

waterloopkundig laboratorium
delft hydraulics laboratory

stelsel analyse in het waterbeheer

een verkennende studie

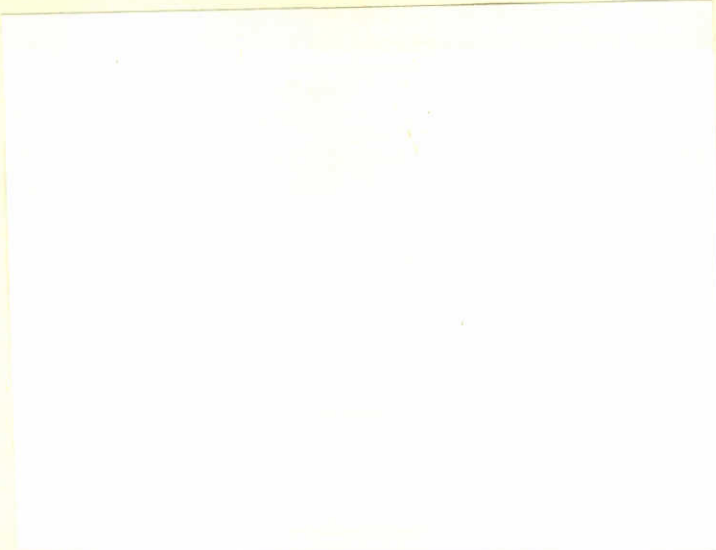
verslag onderzoek

R999

september 1975



Roggg-1



stelsel analyse in het waterbeheer

een verkennende studie

verslag onderzoek

R999

september 1975

INHOUD

LIJST VAN FIGUREN

	blz
<u>1</u>	<u>Inleiding.....</u> 1
1.1	Opdracht..... 1
1.2	Verricht onderzoek, conclusies..... 2
1.2.1	Onderzoek als geheel..... 2
1.2.2	Onderzoek beschikbare gegevens..... 4
1.2.2.1	Waterbehoefte..... 4
1.2.2.2	Schade door watertekort en onvoldoende waterkwaliteit..... 4
1.2.3	Mogelijke L.P.-modellen voor waterbeheerstudies..... 5
1.2.3.1	L.P.-modellen voor kwantitatief waterbeheer..... 5
1.2.3.2	L.P.-modellen voor kwantitatief en kwalitatief waterbeheer..... 5
1.3	Voortzetting onderzoek..... 7
1.3.1	Stand onderzoek..... 7
1.3.1.1	Stand onderzoek schadefuncties..... 7
1.3.1.2	Stand ontwikkeling L.P.-model voor kwantiteitsaspect..... 7
1.3.1.3	Stand ontwikkeling L.P.-model voor kwaliteitsaspect..... 7
1.3.2	Voortzetting onderzoek..... 7
1.3.2.1	Lopend L.P.-model onderzoek..... 7
1.3.2.2	Schadefuncties (en bijbehorend watergebruik)..... 8
1.3.2.3	Lange termijn problematiek..... 8
1.3.2.4	Hydraulisch onderzoek in verband met L.P.-model kwaliteit..... 8
1.3.2.5	Grondwater..... 9
1.3.2.6	Andere optimalisatietechnieken dan L.P..... 9
1.3.2.7	Stochastiek..... 9
1.3.2.8	Andere kwaliteitsparameters dan zout..... 9
1.3.2.9	Voortgezet L.P.-modelonderzoek..... 9
1.4	Samenstelling verslag..... 10
1.5	Uitvoering onderzoek..... 10
<u>2</u>	<u>Uitwerking probleemstelling.....</u> 14
2.1	Verschil tussen de waterverdeling als korte termijn vraagstuk en als lange termijn vraagstuk..... 14
2.1.1	Het dagelijks beheer (korte termijn vraagstuk)..... 14
2.1.2	Modificatie van de infrastructuur (lange termijn vraagstuk).... 15
2.2	Nadere toelichting schadebegrip..... 16
2.2.1	Doorwerking in gehele economie..... 16

2.2.2	Weging van schade per sector.....	17
2.3	Schadecategorieën opgenomen in de studie van het korte-termijn vraagstuk.....	17
2.3.1	Niet beschouwde belangen.....	17
2.3.2	Beschouwde belangen.....	19
2.3.3	Vorm van gekozen schadefuncties.....	20
3	<u>Standaard formulering van Lineair Programmeren (L.P.); toepasbaar- heid voor toewijzing van water met minimale schade.....</u>	21
3.1	Standaard formulering.....	21
3.1.1	Beslissingsvariabelen.....	21
3.1.2	Beperkingen.....	21
3.1.3	Doelstellingsfunctie.....	22
3.1.4	Samenvatting.....	23
3.2	Toepasbaarheid voor toewijzing van water met minimale schade.....	23
3.3	Standaard programma's.....	24
3.4	Gevoeligheidsanalyse, schaduwrijzen.....	24
4	<u>Korte beschrijving infrastructuur.....</u>	26
4.1	Infrastructuur.....	26
4.2	Aanbod van water.....	27
4.3	De vraag naar water.....	28
4.4	Kwantiteit en kwaliteit.....	30
5	<u>Schematisaties ingevoerd bij formulering van optimalisatiepro- bleem.....</u>	31
5.1	Waterkwaliteit.....	31
5.2	Aanbod van water.....	32
5.3	Vraag naar water.....	33
5.3.1	Landbouw.....	33
5.3.2	Binnenscheepvaart.....	34
5.4	Waterinfrastructuur.....	34
5.5	Infrastructuur uitgedrukt in de beperkingen.....	35
5.5.1	Typen beslissingsvariabelen.....	35
5.5.2	Knooppunt.....	36
5.5.3	Reservoir.....	36
5.5.4	Stuw bij Driel.....	37
5.5.5	Rotterdamsche Waterweg.....	38

	blz
6	De gehanteerde schadefuncties..... 40
6.1	De schadefuncties voor land- en tuinbouw..... 40
6.2	De schadefunctie voor de binnenscheepvaart..... 43
6.3	Samenvatting schadecoëfficiënten landbouw en binnenscheepvaart.... 43
7	<u>Verwerken van waterkwaliteit met L.P.-techniek..... 44</u>
7.1	Probleemstelling..... 44
7.2	Toegepaste methode voor in rekening brengen van zout..... 44
7.3	Gewenste aanvulling..... 44
7.4	In rekening brengen van zoutconcentratie in IJsselmeer..... 46
7.4.1	Niet-lineair verloop van zoutconcentratie..... 46
7.4.2	Separable programming..... 47
7.4.3	Iteratief gebruik van standaard L.P.-formulering..... 48
7.5	In rekening brengen van zoutconcentraties in vanuit IJsselmeer ge- voede gebieden..... 49

Appendix A: Bijzonderheden lineair programmeren

1	Lineaire doelstellingsfunctie in vergelijking met niet-lineaire doelstellingsfunctie..... 50
2	Convexe en concave doelstellingsfunctie..... 51
3	Variant van de in paragraaf 2 beschreven procedure..... 53

Appendix B: Uitwerking L.P.-voorbeeld

1	Inleiding..... 55
2	Uitwerking van de vergelijkingen voor de verschillende knooppunten 55
3	Doelstellingsfunctie..... 63

<u>Appendix C: Verloop concentratie in reservoir</u>	64
--	----

LITERATUUR

FIGUREN

LIJST VAN FIGUREN

- 1 : Belangrijkste waterwegen van de waterhuishoudkundige infrastructuur (ontleend aan [2]).
- 2 : Schema infrastructuur t.b.v. LP-berekening.
- 3 : Afvoeren van Rijn en Maas (ontleend aan [2]).
- 4 : Debieten van de IJssel, Nederrijn en Waal als functie van de rivierafvoer van de Boven-Rijn (ontleend aan RWS Dir. Bovenrivieren afd. Studiedienst, figuur no. 73.728).
- 5 : Convexe en concave krommen.
- 6 : Convexe doelstellingsfunctie.
- 7 : Relatie peil IJsselmeer - lozingscapaciteit sluizen Den Oever + Kornwerderzand (ontleend aan RWS Studiedienst Hoorn).

1 INLEIDING

1.1 Opdracht

Tot voor kort werd aangenomen dat in Nederland voldoende water beschikbaar zou zijn voor de komende 35 jaar. Deze verwachting was gebaseerd op waterhoeveelheidsberekeningen voor een critieke referentie periode (5% droge juni maand in 2000). Door het huidige inzicht in het verband tussen de waterhoeveelheid (65% daarvan te leveren door de Rijn) en de waterkwaliteit wordt het waarschijnlijk geacht dat in de nabije toekomst periodiek perioden van schaarste op kunnen treden. Daardoor bestaat de behoefte tot nadere bestudering van materiële zowel als niet-materiële middelen voor het toewijzen van water naar hoeveelheid en kwaliteit. Het doel van deze studie is onder meer:

- na te gaan welke prioriteiten volgorde in de toewijzing van water in perioden van schaarste nationaal economisch gezien de minste schade geeft,
- te onderzoeken of door wijzigingen in de huidige hoofdinfrastructuur een gunstige waterverdeling kan worden verkregen [1] .

Het toewijzen van water zodanig dat de schade door watertekort dan wel door onvoldoende waterkwaliteit wordt geminimaliseerd (of wel de beste schadeverdeling wordt verkregen) kan onder meer worden benaderd als een optimalisatie probleem. Een optimalisatie probleem is spoedig "groot". Bijvoorbeeld, er zijn vaak veel invoergegevens nodig, zoals:

- (i) de waterbehoefte om zonder schade¹⁾ te kunnen werken,
- (ii) welke schade bij welk tekort dan wel bij welke kwaliteit wordt ondervonden.

De oplossing van zulke grote problemen vraagt:

- (iii) het vertalen in wiskundige vorm van nevendoelestellingen, van fysieke, institutionele, administratieve, en andere beperkingen,
- (iv) een techniek om met behulp van de onder (i) en (ii) genoemde informatie die oplossing te kiezen, die inderdaad de minste schade geeft.

1)

Ook het begrip schade dient te worden omschreven.

Bovenstaande overwegingen hebben ertoe geleid dat tijdens een bespreking te Delft (T.H.), dd. 26 november 1974 door de Directie Waterhuishouding en Waterbeweging aan het Waterloopkundig Laboratorium werd opgedragen na te gaan of optimaliseringsmodellen een complementaire rol kunnen vervullen naast simulatiemodellen zoals het waterbalansmodel WAMAMO. Daartoe werd gekozen voor de volgende aanpak:

- (a) een begin maken met het bouwen van een didactisch optimalisatiemodel,
- (b) dit model te richten op het dagelijks beheer van de bestaande infrastructuur,
- (c) de klemtoon te leggen op het leren van normatief modelleren (werken met technische modellen, waarin sociaal-economische doelstellingen expliciet zijn),
- (d) van meet af aan inschakelen van economisch geschoolde onderzoekers,
- (e) een aanvankelijk gebruik van lineair programmeren (L.P.) als optimalisatie-techniek.

1.2 VERRICHT ONDERZOEK, CONCLUSIES

1.2.1 Onderzoek als geheel

Verricht systeemwerk is sterk afhankelijk van de wijze waarop het probleem is geformuleerd. Het specifiek maken van de "gestelde vraag" is essentieel. Het onderzoek-team kwam tot het volgende:

Gestelde vraag

Gegeven:

- (i) de huidige hoofdinfrastructuur en regulatiewerken,
- (ii) de hydrologie (beschikbare hoeveelheid water) voor één jaar,
- (iii) de verwachting dat in de nabije toekomst periodiek perioden van waterschaarste op kunnen treden.

Gevraagd:

- (a) hoe kan Rijkswaterstaat de bestaande infrastructuur zo beheren dat de schade door watertekort dan wel door onvoldoende waterkwaliteit wordt geminimaliseerd (het probleem van het dagelijks beheer),
- (b) door welke modificaties van de infrastructuur kan Rijkswaterstaat met zo groot mogelijk rendement de in de nabije toekomst verwachte periodieke schade beperken (het probleem van de modificatie van de infrastructuur).

Een analyse van de bestaande infrastructuur dient vooraf te gaan aan een studie tot modificatie van die infrastructuur. De onderhavige studie is daarom gericht op het dagelijks beheer (d.w.z. het onder (a) genoemde probleem).

De mogelijkheden van de als eerste optimalisatie methode gekozen L.P.-techniek zijn bekeken voor:

- (i) schade uitsluitend door watertekort (kwantiteitsaspect)
- (ii) schade door watertekort in combinatie met onvoldoende waterkwaliteit ten gevolge van te hoog zoutgehalte (kwantiteitsaspect in combinatie met kwaliteitsaspect).

Andere kwaliteitsfactoren dan zout zijn buiten beschouwing gelaten.

Nagegaan is welke invoergegevens op korte termijn konden worden verkregen als basis voor een illustratief L.P.-rekenvoorbeeld. Hierbij bleek het alleen maar mogelijk, gegeven de korte termijn van onderzoek, ter discussie te stellen het vraagstuk van schade voor landbouw en scheepvaart in situaties van watertekort. Daarom is het L.P.-rekenvoorbeeld beperkt tot een meenemen van deze twee waterbelangen. Het staat niet vast dat hiermee de feitelijk grootste belangen of liever de grootste potentiële schadedragers zijn geïdentificeerd.

Het bovenstaande heeft geleid tot de volgende conclusie:

Conclusie 1: Gegevensbestand watergebruik

- (a) *Zeer veel gegevens zijn nodig voor een realistische kwantitatieve benadering van het probleem om in perioden van waterschaarste het beschikbare water via de infrastructuur zo toe te wijzen dat nationaal economisch gezien de beste schadeverdeling wordt verkregen.*
- (b) *Voor het probleem van het dagelijks beheer zijn gegevens vereist over*
 - (i) *het huidige watergebruik,*
 - (ii) *de schade door watertekort,*
 - (iii) *de schade door onvoldoende waterkwaliteit,*
 - (iv) *de schade door een combinatie van (ii) en (iii).**Deze gegevens zouden nodig zijn voor alle gebruikers (verbruikers).*
- (c) *Het bekijken van het probleem van de modificatie van de infrastructuur vraagt een projectie van de onder (b) genoemde gegevens op de toekomst.*

Niet alleen voor het gegevensbestand maar ook vanuit een economisch en optimalisatie oogpunt is het nodig onderscheid te maken tussen het probleem van het dagelijks beheer en het probleem van de modificatie van de infrastructuur. In het kader van dit onderzoek is dit onderscheid geformuleerd als:

Conclusie 2: Verschillen tussen het probleem van het dagelijks beheer en het probleem van de modificatie van de infrastructuur

- (a) Waterschaarste op korte termijn heeft andere kenmerken dan waterschaarste op lange termijn.
- (b) Voor de oplossing van het korte termijn-schaarste-probleem kan de overheid slechts de schade verdelen (dagelijks beheer).
- (c) Voor de oplossing van het lange termijn-schaarste-probleem kan de overheid maatregelen (doen) treffen, waaronder:
 - (i) modificaties van de infrastructuur,
 - (ii) waterbesparende technieken in bijvoorbeeld het productie proces,
 - (iii) economische regulatie (heffingen, prijs-mechanisme)
 - (iv) administratieve en wettelijke beperkingen.Deze maatregelen zullen als regel complementair dienen te worden toegepast in een optimale beheerssituatie.

1.2.2 ONDERZOEK BESCHIKBARE INVOERGEGEVENS

1.2.2.1 Waterbehoefte

Voor het L.P.-rekenvoorbeeld zijn de invoergegevens ontleend aan het bij WAMAMO behorende gegevensbestand en daarmee voor een deel indirect aan de Nota van de Waterhuishouding.

1.2.2.2 Schade door watertekort en onvoldoende waterkwaliteit

Bij het zoeken van op korte termijn beschikbare schadefuncties is gebleken:

Conclusie 3: Schadefuncties

- (a) Het vaststellen van schadefuncties is de moeilijkste component van deze studie.
- (b) Het vaststellen van schadefuncties voor landbouw en scheepvaart (waaraan in deze studie de meeste aandacht is besteed) vereist
 - (i) resultaten van fundamenteel agrarisch onderzoek
 - (ii) statistisch onderzoek van scheepvaart-marktgegevens.
- (c) Het vaststellen van schadefuncties voor bijv. industrie en huishoudelijk gebruik zal in voortgezet onderzoek nog additionele moeilijkheden brengen vanwege de verborgenheid van industriële productiefuncties en door moeilijk weegbare huishoudelijke belangen.

1.2.3 MOGELIJKE L.P.-MODELLEN VOOR WATERBEHEERSTUDIES

1.2.3.1 L.P.-Modellen voor kwantitatief waterbeheer

Bij beschouwing van *uitsluitend* het kwantiteitsaspect op korte termijn vraagt een optimalisatie model:

- (a) een kwantitatieve doelstellingsfunctie (dit is besproken onder schadefuncties door watertekort)
- (b) wiskundige vertaling van alle systeembeperkingen. Deze beperkingen begrenzen "het domein van de mogelijke waterverdelingen".

In een lineair programmeringsmodel (L.P.-model) dienen de doelstellingsfunctie en de beperkingen lineair te zijn.

Een L.P.-model verschaft het beste alternatief uit het oplossings-domein. Het verschaft tegelijk de door of in het systeem gegenereerde schaduwrijzen. (Schaduwrijzen vertegenwoordigen de "waarde" van incrementele veranderingen van de beperkingen.) De schaduwrijzen zijn invoeren voor de bestudering van het probleem van de modificatie van de infrastructuur.

Als onderdeel van het onderzoek is nagegaan of de beperkingen, die door de infrastructuur worden opgelegd aan de waterverdeling, in lineaire functies kunnen worden uitgedrukt. Daarbij bleek:

Conclusie 4: Gebruik van L.P.-model voor studies van schade door watertekort

Het is mogelijk om met een L.P.-model het probleem van minimalisatie van schade door watertekort te modelleren. (In het te geven voorbeeld zal worden uitgegaan van de in fig. 2 gegeven vereenvoudiging van de infrastructuur.)

Ten overvloede wordt opgemerkt dat een L.P.-model minder detail en precisie vertegenwoordigt dan een simulatiemodel zoals bijvoorbeeld WAMAMO. Het L.P.-model is daarom vooral een middel voor globale exploratie van economisch-technische probleemfacetten.

1.2.3.2 L.P.-Modellen voor kwantitatief en kwalitatief waterbeheer

Bij beschouwing van het kwantiteitsaspect in verband met het dagelijks beheer in combinatie met het kwaliteitsaspect (zout) vraagt een optimalisatie model een uitbreiding van de doelstellingsfunctie en de beperkingen in vergelijking met die voor een optimalisatie model voor *uitsluitend* het kwantiteitsaspect. Het

meenemen van het kwaliteitsaspect vraagt:

- (a) een kwantitatieve-kwalitatieve doelstellingsfunctie (dit is besproken onder schadefuncties door watertekort en door onvoldoende waterkwaliteit)
- (b) wiskundige vertaling van alle systeembeperkingen, inclusief de kwaliteitsbeperkingen.

In een L.P.-model dienen ook de uitbreidingen van de doelstellingsfunctie en de beperkingen lineair te zijn. Dan kan een L.P.-model wederom het beste alternatief uit het oplossings-domein en de bijbehorende schaduwrijzen geven.

In het huidige onderzoek is voorlopig alleen het zout als kwaliteitsparameter bekeken.

Het IJsselmeer treedt op als een zoutbuffer waarin menging optreedt van water dat met verschillende zoutconcentraties in verschillende perioden door de IJssel wordt aangevoerd. Ook in boezemgebieden kan deze bufferwerking optreden. Naast de bufferwerking van het IJsselmeer dient rekening te worden gehouden met het opdringen van zout vanuit zee. In het onderzoek is dit geschied door het opleggen van voldoende grote afvoeren aan bijvoorbeeld de Rotterdamse Waterweg en andere daarvoor in aanmerking komende takken van de infrastructuur om aldus de binnenwateren te vrijwaren van zoutindringing vanuit zee. De daartoe nodige afvoeren zijn ontleend aan het bij WAMAMO behorende gegevensbestand.

Nagegaan is of het verloop van het zoutgehalte in een buffer-reservoir kan worden bepaald als functie van de doorspoeling. De conclusie was:

Conclusie 5: Verloop zoutconcentratie in reservoir

Het verloop van de zoutconcentratie in een reservoir met bufferwerking kan worden bepaald mits van volledige menging in het reservoir mag worden uitgegaan.

Uitgaande van volledige menging in het IJsselmeer is nagegaan of de beperkingen, die door de infrastructuur worden opgelegd aan de waterverdeling, en de bijbehorende zoutverdeling in lineaire functie kunnen worden uitgedrukt. Daarbij bleek het meenemen van de zoutconcentratie tot niet-lineaire verbanden te leiden.

Conclusie 6: Gebruik van L.P.-model voor studies van schade door watertekort en onvoldoende waterkwaliteit

Als zoutbuffer geeft het IJsselmeer niet-lineaire vergelijkingen, die niet zonder meer in een standaard L.P.-model kunnen worden behandeld. Er zijn aanwij-

zingen dat iteratief gebruik van een L.P.-model in combinatie met separable programming hier een oplossing voor biedt. De convergentie van deze methode dient nog te worden onderzocht, in eerste instantie voor het IJsselmeer als geïsoleerd reservoir, in tweede instantie voor het IJsselmeer in samenhang met de in fig. 2 gegeven infrastructuur. Hierbij zal moeten blijken of oplossing met een L.P.-model mogelijk is, dan wel of overgegaan zal moeten worden op het gebruik van andere optimalisatie technieken, waaronder verschillende varianten van dynamisch programmeren.

1.3 VOORTZETTING ONDERZOEK

1.3.1 Stand onderzoek

Het verrichte onderzoek is beperkt tot het operationele (korte termijn probleem). De stand van onderzoek op de belangrijkste onderdelen is als volgt.

1.3.1.1 Stand onderzoek schadefuncties

Het onderzoek van de schadefuncties is het minst gevorderde onderdeel. Er is slechts een aanvang gemaakt met studie van schade voor landbouw en scheepvaart.

1.3.1.2 Stand ontwikkeling L.P.-model voor kwantiteitsaspect

Het is mogelijk om met een L.P.-model het probleem van minimalisatie van schade door watertekort te modelleren. Deze conclusie (conclusie 4) is gebaseerd op:

- (i) het feit dat het stelsel vergelijkingen, dat de door de infrastructuur in de optimalisatie opgelegde beperkingen weergeeft, kon worden opgesteld, (zie appendix B),
- (ii) de beschikbaarheid van standaard computerprogramma's voor de oplossing van dit stelsel vergelijkingen.

Thans wordt gewerkt aan een L.P.-rekenvoorbeeld op basis van deze standaardprogramma's voor de in fig. 2 gegeven vereenvoudiging van de infrastructuur.

1.3.1.3 Stand ontwikkeling L.P.-model voor kwaliteitsaspect

Er zijn aanwijzingen dat iteratief gebruik van een L.P.-model in combinatie met separable programming een oplossing biedt voor het meenemen van de waterkwaliteit (zout). Deze conclusie (conclusie 6) was gebaseerd op een verkenning van dit probleem (zie hoofdstuk 7). De voorgestelde techniek wordt verder onderzocht.

1.3.2 Voortzetting onderzoek

Richtlijnen voor voortzetting van het onderzoek zijn gegeven in tabel 1.1 (bladz. 12 en 13). In tabel 1.1 is aangegeven of de voorgestelde onderzoeken dienen te worden gerekend tot:

(i) project H van het T.O.W. (Toegepast Onderzoek Waterstaat);

dan wel tot:

(ii) het werkterrein van één der in nota 12/74 "Toepassing van systeem analyse in het waterbeheer" voorgestelde projectgroepen.

Hierbij is onderzoek waarbij het accent voornamelijk ligt op het verkennen van de mogelijkheden van methodieken en op principiële aspecten die hierbij een rol spelen, tot het T.O.W. gerekend. Onderzoek waarbij het accent voornamelijk ligt op het verkrijgen en analyseren van de benodigde gegevens is vooralsnog aan de projectgroepen toegekend.

In het vervolg worden de in tabel 1.1 *voorgestelde onderzoeken* kort toegelicht.

1.3.2.1 Lopend L.P.-model onderzoek (onderzoek 1, tabel 1.1)

Deze onderzoeken vormen de afronding van het onderzoek, als aangegeven in par. 1.3.1.2 en par. 1.3.1.3.

1.3.2.2 Schadefuncties (en bijbehorend watergebruik) (onderzoek 2, tabel 1.1)

Een realistische kwantitatieve benadering van het probleem om in perioden van waterschaarste de beste schadeverdeling te verkrijgen vraagt onder meer schadefuncties voor *alle* gebruikers (verbruikers) en gegevens over het bijbehorend watergebruik (conclusie 1). Immers, zonder deze gegevens voor bijvoorbeeld industrie en gezinshuishouding bij benadering te kennen kan niet worden verkend voor welke belangen de potentiële schade het grootst is (zie verder conclusie 3).

Voorstellen tot een eerste onderzoek voor industrie en gezinshuishouding worden gegeven in par. 2.3.1. Voor de industrie wordt voorgesteld uit te gaan van de vijfjaarlijkse enquête die het C.B.S. onder de industrie instelt en waarvan de resultaten voor 1972 onlangs beschikbaar kwamen.

De tot op heden in dit onderzoek gebruikte schadefuncties voor landbouw en scheepvaart kunnen stellig worden gepreciseerd.

1.3.2.3 Lange termijn problematiek (onderzoek 3, tabel 1.1)

De noodzaak tot dit onderzoek volgt uit conclusie 1 en 2. Verdere toelichting wordt gegeven in hoofdstuk 2.

1.3.2.4 Hydraulisch onderzoek in verband met L.P.-model kwaliteit (onderzoek 4 tabel 1.1)

De overwegingen achter deze onderzoeken worden vermeld in par. 7.3 onder (a) en (b).

1.3.2.5 Grondwater (onderzoek 5, tabel 1.1)

De overwegingen achter dit onderzoek worden gegeven aan het slot van par. 4.1.

1.3.2.6 Andere optimalisatie technieken dan L.P. (onderzoek 6, tabel 1.1)

Niet voor alle optimalisatie problemen is L.P. de meest geëigende techniek. Bij het onderzoek van andere methoden kan het probleem van minimalisatie van droogteschade in combinatie met schade door te hoog zoutgehalte als maatstaf worden genomen. Voor ieder deelprobleem dient uiteindelijk de meest geëigende optimalisatie techniek te worden gekozen.

1.3.2.7 Stochastiek (onderzoek 7, tabel 1.1)

Blijkens de gestelde vraag (par. 1.2.1) is de beschikbare hoeveelheid water voor één jaar vooraf bekend verondersteld. Dit impliceert de noodzaak om na te gaan hoe de stochastiek in de optimalisatie te verwerken.

1.3.2.8 Andere kwaliteitsparameters dan zout (onderzoek 8, tabel 1.1)

Op den duur lijkt het niet uitgesloten dat ook andere kwaliteitsparameters dan zout in het onderzoek dienen te worden opgenomen.

1.3.2.9 Voortgezet L.P.-modelonderzoek (onderzoek A, tabel 1.1)

Het lopende L.P.-modelonderzoek is gericht op het minimaliseren van de schade op korte termijn voor scheepvaart en landbouw. Hierbij wordt van globale schadegegevens uitgegaan.

Het voorgestelde onderzoek heeft als doel een gedetailleerdere afweging van alle belangen mogelijk te maken bij het minimaliseren van de schade. Hierbij is het L.P.-modelonderzoek een middel om:

- (i) het belang van de bij het voortgezette onderzoek te verkrijgen resultaten gezien de totale problematiek zichtbaar te maken, en derhalve een middel tot:
- (ii) sturing van dit onderzoek.

1.4 SAMENSTELLING VERSLAG

Het verslag over het verrichte onderzoek is als volgt ingedeeld:

- hoofdstuk 2: analyse van het begrip schade,
- hoofdstuk 3: schets van de standaard L.P.-techniek,
- hoofdstuk 4: korte omschrijving van de waterinfrastructuur,
- hoofdstuk 5: aanduiding hoe de infrastructuur met behulp van de L.P.-techniek kan worden beschreven (kwantiteitsaspect),
- hoofdstuk 6: analyse van de schadefuncties, afleiding van de schadefuncties gebruikt in het L.P.-rekenvoorbeeld (kwantiteitsaspect),
- hoofdstuk 7: verkenning van de wijze waarop de waterkwaliteit (zout) via de L.P.-techniek kan worden verwerkt.

De opzet voor het L.P.-rekenvoorbeeld (kwantiteit) is gegeven in appendix B.

1.5. UITVOERING ONDERZOEK

Het onderzoek is in de periode van januari 1975 tot juni 1975 uitgevoerd door

dr.ir. G. Abraham, Waterloopkundig Laboratorium

ir. J.P. Koenis, Waterloopkundig Laboratorium

drs. G.R. Otten, Nederlands Economisch Instituut

drs. M. Koss, Nederlands Economisch Instituut.

Tijdens het onderzoek vond geregeld werkoverleg plaats met prof.dr.ir. G.H. Toebes, Gasthoogleraar, Technische Hogeschool te Delft, die als adviseur bij het onderzoek was betrokken. Aan dit overleg werd verder deelgenomen door

ir. P. v.d. Kloet, Technische Hogeschool te Delft

ir. J.W. Pulles, Directie Waterhuishouding en Waterbeweging (vanaf maart '75).

Bij de wiskundige formulering van het L.P.-probleem en bij het voorbereiden van de L.P.-berekeningen is medewerking verleend door prof. C.S. ReVelle, Johns Hopkins University, Baltimore, USA, in de eerste helft van 1975 verbonden aan de Erasmus Universiteit te Rotterdam. Zijn bijdrage is verwerkt in de hoofdstukken 3, 5 en 7.

Dit verslag is verzorgd door

dr.ir. G. Abraham, hoofdstukken 1, 3 en 7, appendix A en C

ir. J.P. Koenis , hoofdstukken 4 en 5, appendix B

drs. G.R. Otten , hoofdstukken 2 en 6.

Hoofdstuk 1 is geschreven samen met prof.dr.ir. G.H. Toebes. Paragraaf 1.3 is in concept besproken met de Projectgroep Probleemstelling voor project H van het T.O.W. (Toegepast Onderzoek Waterstaat) tijdens de bespreking dd. 16/6-'75.

TABEL 1.1 VOORTZETTING ONDERZOEK

Deelonderzoek	Organisatie vorm	Uitvoerders
<p>1. <u>Afronding lopend L.P.-modelonderzoek</u></p> <p>1.1 Rekenvoorbeeld kwantiteit</p> <p>1.2 Methodiek kwaliteit</p> <p>1.3 Rekenvoorbeeld kwaliteit</p>	<p>T.O.W. (H) ¹⁾</p> <p>T.O.W. (H)</p> <p>T.O.W. (H)</p>	<p>W.L. (N.E.I.)</p> <p>W.L. (N.E.I.)</p> <p>W.L. (N.E.I.)</p>
<p>2. <u>Schadefuncties (bijbehorend watergebruik)</u></p> <p>2.1 Omschrijving begrip schade</p> <p>2.2 Industrie</p> <p>2.3 Huishoudelijk gebruik</p> <p>2.4 Landbouw</p> <p>2.5 Scheepvaart</p> <p>p.m Recreatie</p>	<p>T.O.W. (H)</p> <p>T.O.W. (H)</p> <p>T.O.W. (H)</p> <p>-</p> <p>T.O.W. (H)</p> <p>-</p>	<p>N.E.I.</p> <p>N.E.I.</p> <p>N.E.I. (R.I.D.)</p> <p>I.C.W. (N.E.I.)</p> <p>N.E.I. (R.W.S.)</p> <p>-</p>
<p>3. <u>Lange termijn problematiek</u></p> <p>3.1 Ontwikkeling van vraag naar water, invloed prijsmechanisme daarop</p> <p>3.2 Rendement en kosten waterbesparende methodieken</p> <p>3.3 Economische regulatie (heffingen)</p> <p>3.4 Lange termijn effecten in schadefuncties</p> <p>3.5 Gewichtstoekenning aan componenten van totale schade</p> <p>3.6 Wettelijke en administratieve beperkingen</p>	<p>projectgroep economie,</p> <p>projectgroep maatschappelijke, wettelijke, politieke zaken</p>	
<p>4. <u>Hydraulisch onderzoek voor L.P.model (kwaliteit, zout)</u></p> <p>4.1 Minimum afvoeren Rotterdamse Waterweg, Noordzeekanaal, etc.</p> <p>4.2 Zoutgedrag IJsselmeer</p> <p>4.3 Zoutgedrag boezemwateren</p>	<p>projectgroep hydraulica en hydrologie,</p> <p>(T.O.W., project B)</p>	

TABEL 1.1 (vervolg)

Deelonderzoek	Organisatie vorm	Uitvoerders
5. <u>Grondwater</u> Methodiek voor opnemen grondwater in optimalisatie probleem	T.O.W. (H)	W.L. (N.E.I.)
6. <u>Andere optimalisatie technieken dan L.P.</u> Verkenning mogelijkheid andere technieken	T.O.W. (H)	W.L. (N.E.I.)
7. <u>Stochastiek</u> 7.1 Methodiek voor opnemen stochastiek in optimalisatie probleem 7.2 Analyse aanbod van water	T.O.W. (H) projectgroep hydraulica en hydrologie	W.L. (N.E.I.)
8. <u>Andere kwaliteitsparameters dan zout</u> 8.1 Methodiek voor opnemen andere kwaliteitsparameters in optimalisatie probleem 8.2 Kenmerken andere kwaliteitsparameters	T.O.W. (H) projectgroep waterkwaliteit en ecologie	W.L. (N.E.I.)
A. <u>L.P.-modelonderzoek ("alle" belangen)</u> A.1 integratie resultaten van onderzoek A.2 sturing onderzoek	projectgroep probleemstelling, projectgroep integratie	

1) Betekenis van de afkortingen:

- T.O.W. : Toegepast Onderzoek Waterstaat
W.L. : Waterloopkundig Laboratorium
N.E.I. : Nederlands Economisch Instituut
R.I.D. : Rijksinstituut voor Drinkwatervoorziening
I.C.W. : Instituut voor Cultuurtechniek en Waterhuishouding
R.W.S. : Rijkswaterstaat.

2 UITWERKING PROBLEEMSTELLING

2.1 Verschil tussen de waterverdeling als korte-termijnvraagstuk en als lange-termijnvraagstuk

In een situatie van waterschaarste overtreft de vraag naar water, uitgeoefend door het totaal van alle ge- en verbruikers, het aanbod (vraag en aanbod beide in m^3 water per tijdseenheid, waarbij beide gesommeerd zijn over alle punten in het beschouwde studiegebied). Doet zich dan de situatie voor, dat de waterinfrastructuur met haar regelmogelijkheden aan de waterbeheerder de gelegenheid biedt de op zeker tijdstip beschikbare hoeveelheid water in variërende hoeveelheden aan de diverse vragers/gebruikers toe te wijzen, dan is er sprake van een economisch keuzeprobleem. Immers, de toewijzing zal zodanig moeten plaatsvinden dat:

- a. rekening wordt gehouden met de economische belangen der gebruikers die met elkaar concurreren om het beschikbare water;
- b. de kosten in aanmerking worden genomen die met het ter beschikking stellen van een kwantum water op een bepaalde plaats gepaard gaan.

Van groot belang is de vraag of men de probleemstelling van de waterschaarste beziet als korte- dan wel lange-termijnvraagstuk. Het probleem blijkt namelijk in de twee situaties verschillend gestructureerd te zijn en daarmee ook een verschillende aanpak noodzakelijk te maken.

2.1.1 Het dagelijks beheer (korte-termijnvraagstuk)

Bij waterschaarste op korte termijn wordt gedacht aan een situatie waarin het aanbod de vraag slechts gedurende korte tijd onderschrijft, bijvoorbeeld gedurende de zomermaanden in een 90% droog jaar. Hoewel een dergelijk verschijnsel zich met een zekere regelmaat voordoet (in dit geval gemiddeld eens in de tien jaar), is het denkbaar dat sommige gebruikers de kosten van compenserende voorzieningen zoals spaar- en regenbekkens, waterzuiverings- en beregeningsinstallaties en dergelijke in relatie tot de daarmee te bereiken baten (die zich eens in de tien jaar voordoen) te hoog vinden en derhalve die voorzieningen niet treffen. Sommige gebruikers als de binnenscheepvaart zijn uiteraard zelfs niet tot een dergelijke afweging in staat.

Hoe het ook zij, de met een zekere frequentie voorkomende perioden van kortdurende waterschaarste blijken hierdoor gekenmerkt, dat vraag en aanbod als gegeven en niet aan elkaar gelijk te maken moeten worden beschouwd. De hier-

uit voortvloeiende schade dan wel opbrengstderving, hoezeer ook te klein geacht om compenserende maatregelen te rechtvaardigen, wettigt het zoeken naar een methodiek die de verdeling van het aanbod op een economisch juiste wijze laat geschieden.

Het dagelijks beheer van de bestaande infrastructuur bestaat in feite uit het oplossen van het korte-termijnvraagstuk. De oplossing hiervan heeft een hoog rendement, aangezien de marginale kosten van optimale distributie praktisch nul zullen zijn. De waterinfrastructuur en de beheersstructuur zijn in deze omstandigheden gegeven en de enige extra kosten die gemaakt worden zijn die van de bediening van een stuw, inlaatwerken en uitlaatwerken.

2.1.2 Modificatie van de infrastructuur (lange-termijnvraagstuk)

De waterschaarste op lange termijn heeft als kenmerk dat zowel vraag als aanbod zich op een dergelijke situatie kunnen voorbereiden, aan de vraagzijde bijvoorbeeld door het ontwikkelen en toepassen van waterbesparende technieken in het industriële productieproces; het investeren in waterregenererende installaties (recycling); bezuinigingen op het gebruik en verbruik van water daartoe gestimuleerd door verhoging van de prijs van het water. Aan de aanbodzijde kan de aanpassing aan de te verwachten schaarsteverhoudingen tot stand worden gebracht door investering in reservoirs dan wel in capaciteitsverhoging van bestaande bekkens, het in gebruik nemen van installaties die zoet uit zout water maken, en dergelijke. Bovendien staat, net als bij waterschaarste op korte termijn, dan ook nog het instrument van de waterdistributie ter beschikking.

Naast het al genoemde kenmerk van de lange-termijnschaarste dat het aantal instrumenten ter bereiking van een evenwicht tussen vraag en aanbod talrijker is, zou nog kunnen worden vermeld dat het kwaliteitsaspect van het water waarschijnlijk een grotere betekenis gaat krijgen. Daardoor zou de toekomst wel eens meer een kwaliteits- dan een kwantiteitstekort te zien kunnen geven, tenzij in het internationale vlak overeenstemming wordt bereikt over een terugdringen van de vervuiling van de Rijn.

Voor het vaststellen van de grootte van toekomstige tekorten aan water in kwantitatieve en kwalitatieve zin, zijn uitgebreide vraagstudies noodzakelijk. Deze zullen moeten uitwijzen enerzijds wat de te verwachten ontwikkeling in de behoefte aan water bij bevolking, industrie en landbouw is bij een eventuele verdere groei van deze sectoren, anderzijds behoren deze studies aan te geven hoe gevoelig deze vraagcategorieën zijn voor het introduceren van het prijsmechanisme. Immers, toepassing van het prijsmechanisme lijkt onvermijdelijk in het

licht van de waarschijnlijk grote investeringsbedragen die in de toekomst benodigd zullen zijn op het terrein van de watervoorziening. Met een onvergankelijk goed als het water, zal er fysisch nooit een tekort zijn aan water. Economisch gesproken is er wel een tekort, indien de gevraagde hoeveelheid water groter is dan de bij een bepaalde prijs aangeboden hoeveelheid.

2.2 Nadere toelichting schadebegrip

2.2.1 Doorwerking in gehele economie

Schade moet worden opgevat als de kosten die nationaal-economisch ontstaan, indien aan de vraag naar water uitgeoefend door de gebruikers niet dan wel niet geheel wordt voldaan. Daarbij dient men zich het water als een van de "inputs" in het productieproces voor te stellen, bij tekort waarvan gedurende enige tijd de productie terugvalt tot een niveau dat correspondeert met de nog aanwezige hoeveelheid water. Het wegvallen van een stuk productie betekent het teloorgaan van toegevoegde waarde, hetgeen als nationaal-economisch verlies mag worden gewaardeerd. Strikt genomen is de gelijkstelling in nationaal-economische zin van productie en toegevoegde waarde niet juist, aangezien de productiewaarde in de regel nog een gecumuleerde importcomponent bevat, die wegvalt indien de productie voor langere tijd moet worden stopgezet. Ook dient rekening te worden gehouden met de interdependenties die er tussen de bedrijfstakken bestaan en welke zichtbaar worden uit de input-outputtabel. Het is immers zo, dat voor de onderscheiden belangengroepen het niet voldoen aan de vraag naar water tot gevolg heeft een overeenkomstig verlies aan productie (op grond van de voor dit onderzoek veronderstelde oorspronkelijke inputcoëfficiënten). De hieruit voortvloeiende inkomensdaling zal via bijv. de bestedingen de finale vraag naar de producten van alle bedrijfstakken beïnvloeden. Wat voor gevolgen dit heeft in termen van productieverlies voor de gehele economie, is vast te stellen met behulp van de input-outputtabel voor Nederland, vooropgesteld dat de inkomenselasticiteiten van de vraag naar eindproducten bekend zijn.

Bovenstaande overwegingen gelden in het bijzonder voor het lange-termijnvraagstuk. Voor het korte-termijnvraagstuk is het verwaarlozen van de invoer en het verwaarlozen van de doorwerking van de schade voor één belangengroep in de gehele economie aanvaardbaar als eerste benadering.

2.2.2 Weging van de schade per sector

Een ander aspect van het schadebegrip is de vraag of de per sector gevonden schadebedragen ongewogen gesommeerd mogen worden. Daarbij wordt aan de schade voor iedere sector het gewicht één toegekend. Afhankelijk van de beleidsdoel-einden van de overheid kan het noodzakelijk zijn aan de schade van de verschil-lende sectoren ongelijk gewicht toe te kennen om bijvoorbeeld de volgende redenen:

- gevolgen voor de inkomensontwikkeling per regio;
- gevolgen voor de werkgelegenheid;
- externe effecten;
- betalingsbalanseffecten.

Net als in het geval van de verwaarlozing van de onderlinge samenhangen tussen de bedrijfstakken, kan ten aanzien van de bovengenoemde aspecten worden opgemerkt dat deze pas aan betekenis winnen indien er sprake zou zijn van een structurele en dus permanente situatie van waterschaarste. Voor het korte-termijnvraagstuk (het dagelijks beheer) spelen ze niet meer dan een theoretische rol.

2.3 Schadecategoriën opgenomen in de studie van het korte-termijnvraagstuk

De gegeven opdracht was beperkt tot het operationele probleem (het dagelijks beheer), waarin de volgende gebruikers (verbruikers) van water schade kunnen ondervinden van een tijdelijk tekort:

- landbouw;
- industrie;
- gezinshuishoudingen;
- recreatie;
- scheepvaart;
- het milieu.

In de gepresenteerde studie zijn in de schade-minimalisatie voorlopig slechts twee gebruikerscategoriën in aanmerking genomen, namelijk landbouw en binnen-scheepvaart. De redenen voor het voorlopig buiten beschouwing laten van de overige gebruikers zijn hieronder gegeven.

2.3.1 Niet beschouwde belangen

Industrie

Tijdens het onderzoek is gebleken dat heden ten dage nog te weinig inzicht bestaat in de rol die het water in het productieproces speelt en wat de eisen

zijn die aan de kwaliteit van het water gesteld worden. Doel van een mogelijke voortzetting van deze studie zal dan ook moeten zijn het empirisch vaststellen van de productiefunctie per bedrijfstak. Dit is de functie die het verband beschrijft tussen product enerzijds en de inzet van de productiefactoren arbeid en kapitaal en grond- en hulpstoffen anderzijds. Een dergelijk onderzoek zou bijv. kunnen worden ondernomen op basis van de vijfjaarlijkse enquête die het CBS onder de industrie instelt en waarvoor de resultaten voor 1972 onlangs beschikbaar kwamen.

Gezinshuishoudingen

Wat gezegd is ten aanzien van de industrie, geldt min of meer ook voor deze sector. Met name een achteruitgang in de kwaliteit, die zich met handhaving van de gezondheidseisen manifesteert in een achteruitgang van de smaak, is in zijn effect op het welzijnsbevinden van de mens nog onbekend. Een terrein van onderzoek wordt wellicht daar geboden waar de waterleidingbedrijven zijn overgegaan tot bemetering, zodat mogelijkerwijs vraagfuncties kunnen worden geschat.

Recreatie

De recreatie legt eisen op aan de kwaliteit van het water. Aangezien de invloed van doorspoeling op veranderingen in de kwaliteit nog niet expliciet meegenomen wordt, is dit belang niet expliciet gewogen. Bovendien is er nog weinig kwantitatief bekend over de relatie tussen de kwaliteit van het oppervlaktewater en de schade voor milieu en recreatie.

Hoewel aldus op directe wijze bij de schade-minimalisatie met de hierboven aangeduide belangen geen rekening is gehouden, is dat ten dele wel gedaan op indirecte wijze door het werken met zogenaamde "beperkingen", d.w.z. drempelwaarden ten aanzien van afvoeren van rivieren, kanalen en gemalen die bij de optimalisatie niet onderschreden dienen te worden. Hiermee worden de belangen van bijv. waterleidingbedrijven en het milieu tot uitdrukking gebracht. Hoewel in principe onjuist, omdat hiermede a priori aan belangen voorrang wordt gegeven en zodoende buiten het afwegingsproces worden gehouden, is hiertoe besloten, zolang geen inzicht bestaat in de omvang van de schade die bij onvoldoende watervoorziening bij waterleidingbedrijven en milieu optreedt.

Verziltingsbestrijding

Het belang van de verziltingsbestrijding is eveneens op indirecte wijze in rekening gebracht door het opleggen van drempelwaarden aan bijv. de afvoer van

de Rotterdamsche Waterweg en het doorspoeldebiet van boezemwateren.

2.3.2 Beschouwde belangen

De landbouw in de verschillende regio's kon globaal worden opgenomen in een optimalisatieprocedure. Het verrichte onderzoek heeft nog niet geleid tot een voldoende inzicht in de scheepvaartproblematiek.

Landbouw

In de ter beschikking staande literatuur wordt melding gemaakt van onderzoeken naar de gevolgen van droogte voor de landbouwopbrengst. Bovendien is aandacht geschonken aan de invloed van het Cl^- -gehalte. Uit deze literatuur kon op korte termijn globale schadegegevens worden ontleend. Daarmee wil echter niet gezegd zijn dat nu reeds het verrichte onderzoek gebaseerd is op een afdoend inzicht in de samenhang tussen de toevoer van water en de fysieke opbrengst in land- en tuinbouw. Het probleem wordt nog complexer door het inverse verband tussen hoeveelheid water en chlorionenconcentratie. Waar ook hier naar moet worden gestreefd is het bepalen voor land- en tuinbouw van de productiefunctie, die fysieke opbrengst verklaart uit een reeks productiefactoren, waarvan de hoeveelheid en kwaliteit water er één is. Het is duidelijk dat hiervoor de hulp moet worden ingeroepen van landbouwdeskundigen.

Scheepvaart

De aanleiding tot het onderscheiden van deze categorie is gelegen in het feit dat de binnenscheepvaart bij een gegeven beladingsgraad een minimum vaardiepte benodigt. Wordt aan deze voorwaarde niet voldaan, dan moet de beladingsgraad aangepast worden, hetgeen in de regel een inkomensderving betekent. Deze inkomensderving vormt een schadecomponent. Een tweede schadecomponent is gekoppeld aan het feit dat bij lage rivierstanden derving van vervoerscapaciteit plaatsvindt (de hoeveelheid goederen die één schip kan vervoeren neemt af). Het beschikbaar stellen van vervangende vervoerscapaciteit betekent nationaal economisch meerdere kosten en dus schade, indien althans geen overcapaciteit aanwezig is. Het beschikbaar stellen van vervangende vervoerscapaciteit vormt een tweede schadecomponent.

Tijdens het onderzoek is voorlopig slechts gekeken naar de eerste schadecomponent voor zover het vervoer op de IJssel betreft. Hiervan is nog geen volledig beeld van de schadefunctie beschikbaar. De rapportering over het verrichte onderzoek wordt daarom uitgesteld.

2.3.3 Vorm van gekozen schadefuncties

Met behulp van de in bovenstaande paragraaf genoemde gegevens zijn de schadebedragen van de land- en tuinbouw en binnenscheepvaart als volgt bepaald:

$$S_{i;t} = T_{i;t} \cdot \alpha_{i;t} \quad (2.5)$$

waarbij: $S_{i;t}$: schade voor gebruiker i gedurende periode t
 $T_{i;t}$: watertekort voor gebruiker i gedurende periode t
 $\alpha_{i;t}$: schade-coëfficiënt voor gebruiker i gedurende periode t.

Het tekort is het verschil tussen vraag en aanbod van een bepaalde gebruiker.
In formule:

$$T_{i;t} = V_{i;t} - Q_{i;t} \text{ als } V_{i;t} > Q_{i;t} \quad (2.6)$$

waarbij: $V_{i;t}$: vraag naar water van gebruiker i gedurende periode t
 $Q_{i;t}$: hoeveelheid water die toegewezen wordt aan gebruiker i gedurende periode t.

Een en ander is uitgewerkt in hoofdstuk 6.

Als opgave voor de optimalisering is gesteld het beschikbare water zo toe te wijzen dat de totale schade minimaal is. In formule geeft dit:

$$\text{Minimaliseer } \sum_t \sum_i S_{i;t} = \sum_t \sum_i (T_{i;t} \cdot \alpha_{i;t})$$

Dit betekent dat de gewichten die aan de $\alpha_{i;t}$ zijn toegekend, één bedragen. Deze kunnen echter bij verdere studie en afhankelijk van de beleidsdoeleinden van de overheid van één afwijken.

3.1 Standaard formulering

In een L.P.-probleem wordt onderscheiden :

- beslissingsvariabelen,
- beperkingen, en
- doelstellingsfunctie.

3.1.1 Beslissingsvariabelen

Beslissingsvariabelen, X_i , zijn grootheden waaraan bij de te nemen beslissingen een getalwaarde moet worden toegekend. In de Nederlandse Waterhuishouding zijn mogelijke beslissingsvariabelen: de hoeveelheid water, die in een gegeven maand via de IJssel naar het IJsselmeer wordt geleid, de hoeveelheid water die in een gegeven maand in het IJsselmeer wordt geborgen, etc.

3.1.2 Beperkingen

De beperkingen zijn relaties waaraan de beslissingsvariabelen dienen te voldoen. In de L.P.-techniek dienen deze relaties lineair te zijn en kunnen zij van de vorm van de volgende gelijk- dan wel ongelijkheden worden gegeven

$$a_{1,1} X_1 + a_{1,2} X_2 + \dots + a_{1,n} X_n = b_1, \quad (3.1)$$

$$a_{2,1} X_1 + a_{2,2} X_2 + \dots + a_{2,n} X_n \geq b_2, \quad (3.2)$$

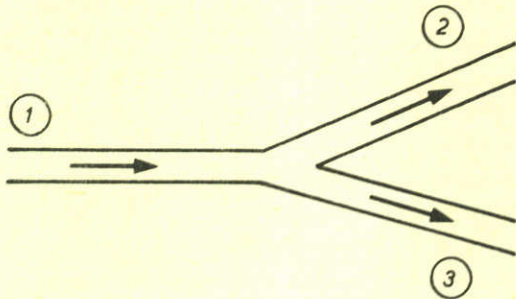
of

$$a_{3,1} X_1 + a_{3,2} X_2 + \dots + a_{3,n} X_n \leq b_3 \quad (3.3)$$

waarin

- $X_1, X_2 \dots X_n$: beslissingsvariabelen (X_i , aantal n)
- $a_{1,1} \dots a_{3,n}$: coëfficiënten ($a_{i,i}$)
- $b_1, \dots b_n$: rechter lid van de beperking, bestaande uit constante (gegeven) grootheden.

Voorbeelden



Bij beschouwing van de in nevenstaande figuur gegeven riviersplitsing geldt dat het debiet in de bovenstroomse tak 1 gelijk is aan de som van de debieten in de benedenstroomse takken 2 en 3. In geval de debieten door deze takken beslissingsvariabelen zijn (X_1 : debiet door tak 1, X_2 : debiet door tak 2, etc.)- dienen deze beslissingsvariabelen te voldoen aan de beperking

$$X_1 - X_2 - X_3 = 0 \quad (3.4)$$

Dient de rivierafvoer bovenstrooms van het splitsingspunt boven een gegeven ondergrens, $X_{1,\min}$, te blijven dan geldt

$$X_1 \geq X_{1,\min} \quad (3.5)$$

Evenzo geldt indien de afvoercapaciteit van de rivier begrensd is tot $X_{1,\max}$

$$X_1 \leq X_{1,\max} \quad (3.6)$$

Vgl. 3.4, 3.5 en 3.6 zijn beperkingen als weergegeven door vgl. 3.1, 3.2 en 3.3.

De L.P.-techniek stelt verder als beperking dat het probleem zo geformuleerd moet worden dat alle beslissingsvariabelen positieve grootheden zijn

$$X_i \geq 0 \quad (3.7)$$

3.1.3 Doelstellingsfunctie

Het doel van de beslissingen wordt in een doelstellingsfunctie geformuleerd. Hiertoe wordt het gevolg van de beslissingen als functie van de beslissingsvariabelen uitgedrukt, bijvoorbeeld

$$Z = f (X_1, X_2, \dots, X_n) \quad (3.8)$$

waarin

Z : het resultaat van de beslissingen; bijvoorbeeld de grootte van de bij water toewijzing veroorzaakte baten.

Het doel van de beslissingen is dan het toekennen van zodanige getalwaarden aan de beslissingsvariabelen dat de waarde van de grootte Z minimaal dan wel maximaal is (de minimale waarde van Z dient te worden gevonden als Z de veroorzaakte schade is; de maximale waarde als de baten in Z worden uitgedrukt).

In de L.P.-techniek dient de doelstellingsfunctie een lineaire functie van de beslissingsvariabelen te zijn,

$$Z = c_1 X_1 + c_2 X_2 + \dots + c_n X_n \quad (3.9)$$

waarin

$c_1, c_2 \dots c_n$: coëfficiënten (c_i , aantal n)

3.1.4 Samenvatting

In standaardvorm luidt nu een L.P.-probleem:

Zoek minimum dan wel maximum van Z, volgens vgl. 3.9 bij beperkingen volgens vgl. 3.1, 3.2 en 3.3.

Volgens vgl. 3.9 dient de doelstellingsfunctie lineair te zijn.

3.2 Toepasbaarheid voor toewijzing van water met minimale schade

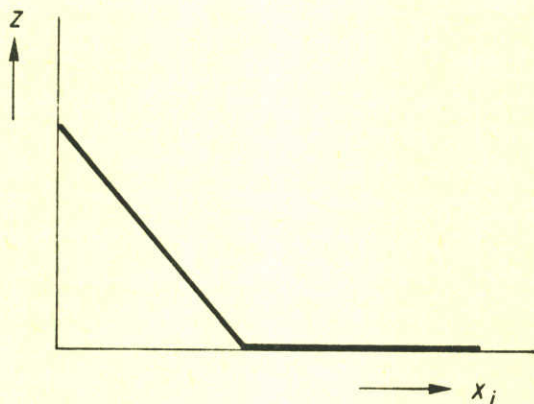
Toepassing van de L.P.-techniek voor toewijzing van water met minimale schade is mogelijk door de debieten door de takken van de Nederlandse water-infrastructuur als beslissingsvariabelen in te voeren. De waterbeweging door de infrastructuur wordt dan eenduidig bepaald door het toekennen van getalwaarden aan deze beslissingsvariabelen. Hiermee is tevens het watergebruik per knooppunt eenduidig vastgelegd als het verschil in debiet tussen de aanvoerende en afvoerende takken.

Noodzakelijke voorwaarden voor toepassing van de L.P.-techniek zijn hierbij dat (i) de waterbeweging door de infrastructuur met de beperkingen (volgens vgl. 3.1, 3.2 en 3.3) kan worden beschreven.

(ii) de schade door gebrek aan water kan worden uitgedrukt als lineaire functie van het debiet in de aan- en afvoerende takken.

De in paragraaf 3.1.2 gegeven voorbeelden maken het aannemelijk dat aan de eerste voorwaarde kan worden voldaan. Dat dit inderdaad het geval is volgt uit hoofdstuk 5, waarin de waterbeweging door de gekozen infrastructuur in de beperkingen is uitgedrukt. (zie ook appendix B).

De schade door gebrek aan water (Z) uitgedrukt in de debieten van de takken (X_i) is veelal een concave functie. Nevenstaande figuur geeft bijvoorbeeld



een eerste benadering van de schade voor de scheepvaart door onvoldoende diepgang (Z) als functie van het debiet (X_i). De functie $Z(X_i)$ is geknikt omdat boven een bepaald debiet de vaardiepte zo groot is dat geen schade wordt ondervonden.

Geknikte doelstellingsfuncties kunnen onder zekere voorwaarden via de standaard L.P.-techniek worden behandeld naar is aangetoond in

appendix A. Hierdoor is het mogelijk te voldoen aan de tweede voorwaarde.

3.3 Standaard programma's

Voor de oplossing van een L.P.-probleem zijn standaard computer programma's beschikbaar. Deze laten het toe problemen te behandelen met in orde 5000 beslissingsvariabelen en 2000 beperkingen.

Andere technieken voor optimalisatie onder beperkende voorwaarden laten een even groot aantal beslissingsvariabelen en beperkingen niet toe. (Zie appendix A).

3.4 Gevoeligheidsanalyse, schaduwrijzen

De in paragraaf 2.3 genoemde standaard programma's laten het onder meer toe

om de bij de optimale combinatie van aan de beslissingsvariabelen toegekende waarden te bepalen de grootte van de differentiaal quotiënten

$$\frac{\partial Z}{\partial b_i} = W_i \quad (3.10)$$

waarin

W_i : schaduwprijs van b_i

W_i geeft aan de verandering in Z bij optimale condities gepaard gaande met een verzwakking van de beperking b_i . W_i wordt daarom aangeduid als de schaduwprijs van de beperking b_i .

Uit vergelijking van de waarden W_i behorende bij de verschillende beperkingen b_i kan volgen welke beperking de grootste invloed heeft op de waarde van Z bij optimale condities. Verzwakking van deze beperking geeft de grootste verbetering. De L.P.-techniek is derhalve een middel voor het vaststellen van een strategie tot verbetering. De schaduwrijzen zijn invoeren bij de besturing van de modificatie van de infrastructuur.

4 KORTE BESCHRIJVING INFRASTRUCTUUR

In dit hoofdstuk zal een beschrijving van de waterhuishoudkundige infrastructuur van Nederland worden gegeven voor zover nodig voor dit onderzoek. Naast de infrastructuur zal aandacht besteed worden aan het aanbod van en de vraag naar water. Tenslotte wordt ingegaan op de aspecten kwantiteit en kwaliteit.

4.1 Infrastructuur (zie fig. 1)

De infrastructuur bestaat uit een stelsel van waterwegen (rivieren, kanalen en beken) met enkele reservoirs (meren). Op verschillende plaatsen in de infrastructuur bestaan regelmogelijkheden voor de verdeling van het water, de afname van water en het lozen van water op de waterwegen.

De belangrijkste aanvoer-waterwegen zijn de Rijn en de Maas.

Een gedeelte van het water van de Rijn stroomt via de IJssel naar het IJsselmeer. De rest stroomt naar het westen via de Waal en de Nederrijn. De verdeling van het water over de IJssel en de Waal en Nederrijn kan binnen zekere grenzen beïnvloed worden door de stuw bij Driel.

In het westen stroomt het water van de Maas samen met een gedeelte van het water van de Rijn ter plaatse van de Biesbosch en het Hollands Diep. Via de Volkeraksluizen kan een gedeelte van dit water naar het zuiden gestuurd worden. Een gedeelte van het water wordt hier en elders voor verschillende doeleinden verbruikt en dus onttrokken aan de waterwegen. De rest van het water stroomt naar zee via de Rotterdamsche Waterweg en de Haringvlietsluizen.

Naast het water dat via de IJssel naar het IJsselmeer stroomt, kan er ook via het Amsterdam-Rijnkanaal een beperkte hoeveelheid water van de Rijn in de richting van het IJsselmeer gestuurd worden. Dit water wordt aan de Lek onttrokken in de buurt van Culemborg of aan de Waal in de buurt van Tiel.

Het water van het Amsterdam-Rijnkanaal stroomt voornamelijk via het Noordzeekanaal naar de Noordzee samen met doorspoelwater van de poldergebieden van Noord- en Zuid-Holland.

Het water dat naar het IJsselmeer stroomt kan daar ter plaatse geborgen worden, verbruikt worden door de omliggende poldergebieden of door andere verbruikers. Het overtollige water kan worden afgevoerd gedeeltelijk via het Noordzeekanaal en verder door de spuisluizen in de Afsluitdijk naar de Waddenzee.

Vorenstaande is een zeer globale schets van de weg die het water van de Rijn en de Maas volgt door Nederland. Meer informatie over de infrastructuur en de waterverdeling is te vinden in [2] .

Tijdelijk kan een gedeelte van het water dat door Nederland stroomt opgeslagen worden in reservoirs. Het belangrijkste reservoir wordt gevormd door het IJsselmeer. Afhankelijk van de oplossing voor de Oosterschelde bestaat de mogelijkheid voor een zoet-water reservoir in Zeeland. Beide reservoirs kunnen in de huidige infrastructuur slechts lokaal voor extra water zorgen. Transport naar elders in Nederland (bijv. van IJsselmeer naar Midden-West-Nederland) is via de nu bestaande waterwegen en bij de huidige in- en uitlaatmogelijkheden niet te realiseren.

Hoewel de regelmogelijkheden beperkt zijn kan de verdeling van het beschikbare water over de lage gebieden van Nederland (zie fig. 1) beïnvloed worden door de stuw bij Driel, de spuisluizen in de Volkerakdam, de Haringvlietsluizen, de inlaatmogelijkheden van het Amsterdam-Rijnkanaal, de spuisluizen bij IJmuiden en in de Afsluitdijk en door de in- en uitlaatwerken van de verschillende poldergebieden.

In bovenstaande is alleen gekeken naar het oppervlaktewater. Naast het transport van water door de open waterwegen vindt transport van water plaats via het grondwater, speciaal in de hogere gronden van Nederland. Er bestaat een wederzijdse beïnvloeding tussen grondwater en oppervlaktewater.

Grofweg geschetst wordt het grondwater van de hoge gronden gevoed door het regenwater. Een gedeelte van dit grondwater stroomt direct of via beekjes naar het oppervlaktewater. Een gedeelte wordt lokaal door de vegetatie verbruikt voor verdamping of gewonnen voor ander doeleinden zoals drink- en industriewater. Indien de grondwaterspiegel lager is dan het niveau van het oppervlaktewater, dan wordt het grondwater tevens gevoed vanuit het oppervlaktewater. Dit doet zich vooral voor in de lage gebieden van Nederland.

Gezien het bovenstaande dient het grondwater in eerste instantie te worden betrokken in beschouwingen over de water-infrastructuur en waterbalansen.

4.2 Aanbod van water

Het in Nederland beschikbare water wordt geleverd door de grote rivieren, door regenval en door een aantal kleinere riviertjes en beken. Daarnaast wordt op verschillende plaatsen grondwater verbruikt.

De Rijn voert de grootste hoeveelheid water naar en door Nederland. De afvoer van de Rijn wordt bepaald door de volgende factoren in het stromingsgebied:

- neerslag
- smelten van sneeuw en ijs
- afstroming van grondwater.

De afvoer van de Maas, die qua orde van grootte een factor 10 lager is dan die van de Rijn, wordt voornamelijk bepaald door neerslag in het stromingsgebied.

In figuur 3 wordt het verloop over het jaar weergegeven van de maandgemiddelden van de afvoer van Rijn en Maas uit de periode 1901 tot en met 1967.

De afvoer van de kleine rivieren die buiten Nederland hun oorsprong vinden voeren gemiddeld per jaar ongeveer $80 \text{ m}^3/\text{s}$ af, d.i. ongeveer een factor 3 à 4 kleiner dan de Maas. De riviertjes die op Nederlands grondgebied ontspringen voeren ongeveer $30 \text{ m}^3/\text{s}$ gemiddeld per jaar af naar het IJsselmeer.

Een andere bron van water is de neerslag. Een gedeelte van deze neerslag verdampt weer direct. Een gedeelte verdampt via de vegetatie. Een gedeelte komt ten goede aan het grondwater. De rest komt ten goede aan het oppervlaktewater. De totale nuttige neerslag gemiddeld per jaar (d.i. neerslag minus verdamping) is van dezelfde orde van grootte als de totale gemiddelde afvoer van de Maas per jaar.

4.3 De vraag naar water

Aan de vraagzijde van de waterhuishouding kunnen de volgende groepen gebruikers en verbruikers onderscheiden worden. Hierbij wordt onder gebruik verstaan dat het water een bepaalde functie vervult maar niet onttrokken wordt aan de infrastructuur.

Als gebruikers kunnen beschouwd worden:

- scheepvaart
- koelwater ten behoeve van de industrie en energievoorziening
- recreatie
- milieu.

Als verbruikers kunnen beschouwd worden:

- landbouw
- industrie
- drinkwatervoorziening.

Onder verbruik wordt verstaan dat daadwerkelijk water onttrokken wordt. Mogelijk vindt daarbij dan weer lozing van het water plaats elders in het systeem, eventueel gepaard gaande met een kwaliteitstransformatie.

Enige aspecten van de verschillende gebruikers en verbruikers worden hierna kort opgesomd.

Voor de scheepvaart is de waterdiepte en de afmetingen van de waterweg belangrijk. Bij een vrijstromende rivier wordt de diepte bij gegeven afmetingen van de rivier bepaald door de afvoer. Bij een gestuwde rivier of een kanaal wordt de diepte voornamelijk bepaald door kunstwerken en is de afvoer niet belangrijk. De vraag naar water voor de scheepvaart kan dus beïnvloed worden door technische werken.

Het gebruik van water ten behoeve van koelwater stelt kwantitatieve eisen aan de doorstroming van het water in de waterweg waaraan de industrie of energiecentrale gelegen is. De totale locale opwarming van het water mag bepaalde grenzen niet overschrijden. Des te meer water langs stroomt, des te meer aan de vraag naar koelcapaciteit kan worden voldaan.

Het watermilieu vraagt om een bepaalde doorspoeling in verband met de belasting van het water met verontreinigingen. De binnenvisserij zou in verband met het watermilieu als aparte watergebruiker genoemd kunnen worden.

De vraag naar water voor de recreatie loopt deels parallel met de scheepvaart (voldoende diepgang voor de pleziervaart), deels parallel met het milieu (het water moet voldoende schoon zijn om erin te kunnen zwemmen en om vissen in leven te houden voor de recreatievisserij).

De landbouw heeft behoefte aan water voor de verdamping die noodzakelijk is voor de groei van de planten. De behoefte aan water van de natuurgebieden is analoog aan die van de landbouw. De vegetatie heeft een bepaalde hoeveelheid water nodig voor verdamping.

De industrie voorziet in zijn waterbehoefte gedeeltelijk door zelf water te onttrekken aan het grondwater, gedeeltelijk door zelf water te onttrekken aan het oppervlaktewater en gedeeltelijk door gebruik te maken van drinkwater.

Een gedeelte van het totale water wordt verwerkt in het eindproduct van de industrie. De rest wordt als afvalwater, eventueel gezuiverd, weer geloosd op het oppervlaktewater ter plaatse van het inlaatpunt of op een ander plaats (eventueel afgevoerd naar zee).

Het drinkwater wordt door de gezinshuishoudingen deels geconsumeerd, deels omgezet in afvalwater. Hetzelfde geldt voor het gedeelte van het drinkwater dat door de industrie wordt verbruikt.

4.4 Kwantiteit en kwaliteit

Bij water is sprake van twee belangrijke facetten: kwantiteit en kwaliteit.

Het aangeboden water (Rijn en Maas) heeft een bepaalde kwaliteit, die voor Nederland vooralsnog als extern gegeven beschouwd moet worden. Binnen de waterhuishoudkundige infrastructuur wordt deze kwaliteit negatief beïnvloed door afvallozing, zoute kwel en zoutindringing vanuit zee. Doorspoeling (waterwegen) en verdunning (reservoirs) hebben een positieve invloed.

Om te komen tot een juiste afstemming van vraag en aanbod is het dus noodzakelijk te beschikken over kennis van de waterkwantiteit en -kwaliteit op relevante plaatsen in de waterhuishoudkundige infrastructuur. Tevens is het nodig de mogelijkheden te kennen om de verdeling van hoeveelheden en de beïnvloeding van de kwaliteit te regelen in de huidige of in een te ontwerpen infrastructuur.

In dit hoofdstuk wordt beschreven welke schematisaties zijn ingevoerd bij de formulering van het optimalisatieprobleem om de beste verdeling van droogteschade te vinden bij korte termijn watertekort. Hierbij is het in hoofdstuk 7 behandelde kwaliteitsaspect buiten beschouwing gelaten.

Achtereenvolgens wordt behandeld:

- hoe de waterkwaliteit indirect via de beperkingen in rekening is gebracht,
- welk wateraanbod in rekening is gebracht,
- van welke vraag naar water is uitgegaan,
- hoe de infrastructuur is geschematiseerd,
- hoe de geschematiseerde infrastructuur in de beperkingen kan worden uitgedrukt.

5.1 Waterkwaliteit

In de waterhuishoudkundige infrastructuur van Nederland wordt de kwaliteit, die vooralsnog beperkt wordt tot het zoutgehalte, bepaald door de vier volgende factoren:

- kwaliteit van het aangeboden water (zoutvracht Rijn)
- beïnvloeding vanuit zee (zoutindringing)
- kwel vanuit de ondergrond
- lozingen via afvalstoffen.

In een deel van de waterinfrastructuur komt het zoutgehalte overeen met dat van de Rijn(Maas). In een ander deel ondergaat het zoutgehalte veranderingen door:

- menging van water van verschillende kwaliteit in reservoirs en poldergebieden
- samenstromen van verschillende waterbronnen (Maas- en Rijnwater t.p.v. Biesbosch)
- zoutpenetratie vanuit de bodem en vanuit zee
- lozing van afvalstoffen.

De menging in reservoirs en poldergebieden geeft niet-lineaire vergelijkingen. Het meenemen daarvan vraagt aanvullingen op de standaard L.P.-methodiek (zie hoofdstuk 7). Om deze vooralsnog buiten beschouwing te kunnen laten is in eerste instantie gekozen voor een standaard L.P.-benadering van uitsluitend het kwantiteitsaspect. Hierbij is de kwaliteit als volgt indirect in rekening gebracht:

- (a) Om de binnenwateren van zoutindringing vanuit zee te vrijwaren, zijn minimum afvoeren opgelegd aan de takken van het netwerk die verbonden zijn met de zee. Deze minimum afvoeren zijn als beperkingen opgenomen in het optimalisatie-probleem.

Een uitzondering hierop is gemaakt voor de Rotterdamsche Waterweg. Voor het debiet van de Waterweg en de Hollandsche IJssel zijn de volgende beperkingen opgenomen:

$$30 \text{ m}^3/\text{s} \geq Q_{\text{HY}} \geq 0 \quad \text{voor} \quad Q_{\text{RWW}} > 500 \text{ m}^3/\text{s} \quad (5.1)$$

en

$$Q_{\text{HY}} = 0 \quad \text{voor} \quad Q_{\text{RWW}} < 500 \text{ m}^3/\text{s} \quad (5.2)$$

Tevens wordt een ondergrens opgelegd aan een debiet van de Rotterdamsche Waterweg om te verhinderen dat het zout te ver opdringt:

$$Q_{\text{RWW}} \geq 300 \text{ m}^3/\text{s} \quad (5.3)$$

waarbij: Q_{HY} : via Hollandsche IJssel naar het gebied Midden-West-Nederland (MIDWES) gevoerde hoeveelheid water.

Q_{RWW} : via Rotterdamsche Waterweg (Oude en Nieuwe Maas samen) naar zee gevoerde hoeveelheid water.

Met de vergelijkingen (5.1), (5.2) en (5.3) is tot uiting gebracht dat bij onderschrijding van een gegeven waarde van de afvoer van de Rotterdamsche Waterweg (hier gesteld op $500 \text{ m}^3/\text{s}$) het zoutgehalte aan de mond van de Hollandsche IJssel te hoog wordt om nog water te leveren aan het landbouwgebied MIDWES. In dat geval kan overgegaan worden op aanvoer van een beperkte hoeveelheid water vanuit het Amsterdam-Rijnkanaal.

- (b) Voor de verbruiksgebieden is uitgegaan van waterbehoefte voor landbouw (en tuinbouw) waarin de waterbehoefte voor de verziltingsbestrijding in de boezem impliciet is verwerkt. De hoeveelheid water ten behoeve van doorspoeling is gegarandeerd door beperkingen op te leggen aan de uitstromende takken (minimum afvoeren).
- (c) Aan de gevolgen van watertekort voor het gebied Midden-West-Nederland (MIDWES) is een groter gewicht toegekend dan voor de overige gebieden. Hierin is tot uiting gebracht dat dit gebied het meest is blootgesteld aan en het meest gevoelig is voor zoutpenetratie.

5.2 Aanbod van het water

In de L.P.-berekeningen is verwerkt het aanbod van water door:

- (a) de Rijn
- (b) de Maas
- (c) de netto neerslag (i.e. neerslag minus verdamping) in het IJsselmeer
- (d) het door de kleine rivieren en beken naar het IJsselmeer aangevoerde water.

(e) de netto neerslag in de poldergebieden.

Daarbij zijn de bronnen (c) en (d) samengevoegd tot één bron.

Het beschikbare grondwater is niet in rekening gebracht.

5.3 Vraag naar water

Naar is aangegeven in par. 2.3 worden voorlopig slechts de landbouw en de scheepvaart opgenomen in het optimaliseringsprobleem. De vraag van deze sectoren wordt in het vervolg behandeld.

5.3.1 Landbouw

Voor de landbouw zijn drie gebieden gekozen, waarbij sprake is van watervoorziening vanuit de huidige infrastructuur.

Deze gebieden zijn:

- Het Midden-Westen van Nederland, wat de waterschappen Rijnland, Delfland en Schieland bevat. (MIDWES)
- Noord-Holland ten noorden van het Noordzeekanaal (NOHOLA)
- Friesland, en gedeeltes van Groningen en Overijssel (IJsselmeerpolders) (NOORD).

De namen tussen haakjes verwijzen naar de namen voor deze gebieden in WAMAMO.

De gegevens over de vraag naar water van de landbouw voor een bepaalde periode worden ontleend aan WAMAMO. Deze vraag wordt bepaald door:

- gegevens over de oppervlaktes van het bebouwde gedeelte, van het onbebouwde gedeelte (cultuurgrond of natuurgebied) en van het oppervlaktewater
- de maximale verdamping per type oppervlakte op grond van meteorologische omstandigheden
- neerslag die direct op het gebied valt en de hoeveelheid bodemvocht die beschikbaar is voor verdamping
- de voor doorspoeling benodigde hoeveelheid water ter bestrijding van de kwel, de zoutindringing vanuit zee (schutsluizen e.a.) en andere interne zoutbronnen
- de beperkte mogelijkheid van aanvoer naar de vegetatie vanuit het oppervlaktewater. Niet voor elk cultuurpatroon is het (economisch) mogelijk door middel van kunstmatige beregening het watertekort aan te vullen. Toestroming vanuit het oppervlaktewater naar de vegetatie wordt beperkt door eigenschappen van de verschillende grondsoorten.

5.3.2 Binnenscheepvaart

De binnenscheepvaart wordt in het optimalisatieprobleem voorlopig slechts meegenomen voor de IJssel. De verdeling van het water van de Rijn over de IJssel en de Waal (en Nederrijn) kan beïnvloed worden door de stuw bij Driel. Daardoor worden de debieten en daaraan gekoppeld de waterdieptes van de Waal en de IJssel beslissingsvariabelen. De (minimale) waterdiepte van een bepaalde riviertak legt beperkingen op aan het maximale laadvermogen van de schepen. Bij beperking van het laadvermogen kan economische schade optreden voor de scheepvaart.

De vraag naar water voor de binnenscheepvaart is een vraag naar zoveel afvoer door een bepaalde riviertak dat de minimale diepte die daarbij optreedt geen beperking oplegt aan het laadvermogen van de schepen. Het is noodzakelijk de relatie te onderzoeken tussen de beperking van de beladingsgraad uitsluitend ten gevolge van de beschikbare minimale waterdiepte en de afvoer. Een en ander is behandeld in par. 6.2.

5.4 Waterinfrastructuur

De waterinfrastructuur van Nederland is ten behoeve van de eerste L.P.-berekening geschematiseerd zoals in figuur (2) aangegeven is.

Het door de Rijn aangeboden water stroomt via de IJssel (tak 1-2) naar het IJsselmeer of via de Waal en Nederrijn (takken 1-3 en 3-6), die samengenomen zijn, naar het Westen. Bij het splitsingspunt (1) kan de debietverdeling beïnvloed worden door de stuw bij Driel.

Punt 2 is het IJsselmeer met bergingsmogelijkheden tussen de maximaal ($I_{2,max}$) en de minimaal toelaatbare waterstand ($I_{2,min}$). De netto neerslag van het IJsselmeer inclusief de afwatering naar het IJsselmeer van kleine riviertjes wordt ingebracht vanuit een bron (N.N.). Het water van het IJsselmeer kan gebruikt worden voor de landbouw van de gebieden NOHOLA en NOORD.

Overtollig water kan afgevoerd worden via de tak 2-13 naar de Waddenzee door middel van spuisluizen in de Afsluitdijk, of via tak 2-5 naar het Noordzeekanaal (takken 5-9, 9-10 en 10-13). In de tak 2-5 is stroming in beide richtingen mogelijk. ($Q_{2,5}$ en $Q_{5,2}$). Overtollig water en doorspoelwater van het landbouwgebied NOORD stroomt via tak 12-13 naar de Waddenzee. Van het gebied NOHOLA stroomt dit water via tak 11-9 naar het Noordzeekanaal en via tak 11-13 naar de Noordzee. (Den Helder).

Het water voor het Amsterdam-Rijnkanaal wordt onttrokken aan de Waal en Nederrijn in punt 3.

In punt 6 stroomt het water van de Waal samen met dat van de Maas. Een gedeelte van dit water kan naar het zuiden gestuurd worden via de Volkeraksluizen ten behoeve van de verziltingsbestrijding en peilbeheersing op verschillende punten in Zuid-West-Nederland.

Tak 7-8 is de Hollandsche IJssel en vormt de inlaat voor het gebied MIDWES. Indien de afvoer naar zee via de Rotterdamsche Waterweg een bepaalde grens onderschrijdt, is geen aanvoer naar MIDWES via de Hollandsche IJssel mogelijk. In dat geval kan een beperkte hoeveelheid water vanuit het Amsterdam-Rijnkanaal (takken 3-4 en 4-5) via bestaande waterwegen (tak 4-8) naar het landbouwgebied MIDWES gebracht worden (zie 5.1-(a)). Doorspoel- en overtollig water van het gebied MIDWES kan afgevoerd worden naar de Noordzee via tak 8-13 (Katwijk) of naar het Noordzeekanaal via tak 8-10 (Halfweg en Spaarndam).

De rest van het water stroomt via de Rotterdamsche Waterweg en de Haringvliet-sluizen (tak 7-13) naar de Noordzee.

5.5 Infrastructuur uitgedrukt in de beperkingen

In deze paragraaf wordt aangegeven hoe de geschematiseerde infrastructuur in de beperkingen kan worden uitgedrukt. Wat onder beperkingen wordt verstaan, staat geschreven in paragraaf 3.1.2.

5.5.1 Typen beslissingsvariabelen

De debieten in de verschillende takken van de geschematiseerde infrastructuur (zie figuur 2) gedurende de verschillende perioden en de inhoud van het reservoir van het IJsselmeer in de verschillende perioden worden beslissingsvariabelen bij de gekozen formulering van de L.P.-berekening.

Bij de optimalisatie wordt gewerkt met minimalisatie van schade. Schade treedt op als het aanbod kleiner is dan de vraag. Gesteld kan worden dat:

$$\text{Vraag} - \text{Aanbod} = \text{Tekort of Overschot.} \quad (5.4)$$

De getalwaarde voor de Vraag naar water van een bepaalde gebruiker in een bepaalde periode is gegeven als invoer voor de L.P.-berekening. Hoeveel water aangeboden wordt, gaat bepaald worden via de L.P.-berekening.

Aanbod, Tekort en Overschot zijn beslissingsvariabelen die in de berekening een waarde toegewezen krijgen. De relatie tussen deze beslissingsvariabelen wordt gegeven door uitdrukking (5.4). Deze uitdrukking kan bij de L.P.-berekening als de volgende beperking worden ingevoerd:

$$\text{Vraag} - \text{Aanbod} = \text{Tekort} - \text{Overschot} \quad (5.5)$$

Omdat aan een tekort een bepaalde schade toegekend wordt in de doelstellingsfunctie, wordt er naar is toegelicht in paragraaf 3 appendix C voor gezorgd dat bij de oplossing voldaan wordt aan de voorwaarden dat:

$$\text{als het Tekort} > 0 \text{ dan: het Overschot} = 0$$

$$\text{als het Overschot} > 0 \text{ dan : het Tekort} = 0 \quad (5.6)$$

Waarbij tevens geldt:

$$\text{Tekort} \geq 0$$

$$\text{Overschot} \geq 0$$

Aan voorwaarden zoals gegeven door (5.6) wordt ook voldaan zonder dat één van de beslissingsvariabelen (of beide met verschillende coëfficiënten) in de doelstellingsfunctie een waarde ongelijk nul heeft (bijvoorbeeld een tak met stroming in twee richtingen). Dit hangt samen met de eisen die aan het stelsel vergelijkingen van de beperkingen gesteld worden door de Lineaire Algebra.

De beslissingsvariabelen per tijdstip zijn dus:

- de debieten in de takken
- de reservoirinhoud
- hulpvariabelen (Tekort, Overschot e.a.) ten behoeve van geknikte schadefuncties (zie ook par. 3.2).

5.5.2 Knooppunt

In paragraaf 3.1.2 is als voorbeeld gegeven hoe een knooppunt uitgedrukt wordt in de beperkingen. Bij een knooppunt met drie takken met debieten X_1 , X_2 en X_3 waarbij X_1 naar het knooppunt stroomt en X_2 en X_3 van het knooppunt afstroomt, geldt de volgende beperking (continuïteitsvergelijking!):

$$X_1 - X_2 - X_3 = 0 \quad (3.4)$$

Per tak kunnen bovendien minimum of maximum afvoeren opgelegd worden. Dit geeft de volgende beperkingen:

$$X_i \geq X_{i,\min} \quad (3.5)$$

$$X_i \leq X_{i,\max} \quad (3.6)$$

5.5.3 Reservoir

De reservoirwerking kan op de volgende wijze uitgedrukt worden in een beperking:

$$I_t^* = I_{t-1}^* + (Q_{in;t} - Q_{uit;t}) \cdot T \quad (5.7)$$

waarbij:

- I_t^* : Inhoud van het reservoir aan einde van periode t (m^3)
 $Q_{in;t}$: Hoeveelheid water, die gedurende periode t het reservoir instroomt (m^3/s)
 $Q_{uit;t}$: Hoeveelheid water, die gedurende periode t het reservoir uitstroomt (m^3/s)
 T : Duur van periode (sec).

Vergelijking (5.7) is een lineaire vergelijking in de beslissingsvariabelen

I_t^* , I_{t-1}^* , $Q_{in;t}$ en $Q_{uit;t}$.

Ten behoeve van de L.P.-som wordt vergelijking (5.7) als volgt geschreven:

$$I_t = I_{t-1} + Q_{in;t} - Q_{uit;t} \quad (5.8)$$

waarbij:

- I_t : Inhoud van het reservoir aan einde van periode t , gedeeld door de duur van de periode (T). I_t krijgt dan de dimensie van een debiet (m^3/s).

Hierbij wordt verondersteld dat de duur van elke periode (inclusief de 0-de periode) gelijk is.

5.5.4 Stuw bij Driel

De werking van de stuw bij Driel wordt op de volgende wijze ingebracht in de L.P.-berekening. Het aanbod van de Rijn gemiddeld over een bepaalde periode is een van buitenaf gegeven constante waarde. Bij elke waarde van de afvoer van de Rijn is bekend (zie figuur 4) binnen welke grenzen de afvoer van de IJssel ten gevolge van de regelmogelijkheden van de stuw bij Driel kan variëren.

Stel $Q_{RIJN} = 1700 \text{ m}^3/s$.

Dan kan uit figuur 4 worden afgelezen dat de bijbehorende beperkingen hiervan zijn (Q in m^3/s):

$$Q_{IJssel} \geq 250$$

$$Q_{IJssel} \leq 350 \quad (5.9)$$

$$Q_{IJssel} + Q_{Waal} = 1700$$

5.5.5 Rotterdamsche Waterweg

In paragraaf 5.1 is aangegeven dat de verzilting van de Hollandsche IJssel door het opdringen van het zout uit zee via de Rotterdamsche Waterweg als volgt in vergelijkingen is uitgedrukt:

$$\text{Als } Q_{RWW} > 500 \text{ m}^3/\text{s} \qquad 0 \leq Q_{HY} \leq 30 \text{ m}^3/\text{s} \qquad (5.1)$$

$$\text{Als } Q_{RWW} < 500 \text{ m}^3/\text{s} \qquad Q_{HY} = 0 \qquad (5.2)$$

En bovendien dat:

$$Q_{RWW} \geq 300 \text{ m}^3/\text{s} \qquad (5.3)$$

Een en ander is weergegeven in onderstaande figuur (5.1).

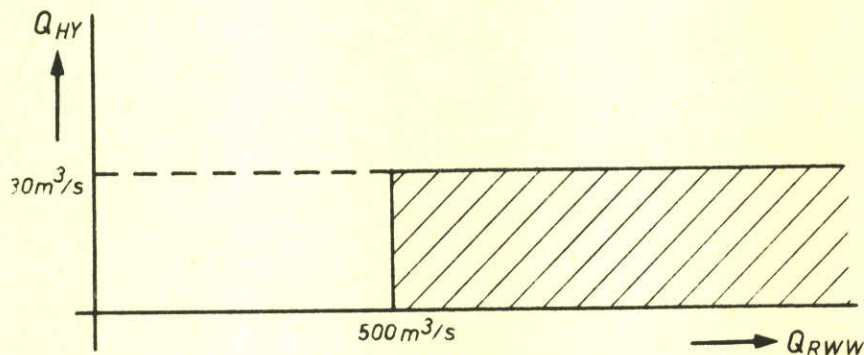


FIG. 5.1

Afhankelijk van de afvoer via de Rotterdamsche Waterweg liggen de mogelijkheden voor Q_{HY} in het gearceerde vlak.

Wanneer voor de horizontale as van figuur 5.1 niet het debiet van de Rotterdamsche Waterweg wordt genomen, maar de som van de debieten van de Rotterdamsche Waterweg en de Hollandsche IJssel (in figuur 2 het debiet in tak 6-7 : $Q_{6,7}$) dan verandert figuur 5.1 in figuur 5.2.

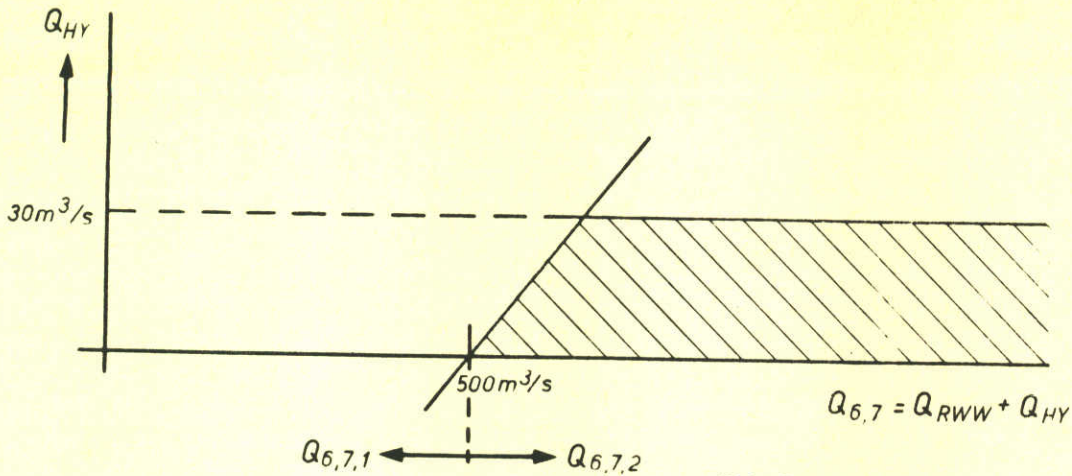


FIG. 5.2

De voorwaarden gesteld door de vergelijkingen (5.1) en (5.2) kunnen nu als volgt in lineaire beperkingen worden uitgedrukt. Het debiet $Q_{6,7}$ wordt met behulp van een zeer kleine schadecoëfficiënt in de doelstellingsfunctie opgesplitst in twee gedeeltes. Een gedeelte kleiner of gelijk aan $500 \text{ m}^3/\text{s}$ ($Q_{6,7,1}$) en de rest ($Q_{6,7,2}$) (zie ook figuur 5.2)

De beperking luidt dan:

$$Q_{6,7} = Q_{6,7,1} + Q_{6,7,2} \quad (5.10)$$

Voor $Q_{6,7,1}$ geldt dan de beperking:

$$Q_{6,7,1} \leq 500 \quad (5.11)$$

Het debiet $Q_{6,7,2}$ krijgt in de doelstellingsfunctie een zeer kleine schadecoëfficiënt $\alpha_{6,7,2}$. De term van de schadefunctie die betrekking heeft op dit debiet luidt dan:

$$S_{6,7,2;t} = \alpha_{6,7,2;t} \cdot Q_{6,7,2;t} \quad (5.12)$$

De beperkingen (5.10) en (5.11) en de term van de schadefunctie (5.12) zorgen er nu voor in de L.P.-berekening dat het debiet $Q_{6,7}$ op de gewenste wijze opgesplitst wordt. Het debiet van de Hollandsche IJssel kan nu evenredig gesteld worden aan het gedeelte dat boven de $500 \text{ m}^3/\text{s}$ ligt ($Q_{6,7,2}$). De beperkingen voor het debiet van de Hollandsche IJssel worden dan:

$$Q_{HY} \leq Q_{6,7,2} \quad (5.13)$$

$$Q_{HY} \leq 30 \text{ m}^3/\text{s} \quad (5.14)$$

6 DE GEHANTEERDE SCHADEFUNCTIES

6.1 De schadefuncties voor land- en tuinbouw

Pionierswerk op dit terrein is verricht door deskundigen van het I.C.W. (Instituut voor Cultuurtechniek en Waterhuishouding) in Wageningen. Van de door hen verrichte onderzoeken en publicaties is dan ook een dankbaar gebruik gemaakt. Zo is voor de akkerbouw het door Van den Berg gebruikte cijfer van $f 0,36$ per m^3 water overgenomen als landbouwopbrengst van de extra toegevoegde hoeveelheid water in een 10% droog jaar [3]. In verband met het feit dat de opbrengst per ha (bijvoorbeeld in 1973) in de tuinbouw circa 10 maal zo hoog ligt, is de opbrengst per m^3 water in deze sector arbitrair op $f 3,60$ gesteld.

De droogteschade van grasland is bepaald onder gebruikmaking van de onderzoeken van Rijtema en Bon [4]. Uit de door hen opgestelde relatie tussen waterverbruik en droge-stofproductie respectievelijk zetmeelwaarde (ZW) bij grasland, kon worden afgeleid dat $1 m^3$ extra toegevoegd water circa $4/3$ kg extra zetmeelwaarde tot gevolg heeft. Door ervan uit te gaan dat droogteschade gecompenseerd moet worden door aankoop van vervangend ruwvoer en dat dit $f 0,45$ per zetmeelwaarde-eenheid (kg) kost, kan de extra opbrengst van $1 m^3$ water gesteld worden op $4/3 \times f 0,45 = f 0,60$.

Aangezien de waterbehoefte als ontleend aan WAMAMO niet per regio gedifferentieerd kon worden naar akkerbouw, tuinbouw en grasland, is per regio een gewogen schadeparameter berekend door de drie bedragen ($f 0,36$, $f 3,60$ en $f 0,60$) te wegen met de areaalgrootte.

Aldus werden voor de drie regio's de volgende getallen gevonden:

Regio	% akkerbouw	% grasland	% tuinbouw	gewogen schadebedrag/ m^3
Noord (Gron.+ Fr1.)	30,9	68,1	1,0	$f 0,56$
Midden-Westen (Z.H.)	28,7	58,1	13,2	$f 0,93$
Noord-Holland (N.H.)	27,2	60,7	12,1	$f 0,90$

De achtergrond van het hier gebezigde schadebegrip als reciproke van de opbrengst bij extra toevoer van water, kan voor de landbouw aan de hand van figuur 6.1 nog een worden toegelicht.

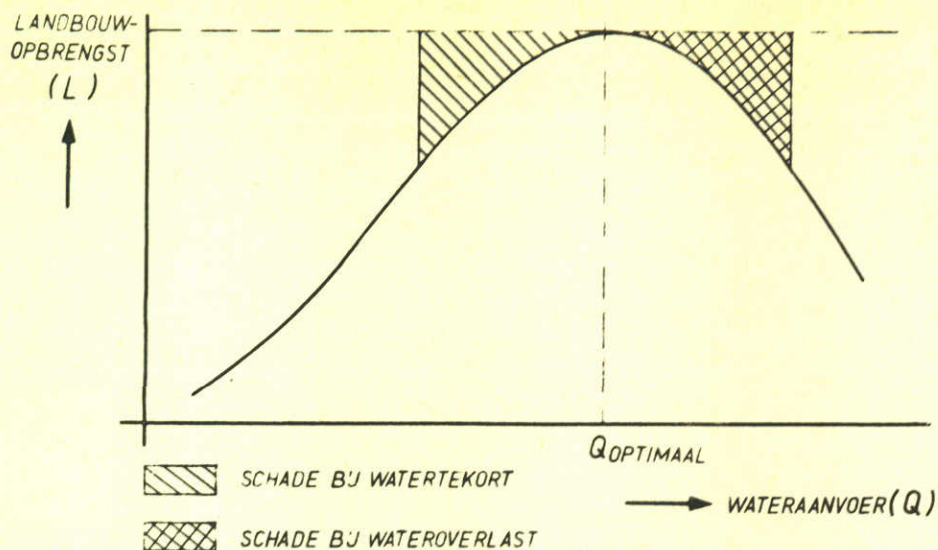


FIG. 6.1

In de eerste plaats mag worden verwacht dat de landbouwopbrengst als functie van de hoeveelheid water, zich gedraagt op grond van de wet van de toe- en afnemende meeropbrengsten. De geldigheid van het hier veronderstelde verband beperkt zich dan tot een situatie waarin de overige productiefactoren, als arbeid en grond, gegeven zijn. Dit zal in de onderhavige problematiek, waarin van een kortetermijnbeschouwing sprake is, ook feitelijk het geval zijn. Bij een bepaalde kwaliteit van het water en bij marginale waterkosten = 0, zal dan Q_{optimaal} de hoeveelheid water zijn die bewerkstelligt dat de landbouwopbrengst maximaal is. Overschrijding van deze hoeveelheid heeft een daling van de landbouwopbrengst tot gevolg (schade door wateroverlast), onderschrijding eveneens (schade door watertekort).

Uit figuur 6.1 volgt ook dat in het punt Q_{opt} de marginale landbouwopbrengst van het water nul is. Eveneens uit figuur 6.1 volgt het verloop van de marginale landbouwopbrengst ($\frac{\partial L}{\partial Q}$) als functie van water en weergegeven in figuur 6.2.

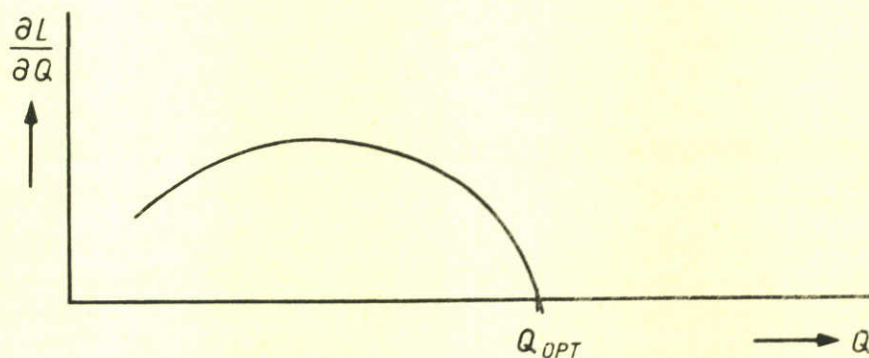


FIG. 6.2

In de onderhavige studie is niet gewerkt met een dergelijk verloop van $\frac{\partial L}{\partial Q}$, maar is deze constant gehouden over het hele traject van Q . Om evenwel te voorkomen dat een sector teveel water krijgt (wateroverlast), is in het L.P.-model ervoor gezorgd dat de toegewezen hoeveelheid water (Q) onderworpen is aan de randvoorwaarde $Q \leq Q_{opt}$.

Zodra het beschikbare water op zeker tijdstip niet toereikend is om te voldoen aan de vraag ($= \sum_1^i Q_{opt}^i$; $i = 1, 2, \dots, n$), dan zullen de marginale maatschappelijke kosten van het water in enige aanwending zelfs op korte termijn niet langer nul zijn, maar gelijk aan de hoogst denkbare alternatieve opbrengst (= "opportunity cost"-beginsel).

Dit principe kan aan de hand van 2 sectoren grafisch worden weergegeven met verschillend verloop van de marginale waterproductiviteit.

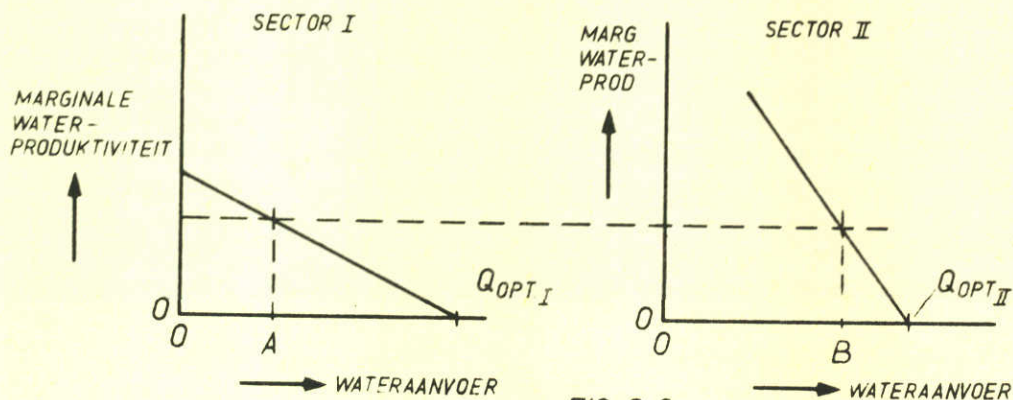


FIG. 6 3

De juiste verdeling van de beschikbare hoeveelheid water ($OA + OB$) is verkregen indien de marginale productiviteiten van het water in de twee aanwendingen aan elkaar gelijk zijn. Zou de marginale productiviteit in sector I (= marginale kosten voor II) groter zijn dan die in II, dan is het voordeliger water uit II naar I te transfereren. Omgekeerd zou die in I kleiner zijn dan die in II, dan zal meer water aan II en minder aan I toegevoerd worden.

Aangezien het hier om meerdere sectoren handelt en met beperkingen rekening moet worden gehouden, is gekozen voor de L.P.-techniek.

Het feit dat met constante meeropbrengsten van het water (wat in strijd met de theorie moet worden geacht) is gewerkt én het feit dat deze onvoldoende naar de producten gedifferentieerd konden worden, maakt duidelijk dat veel onderzoek op dit terrein nog geboden is. Voorzover dit gaande is (I.C.W., proefstations voor de land- en tuinbouw, sierteelt, etc.), zullen de resultaten bijeengebracht moeten worden.

6.2 De schadefunctie voor de binnenscheepvaart

Als gesteld in paragraaf 2.3.2 is de rapportering van het onderzoek naar de schadefunctie voor de binnenscheepvaart voorlopig uitgesteld.

6.3 Samenvatting schadecoëfficiënten landbouw en binnenscheepvaart

In onderstaande tabel staan de schadecoëfficiënten van de drie landbouwgebieden en van de binnenscheepvaart op de Gelderse IJssel. De coëfficiënten geven aan de per maand geleden schade in guldens bij overschrijding van de vraag naar water met $1 \text{ m}^3/\text{s}$ gedurende de gehele maand.

Gebied	Naam-code	Schadecoëfficiënt
Noorden (Gron. + Fr.)	NOORD	$\alpha_{12;t} = 1.450.000$
Midden-Westen (Z.H.+ N.H.)	MIDWES	$\alpha_{8;t} = 2.410.000$
Noord-Holland (N.H.)	NOHOLA	$\alpha_{11;t} = 2.300.000$
Scheepvaart, IJssel		nog in onderzoek

7.1 Probleemstelling

De verwachting dat in de toekomst periodiek perioden van waterschaarste op kunnen treden is een gevolg van de afnemende waterkwaliteit [1]. Daarom is het noodzakelijk het waterkwaliteits aspect ook bij de hier behandelde korte termijn problematiek te betrekken.

Het zout is de belangrijkste factor in de waterkwaliteit, gezien de grote hoeveelheden water nodig voor de verziltingsbestrijding [1]. Om deze reden wordt in dit verslag uitsluitend het zout behandeld. Andere waterkwaliteits factoren zijn buiten beschouwing gelaten.

7.2 Toegepaste methode voor in rekening brengen van zout

In het voorafgaande onderzoek is de invloed van het zout op de volgende wijze globaal in rekening gebracht (zie hoofdstuk 5).

- (i) Om de binnenwateren van zoutindringing van uit zee te vrijwaren zijn minimum afvoeren opgelegd aan de Rotterdamse Waterweg, het Noordzee-Kanaal en andere daarvoor in aanmerking komende takken van het netwerk. Deze minimum afvoeren zijn als beperkingen opgenomen in het L.P.-probleem.
- (ii) Voor de gebruiksgebieden is uitgegaan van waterbehoeften voor landbouw (en tuinbouw) waarin de waterbehoefte voor de verziltingsbestrijding in de boezem impliciet is verwerkt (minimale doorspoeling).
- (iii) Aan de gevolgen van watertekort voor het gebied Midden-West Nederland is een groter gewicht toegekend dan voor de overige gebieden. Hierin is tot uiting gebracht dat dit gebied het meest is blootgesteld aan en het meest gevoelig is voor zoutpenetratie.

De getalwaarden van de in de punten (i) en (ii) genoemde afvoeren zijn in eerste benadering ontleend aan WAMAMO .

7.3 Gewenste aanvulling

Bepaling van het zoutgehalte van de binnenwateren vraagt in rekening te brengen de invloed van:

- opdringend zeewater
- de zoutvracht van de Rijn te Lobith

- zoute kwel en
- lozing door bijvoorbeeld industrie.

Om de invloed van het zout bij een optimalisatieprobleem in rekening te kunnen brengen dient vervolgens bekend te zijn:

- de invloed van het doorspoelen op het zoutgehalte (d.w.z. de invloed van de beslissingsvariabelen) op het zoutgehalte.

Daarbij dient onderscheid te worden gemaakt tussen:

- gebieden, die het (doorspoel)water onttelen aan de Rijn, en
- gebieden, die het (doorspoel)water onttelen aan het IJsselmeer.

Dit onderscheid is nodig omdat het zoutgehalte van de Rijn (te Lobith) een van buitenaf opgelegd gegeven is. Het zoutgehalte van het IJsselmeer is daarentegen een gevolg van menging van water met verschillend zoutgehalte dat op verschillende tijdstippen door de IJssel is aangevoerd.

Het voorafgaande onderzoek behoeft aanvulling op de volgende punten:

- (a) Nauwkeurige vaststelling van als minimum vereiste afvoeren door daarvoor in aanmerking komende takken om zoutindringing vanuit zee uit te sluiten. Door dit na te gaan, kan worden vastgesteld in hoeverre water aan deze bestemming kan worden onttrokken. Voor het behandelde L.P.-probleem betekent dit een nauwkeurige vaststelling van de beperkingen.
- (b) Detailstudies van het verloop van het zoutgehalte van het IJsselmeer en van de boezemwateren bij doorspoelen met water met gegeven zoutgehalte. Deze studies dienen aan te geven welk verloop van het zoutgehalte in deze reservoirs in bijvoorbeeld het L.P.-probleem dient te worden verwerkt. In het kader van het hier beschreven onderzoek is uitsluitend nagegaan hoe het zoutgehalte varieert bij volledige menging van het in de reservoirs aanwezige water (appendix C).
- (c) Studies over de wijze waarop het onder b vast te stellen verloop van het zoutgehalte in bijvoorbeeld het L.P.-probleem kan worden verwerkt. Voor reservoirs met volledige menging is hiervoor een methodiek gegeven in par. 7.5.
- (d) Vaststelling van de invloed van het zout op de schadefuncties. Op deze wijze kan worden vastgesteld hoe de invloed van het zout in de doelstellingsfunctie kan worden verwerkt.

Onderzoeken a, b en d zijn onderzoeken van grote omvang.

Onderzoek a is hoofdzakelijk een hydraulisch probleem.

Onderzoek b vraagt een uitgebreid gegevensbestand voor het vaststellen van de zoutbronnen. Daarnaast speelt de hydraulica een rol.

Onderzoek d vraagt een uitgebreid gegevensbestand als vastgesteld bij het

onderzoek van de economische consequenties van de grensoverschrijdende verontreiniging door de Rijn. Blijkens dit onderzoek zijn uitgewerkte dan wel nog uit te werken gegevens beschikbaar over

- invloed van zoutgehalte van boezemwateren op opbrengst van tuinbouw, akkerbouw en runderveehouderij (Min. van Landbouw)
- kosten van proceswaterbereiding per bedrijfstak in afhankelijkheid van de vervuilingsgraad (Vereniging Krachtwerktuigen)
- het verband tussen het zoutgehalte en de omvang en kosten van voor drinkwater benodigde spaarbekkens (R.I.D.).

Onderzoek c is verder uitgewerkt in de volgende paragrafen.

7.4 In rekening brengen van zoutconcentratie in IJsselmeer

7.4.1 Niet-lineair verloop van zoutconcentratie

Bij lage Rijnaafvoer is het zoutgehalte van het water dat via de IJssel het IJsselmeer binnenstroomt hoger dan dat van het reeds in het IJsselmeer aanwezige water. Bij hoge Rijnaafvoer geldt het omgekeerde. Hierdoor is het zoutgehalte van het IJsselmeer (c) afwisselend een convexe dan wel een concave functie van de hoeveelheid water waarmee het IJsselmeer in een gegeven periode wordt doorgespoeld en dus een convexe dan wel een concave functie van één van de in het behandelde probleem optredende beslissingsvariabelen (X). Deze functies zijn in bijgaande figuren geschetst, uitgaande van de overweging dat voor $X = 0$ geldt $c = c_0$ (c_0 : begin concentratie) en dat voor $X = \infty$ geldt $c = c_{in}$ (c_{in} : concentratie van aangevoerde water).

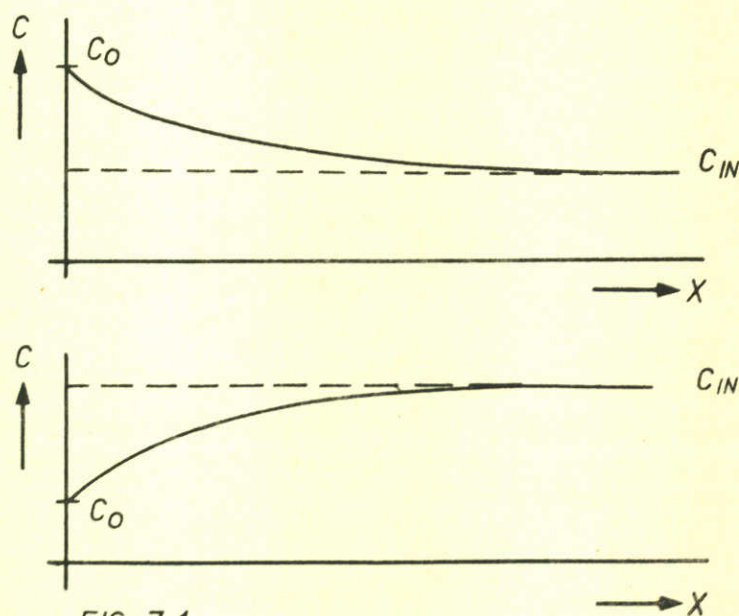


FIG. 7.1

De schade van zout neemt toe met toenemend zoutgehalte. Daardoor leidt introductie van het zoutgehalte van het IJsselmeer in bijvoorbeeld het L.P.-probleem tot een doelstellings(schade-)functie waarin de schade Z afwisselend een convexe dan wel een concave functie is van op zijn minst één der beslissingsvariabelen. Dit impliceert dat de zoutconcentratie in het IJsselmeer niet in een standard L.P.-formulering kan worden verwerkt (zie conclusies gegeven in par. 2 van appendix A). Als mogelijke oplossingen hiervoor kan gelden een combinatie van

- "separable programming" (toegelicht in par. 7.4.2),
- iteratief gebruik van de standaard L.P.-formulering (toegelicht in par. 7.4.3).

Beide methoden zijn alleen toepasbaar als het verloop van de zoutconcentratie in het IJsselmeer afhankelijk van de doorspoeling kan worden bepaald. Blijkens appendix C is dit mogelijk als van volledige menging van het in het IJsselmeer aanwezige water mag worden uitgegaan. Als dit niet het geval is dient de menging in het IJsselmeer afzonderlijk te worden bestudeerd (zie par. 7.3 onder b). Voor separable programming is het een voordeel als c_{in} bekend is als een van buitenaf opgelegd gegeven. Dit geldt wel voor het IJsselmeer, doch niet voor de vanuit het IJsselmeer gevoede gebieden.

7.4.2 Separable programming

Blijkens par. 7.4.1 wordt bij het in rekening brengen van de zoutconcentratie in het IJsselmeer een schadefunctie verkregen, waarin de schade Z , afwisselend een convexe dan wel een concave functie is van op zijn minst één der beslissingsvariabelen X_i . Het optimalisatie probleem stelt dat de minimale waarde van Z gevonden dient te worden.

In appendix A is aangetoond dat alleen concave doelstellingsfuncties $Z(X_i)$ tot de standaard L.P.-formulering kan worden teruggebracht indien de minimale waarde van Z gevonden dient te worden.

In appendix A is tevens aangegeven volgens welk principe een convexe doelstellingsfunctie in een minimalisatie probleem kan worden behandeld via de methode van separable programming. Daarbij is het gunstig vooraf te weten welke termen van de doelstellingsfunctie inderdaad convex zijn. Voor het IJsselmeer kan dit vooraf worden bepaald door het verloop van de concentratie te schrijven als aangegeven in vgl. C 14 van appendix C. De in deze vergelijking voorkomende grootheden $\Delta c_{in,i}$ kunnen namelijk vooraf bepaald worden omdat het zoutgehalte van het water dat via de IJssel naar het IJsselmeer wordt

aangevoerd gelijk gesteld mag worden aan het zoutgehalte van de Rijn te Lobith.

Bij de afleiding van vgl. C 14 is het volume water in het reservoir constant gesteld. Dit houdt in dat via separable programming alleen een eerste benadering van het optimaliseringsprobleem kan worden verkregen, bijvoorbeeld door vergelijking van de uitkomsten verkregen bij maximale en minimale reservoirinhoud.

De mogelijkheid om separable programming in te schakelen is opgenomen in de beschikbare standaard L.P.-computerprogramma's.

7.4.3 Iteratief gebruik van standaard L.P.-formulering

Per periode met constante waarde van het zoutgehalte van het aangevoerde water verloopt het zoutgehalte van het water in het IJsselmeer volgens de vergelijkingen

$$I_1 c_1 = I_0 c_0 + Q_{in;1} c_{in;1} - Q_{uit;1} c_{uit;1} + Q_{k;1} c_{k;1} \quad (7.1)$$

$$I_2 c_2 = I_1 c_1 + Q_{in;2} c_{in;2} - Q_{uit;2} c_{uit;2} + Q_{k;2} c_{k;2} \quad (7.2)$$

$$I_i c_i = I_{i-1} c_{i-1} + Q_{in;i} c_{in;i} - Q_{uit;i} c_{uit;i} + Q_{k;i} c_{k;i} \quad (7.3)$$

waarin

- I_i : in IJsselmeer aanwezige hoeveelheid water aan einde van periode i gedeeld door de periode-duur (m^3/s) (zie ook par. 5.5.3)
- c_i : gemiddelde zoutconcentratie van water in IJsselmeer aan einde van periode i
- $Q_{in;i}$: hoeveelheid water, die gedurende periode met rangnummer i het IJsselmeer instroomt (m^3/s)
- $c_{in;i}$: bijbehorend zoutgehalte
- $Q_{uit;i}$: hoeveelheid water, die gedurende periode met rangnummer i het IJsselmeer uitstroomt (m^3/s)
- $c_{uit;i}$: over tijdgemiddelde waarde van bijbehorend zoutgehalte
- $Q_{k;i}$: hoeveelheid water, die door kwel gedurende periode met rangnummer i het IJsselmeer binnenkomt (m^3/s)
- $c_{k;i}$: bijbehorend zoutgehalte.

In bovenstaande vergelijkingen zijn de grootheden $Q_{in;i}$ en $Q_{uit;i}$ de beslis-

singsvariabelen, terwijl de grootheden $c_{in;i}$, $Q_{k;i}$ en $c_{k;i}$ van buitenaf opgelegde grootheden zijn evenals de grootheden I_0 en c_0 .

Vergelijkingen (7.1), (7.2), en (7.3) vormen een stelsel lineaire vergelijkingen in $Q_{in;i}$ en $Q_{uit;i}$ als de in deze vergelijkingen voorkomende concentraties bekend zijn. Dit maakt het mogelijk over te gaan tot het volgende iteratie proces.

Stap 1: Bereken het verloop van het zoutgehalte in het IJsselmeer ervan uitgaande dat het IJsselmeer wordt doorgespoeld met een hoeveelheid water zeg groot $250 \text{ m}^3/\text{sec}$ dan wel met de hoeveelheden water volgens de oplossing verkregen door separable programming. Deze berekeningen kunnen worden uitgevoerd als is aangegeven in appendix C, mits van volledige menging mag worden uitgegaan.

Stap 2: Substitueer de in stap 1 gevonden zoutconcentraties in vgl. 7.1, 7.2 en 7.3 en los vervolgens het standaard L.P.-probleem op met verwerking van het zoutgehalte in de doelstellings(schade-)functie, daarbij het stelsel vergelijkingen 7.1, 7.2 en 7.3 met de concentraties als gevonden in stap 1 als beperkingen invoerend ter beschrijving van het zoutgedrag van het IJsselmeer.

Stap 3: Stap 3 levert een aantal waarden voor $Q_{in;i}$ en $Q_{uit;i}$, die kunnen afwijken van de in stap 1 aangenomen waarden. Het bij deze waarden van $Q_{in;i}$ en $Q_{uit;i}$ behorende verloop van het zoutgehalte in het IJsselmeer kan wederom worden berekend volgens appendix C. Dit vormt stap 3.

Stap 4: Herhaal stap 2 uitgaande van het in stap 3 bepaalde verloop van de concentraties in het IJsselmeer, etc, totdat de waarden van $Q_{in;i}$ en $Q_{uit;i}$ gevonden bij de even stappen in voldoende mate overeenstemmen met de waarden, waarvan in de voorafgaande oneven stap is uitgegaan.

De convergentie van dit iteratie proces dient te worden onderzocht.

7.5 In rekening brengen van zoutconcentraties in vanuit IJsselmeer gevoede gebieden

Voor de vanuit het IJsselmeer gevoede gebieden gelden overeenkomstige overwegingen als voor het IJsselmeer. Hierbij dient te worden aangetekend dat ook voor deze gebieden dient te worden onderzocht of de aanname van volledige menging volgens appendix C mag worden toegepast. Voorts wordt toepassing van separable programming bemoeilijkt door het feit dat c_{in} voor deze gebieden, niet als voor het IJsselmeer een van buitenaf opgelegde grootheid is. Dit leidt ertoe voor deze gebieden, in eerste instantie de iteratie toe te passen.

Appendix A

Bijzonderheden lineair programmeren

1 Lineaire doelstellingsfunctie in vergelijking met niet-lineaire doelstellingsfunctie

De extreme waarden van Z volgens vgl. 3.9 worden gevonden voor $X_i = \pm \infty$, afhankelijk van het teken van c_i en afhankelijk van de vraag of voor Z de minimale dan wel de maximale waarde dient te worden gevonden.

Derhalve is de extreme waarde afhankelijk van de beperkingen, die als regel niet toestaan dat de beslissingsvariabelen oneindig groot zijn. De extreme waarde van Z behoort daarom bij een combinatie van beslissingsvariabelen, gelegen in een hoekpunt van het oplossingsdomein, dat wil zeggen het gebied (de ruimte) waarbinnen de beslissingsvariabelen voldoen aan de beperkingen (vgl. 3.1, 3.2 en 3.3). De extreme waarde van Z kan dus slechts worden gevonden bij een eindig aantal combinaties van de beslissingsvariabelen, die a priori kunnen worden bepaald. Dit vormt de basis voor de standaard computer programma's ontwikkeld voor de oplossing van een L.P.-probleem.

Bij een niet-lineaire doelstellingsfunctie (vgl. 3.8) is het mogelijk dat binnen het oplossingsdomein een combinatie van beslissingsvariabelen voorkomt met

$$\frac{\partial Z}{\partial X_1} = 0, \quad \frac{\partial Z}{\partial X_2} = 0, \quad \dots, \quad \frac{\partial Z}{\partial X_n} = 0 \quad (\text{A.1})$$

De extreme waarde van Z kan dan ook bij een midden in het oplossingsdomein gelegen combinatie van beslissingsvariabelen behoren. Het binnen gebied van het oplossingsdomein kan dan niet bij voorbaat worden uitgesloten. Het vinden van de extreme waarde vergt daardoor meer rekenwerk dan bij een lineaire doelstellingsfunctie nodig is. Bovendien is het bij een niet-lineaire doelstellingsfunctie mogelijk dat een lokaal geldende extreme waarde wordt gevonden in plaats van de werkelijke extreme waarde. Hierdoor kan niet altijd uitsluitel worden gegeven met de beschikbare technieken. Bij L.P. doet dit probleem zich niet voor. Immers voor een lineaire doelstellingsfunctie geldt vergelijking A.1 niet.

2 Convexe en concave doelstellingsfunctie

Per definitie is een kromme convex als het lijnstuk dat twee punten van de kromme verbindt altijd onder de kromme is gelegen. De kromme is concaaf als het lijnstuk altijd boven de kromme ligt. Voorbeelden van convexe en concave krommen zijn gegeven in figuur 5.

Doelstellingsfuncties zijn veelal convex of concaaf. Daarom wordt in het vervolg nagegaan onder welke voorwaarden convexe en concave doelstellingsfuncties als een standaard L.P.-probleem met lineaire doelstellingsfunctie mogen worden behandeld. De convexe doelstellingsfunctie, Z , weergegeven in figuur 6 dient hierbij als voorbeeld.

De doelstellingsfunctie volgens figuur 6 verloopt lineair tussen $X = 0$ en $X = X_a$ met helling $dZ/dX = A$. Voor $X > X_a$ is het verloop eveneens lineair met helling B . Voorts is helling A groter dan helling B . In formule uitgedrukt luidt deze convexe doelstellingsfunctie

$$Z = AX \quad \text{voor } 0 < X < X_a \quad (\text{A.2})$$

$$\text{en} \quad Z = AX_a + B(X - X_a) \quad \text{voor} \quad X > X_a \quad (\text{A.3})$$

$$\text{met} \quad A > B \quad A > 0 \quad \text{en} \quad B > 0 \quad (\text{A.4})$$

waarin: X_a : waarde van X behorende bij knikpunt in doelstellingsfunctie
 A en B : helling van doelstellingsfunctie voor respectievelijk
 $X < X_a$ en $X > X_a$.

Voor het geval dat de maximale waarde van Z gevonden moet worden kan Z eenduidig in X worden uitgedrukt door de beslissingsvariabelen X te vervangen door twee nieuwe beslissingsvariabelen X_A en X_B , zodanig dat

$$X = X_A + X_B \quad (\text{A.5})$$

In deze nieuwe beslissingsvariabelen wordt de doelstellingsfunctie

$$Z = AX_A + BX_B \quad (\text{A.6})$$

met als nieuwe beperkingen

$$X_a \geq X_A \geq 0 \quad (\text{A.7})$$

$$\text{en } X_B \geq 0 \quad (\text{A.8})$$

Bij iedere waarde van X geeft vergelijking A.5 een oneindig groot aantal mogelijke combinaties van bij elkaar behorende waarden van X_A en X_B . De extra informatie benodigd voor het eenduidig bepalen van X_A en X_B kan evenwel aan de doelstelling worden ontleend.

De grootst mogelijke waarden van Z worden verkregen door de waarde X_A in vergelijking A.5 zo groot mogelijk te doen zijn. Immers volgens vergelijking A.4 en A.6 geldt

$$\frac{\partial Z}{\partial X_A} > \frac{\partial Z}{\partial X_B} \quad (\text{A.9})$$

In verband met vergelijkingen A.7 en A.8 houdt dit in dat Z maximaal is als:

$$X_A = X \quad \text{en} \quad X_B = 0 \quad \text{voor} \quad X < X_a \quad (\text{A.10})$$

$$\text{en} \quad X_A = X_a \quad \text{en} \quad X_B = X - X_a \quad \text{voor} \quad X > X_a \quad (\text{A.11})$$

Substitutie van vergelijkingen A.10 en A.11 in vergelijking A.6 geeft vergelijkingen A.2 en A.3. Derhalve is de doelstellingsfunctie volgens vergelijking A.6 identiek aan de oorspronkelijke doelstellingsfunctie.

Vergelijkingen A.2 en A.3 gelden alleen als voor Z een grootst mogelijke waarde gezocht moet worden. Ze gelden niet als voor Z de kleinst mogelijke waarde moet worden gezocht.

Uit het voorafgaande kan de volgende conclusie worden getrokken:

- (i) een convexe doelstellingsfunctie -(of een doelstellingsfunctie bestaande uit de som van een aantal convexe functies)- kan door vergroting van het aantal beslissingsvariabelen en door het invoeren van extra beperkingen tot een standaard L.P.-probleem worden teruggebracht mits de maximale waarde van de doelstellingsfunctie gevonden dient te worden. Dit is onmogelijk als de minimale waarde van de doelstellingsfunctie dient te worden gevonden.

Op overeenkomstige wijze kan worden afgeleid:

- (ii) een concave doelstellingsfunctie -(of een doelstellingsfunctie bestaande uit de som van een aantal concave functies)- kan door vergroting van het aantal beslissingsvariabelen en door het invoeren van extra beperkingen

tot een standaard L.P.-probleem worden teruggebracht mits de minimale waarde van de doelstellingsfunctie gevonden dient te worden. Dit is onmogelijk als de maximale waarde van de doelstellingsfunctie dient te worden gevonden.

Voorts impliceert het bovenstaande:

(iii) een doelstellingsfunctie bestaande uit de som van convexe en concave functies kan niet tot een standaard L.P.-probleem worden teruggebracht.

Voor convexe en concave doelstellingsfuncties, die niet via de doelstellingsfunctie tot het standaard L.P.-probleem kunnen worden teruggebracht is het mogelijk voorwaarden als vergelijkingen A.10 en A.11 expliciet op te leggen in plaats van via de doelstelling. Dit kan evenwel tot gevolg hebben dat een lokale extreme waarde wordt gevonden in plaats van de werkelijke extreme waarde, zonder dat hierover uitsluitel kan worden gegeven.

Oplossingsmethoden gebaseerd op het expliciet invoeren van voorwaarden als vergelijkingen A.10 en A.11 worden aangeduid als separable programming.

3 Variant van de in paragraaf 2 beschreven procedure

Een variant op het in paragraaf 2 behandelde kan worden verkregen door de convexe doelstellingsfunctie volgens figuur 6 te schrijven als:

$$Z = Z_a - A (X_a - X) \quad \text{voor} \quad X_a > X \quad (\text{A.12})$$

$$\text{en} \quad Z = Z_a + B (X - X_a) \quad \text{voor} \quad X_a < X \quad (\text{A.13})$$

$$\text{met} \quad A > B, \quad A > 0 \quad \text{en} \quad B > 0 \quad (\text{A.14})$$

waarin Z_a : waarde van Z voor het knikpunt in de doelstellingsfunctie
 X_a : bijbehorende waarde van X
 A en B : maat van helling van doelstellingsfunctie voor respectievelijk $X_a > X$ en $X_a < X$.

In dit geval kan de beslissingsvariabele X vervangen worden door twee nieuwe beslissingsvariabelen X^+ en X^- via de relatie

$$X_a - X = X^+ - X^- \quad (\text{A.15})$$

met $X^+ \geq 0$ (A.16)

en $X^- \geq 0$ (A.17)

De doelstelling moet dan worden geschreven als

$$Z = Z_a - A X^+ + B X^- \quad (A.18)$$

Vergelijking A.15 geeft onvoldoende informatie om de waarden van X^+ en X^- eenduidig te bepalen voor iedere X . Ook nu kan de doelstelling voor de eenduidigheid zorgen mits de grootst mogelijke waarde van Z moet worden gevonden. Immers, volgens vergelijkingen A.14 en A.18 is Z zo groot mogelijk als X^+ zo klein mogelijk is.

Dit houdt in

$$X^+ = X_a - X \quad \text{en} \quad X^- = 0 \quad \text{voor} \quad X_a > X \quad (A.19)$$

en $X^+ = 0 \quad \text{en} \quad X^- = X_a - X \quad \text{voor} \quad X_a < X \quad (A.20)$

Dan is de convexe doelstellingsfunctie volgens vergelijkingen A.12 en A.13 identiek aan die volgens vergelijking A.18, naar kan worden afgeleid door substitutie van vergelijkingen A.19 en A.20 in vergelijking A.18.

Appendix B

Uitwerking L.P.-voorbeeld

1 Inleiding

Als eerste rekenvoorbeeld met lineaire programmering is gekozen voor de schematisatie van de waterhuishoudkundige infrastructuur zoals die is weergegeven in figuur 2.

In onderstaande zijn de vergelijkingen (de beperkingen en de doelstellingsfunctie) uitgewerkt. Voor de presentatie van de vergelijkingen gelden de volgende algemene punten:

- de vergelijkingen gelden voor een bepaalde periode t
- indien noodzakelijk is aangegeven hoe de verschillende periodes aan elkaar gekoppeld zijn (bijv. bij het IJsselmeer)
- de vergelijkingen zijn zo opgeschreven dat links van het gelijk- of ongelijkteken de onbekenden (de beslissingsvariabelen) staan en rechts de bekende grootheden (constanten)
- voor de bekende grootheden (d.w.z. bij het stellen van het L.P.-probleem te geven grootheden, zoals de vraag naar water, het aanbod van water in de Rijn, etc.) is niet de getalwaarde ingevuld, maar indien mogelijk een algemene uitdrukking. De getalwaarde kan per periode verschillend zijn.
- minimum en maximum waarden van de verschillende debieten in verband met milieu-eisen of fysieke grenzen zijn niet vermeld bij de verschillende knooppunten.

2 Uitwerking van de vergelijkingen voor de verschillende knooppunten

Bij de uitwerking zijn achtereenvolgens de verschillende knooppunten behandeld zoals weergegeven in figuur 2.

Knooppunt 1

Splitsingspunt van de Rijn in de IJssel en de Waal (Nederrijn)

De continuïteitsvergelijking in dit knooppunt geeft:

$$Q_{1,2;t} + Q_{1,3;t} = Q_{RIJN;t} \quad (B.1)$$

De verdeling over de IJssel en de Waal (Nederrijn) kan beïnvloed worden door

de stuw bij Driel. Bij de huidige regelmogelijkheden kan het debiet van de IJssel bij een bepaalde Rijn-afvoer gevarieerd worden tussen een minimum waarde ($Q_{IJSSSEL,min;t}$) en een maximum waarde ($Q_{IJSSSEL,max;t}$). Zie ook hoofdstuk 5, paragraaf 5.5.4.

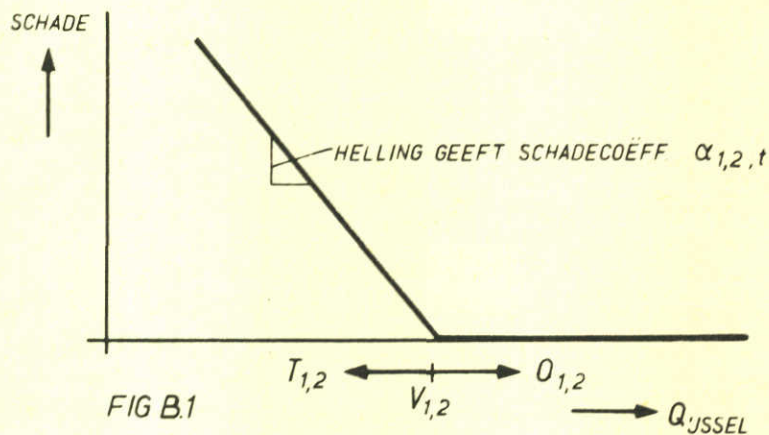
$$Q_{1,2;t} \geq Q_{IJSSSEL,min;t} \quad (B.2)$$

$$Q_{1,2;t} \leq Q_{IJSSSEL,max;t} \quad (B.3)$$

De waarden voor het minimum en maximum debiet van de IJssel kunnen afgelezen worden uit figuur 4.

Scheepvaart op de IJssel.

De scheepvaart op de IJssel vraagt om een bepaalde minimum afvoer. Boven deze afvoer zijn de waterstanden op de IJssel zodanig dat geen beperking opgelegd wordt aan het laadvermogen. Wanneer de afvoer lager is dan de door de scheepvaart gevraagde afvoer, dan treedt er schade op voor de scheepvaart wegens beperking van het laadvermogen. Een en ander is geschematiseerd weergegeven in onderstaande figuur.



De vergelijking hiervoor luidt:

$$Q_{1,2;t} + T_{1,2;t} - O_{1,2;t} = V_{1,2} \quad (B.4)$$

waarbij:

$V_{1,2}$: de vraag naar water (afvoer) van de scheepvaart op de IJssel.
(Indien verschillend voor bepaalde periodes van het jaar:

$$V_{1,2} \rightarrow V_{1,2;t})$$

$T_{1,2;t}$: watertekort voor de scheepvaart op de IJssel. Dit treedt op
als $Q_{1,2;t} < V_{1,2}$
 $O_{1,2;t}$: overschot voor de scheepvaart op de IJssel. Dit treedt op
als $Q_{1,2;t} > V_{1,2}$.

(met $T_{1,2;t} \geq 0$ $O_{1,2;t} \geq 0$ $V_{1,2} \geq 0$).

In de doelstellingsfunctie komt de term:

$$S_{1,2;t} = \alpha_{1,2;t} \cdot T_{1,2;t} \quad (\text{B.5})$$

In paragraaf 5.5.1 is aangegeven hoe bovenstaande opsplitsing in tekort en overschot opgelost wordt door de L.P.-berekening.

Knooppunt 2

IJsselmeer

Naar het IJsselmeer wordt water aangevoerd door de IJssel en eventueel via de Oranje-sluizen bij Amsterdam vanuit het Amsterdam-Rijnkanaal of het Noordzeekanaal. De netto neerslag (neerslag minus verdamping) op het IJsselmeer en de afwatering van enkele kleine riviertjes op het IJsselmeer is in rekening gebracht met behulp van de extra aanvoertak NN. Water vanuit het IJsselmeer gaat naar de landbouwgebieden NOHOLA (Noord-Holland ten noorden van het Noordzeekanaal) en NOORD (Friesland en gedeeltes van Overijssel en Groningen). Overtollig water kan afgevoerd worden via de spuïsluizen in de Afsluitdijk en via het Noordzeekanaal.

De continuïteitsvergelijking voor het IJsselmeer luidt dan:

$$\begin{aligned}
I_{2;t} - I_{2;t-1} - Q_{1,2;t} - Q_{5,2;t} + Q_{2,11;t} + Q_{2,13;t} + Q_{2,12;t} + \\
+ Q_{2,5;t} = NN_{2;t}
\end{aligned} \quad (\text{B.6})$$

waarbij: $I_{2;t}$: inhoud van het IJsselmeer aan het einde van periode t , gedeeld door de duur (in seconden) van periode t

$NN_{2;t}$: netto neerslag in plus afwatering kleine riviertjes naar het IJsselmeer gedurende periode t .

Voor de inhoud van het IJsselmeer gelden minimum en maximum waarden. Deze waarden kunnen eventueel per periode verschillend zijn. Dit geeft de volgende beperkingen:

$$I_{2;t} \leq I_{2;\max;t} \quad (\text{B.7})$$

$$I_{2;t} \geq I_{2;\min;t} \quad (\text{B.8})$$

Het spuidebiet via de Afsluitdijk is afhankelijk van de waterstand in het IJsselmeer (zie figuur 7).

Voor een bepaald traject kan de relatie van figuur 7 benaderd worden met een lineaire vergelijking. Dit geeft de volgende extra beperking:

$$Q_{2,13;t} - A \cdot I_{2;t-1} \leq B \quad (\text{B.9})$$

Mogelijk zijn ook andere uitlaatpunten wat de grootte van de afvoer betreft, afhankelijk van de waterstand in het IJsselmeer. Dit is voorlopig buiten beschouwing gelaten.

Knooppunt 3

Splitsingspunt van de Waal (Nederrijn) en het Amsterdam-Rijnkanaal

De continuïteitsvergelijking geeft:

$$Q_{1,3;t} - Q_{3,6;t} - Q_{3,4;t} = 0 \quad (\text{B.10})$$

Bij lage afvoeren via de Waal en Nederrijn is slechts een beperkte afname voor het Amsterdam-Rijnkanaal toegestaan in verband met veranderingen van de bodemconfiguratie (bodemtransport) ten nadele van de scheepvaart op de Waal en Nederrijn.

Dit geeft de volgende beperking:

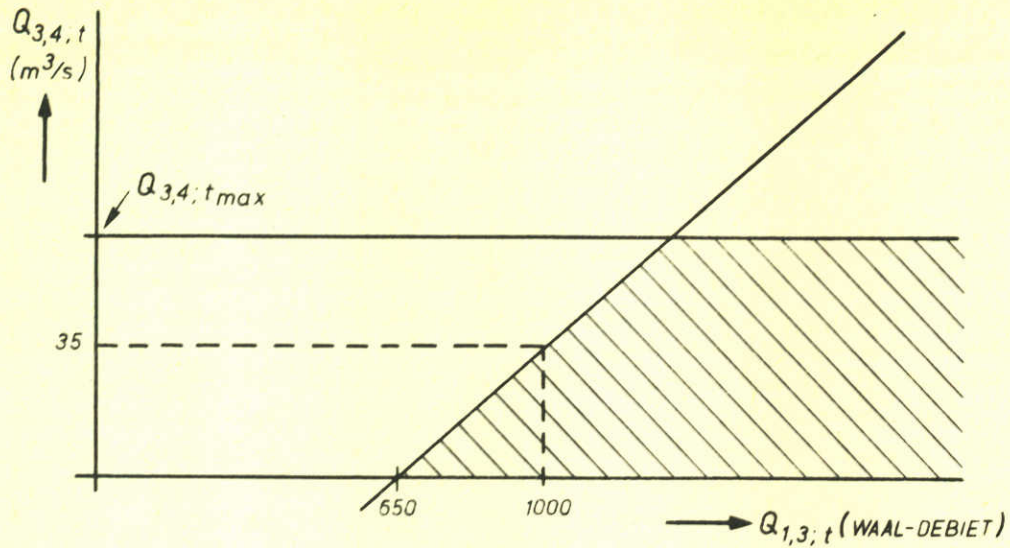
$$Q_{3,4;t} + C \cdot Q_{1,3;t} \leq D \quad (\text{B.11})$$

waarbij: $C = -0,1$

C is een constante

$D = -65 \text{ m}^3/\text{s}$

Een en ander is weergegeven in figuur B.2. (zie volgende pagina)




 GEBIED WAARIN DE WAARDE VAN
 $Q_{3,4;t}$ KAN LIGGEN, AFHANKELIJK VAN $Q_{1,3;t}$

FIG. B.2

Knooppunt 4

Splitsingspunt van het Amsterdam-Rijnkanaal met de extra aanvoerroute naar het landbouwgebied van Midden-West-Nederland (MIDWES)

De continuïteitsvergelijking geeft:

$$Q_{3,4;t} - Q_{4,8;t} - Q_{4,5;t} = 0 \quad (\text{B.12})$$

Knooppunt 5

Splitsingspunt Amsterdam-Rijnkanaal, Noordzeekanaal en aanvoerroute naar en van het IJsselmeer via de Oranje-sluizen

De continuïteit in dit punt geeft:

$$Q_{4,5;t} - Q_{5,9;t} - Q_{5,2;t} + Q_{2,5;t} = 0 \quad (\text{B.13})$$

Knooppunt 6

Splitsingspunt voor aanbod vanuit de Rijn, aanbod vanuit de Maas en watervoorziening naar het zuiden via de sluisen in de Volkerakdam en naar het westen via de Oude en Nieuwe Maas

Bij de gekozen schematisatie is de afvoer naar zee via de Haringvlietsluizen en via de Rotterdamsche Waterweg samengenomen in tak 7-13 (Rott. Waterweg). De continuïteitsvergelijking luidt:

$$Q_{6,7;t} + Q_{6,13;t} - Q_{3,6;t} = Q_{MAAS;t} \quad (B.14)$$

Knooppunt 7

Splitsingspunt (Oude en) Nieuwe Maas (tak 6-7), Hollandse IJssel en Rotterdamsche Waterweg

Het debiet dat via de Hollandse IJssel aangevoerd kan worden naar het landbouwgebied MIDWES is afhankelijk van de afvoer via de Rotterdamsche Waterweg. Een en ander staat uitgebreid beschreven in paragraaf 5.5.5.

Het debiet van tak 6-7 ($Q_{6,7;t}$) wordt met behulp van een zeer kleine schade-coëfficiënt in de doelstellingsfunctie opgesplitst in twee gedeeltes. Een gedeelte kleiner of gelijk aan $500 \text{ m}^3/\text{s}$ ($Q_{6,7,1;t}$) en de rest ($Q_{6,7,2;t}$). Dit geeft dan:

$$Q_{6,7;t} - Q_{6,7,1;t} - Q_{6,7,2;t} = 0 \quad (B.15)$$

Voor $Q_{6,7,1;t}$ geldt tevens de volgende beperking:

$$Q_{6,7,1;t} \leq 500 \quad (B.16)$$

Het debiet $Q_{6,7,2;t}$ krijgt in de doelstellingsfunctie een zeer kleine schade-coëfficiënt $\alpha_{6,7,2}$. De term van de schadefunctie wordt dan:

$$S_{6,7,2;t} = \alpha_{6,7,2} \cdot Q_{6,7,2;t} \quad (B.17)$$

De continuïteit in knooppunt 7 geeft:

$$Q_{6,7;t} - Q_{7,13;t} - Q_{7,8;t} = 0 \quad (B.18)$$

De afhankelijkheid van het debiet via de Hollandse IJssel van het debiet via de Rotterdamsche Waterweg geeft de beperking:

$$Q_{7,8;t} - Q_{6,7,2;t} \leq 0 \quad (\text{B.19})$$

Knooppunt 8

Landbouwgebied Midden-West-Nederland (MIDWES) met de gebieden Rijnland, Delfland en Schieland

De totale behoefte van de landbouwgebieden aan aanvulling van extra water uit het oppervlakte-water bestaat uit twee delen.

- (i) Wateraanvoer voor peilbeheersing van de boezems en polders en
- (ii) water ten behoeve van de doorspoeling van het landbouwgebied in verband met interne belasting van zout en andere stoffen en belasting via de randen bij schut- en/of spuisluizen of open verbindingen.

De kwaliteit wordt bij deze eerste L.P.-berekening niet meegenomen. Daarom wordt een bepaalde hoeveelheid water voor doorspoeling ten alle tijde gegarandeerd door beperkingen op te leggen aan de minimum afvoer van de takken waarlangs het water afgevoerd wordt uit de landbouwgebieden.

De continuïteit voor knooppunt 8 geeft als beperking:

$$Q_{7,8;t} + Q_{4,8;t} - Q_{8,10;t} - Q_{8,13;t} - Q_{8;t} = 0 \quad (\text{B.20})$$

waarbij: $Q_{8;t}$: het debiet dat door het landbouwgebied van knooppunt 8 verbruikt wordt (verdamping).

Het verschil tussen de vraag naar water voor optimale verdamping ($V_{8;t}$) en de toegewezen hoeveelheid water ($Q_{8;t}$) is het tekort aan water. Dit levert de volgende beperking:

$$T_{8;t} + Q_{8;t} = V_{8;t} \quad (\text{B.21})$$

waarbij: $T_{8;t}$: watertekort in het landbouwgebied van knooppunt 8
 $V_{8;t}$: behoefte aan water voor optimale verdamping in het landbouwgebied van knooppunt 8.

Door de beperking (B.21) is gegarandeerd dat in de L.P. - berekening $Q_{8;t}$ kleiner of gelijk is aan $V_{8;t}$. Anders zou namelijk $T_{8;t}$ een negatieve waarde krijgen;

maar alle beslissingsvariabelen (dus ook $T_{8;t}$) kunnen slechts waarden krijgen die groter of gelijk nul zijn.

In de doelstellingsfunctie komt de term:

$$S_{8;t} = \alpha_{8;t} \cdot T_{8;t} \quad (\text{B.22})$$

Knooppunt 9

Afwateringspunt van het landbouwgebied NOHOLA in het Noordzeekanaal

De continuïteitsvergelijking geeft:

$$Q_{5,9;t} + Q_{11,9;t} - Q_{9,10;t} = 0 \quad (\text{B.23})$$

Knooppunt 10

Afwateringspunt van het landbouwgebied MIDWES (Halfweg en Spaarndam)

De continuïteit geeft hier:

$$Q_{9,10;t} + Q_{8,10;t} - Q_{10,13;t} = 0 \quad (\text{B.24})$$

Knooppunt 11

Landbouwgebied van Noord-Holland ten noorden van het Noordzeekanaal (NOHOLA)

Naar analogie van knooppunt 8 geeft dit knooppunt de volgende beperkingen:

$$Q_{2,11;t} - Q_{11,9;t} - Q_{11,13;t} - Q_{11;t} = 0 \quad (\text{B.25})$$

$$T_{11;t} + Q_{11;t} = V_{11;t} \quad (\text{B.26})$$

en als term in de doelstellingsfunctie:

$$S_{11;t} = \alpha_{11;t} \cdot T_{11;t} \quad (\text{B.27})$$

Knooppunt 12

Landbouwgebied van Noord-Nederland (NOORD)

Dit knooppunt levert de volgende beperkingen:

$$Q_{2,12;t} - Q_{12,13;t} - Q_{12;t} = 0 \quad (\text{B.28})$$

$$T_{12;t} + Q_{12;t} = V_{12;t} \quad (\text{B.29})$$

Als term in de doelstellingsfunctie:

$$S_{12;t} = \alpha_{12;t} \cdot T_{12;t} \quad (\text{B.30})$$

Knooppunt 13

Ontmoetingspunten van het water van de geschematiseerde infrastructuur met de zee (Noordzee en Waddenzee).

Dit punt geeft geen extra beperkingen.

3 Doelstellingsfunctie

Indien geoptimaliseerd wordt over n periodes t met een duur van T seconden, dan luidt de doelstellingsfunctie

$$\begin{aligned} \text{Minimaliseer } Z = \sum_{t=1}^n \sum_{i=1}^m S_{i;t} &= \sum_{t=1}^n (\alpha_{1,2;t} \cdot T_{1,2;t} + \alpha_{6,7,2} \cdot Q_{6,7,2;t} + \\ &+ \alpha_{8;t} \cdot T_{8;t} + \alpha_{11;t} \cdot T_{11;t} + \alpha_{12;t} \cdot T_{12;t}) \quad (\text{B.31}) \end{aligned}$$

Appendix C

Verloop concentratie in reservoir

1^o aanname: Als eerste aanname wordt uitgegaan van volledige menging van het in het reservoir aanwezige water. Het verloop van de concentratie wordt dan gegeven door de vergelijking

$$\frac{d(I \cdot c)}{dt} = Q_{in} \cdot c_{in} - Q_{uit} \cdot c_{uit} + Q_k \cdot c_k \quad (C.1)$$

waarin

I : inhoud van het reservoir

c : concentratie in reservoir

Q_{in} , Q_{uit} , Q_k : instromend debiet, uitstromend debiet en kwel debiet

c_{in} , c_{uit} , c_k : concentratie in instromend water, uitstromend water en kwel water

t : tijd.

Bij volledige menging geldt:

$$c_{uit} = c \quad (C.2)$$

Verder geldt:

$$\frac{dI}{dt} = Q_{in} - Q_{uit} + Q_k \quad (C.3)$$

Substitutie van vergelijkingen C2 en C3 in vergelijking C1 geeft

$$I \frac{dc}{dt} = Q_{in} \left(c_{in} + \frac{Q_k}{Q_{in}} c_k - c \right) \quad (C.4)$$

2^o aanname: als tweede aanname worden Q_{in} , Q_{uit} , Q_k , c_{in} en c_k gedurende de beschouwde periode constant gesteld.

Bij deze aanname geldt, mits $Q_k \approx 0$

$$I = I_0 + (Q_{in} - Q_{uit}) t \quad (C.5)$$

waarin

I_0 : inhoud van het reservoir op tijdstip $t = 0$.

Oplossing van de vergelijking verkregen door substitutie van vergelijking C.5 in vergelijking C.4 levert vervolgens

$$c = \left\{ c_{in} + \frac{Q_k}{Q_{in}} c_k \right\} \left[1 - \left\{ 1 + \frac{Q_{in} - Q_{uit}}{I_o} t \right\} e^{-\frac{Q_{in}}{Q_{in} - Q_{uit}} t} \right] + c_o \left[\left\{ 1 + \frac{Q_{in} - Q_{uit}}{I_o} t \right\} e^{-\frac{Q_{in}}{Q_{in} - Q_{uit}} t} \right] \quad (C.6)$$

waarin

c_o : concentratie in reservoir op tijdstip $t = 0$

Voor $Q_{in} \rightarrow Q_{uit}$ reduceert vergelijking C.6 tot

$$c = \left\{ c_{in} + \frac{Q_k}{Q_{in}} c_k \right\} \left(1 - e^{-\frac{Q_{in}}{I_o} t} \right) + c_o e^{-\frac{Q_{in}}{I_o} t} \quad (C.7)$$

en voor $Q_{in} \rightarrow 0$ en $Q_{uit} \rightarrow 0$ tot

$$c = c_o + \frac{Q_k}{I_o} c_k t \quad (C.8)$$

3^o aanname: als derde aanname wordt gesteld dat Q_{in} , Q_{uit} en c_{in} na een periode met duur T sprongsgewijs veranderen tot waarden die dan weer gedurende een periode T constant blijven, etc. Voorts wordt aangenomen dat Q_k en c_k gedurende al de beschouwde perioden met duur T constant zijn.

De volgende notatie wordt nu ingevoerd

$Q_{in,i}$: waarde van Q_{in} gedurende periode met rangnummer i ,

$c_{in,i}$: waarde van c_{in} gedurende periode met rangnummer i ,

c_i : concentratie in reservoir aan einde van periode met rangnummer i .

Voorts wordt gesteld

$$c_{in,i+1} = c_{in,i} + \Delta c_{in,i} \quad (C.9)$$

waarin:

$\Delta c_{in,i}$: verandering van c_{in} aan einde van periode met rangnummer i .

Tenslotte wordt gesteld

$$V_{in,i} = Q_{in,i} \cdot T \quad (C.10)$$

waarin:

$V_{in,i}$: hoeveelheid water, die gedurende periode met rangnummer i het reservoir instroomt.

4^o aanname: voor iedere periode wordt $V_{in,i}$ zo klein gesteld ten opzichte van I_o dat

$$1 - e^{-\frac{V_{in,i}}{I_o}} \approx \frac{V_{in,i}}{I_o} \quad (C.11)$$

Dan kan uit vergelijking C.7 worden afgeleid dat

$$c_1 = c_{in;1} \left[1 - e^{-\frac{V_{in;1}}{I_o}} \right] + \frac{Q_k c_k}{I_o} T + c_o e^{-\frac{V_{in;1}}{I_o}} \quad (C.12)$$

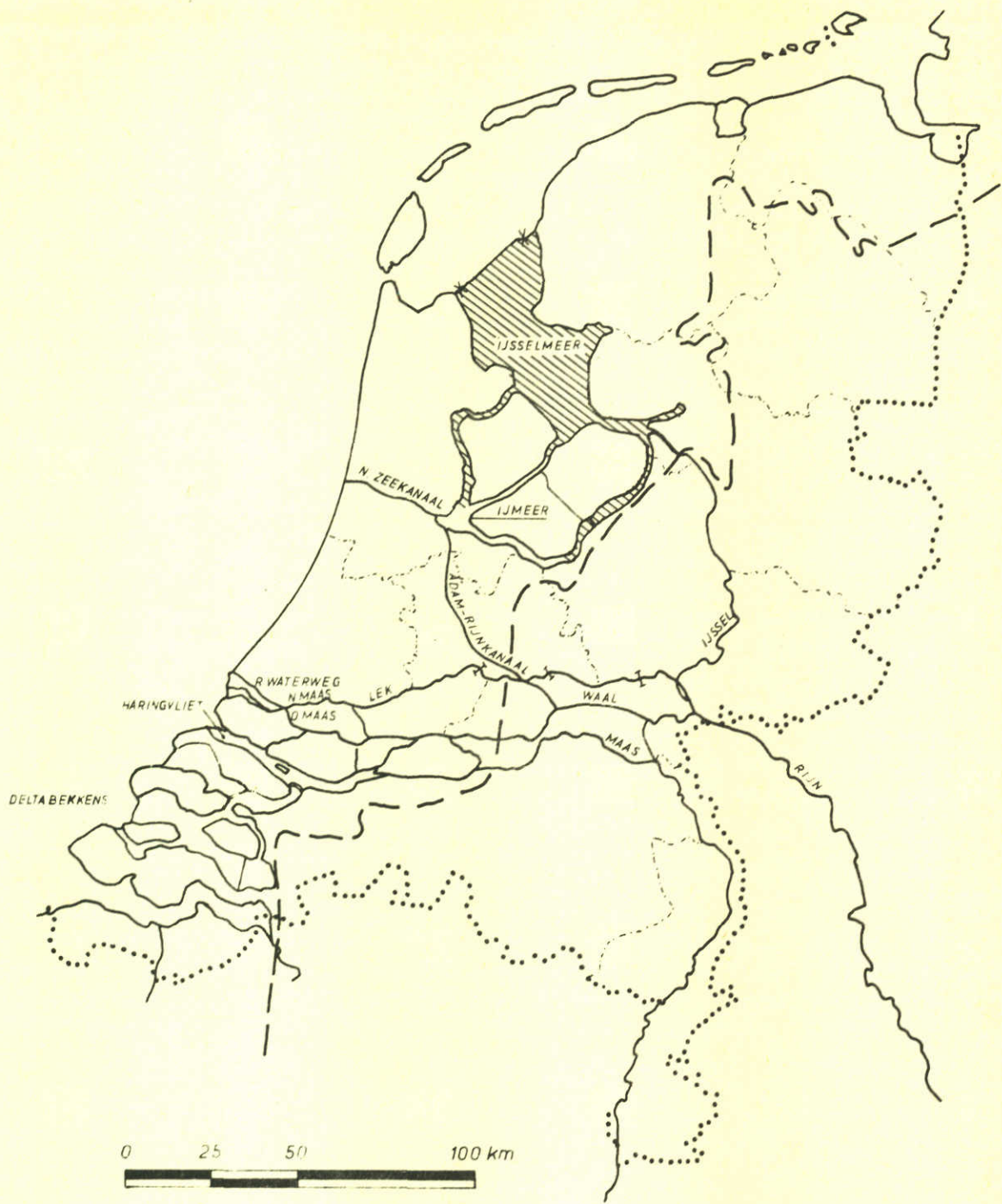
$$c_2 = c_{in;1} \left[1 - e^{-\frac{(V_{in;1} + V_{in;2})}{I_o}} \right] + \Delta c_{in;1} \left[1 - e^{-\frac{V_{in;2}}{I_o}} \right] + \frac{Q_k c_k}{I} T \left[1 + e^{-\frac{V_{in;2}}{I_o}} \right] + c_o e^{-\frac{(V_{in;1} + V_{in;2})}{I_o}} \quad (C.13)$$

$$\begin{aligned}
c_n = & c_{in;1} \left[1 - e^{-\frac{\sum_1^n V_{in;i}}{I_0}} \right] + \Delta c_{in;1} \left[1 - e^{-\frac{\sum_2^n V_{in;i}}{I_0}} \right] + \\
& + \Delta c_{in;2} \left[1 - e^{-\frac{\sum_3^n V_{in;i}}{I_0}} \right] + \text{etc} \dots + \Delta c_{in;n-1} \left[1 - e^{-\frac{-V_{in;n}}{I_0}} \right] + \\
& + \frac{Q_k c_k T}{I} \left[1 + e^{-\frac{\sum_2^n V_{in;i}}{I_0}} + e^{-\frac{\sum_3^n V_{in;i}}{I_0}} + \text{etc} + e^{-\frac{-V_{in;n}}{I_0}} \right] + \\
& + c_o e^{-\frac{\sum_1^n V_{in;i}}{I_0}}
\end{aligned} \tag{C.14}$$

Vergelijking C.14 geldt voor de situatie met niet variërend reservoir volume ($Q_{in} = Q_{uit}$) bij per beschouwde periode zo geringe doorspoeling dat vergelijking C.11 opgaat. Vergelijking C.14 laat zien dat de concentratie kan worden geschreven als de som van een aantal convexe en concave functies van de hoeveelheid water waarmee het reservoir in de verschillende perioden wordt doorgespoeld. De convexe functies zijn de termen waarin c_{in} en positieve waarden van $\Delta c_{in,i}$ voorkomen. De concave functies zijn de termen met negatieve waarden van $\Delta c_{in,i}$ en de termen met c_k en c_o .

LITERATUUR

- [1] OUDSHOORN H.M., RUTGERS F.,
"De ordening van het gebruik en de loop van het water", Proceedings
Symposium: Waterloopkunde in dienst van industrie en milieu,
Publicatie van het Waterloopkundig Laboratorium no. 110 N, mei 1973.
- [2] De Waterhuishouding van Nederland, nota samengesteld door de Rijks-
waterstaat, Staatsuitgeverij, Den Haag. 1968.
- [3] Van den BERG C.,
"De waterbehoefte in de land- en tuinbouw",
De Ingenieur, 82, nr. 17, 24 april 1970.
- [4] RIJTEMA P.E., Bon I.,
"Bepaling landbouwkundige gevolgen van grondwaterwinning", Regionale
studies 7.
Instituut voor Cultuurtechniek en Waterhuishouding (I.C.W.)
- [5] Handboek voor Milieubeheer, deel I: Waterbeheer,
Vermande Zonen BV., IJmuiden, Code M 8.



BELANGRIJKSTE WATERWEGEN VAN DE
WATERHUISHOUDKUNDIGE INFRASTRUCTUUR

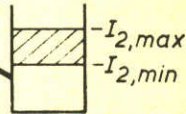
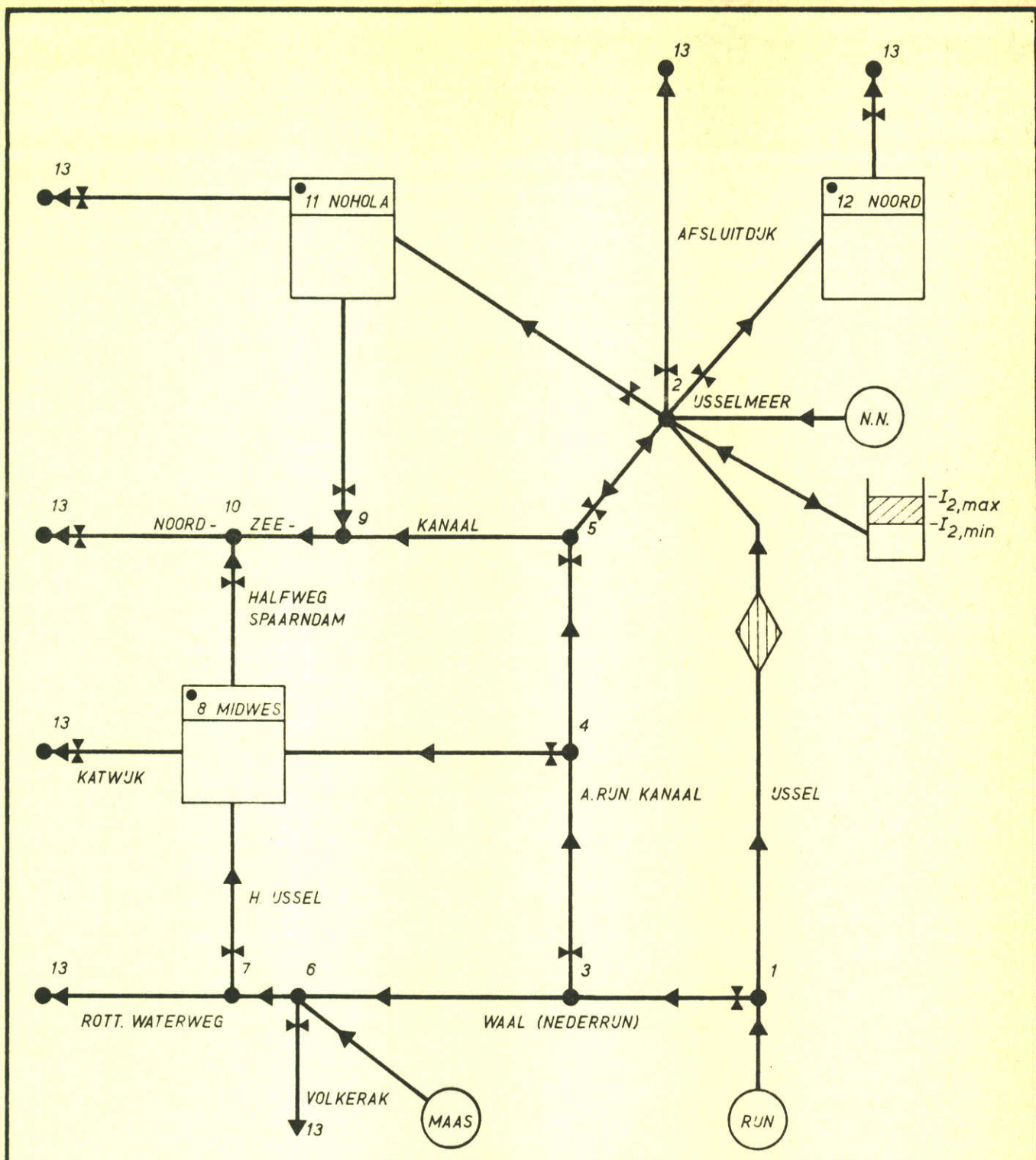
JM

A4

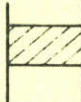
WATERLOOPKUNDIG LABORATORIUM

R. 999 - 1002


FIG. 1



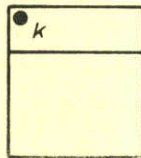
● k PUNT k VAN HET NETWERK
 ● k — l
 TAK $k-l$ VAN HET NETWERK

 I_{max}
 I_{min}
 RESERVOIR MET
 min + max INHOUD

 TAK MET
 SCHEEPVAART

$Q_{k,l}$ DEBIET IN TAK $k-l$ STROMEND
 VAN k NAAR l
 REGELMOGELIJKHEID

 WATERBRON

 LANDBOUWGEBIED

SCHEMA INFRASTRUCTUUR t.b.v. LP-BEREKENING

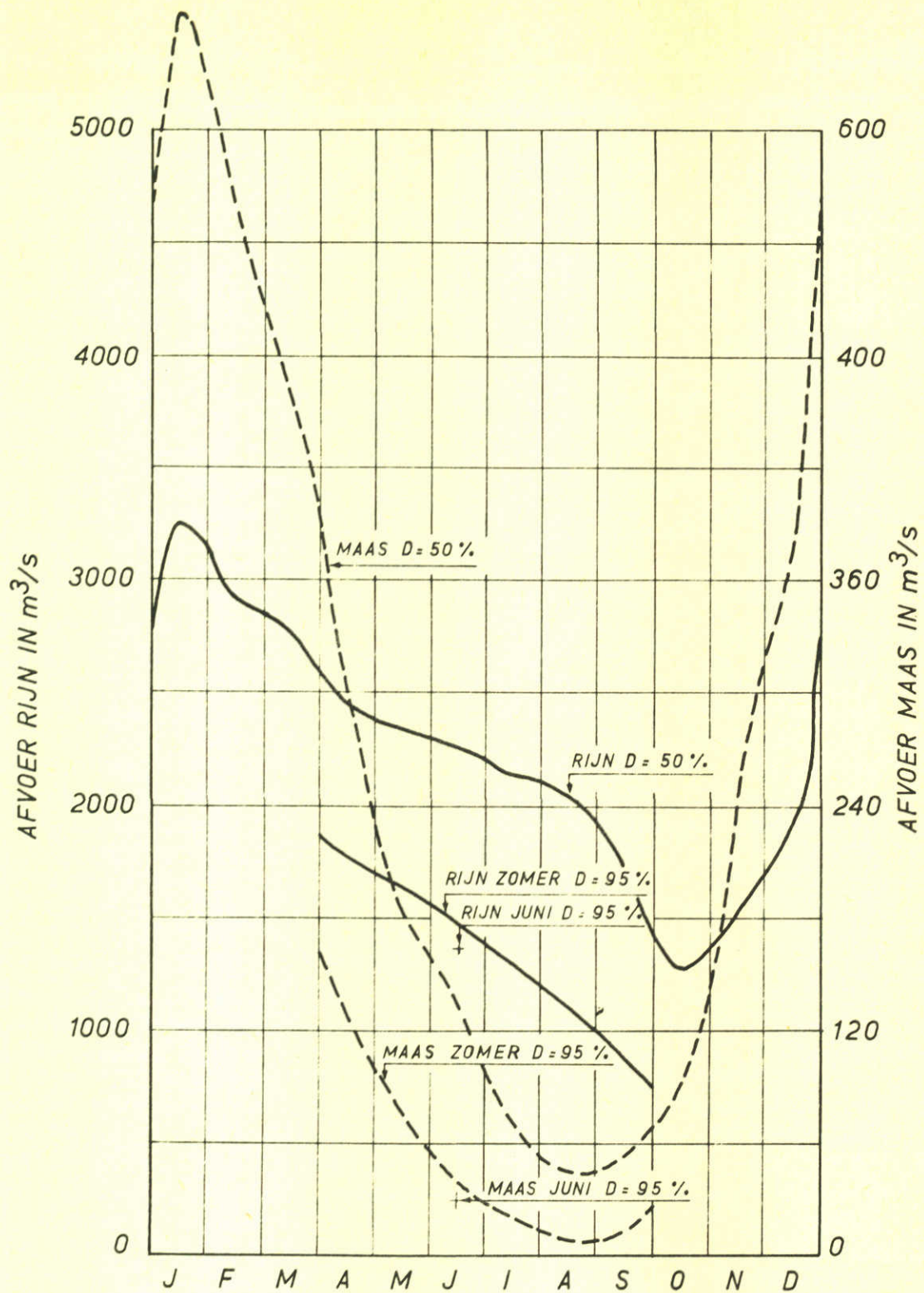
JM

A4

WATERLOOPKUNDIG LABORATORIUM

R.999-1003

FIG. 2



D = 95 % : DEBIET, MET 95 % KANS VAN OVERSCHRIJDING
 (ONTLEEND AAN GEGEVENS OVER DE PERIODE 1911 - 1967)

AFVOEREN VAN RIJN EN MAAS

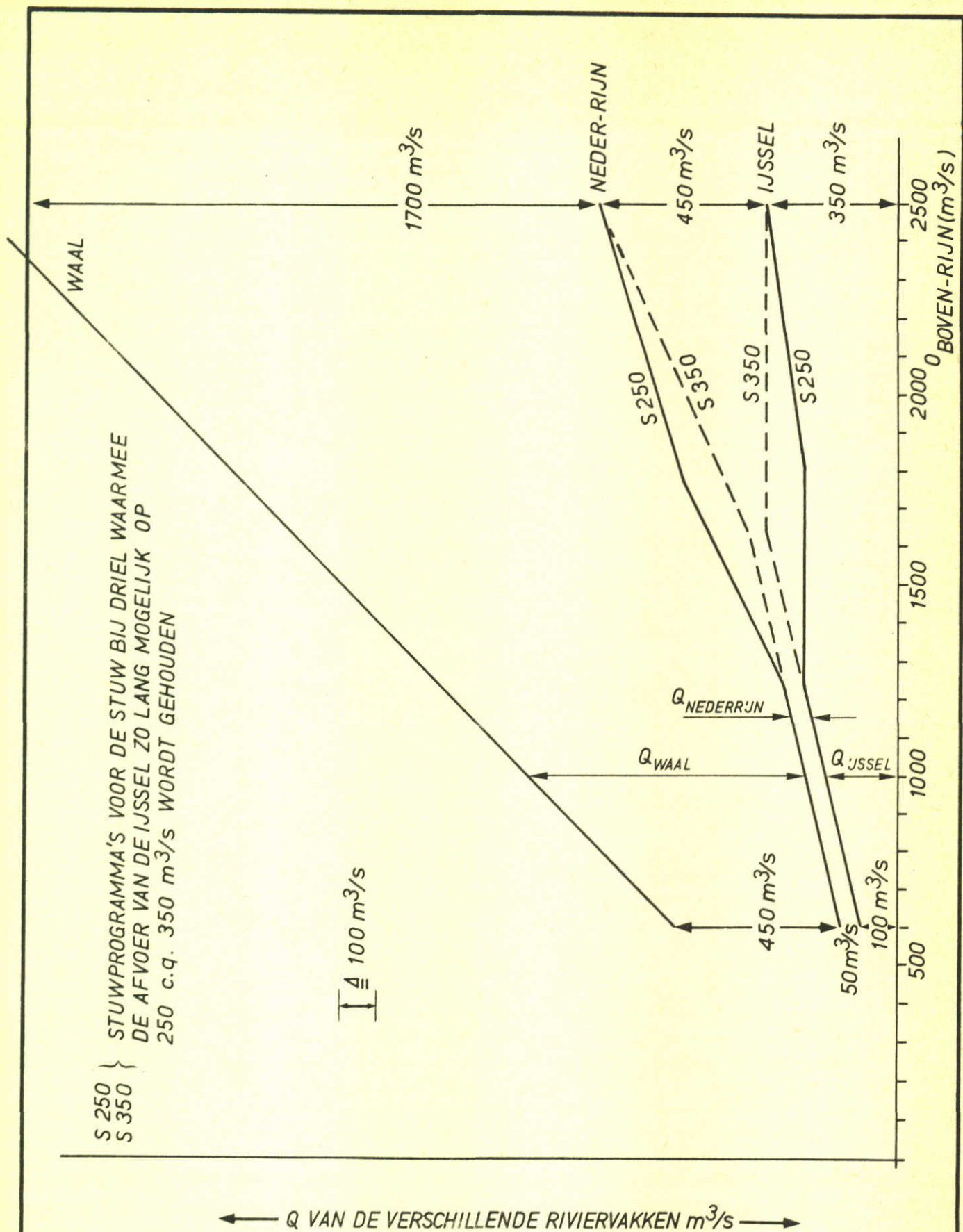
JM

A4

WATERLOOPKUNDIG LABORATORIUM

R.999-1006

FIG.3



DEBIETEN VAN DE IJSSEL, NEDER-RIJN EN WAAL
ALS FUNKTIE VAN DE RIVIERAFVOER VAN DE BOVEN-RIJN

JM

A4

WATERLOOPKUNDIG LABORATORIUM

R.999-1007

FIG.4

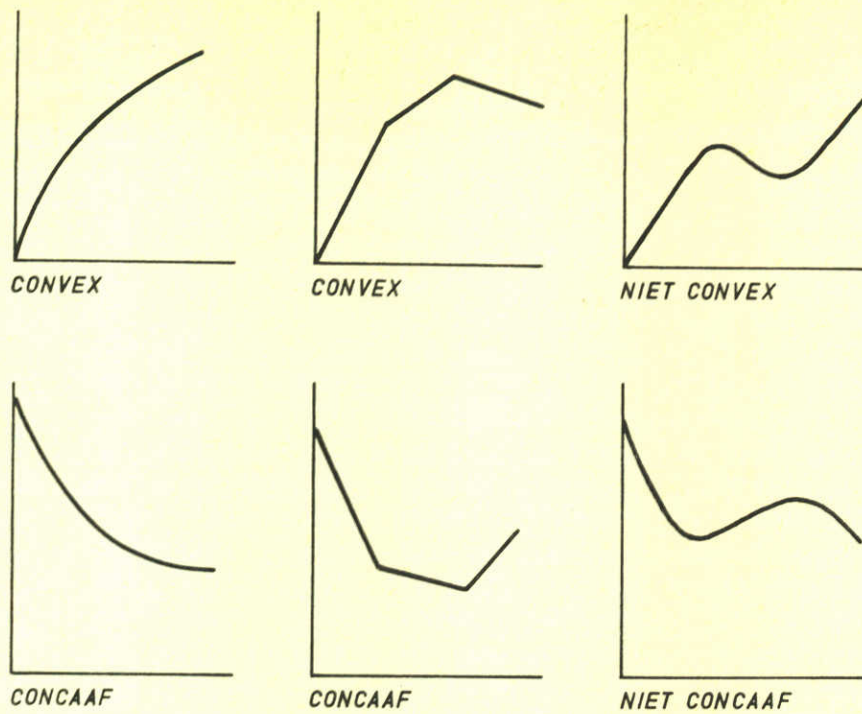
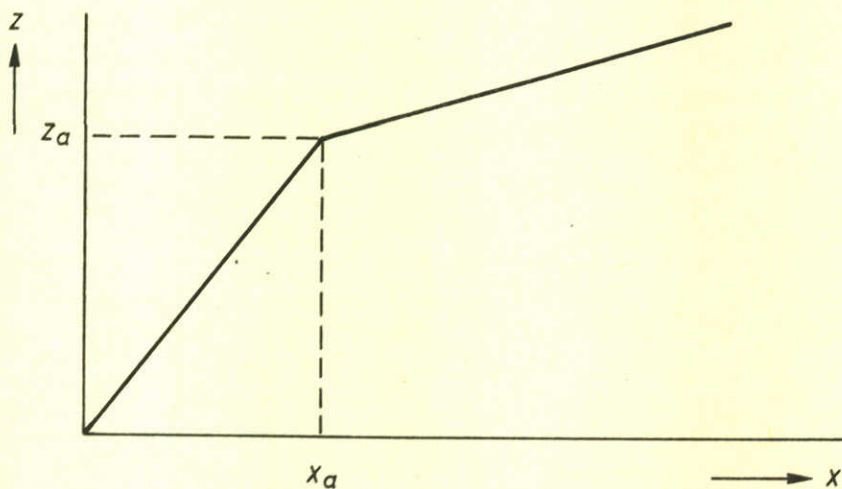


FIG. 5 CONVEXE EN CONCAVE KROMMEN



$$\begin{array}{ll}
 Z = AX & \text{voor } 0 < X < X_a \\
 \text{en } Z = AX_a + B(X - X_a) & \text{voor } X > X_a \\
 \text{met } A > B & A > 0 \quad B > 0
 \end{array}$$

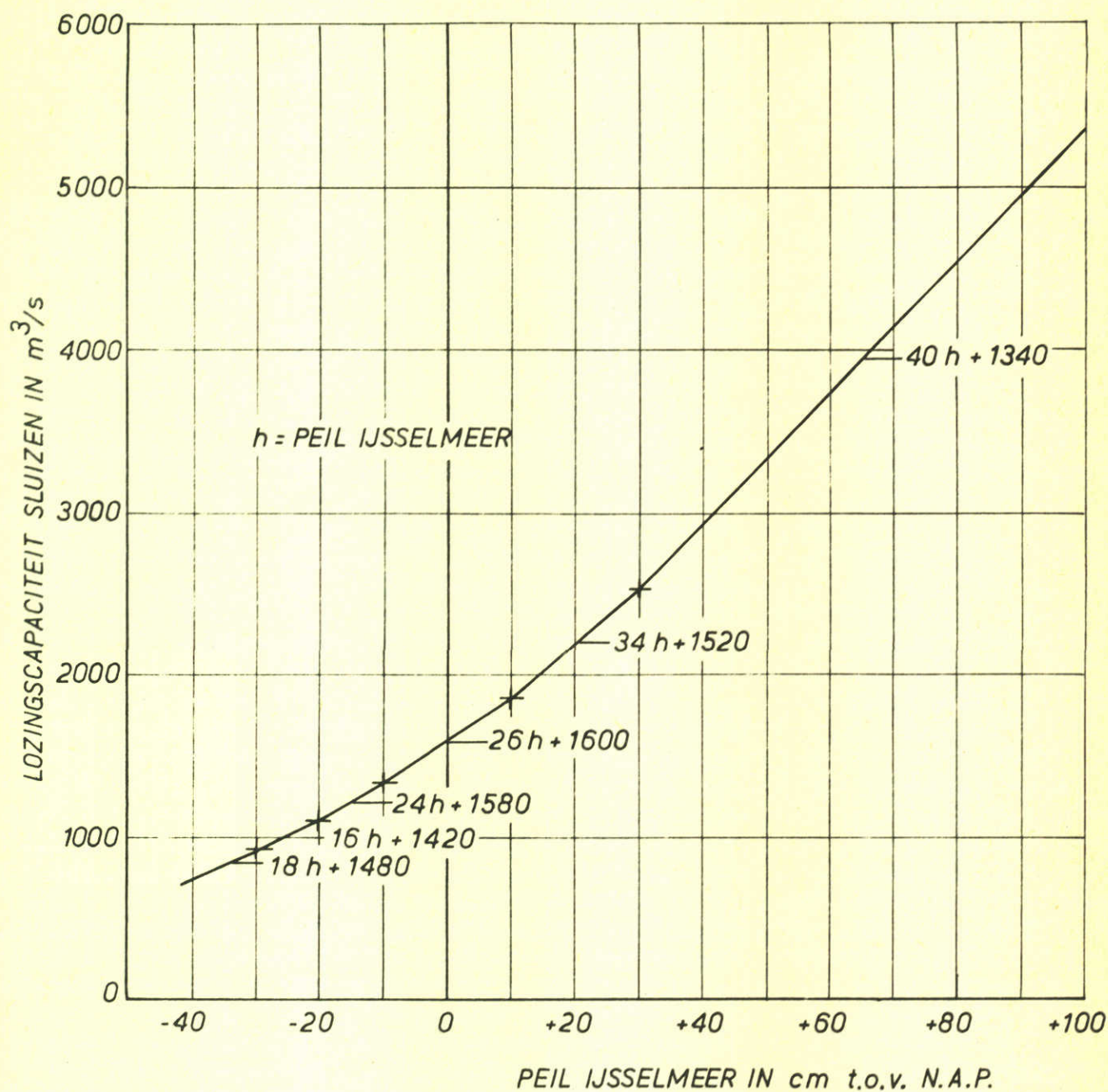
dan wel

$$\begin{array}{ll}
 Z = Z_a - A(X_a - X) & \text{voor } X_a > X \\
 \text{en } Z = Z_a + B(X - X_a) & \text{voor } X_a < X \\
 \text{met } A > B & A > 0 \quad B > 0
 \end{array}$$

FIG. 6 CONVEXE DOELSTELLINGSFUNCTIE

JM

A4



RELATIE PEIL IJSSELMEER - LOZINGSCAPACITEIT
SLUIZEN DEN OEVER + KORNERWERDERZAND

JM

A4

WATERLOOPKUNDIG LABORATORIUM

R.999 - 1004

FIG.7

p.o. box 177

delft

the netherlands