \text{onderschrijdings-} \\ \text{waarden voor } Q_l \text{ en Hl} & & & & & & \text{volgens bijlage 3621} \end{aligned}$$

## Alternatieve scheepvaartroutes

### 1 Algemeen

Om het Maas-Waalkanaal van een deel van het te verwachten scheepvaartverkeer te kunnen ontlasten, moet de scheepvaart een goede alternatieve vaarweg worden geboden. Benedenstrooms van Heumen (aansluiting Maas-Waalkanaal op Maas) hebben de Maassluizen niet voldoende capaciteit om een grotere verkeersstroom dan de huidige vlot te verwerken. Vooral de sluis te Lith vormt een knelpunt, waar nu reeds grote wachttijden optreden. In par 4.1 bleek al dat de verkeersbelasting voor deze sluis in de toekomst ontoelaatbaar hoog zal worden. Zonder veranderingen kan de Maasroute benedenstrooms van Heumen dus geen goed alternatief voor het Maas-Waalkanaal zijn.

Bij het zoeken naar alternatieve scheepvaartroutes kan aan de volgende mogelijkheden worden gedacht (zie ook fig. 1):

- A: De route via de Maas benedenstrooms van Heumen, de Bergse Maas en de Amer.
- B: De route via de Maas en het kanaal van St. Andries.
- C: De route via de Maas tot direkt bovenstrooms van Lith en vandaar een nieuw kanaal, dat westelijk van Tiel op de Waal aansluit.
- D: De route via de Maas met, beginnend tussen Grave en Lith, een nieuw kanaal, dat oostelijk van Tiel op de Waal aansluit.

### 2 Bespreking alternatieven

Het eerste alternatief (A) houdt de bouw in van een tweede sluisolk te Lith en event. de renovatie of nieuwbouw van de oude sluis bij Grave. Verder zullen er een aantal verbeteringen aan de vaarweg aangebracht dienen te worden om de grotere verkeersstroom beter te kunnen verwerken. Hierbij kan o.a. gedacht worden aan een verlegging (of afsnijding) van de scherpe Maasbocht bij Heerewaarden en aan een aanpassing van de situatie ter plaatse van de brugpijlers bij Hedel, welke voor de scheepvaart problemen kan opleveren. De noodzaak tot het uitvoeren van deze verbeteringen zal groter zijn als de vaarweg tevens geschikt gemaakt wordt voor 2-bakduwvaart.



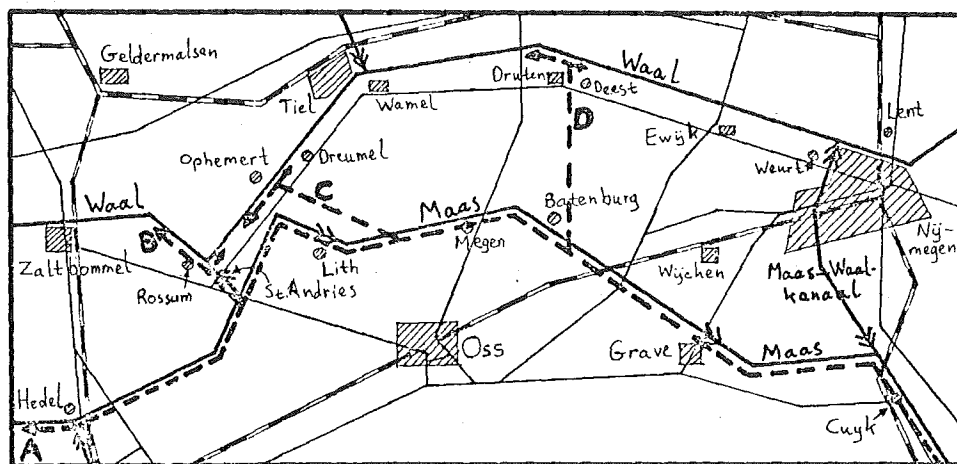


fig. 1 Alternatieve scheepvaartroutes.

Het merendeel van de vaarwegverbeteringen kan waarschijnlijk zonder grote schade aan de omgeving worden gerealiseerd, hoewel natuur- en landschapsschade aan uiterwaarden niet geheel te vermijden is. Enkele verbeteringen, zoals bijv. de bocht bij Heerewaarden, kunnen afhankelijk van de uitvoering veel ingrijpender zijn, met name als er binnendijs grondgebied bij betrokken is.

Door deze oplossing ontstaat er, vooral in de opvaart, een grotere scheiding van het Maas- en het Waalverkeer, hetgeen een gunstig effect op de verkeersdruk op de Waal en in de verbindingen met de Maas heeft. Een nadeel is echter dat de scheepvaart van en naar het Amsterdam-Rijnkanaal niet van de verbeterde Maasroute kan profiteren en op het Maas-Waalkanaal blijft aangewezen.

De tweede mogelijkheid, alternatief B, kan gerealiseerd worden door de bouw van een tweede schutkolk in zowel Lith als St. Andries en door aanpassing van het kanaal van St. Andries. Verder zullen er vaarwegverbeteringen aan de Maas aangebracht moeten worden en is renovatie van de oude sluis te Grave aan te bevelen.

De lengte waarover vaarwegverbeteringen moeten worden aangebracht is korter dan bij het eerste alternatief, maar daar staat tegenover dat het kanaal van St. Andries aangepast dient te worden en dat er één sluis meer gebouwd moet worden. Bovendien blijft de grootste verbetering, de bocht van Heerewaarden, ook nu noodzakelijk. Het is dus de vraag of de kanaalaanpassing en de extra sluis wel op zullen wegen

tegen de verbeteringen aan de vaarweg benedenstrooms van St. Andries in geval van alternatief A.

Aan het alternatief B kleeft bovendien een groot bezwaar. Het Kanaal van St. Andries sluit in een scherpe bocht op de Waal aan en deze combinatie kanaal-bocht is nogal ongevalsgevoelig gebleken (zie "Scheepsongevallen op Boven-Rijn en Waal"). Bij de Directie Bovenrivieren (RWS) bestaan vage plannen om deze Waalbocht, ter vergroting van de vaargeulbreedte bij laagwater, buitendijks te verleggen. Tegelijkertijd zou dan de vormgeving van de aansluiting van het kanaal verbeterd kunnen worden. De situatie zal hierdoor echter niet zeer veel veiliger worden, zodat het niet aan te bevelen is om meer scheepvaart via St. Andries te leiden. Het (veiligheids)probleem wordt dan slechts verplaatst.

Alternatief C behelst, behalve vaarwegverbeteringen aan de Maas tot Lith en renovatie (nieuwbouw) van de oude sluis te Grave, de aanleg van een nieuwe Maas-Waalverbinding. Deze kanaal-verbinding loopt van (direkt) bovenstrooms de stuw te Lith naar de Waal (ongeveer tussen Dreumel en Heerewaarden). Het kanaal kan event. geheel of gedeeltelijk in de buitendijkse gronden van Maas en Waal gesitueerd worden en dient minimaal 1 sluiskomplex met bij voorkeur 2 kolken te bevatten.

Zo'n nieuw kanaal is kostbaar en betekent een forse ingreep in het gebied. T.o.v. de alternatieven A en B kan een andere forse ingreep, nl. de bochtverlegging bij Heerewaarden, echter achterwege blijven. Bovendien zou misschien van de bestaande Maasdijken gebruik gemaakt kunnen worden. Ook bij een tracé door de uiterwaarden zal dit kanaal andere infrastructuur kruisen (o.a. de van Heemstraweg, de Grote Wetering) en zijn dus aanvullende werken nodig. De bouw van een tweede Maassluis bij Lith is niet nodig, doch er dienen wel twee sluiskolken in het kanaal gebouwd te worden.

Het scheepvaartverkeer naar en vooral vanuit het Amsterdam-Rijnkanaal kan van het alternatief C meer profiteren dan van de twee voorgaande routes, hoewel er op weg naar en van Limburg nog steeds een kleine omweg gemaakt moet worden. Het nieuwe kanaal zal behalve scheepvaart uit het Maas-Waalkanaal ook scheepvaart uit het Kanaal van St. Andries aantrekken, zodat dit aansluitpunt op de Waal minder belast en dus veiliger

zal worden. Er wordt echter wel een nieuwe aansluiting op de Waal gekreëerd, hetgeen minder gewenst is. Overigens is zo'n nieuw aansluitpunt beter gesitueerd dan het huidige bij St. Andries, omdat de combinatie met een scherpe rivierbocht ontbreekt. Tevens kan de vormgeving van het splitsingspunt beter uitgevoerd worden. Aan de hoeveelheid scheepvaart door het nieuwe kanaal wordt, evenals bij Weurt, uit veiligheids oogpunt wel een beperking opgelegd.

De vierde alternatieve scheepvaartroute (D) bestaat voor een belangrijk deel uit een nieuw kanaal. In zijn afstudeerwerk heeft dhr. K. Postma zo'n verbinding uitgewerkt. Het kanaal loopt van Batenburg aan de Maas naar Deest aan de Waal. Nu behoeven alleen aan het Maasgedeelte Heumen-Batenburg verbeteringen te worden aangebracht, waaronder de renovatie van de oude sluis te Grave. In het kanaal zijn twee sluiskomplexen van elk 2 kolken nodig, één bij de Maas en één bij de Waal. Wanneer slechts één sluiskomplex wordt gebouwd, zou dit tot hoge kanaaldijken leiden, die het landschap ontsieren en de kosten verhogen.

Het kanaal heeft een grote lengte en kruist veel infrastructuur (wegen en waterlopen); het legt eveneens een groot beslag op binnendijkse gronden, die aan het landbouwersenaal worden onttrokken. Dit kanaal betekent dus een zeer forse planologische ingreep in het gebied en zal ingrijpender en kostbaarder zijn dan de andere alternatieven.

De aansluiting van het kanaal aan de Waal komt tussen Weurt en Tiel te liggen. Dit betekent dat het scheepvaartverkeer van en naar het Amsterdam-Rijnkanaal zonder omweg van het kanaal gebruik kan maken. Het houdt echter ook in dat het kanaal tussen twee drukke bestaande aansluitingen op de Waal aansluit, hetgeen de verkeersveiligheid niet ten goede zal komen. Verder is te verwachten dat dit kanaal minder scheepvaart aan de sluis te Lith zal onttrekken dan het kanaal van alternatief C, zodat in een later stadium een tweede kolk bij Lith (eerder) nodig kan blijken te zijn.

De alternatieven vertonen verder nog verschillen t.a.v. de scheepvaartonttrekking aan het Maas-Waalkanaal en t.a.v. de vlotheid van verwerken van de verkeersstroom. In hun af-

studeerwerk konkluderen de heren Fassaert en de Schrijver op grond van de resultaten van het door hen gebruikte routekeuze-model, dat een oplossing volgens alternatief B het meest zinvol lijkt. Deze oplossing geeft nl. een grote reductie (50-90%) te zien op de wachttijden bij de sluizen van Lith en St. Andries. Mogelijkheid A hebben ze niet onderzocht, maar verondersteld mag worden dat ook dan de wachttijd bij Lith aanzienlijk korter zal worden. Verder konstateren ze dat een nieuw kanaal volgens alternatief D (en hetzelfde geldt voor alternatief C) veel verkeer zal aantrekken, maar dat zonder de bouw van een 2<sup>e</sup> kolk te Grave de wachttijd aldaar erg hoog zal oplopen (tot gemiddeld 1,5 uur).

Volgens de Vaarwegennota zal de bouw van alleen een tweede kolk te Lith slechts een kleine reductie op het scheepvaartverkeer door het Maas-Waalkanaal tot gevolg hebben (3 mln. ton ofwel 5% in 1985). Door de overige vaarwegverbeteringen, die bij alternatief A ter sprake kwamen, zal de onttrekking echter wel groter kunnen worden. Bij uitvoering van alternatief B is de reductie in het Maas-Waalkanaal 15% van de verwachte verkeersstroom in 1985. De grootste onttrekking wordt volgens de nota bereikt door een nieuw kanaal zoals bij alternatief C beschreven. Er zou dan 11 mln. ton laadvermogen aan het Maas-Waalkanaal en 6 mln. ton aan de sluis te Lith worden onttrokken. Dit betekent een reductie van 20% resp. 40%. Bij deze oplossing wordt ook de sluis van St. Andries met ca. 35% ontlast.

### 3 Keuze alternatief

Kort samengevat kan gesteld worden dat alternatief D niet voor uitvoering in aanmerking komt, vanwege de zeer hoge kosten en de verstreckende gevolgen voor het betrokken gebied. Alternatief B moet afgewezen worden op grond van het feit dat de verkeerssituatie in de kanaalaansluiting op de Waal bij St. Andries door deze oplossing verslechtert (onveiliger). Bovendien is de mogelijkheid B duurder dan de, uit een oogpunt van scheepvaartafwikkeling vergelijkbare, oplossing A.

Van de twee overige alternatieven A en C lijkt de eerste de beste oplossing. Alternatief A heeft t.o.v. alternatief C het voordeel dat het waarschijnlijk goedkoper is en dat het maatschappelijk makkelijker aanvaard zal worden, omdat deze

mogelijkheid voor de omgeving minder ingrijpend is dan het nieuwe kanaal van oplossing C. Alternatief C houdt echter, in tegenstelling tot alternatief A, wel een goede verbinding tussen Maas en Waal in. Tevens mag verwacht worden dat alternatief C meer scheepvaart aan het Maas-Waalkanaal zal onttrekken. Gezien de huidige onzekerheden in de economische en scheepvaart-ontwikkelingen is alternatief A een oplossing met minder risico voor overschatting van de toekomstige scheepvaart in zich dan oplossing C, omdat ook bij gelijkblijvend of iets afnemend scheepvaartverkeer een aantal verbeteringen gewenst zijn, zoals de bouw van een tweede sluis te Lith.

Bij de afdeling Planstudie van de Rijkswaterstaat wordt de mogelijkheid van een scheepvaartroute volgens alternatief A momenteel uitgebreid bestudeerd. Tevens wordt hierbij gekeken naar de geschiktheid voor de vaart met 2-baksduwkonvoeien (afm. 175x11m). In het kader van dit afstudeerwerk is het dus zinnvoller om aandacht te besteden aan de op één na beste mogelijkheid: alternatief C. De uitwerking van deze oplossing zou dan als een alternatief voor het waterstaatsplan gezien kunnen worden.