

waterloopkundig laboratorium  
delft hydraulics laboratory

hoogwaterberekeningen Maas  
riviergedeelte Eijsden - Maasbracht

berekeningen met het programma NETFLOW

verslag onderzoek

---

R 1302 deel III

december 1980

---

hoogwaterberekeningen Maas  
riviergedeelte Eijsden - Maasbracht

berekeningen met het programma NETFLOW

verslag onderzoek

---

R 1302 deel III

december 1980

## INHOUD

blz.

1.	<u>Inleiding</u> .....	1
1.1	Historisch overzicht.....	1
1.2	Doelstelling huidig onderzoek.....	2
1.3	Overzicht van de berekeningen.....	3
2.	<u>Beschrijving programma NETFLOW</u> .....	4
2.1	Inleiding.....	4
2.2	Wijze van schematiseren.....	4
2.3	Randvoorwaarden.....	5
2.4	Het gebruik van functies.....	6
2.5	Vergelijkingen.....	6
2.6	Overige aspecten.....	8
2.6.1	Droge kanalen.....	8
2.6.2	Niet uniforme snelheidsverdeling in dwarsrichting.....	8
2.6.3	Tijdstap.....	9
2.6.4	Maaswijdte.....	9
3.	<u>Schematisatie van het riviergedeelte Eijsden-Maasbracht</u> .....	11
3.1	Algemeen.....	11
3.2	Netwerk van kanalen.....	11
3.3	Dwarsprofielen.....	12
3.4	Verschil in lengte van zomer- en winterbed.....	12
4.	<u>Berekening extreem hoogwater</u> .....	14
4.1	Inleiding.....	14
4.2	Randvoorwaarden.....	14
4.3	Begintoestand.....	14
4.4	Resultaten berekening.....	15
5.	<u>Conclusies en aanbeveling(en)</u> .....	18

## LITERATUUR

## TABELLEN

- 1 Overzicht koppeling zijkanalen aan hoofdkanaal
- 2 Geometrische gegevens en bijbehorende ruwheidscoëfficiënten van hoofd- en zijkanalen
- 3 Maximum waterstanden ten opzichte van N.A.P. en afvoeren ten tijde van het T<sub>o</sub> hoogwater volgens Notitie 1978-J [5], berekend met de programma's NETFLOW, NEBAS en IMPLIC

Overzicht van de grootte van de termen uit de impulsvergelijking voor het hoofdkanaal ter plaatse van de coördinaat

- 4 4960 m
- 5 12300 m
- 6 16000 m
- 7 28000 m
- 8 31000 m



## FIGUREN

- 1 Verdeling van het dwarsprofiel in secties bij toepassing van de hydraulische straal volgens Engelund
- 2 Overzicht van de Maas met situering van peilschalen tussen Eijsden en Maasbracht
- 3 Overzicht van het netwerk van kanalen, Eijsden-Maasbracht
- 4 Lengte van zomer- en winterbed bij verschillende afvoeren
- 5 Afvoerverloop te Eijsden (bovenrandvoorwaarde)
- 6 Q-h relatie te Maasbracht (benedenrandvoorwaarde)

Waterstandsverloop te:

- 7 Eijsden (kml. 4.475)
  - 8 St. Pieter (kml. 9.455)
  - 9 Maatricht (kml. 13.895)
  - 10 Borgharen (kml. 15.590)
  - 11 Hocht (kml. 18.285)
  - 12 Elsloo (kml. 29.405)
  - 13 Berg (kml. 38.800)
  - 14 Obbicht (kml. 41.500)
  - 15 Grevenbicht (kml. 44.945)
  - 16 Visserweert (kml. 48.800)
  - 17 Maaseik (kml. 52.450)
  - 18 Maasbracht (kml. 66.650)
- 
- 19 Afvoerverloop op diverse plaatsen
  - 20 Momentopname van de waterstanden langs de hoofdgeul op  $t = 252, 300$  en  $400$  uur

BIJLAGE

A Correctie van de differentiaalvergelijkingen voor verschil in lengte van zomer- en winterbed

## LIJST VAN SYMBOLEN

A	bergend oppervlak	$L^2$
$A_s$	stroomvoerend oppervlak	$L^2$
C	Chézy-coëfficiënt	$L^{1/2} T^{-1}$
g	versnelling van de zwaartekracht	$LT^{-2}$
h	niveau van de waterspiegel	L
i,j	index voor plaats in rekenmodel	-
M	parameter gebruikt bij discretisatie van de bewegingsvergelijking	$L^2 T^{-1}$
N	parameter gebruikt bij discretisatie van de bewegingsvergelijking	$L^3 T^{-2}$
n	index voor het tijdsniveau	-
Q	afvoer	$L^3 T^{-1}$
q	zijdelingse in- of uitstroming	$L^2 T^{-1}$
$R, R_E$	hydraulische straal	L
t	tijd	T
v	snelheid	$LT^{-1}$
x	coördinaat	L
$\alpha$	coëfficiënt	-
$\theta$	tijdsniveau waarop vergelijkingen worden opgelost	-
	$0,5 < \theta \leq 1$	

HOOGWATERBEREKENINGEN MAAS; RIVIERGEDEELTE EIJSDEN-MAASBRACHT, BEREKENINGEN  
MET HET PROGRAMMA NETFLOW

1. Inleiding

1.1 Historisch overzicht

Door de Afdeling Maas van het District Zuidoost van de Rijkswaterstaat is de ontwikkeling van een eendimensionaal rekenmodel voor de berekening van hoogwatergolven op de Maas ter hand genomen. Bij de opzet van dit rekenmodel wordt uitgegaan van het rekenprogramma IMPLIC, dat door de Rijkswaterstaat is ontwikkeld voor getijdgebieden.

Bij de aanpassing van het programma IMPLIC voor het uitvoeren van hoogwaterberekeningen voor rivieren zonder getijinvloed werden door Rijkswaterstaat aanvankelijk nogal wat problemen ondervonden. Daar de Afdeling Maas in het voorjaar van 1978 over een operationeel hoogwatermodel van de Maas diende te beschikken en gezien de aanvankelijke problemen met IMPLIC besloot Rijkswaterstaat om naast het programma IMPLIC tevens het bij het Waterloopkundig Laboratorium voor (boven)rivieren ontwikkelde programma NEBAS te gebruiken. Hierdoor ontstond meer zekerheid over het tijdstip waarop Rijkswaterstaat over een operationeel wiskundig model zou kunnen beschikken.

De opdracht tot het uitvoeren van enige proefberekeningen met het rekenprogramma NEBAS is in januari 1979 door de Afdeling Maas verleend. Voor een verslag van deze berekeningen betrekkinghebbend op het riviergedeelte tussen Maastricht en Maasbracht wordt verwezen naar verslag R 1302, deel I [1].

Op het moment dat de proefberekeningen met NEBAS werden uitgevoerd, werd binnen het Waterloopkundig Laboratorium tevens gewerkt aan een geheel nieuw rekenprogramma dat te zijner tijd NEBAS diende te vervangen. Dit rekenprogramma, inmiddels geheel operationeel onder de naam NETFLOW, is zodanig opgezet dat de gebruiker geheel zelfstandig zijn rekenmodel kan opzetten en/of wijzigen. In verslag R 1302, deel I is daarom reeds aanbevolen om voor het rekenmodel van de Maas, gelegen tussen Eijsden en Lith uit te gaan van het rekenprogramma NETFLOW.

In tegenstelling tot voornoemde aanbeveling is voor het rekenmodel van bovenvermeld gedeelte van de Maas, waartoe in maart 1978 opdracht werd verleend, evenwel toch gekozen voor het rekenprogramma NEBAS. De keuze voor NEBAS werd bepaald door het stadium waarin het in ontwikkeling zijnde rekenprogramma NETFLOW verkeerde en de termijn waarop de Afdeling Maas over een operationeel rekenmodel moest beschikken. Over de hoogwaterberekeningen voor de Maas, gelegen tussen Eijsden en Lith wordt gerapporteerd in verslag R 1302, deel II [2].

In de tweede helft van 1978 is het rekenprogramma NETFLOW operationeel geworden. In overleg met de Afdeling Maas van het District Zuidoost van de Rijkswaterstaat is op 15 september 1978 besloten om voor het riviergedeelte Eijsden-Maasbracht alsnog enige berekeningen uit te voeren met het programma NETFLOW. De berekeningen zijn uitgevoerd onder leiding van ir. J.H.A. Wijbenga, projekt-ingenieur van het Waterloopkundig Laboratorium, die tevens dit verslag heeft samengesteld.

## 1.2 Doelstelling huidig onderzoek

Zowel met het programma IMPLIC als met het programma NEBAS zijn verschillende hoogwatergolven doorgerekend voor het riviergedeelte Eijsden-Lith. De hoogwatergolven die met NEBAS zijn berekend, zie verslag R 1302, deel II [2], zijn ook met het programma IMPLIC uitgevoerd, zodat een onderlinge vergelijking mogelijk is.

Ten einde ook het programma NETFLOW in de vergelijking te kunnen betrekken is besloten om met dit programma enkele berekeningen uit te voeren voor het riviergedeelte Eijsden-Maasbracht. De randvoorwaarden van de berekeningen dienen daarbij hetzelfde te zijn als de IMPLIC- en NEBAS-berekeningen.

Met het rekenprogramma NETFLOW is het mogelijk om, uitgaande van dezelfde schematisatie, berekeningen met verschillende vaklengte uit te voeren. Door het uitvoeren van een tweetal berekeningen met onderling verschillende vaklengte kan de gevoeligheid van de rekenresultaten voor veranderingen in deze lengte worden bepaald.

Als bijkomend voordeel bij het uitvoeren van berekeningen met het programma NETFLOW kan worden vermeld dat de Afdeling Maas van de Rijkswaterstaat hierdoor ervaring kon opdoen met genoemd programma.

### 1.3 Overzicht van de berekeningen

Bij de uitvoering van het onderzoek is in een tweetal berekeningen voorzien:

- i Een berekening waarbij de gegevens en randvoorwaarden zoveel mogelijk in overeenstemming zijn met de eerder uitgevoerde IMPLIC- en NEBAS-berekeningen om een vergelijking met voornoemde programma's mogelijk te maken. De lengte van de kanaalvakken komt in deze berekening overeen met de afstand tussen de plaatsen waarop in het rekenmodel de dwarsprofielen worden opgegeven. Deze lengte varieert van 80 m tot 3755 m.
- ii Een berekening waarbij voor de lengte van de vakken zoveel mogelijk dezelfde waarde wordt aangehouden met een maximale vaklengte van 800 m.

Aangevangen is met de berekening volgens ii. Nadat deze berekening was voltooid, bleken inmiddels de problemen rond het rekenprogramma IMPLIC van de Rijkswaterstaat te zijn opgelost. Hierdoor werd de behoefte van de Afdeling Maas aan een hoogwatermodel voor de Maas, gebruikmakend van de bij het Waterloopkundig Laboratorium ontwikkelde rekenprogramma's NEBAS en NETFLOW weggenomen. Op grond hiervan zijn de berekeningen gestaakt, waardoor de onder i genoemde berekening niet is uitgevoerd.

Van de onder ii genoemde berekening wordt in het navolgende verslag gedaan. Eerst wordt in hoofdstuk 2 een beschrijving gegeven van het gebruikte rekenprogramma NETFLOW. Vervolgens wordt in hoofdstuk 3 de schematisatie van het riviergedeelte Eijsden-Maasbracht behandeld. In aansluiting daarop wordt een overzicht gegeven van de rand- en beginvoorwaarden van de uitgevoerde extreem hoogwaterberekening. In hetzelfde hoofdstuk worden tevens de resultaten van de berekening besproken. Ten slotte worden in hoofdstuk 5 de conclusies en aanbeveling(en) met betrekking tot de resultaten van de berekening geformuleerd.

## 2. Beschrijving programma NETFLOW

### 2.1 Inleiding

Voor de berekening van ééndimensionale niet-permanente stroming in een netwerk van kanalen beschikt het Waterloopkundig Laboratorium sinds 1967 over een rekenprogramma bekend onder de naam NEBAS. Met dit programma zijn gedurende een tiental jaren vele problemen opgelost op het gebied van:

- de getijbeweging in estuaria;
- hoogwatergolven in rivieren; en
- de waterhuishouding van polders.

Teneinde tegemoet te komen aan de beperkingen verbonden aan het gebruik van het programma NEBAS en de steeds toenemende eisen die van gebruikerszijde aan een ééndimensionaal rekenmodel worden gesteld, heeft het Waterloopkundig Laboratorium een nieuw rekenprogramma ontwikkeld. Dit rekenprogramma is in de loop van 1978 onder de naam NETFLOW operationeel geworden.

Het programma NETFLOW is een op de gebruiker georiënteerd programma waarbij:

- de schematisatie op eenvoudige wijze is uit te voeren,
- een hoge mate van flexibiliteit ten aanzien van het aanbrengen van wijzigingen in, onder meer, de schematisatie, het in- en uitvoeren van gegevens en de te leveren maaswijdte is ingebouwd; en
- ruime mogelijkheden aanwezig zijn om allerlei soorten randvoorwaarden op eenvoudige wijze te formuleren.

In de navolgende paragrafen worden de mogelijkheden van NETFLOW nader toegelicht. Voor een meer uitgebreide beschrijving kan worden verwezen naar de gebruikershandleiding van NETFLOW [3] en publikatie no. 227 van het Waterloopkundig Laboratorium [7].

### 2.2 Wijze van schematiseren

De voor de berekening noodzakelijke schematisatie omvat de volgende fasen:

- het onderscheiden van een hoofdkanaal en verschillende zijkanalen in het netwerk van kanalen; elk kanaal krijgt een naam en bezit een eigen coördinatenstelsel.

- het aangeven van de punten waar de verschillende kanalen aan elkaar worden gekoppeld, de zogenaamde knooppunten; voor de koppeling wordt gebruik gemaakt van de naam van het kanaal en de bijbehorende coördinaten (zie tabel 1).
- het opgeven van de dwarsprofielen; door de stroomvoerende en bergende breedte als functie van de hoogte op te geven is het dwarsprofiel bepaald. Tijdens het rekenen bepaalt het programma NETFLOW zelf de stroomvoerende oppervlakte.
- het situeren van de dwarsprofielen in de diverse kanalen; door een combinatie van de naam van het dwarsprofiel en de naam van het kanaal met de bijbehorende coördinaat ligt de plaats van het dwarsprofiel vast in het kanaal. De lokatie van de dwarsprofielen staat in beginsel los van de tijdens de berekening toe te passen maaswijdte (lengtestap). Mede hierdoor is het mogelijk om het aantal dwarsprofielen in de berekening op eenvoudige wijze te wijzigen.

Na het formuleren van de rand- en beginvoorwaarden (zie 2.3), de gewenste uitvoer en de te hanteren tijdstap en maaswijdte kunnen berekeningen worden uitgevoerd.

### 2.3 Randvoorwaarden

De randvoorwaarden kunnen als een functie van  $Q$  en/of  $h$  en/of  $t$  worden geformuleerd en op elke willekeurige plaats worden opgelegd. De volgende randvoorwaarden kunnen in NETFLOW onder meer worden toegepast:

- de waterstand als functie van de tijd  $t$ ,  $h = f(t)$
- de afvoer als functie van de tijd  $Q = f(t)$
- zijdelingse in- of uitstroming, zowel geconcentreerd in één punt als gelijkmatig verdeeld langs een kanaal of gedeelte van een kanaal.
- afvoer-waterstandsrelaties ( $Q$ - $h$ -kromme).
- relaties geldend voor constructies  $f(h_1, h_2, Q, t)$  waarin  $h_1$  de bovenstrooms van de constructie gelegen waterstand is en  $h_2$  de waterstand benedenstrooms.
- extra energieverliezen op plaatsen waar de verschillende kanalen aan elkaar zijn gekoppeld.

De voor het uitvoeren van de berekeningen noodzakelijke linearisatie van de randvoorwaarden, teneinde het in paragraaf 2.5 genoemde stelsel vergelijkingen te kunnen oplossen, wordt vervolgens door het programma NETFLOW zelf uitgevoerd.



## 2.4 Het gebruik van functies

Voor het in- en uitvoeren van gegevens, de formulering van rand- en beginvoorwaarden en het uitvoeren van bewerkingen tijdens de berekening staan in NETFLOW drie soorten functies ter beschikking:

- kanaalfuncties, met de naam van het kanaal en de coördinaat als p-rameter: als voorbeeld van kanaalfuncties kunnen de in NETFLOW standaard aanwezige functies van de afvoer Q, de waterstand h, de hydraulische straal R en het stroomvoerend oppervlak  $A_s$  worden genoemd. Andere functies kunnen door middel van tabellen of een analytische uitdrukking worden opgegeven.
- basisfuncties, deze worden gedefiniëerd als een functie y(x) en worden onder meer gebruikt bij de formulering van randvoorwaarden, constructies en het uitvoeren van resultaten.
- functies die het resultaat van de berekening weergeven (de resultaat functies), dit kunnen zowel functies van tijd (op een vooraf bepaalde plaats in één van de kanalen) als functies van plaats (op een vooraf bepaald tijdstip langs één of meerdere kanalen) zijn.

Met behulp van bovengenoemde functies is het mogelijk om reeds tijdens het rekenproces verschillende door de gebruiker gewenste bewerkingen uit te voeren met de inmiddels verkregen resultaten.

## 2.5 Vergelijkingen

Uitgaande van het opgegeven netwerk van kanalen en de daarin voorkomende dwarsprofielen verdeelt het programma de verschillende kanalen in vakken met een lengte overeenkomend met de opgegeven maaswijdte (zie paragraaf 2.6).

De waterdiepte wordt op de grenzen van de vakken berekend (de zogenaamde h-punten). De berekening van de afvoer (de Q-punten) vindt plaats in punten halverwege de vakken. Hierdoor ontstaat een verspringend rooster van Q en h-punten.

Over het kanaalgedeelte tussen twee Q-punten wordt de continuïteitsvergelijking opgelost:

$$\frac{\partial A}{\partial t} + \frac{\partial Q}{\partial x} - q = 0 \quad (2.1)$$

waarin:

A = bergende oppervlakte

q = zijdelingse in- of uitstroming

Q = afvoer

t = tijd

x = coördinaat

De bewegingsvergelijking wordt opgelost voor het kanaalgedeelte tussen twee opeenvolgende h-punten:

$$\frac{\partial Q}{\partial t} + \frac{\partial}{\partial x} \left( \alpha \frac{Q^2}{A_s} \right) + g A_s \frac{\partial h}{\partial x} + \frac{gQ|Q|}{C^2 R A_s} = 0 \quad (2.2)$$

waarin:

$A_s$  = stroomvoerend oppervlak

$C$  = coëfficiënt van Chézy

$g$  = versnelling van de zwaartekracht

$h$  = niveau van de waterspiegel

$R$  = hydraulische straal

$\alpha$  = coëfficiënt m.b.t. niet uniforme snelheidsverdeling

Indien gewenst kan aan vergelijking (2.2) de invloed van wind en extra energieverliezen zowel door constructies als de uitwisseling van impuls bij zijdelingse in- of uitstroming worden meegenomen.

Na het discretiseren ontstaan de volgende differentievergelijkingen:

$$\frac{A_j^{n+1} - A_j^n}{\Delta t} + \theta M_j^{n+1} + (1 - \theta) M_j^n = 0 \quad (2.3)$$

en

$$\frac{Q_j^{n+1} - Q_j^n}{\Delta t} + \theta N_j^{n+1} + (1 - \theta) N_j^n = 0 \quad (2.4)$$

$$\text{met: } M_j = \frac{Q_{j+1} - Q_{j-1}}{x_{j+1} - x_{j-1}} + q_j \quad (2.5)$$

$$N_j = \frac{1}{x_{j+1} - x_{j-1}} \left\{ \alpha_{j+1} \frac{\bar{Q}_{j+1}^2}{A_{sj+1}} - \alpha_{j-1} \frac{\bar{Q}_{j-1}^2}{A_{sj-1}} + g \bar{A}_{sj} (h_{j+1} - h_{j-1}) \right\} + \frac{gQ_j|Q_j|}{C^2 R A_{sj}} \quad (2.6)$$

$$\bar{Q}_k = \frac{1}{2} (Q_{k-1} + Q_{k+1}) \quad (2.7)$$

$$\bar{A}_k = \frac{1}{2} (A_{k-1} + A_{k+1}) \quad (2.8)$$

waarin:

$j$  = de plaatsindex

$n$  = het tijdsniveau

$\theta$  = het tijdsniveau waarop de vergelijkingen worden opgelost  $0,5 < \theta \leq 1$ ;

Afhankelijk van het probleem kan de NETFLOW-gebruiker de vergelijkingen iedere tijdstap in gelineariseerde vorm of de niet-lineaire vergelijkingen door middel van een Newton-iteratie, oplossen.

## 2.6 Overige aspecten

Wat betreft het programma NETFLOW verdienen de navolgende aspecten een nadere toelichting.

### 2.6.1 Droge kanalen

Wanneer de waterdiepte in een kanaal beneden een door de gebruiker van het programma te specificeren waarde komt wordt de bodemschuifspanning in een vak tussen twee h-punten aan de bovenstroomse zijde bepaald. Het is daardoor mogelijk de berekening voort te zetten bij heel kleine waterdiepten ( $\sim$  droog kanaal). Tijdens het vullen van het kanaal behoeven geen aparte maatregelen te worden getroffen.

### 2.6.2 Niet uniforme snelheidsverdeling in dwarsrichting

In het algemeen wordt verondersteld dat de snelheid in een dwarsdoorsnede overal gelijk is ( $v = Q/A_s$ ). De hydraulische straal  $R$  wordt vervolgens bepaald volgens de definitie:

$$R = \frac{\text{stroomvoerende oppervlak } (A_s)}{\text{natte omtrek } (O)} \quad (2.9)$$

Voor rivieren met een winterbed neemt bij het vullen van het winterbed de natte omtrek sterk toe, terwijl de stroomvoerende oppervlakte slechts weinig toeneemt. De hydraulische straal neemt hierdoor af.

Om deze ongewenste afname van de hydraulische straal te voorkomen beschikt het programma NETFLOW over de mogelijkheid om rekening te houden met een niet uniforme snelheidsverdeling in dwarsrichting. De dwarsdoorsnede wordt daarbij ver-

deeld in een aantal secties (zie figuur 1). Het verhang van de waterspiegel wordt voor alle secties gelijk verondersteld. Voor quasi-permanente stroming wordt de hydraulische straal nu als volgt berekend.

De afvoer voor sectie i bedraagt:

$$Q_i = C_i A_i (R_i \frac{\partial h}{\partial x})^{\frac{1}{2}}$$

De hydraulische straal van de gehele doorsnede wordt berekend uit:

$$R_E = \frac{\{\sum_{i=1}^n C_i A_i \sqrt{R_i}\}^2}{C^2 A^2}$$

De aldus berekende hydraulische straal volgens Engelund, zie [6], kan worden toegepast in de uitdrukking voor de bodemschuifspanning van vergelijking (2.2).

### 2.6.3 Tijdstap

De grootte van de tijdstap wordt door de gebruiker bepaald, afhankelijk van de waterbeweging in het netwerk van kanalen (getijbeweging, hoogwatergolf).

Tijdens het rekenproces kan de gebruiker op twee manieren ingrijpen in de gekozen tijdstap.

- Afhankelijk van het tijdstip of op basis van resultaten uit de berekeningen kan de gebruiker de tijdstap wijzigen. De aan te brengen wijziging en de voorwaarden op grond waarvan de wijziging moet worden uitgevoerd, moeten vooraf zijn geformuleerd.
- Voorts kan tijdens het rekenproces, wanneer relatief grote veranderingen in de waterstand optreden, de laatste tijdstap opnieuw worden uitgevoerd met een gehalveerde tijdstap.

### 2.6.4 Maaswijdte

De grootte van de maaswijdte (lengtestap) kan door de NETFLOW-gebruiker op verschillende manieren worden gekozen:

- een maaswijdte met een regelmatige afstand tussen de h-punten en Q-punten. De maximale maaswijdte wordt door de gebruiker aan het programma opgegeven waarna het programma de werkelijke maaswijdte berekent aan de hand van de lengte

- van het kanaal en een geheel aantal vakken, passend binnen deze lengte.
- een onregelmatige afstand tussen de vakgrenzen zodanig gekozen dat de waterstanden ter plaatse van de opgegeven dwarsprofielen worden berekend.
  - een combinatie van voornoemde mogelijkheden.

Doordat de gebruiker bovenstaande mogelijkheden kan toepassen voor het hele netwerk van kanalen maar ook per kanaal ontstaat een grote mate van flexibiliteit in de keuze van de lengtestap.

### 3. Schematisatie van het riviergedeelte Eijsden-Maasbracht

#### 3.1 Algemeen

Van het te schematiseren riviergedeelte Eijsden-Maasbracht wordt in figuur 2 een overzicht gegeven. Bij het opzetten van de schematisatie moet rekening worden gehouden met de eisen die het programma NETFLOW aan de schematisatie stelt (zie hoofdstuk 2).

Het netwerk van kanalen en de gegevens met betrekking tot de geometrie van de rivier, de dwarsprofielen en de situering van de dwarsprofielen in het netwerk van kanalen, is afgeleid uit de gegevens van eerder uitgevoerde berekeningen met IMPLIC en NEBAS (zie de notitie van Rijkswaterstaat [4] en de verslagen van het Waterloopkundig Laboratorium, R 1302, deel I [1] en deel II [2]).

Wat de Co-waarden uit de formule van Manning ( $C=CoR^{1/6}$ ) betreft zijn de waarden uit het geijkte IMPLIC model aangehouden (zie tabel 2).

#### 3.2 Netwerk van kanalen

In figuur 3 wordt het uit de rivier afgeleide netwerk van kanalen weergegeven. In de figuur kunnen de volgende kanalen worden onderscheiden:

- de hoofdgeul tussen Eijsden en Maasbracht, die in het rekenmodel de naam MAAS draagt,
- het scheepvaartkanaal bij de St. Servaesbrug te Maastricht, in het model aangegeven met BRUG,
- het afleidingskanaal te Borgharen, in het model aangegeven met BORG,
- het winterbed gelegen tussen de kilometerraaien 47.300 en 52.800, aangeduid met UIT1,
- het winterbed gelegen tussen de kilometerraaien 55.000 en 62.000, aangeduid met UIT2.

In het hier beschouwde riviergedeelte ligt het winterbed doorgaans direkt naast het zomerbed. Waar duidelijk sprake is van een gescheiden zomer- en winterbed, is het winterbed (uiterwaarde) als een zijkanaal geschematiseerd, in het onderhavige geval aangegeven als de kanalen UIT1 en UIT2. Tabel 1 geeft een overzicht van de plaatsen waar de verschillende kanalen aan elkaar zijn gekoppeld.

### 3.3 Dwarsprofielen

In ieder punt van de kanalen kan een dwarsprofiel worden opgegeven. Elk dwarsprofiel bezit een naam. De plaats van het dwarsprofiel in het netwerk van kanalen wordt bepaald door middel van twee parameters, bestaande uit de naam van het kanaal en de coördinaat. Per dwarsprofiel wordt de bergende en stroomvoerende breedte op de karakteristieke knikpunten in het dwarsprofiel opgegeven, tezamen met de bijbehorende hoogte van het betreffende knikpunt. Een overzicht van de verschillende dwarsprofielen wordt gepresenteerd in tabel 2. De naamgeving van de dwarsprofielen is zodanig gekozen dat gemakkelijk kan worden afgeleid in welk kanaal zij moeten worden geplaatst. Voorts is de situering van de dwarsprofielen in figuur 3 aangegeven.

### 3.4 Verskil in lengte van zomer- en winterbed

Door het veranderen van het zomerbed in het winterbed zal de lengte van het zomerbed niet gelijk zijn aan de lengte van het winterbed. Voor de schematisatie bij dwarsprofielen, waarbij het zomerbed en het winterbed tot één dwarsdoorsnede worden samengevoegd, kan het verschil in lengte aanleiding geven tot problemen.

In bijlage A worden de gevolgen van een verschil in lengte van zomer- en winterbed verduidelijkt. Voorts wordt daarin aangegeven op welke wijze voor het verschil in lengte kan worden gecorrigeerd.

Uit bijlage A blijkt dat zowel in de continuïteitsvergelijking als de bewegingsvergelijking een correctie moet worden aangebracht. Er vanuitgaande dat langs de as van het zomerbed wordt gerekend dient:

- de bergende breedte van het winterbed in de continuïteitsvergelijking te worden vermenigvuldigd met een faktor  $L_w/L_z$  met  $L_w$  = lengte winterbed en  $L_z$  = lengte zomerbed
- de Co-waarde uit de formule van Manning ( $C=CoR^{1/6}$ ) behorend bij het winterbed te worden vermenigvuldigd met een faktor  $\sqrt{L_z/L_w}$ .

Afhankelijk van de geometrie van de rivier kan de lengte van het winterbed variëren met de grootte van de afvoer (zie figuur 4). De correcties voor verschil in lengte van zomer- en winterbed kunnen daarom afhankelijk zijn van de afvoer. Door de bestaande afvoer-waterstandrelatie zijn de correcties ook afhankelijk van de waterstand.

Wat betreft het riviergedeelte Eijsden-Maasbracht is de correctie voor de bergende breedte van het winterbed in de opgegeven dwarsprofielen verwerkt.

De correctie voor het verschil in lengte van zomer- en winterbed is in de op te geven Co-waarde ondergebracht. Daar de correctiefactor afhankelijk is van de waterstand is de voor het verschil in lengte gecorrigeerde Co-waarde eveneens een functie van de waterstand. De Co-waarde wordt in het programma NETFLOW bij een drietal waterstanden opgegeven. Tussenvolgende waarden worden door het rekenprogramma geïnterpoleerd. Een overzicht van de opgegeven Co-waarden in de diverse dwarsprofielen wordt gepresenteerd in tabel 2.



#### 4. Berekening extreem hoogwater

##### 4.1 Inleiding

Hoewel in het programma van berekeningen was voorzien in het uitvoeren van een tweetal berekeningen is door het tussentijds beëindigen van de berekeningen slechts één berekening uitgevoerd (zie 1.3).

Uitgaande van de in hoofdstuk 3 beschreven schematisatie is een extreem hoogwatergolf doorgerekend. Bij de berekening is een tijdstap van 1 uur aangehouden, terwijl de afstand tussen twee opeenvolgende punten waarin waterstanden worden berekend niet groter is dan 800 m, zoals is aangegeven voor de berekening onder ii van paragraaf 1.3.

##### 1.2 Randvoorwaarden

Bij de berekening van het verloop van de waterstanden en afvoeren in het netwerk van kanaalvakken is uitgegaan van de navolgende randvoorwaarden:

- Voor de bovenrandvoorwaarde is een extreem hoogwatergolf aangehouden uit de notitie 1978-J van de Rijkswaterstaat [5]. Deze zogenaamde To hoogwatergolf waarvan het afvoerverloop als functie van de tijd aan de bovenrand van het rekenmodel in figuur 5 wordt weergegeven, is ten behoeve van de berekeningen met IMPLIC bepaald. Deze To-golf is bovendien met het programma NEBAS doorge-rekend, zie het verslag van het Waterloopkundig Laboratorium R 1302-II, [2].
- Voor de benedenrandvoorwaarde wordt uitgegaan van de afvoer-waterstandrelatie (Q-h-relatie) te Maasbracht. Deze Q-h-relatie is afgeleid uit de eerder uitge-voerde berekeningen met het rekenmodel NEBAS, zie [2]. De Q-h relatie is weer-gegeven in figuur 6.

##### 4.3 Begintoestand

De afvoeren en waterstanden in het netwerk van kanalen aan het begin van de berekening worden zo goed mogelijk geschat. Vervolgens wordt gedurende enige tijd, de zogenaamde inspeelperiode, de afvoer aan de bovenrand konstant gehouden op 1200 m<sup>3</sup>/s. Eventuele onjuistheden in de beginschatting van afvoeren en water-standen hebben daardoor de gelegenheid om uit te dempen. Het einde van de in-speelperiode ligt op 120 uur.

#### 4.4 Resultaten berekening

Door een gecombineerd gebruik van:

- de verschillende soorten functies (kanaalfuncties, basisfuncties en resultaatfuncties),
- de mogelijkheid om tijdens de berekening allerlei bewerkingen te laten plaatsvinden, met behulp van een door de gebruiker te schrijven Fortran-subroutine, en
- de in het programma aanwezige faciliteiten voor het maken van tekeningen, zijn de mogelijkheden om resultaten uit te voeren erg ruim. De uitvoer van resultaten kan zowel via de regeldrukker als de tekenmachine of als combinatie van beide mogelijkheden plaatsvinden.

Voor een meer uitgebreide toelichting op de mogelijkheden om gegevens uit te voeren naast de in hoofdstuk 2 vermelde informatie kan worden verwezen naar de gebruikershandleiding van NETFLOW [3] en publikatie nummer 227 van het Waterloopkundig Laboratorium [7].

In het onderhavige rekenmodel zijn de navolgende resultaten uitgevoerd:

- Ter plaatse van de in figuur 2 aangegeven peilschalen, de waterstand als functie van de tijd. De resultaten worden gepresenteerd in de figuren 7...18. De berekende maximum waterstanden zijn tevens vermeld in tabel 3.
- De afvoeren bij Eijsden (bovenrandvoorwaarde), Maastricht, Borgharen, Elsloo, Berg, Grevenbicht en Maasbracht als functie van de tijd. Het verloop van de afvoeren wordt gepresenteerd in figuur 19. De berekende maximale afvoeren zijn tevens opgenomen in tabel 3.
- De stand van de waterspiegel (de verhanglijn) in de MAAS voor een drietal tijdstippen, te weten op 252, 300 en 400 uur. Daar de inspeelperiode eindigt op 120 uur komen deze tijdstippen overeen met 132, 180 en 280 uur na de aanvang van het hoogwater. De stand van de waterspiegel op de drie tijdstippen is weergegeven in figuur 20.
- Tijdens de was van het hoogwater is de grootte van de verschillende termen uit de impulsvergelijking op een vijftal plaatsen in het rekenmodel berekend. Een overzicht van de berekende waarden wordt gepresenteerd in de tabellen 4...8.

Voor een vergelijking van de resultaten verkregen met het programma NETFLOW en de eerder uitgevoerde berekeningen van hetzelfde hoogwater met het programma NEBAS (zie [2]) en IMPLIC (zie [8]) zijn in tabel 3 eveneens de resultaten vermeld van deze programma's.

Met uitzondering van het meest benedenstrooms gelegen punt (Maasbracht) bedragen de onderlinge verschillen in de maximum waterstanden berekend met NETFLOW, NEBAS en/of IMPLIC niet meer dan 0,33 m. Het verschil tussen NETFLOW en NEBAS te Maasbracht bedraagt 0,71 m.

In aanmerking nemende dat het rekenmodel NEBAS was geijkt en dat de Chézy-waarden in het NETFLOW model afkomstig zijn van het geijkte IMPLIC model van de Maas, wat inhoudt dat NETFLOW slechts globaal is geijkt, mag worden gesteld dat de maximum waterstanden goed met elkaar overeenkomen.

De verschillen in maximum waterstanden tussen de verschillende rekenmodellen NEBAS, NETFLOW of IMPLIC zijn een gevolg van:

- kleine verschillen in de schematisatie van de rekenmodellen
- verschillen in Co-waarden tussen modellen
- verschillen in de toegepaste vaklengte

Het relatief grote verschil in de maximum waterstand te Maasbracht is waarschijnlijk een gevolg van het feit dat bij het NEBAS model de benedenstroomse modelrand bij Lith heeft gelegen en de benedenstroomse rand van het NETFLOW-model te Maasbracht. Mogelijk is er verschil in het gedrag van het riviergedeelte Maasbracht-Lith in de NEBAS berekening en de in Maasbracht opgelegde Q-h-relatie als benedenrandvoorwaarde. Deze veronderstelling wordt bevestigd door het geringe verschil in maximum waterstand te Maasbracht tussen de modellen NEBAS en IMPLIC, waarbij in beide gevallen de modelgrens te Lith heeft gelegen.

De verschillen in de maximum afvoeren berekend met de programma's NEBAS, NETFLOW en IMPLIC zijn klein met uitzondering van de afvoer te Borgharen. Het verschil in maximum afvoer te Borgharen ontstaat door relatief grote verschillen in de Co-waarde van het afleidingskanaal te Borgharen (NEBAS:  $Co = 29,3 \text{ m}^{1/3}/\text{s}$ ; NETFLOW en IMPLIC  $Co = 65 \text{ m}^{1/3}/\text{s}$ ). In de NETFLOW berekeningen, waarin de Co-waarden van de door Rijkswaterstaat geijkte IMPLIC berekeningen zijn aangehouden, wordt het afleidingskanaal veel gladder verondersteld dan bij de NEBAS berekeningen het geval is geweest. Daardoor gaat in de NETFLOW berekeningen tijdens de maximum afvoer meer water door het afleidingskanaal en minder water langs Borgharen dan bij de vergelijkbare NEBAS berekening.

Wat betreft de termen uit de bewegingsvergelijking kan worden gesteld dat

- de traagheidsterm een ondergeschikte rol speelt,
- de convectie-term, waarin de invloed van de Froude-term tot uiting komt een relatief belangrijk aandeel kan hebben in de oplossing van de impulsvergelijking.

## 5. Conclusies en aanbeveling(en)

Door het tussentijds beëindigen van de berekeningen kunnen met betrekking tot de invloed van de lengtestap op de rekenresultaten geen conclusies worden getrokken.

Ten aanzien van de met het programma NETFLOW uitgevoerde berekening van het To-hoogwater in het globaal geijkte rekenmodel van de Maas gelegen tussen Eijsden en Maasbracht kunnen de navolgende conclusies worden getrokken.

- De orde van grootte van de optredende topvervlakking tussen Eijsden en Maasbracht, gedefiniëerd als het verschil in maximale afvoer op de voornoemde plaatsen, bedraagt circa  $30 \text{ m}^3/\text{s}$ .
- Ten aanzien van de overige termen in de bewegingsvergelijking is de traagheids-term klein. De stroming is quasi-stationair.
- De convectieterm, waarin de zogenaamde Froude-term zit besloten, zie ook [1], kan een relatief belangrijk aandeel hebben in de oplossing van de bewegingsvergelijking. Een verwaarlozing van deze term is daarom niet verantwoord.
- Uit een vergelijking van de rekenresultaten van de rekenmodellen NETFLOW, NEBAS en IMPLIC blijkt dat in de resultaten wat betreft de maximum waterstanden en de maximum afvoer geen belangrijke verschillen voorkomen. De verschillen in de maximum waterstanden bedragen maximaal  $0,30 \text{ à } 0,35 \text{ m}$ .
- Bij het schematiseren van het zomer- en winterbed tot één dwarsprofiel dient met het verschil in lengte van zomer- en winterbed, indien aanwezig, rekening te worden gehouden.

Op grond van de rekenresultaten voor het To-hoogwater in het riviergedeelte Eijsden-Maasbracht kan geen voorkeur worden uitgesproken voor één van de rekenprogramma's IMPLIC, NEBAS of NETFLOW.

Gezien de relatief eenvoudige schematisatie, de grote mate van flexibiliteit om wijzigingen aan te kunnen brengen in de schematisatie, de ruime mogelijkheden om door het rekenprogramma tijdens de berekening reeds exercitities met

de verkregen resultaten voor waterstanden en afvoer te laten uitvoeren en de aanwezige tekenfaciliteiten, is evenwel de toepassing van het programma NETFLOW aan te bevelen.

## LITERATUUR

- 1 WATERLOOPKUNDIG LABORATORIUM,  
Hoogwaterberekeningen Maas; riviergedeelte Maastricht-Maasbracht,  
Waterloopkundig Laboratorium, Verslag R 1302, deel 1,  
november 1978
  
- 2 WATERLOOPKUNDIG LABORATORIUM,  
Hoogwaterberekeningen Maas; riviergedeelte Eijsden-Lith,  
Waterloopkundig Laboratorium, Verslag R 1302, deel II,  
december 1979
  
- 3 WATERLOOPKUNDIG LABORATORIUM,  
A program to calculate one dimensional unsteady flow in channel networks,  
Users Guide,  
Waterloopkundig Laboratorium,  
januari 1980
  
- 4 RIJKSWATERSTAAT,  
Hoogwatermodel Maas, Onderzoek naar de toepasbaarheid van het rekenmodel  
"IMPLIC" door middel van de ijking van het proeftraject Maastricht-Maasbracht  
met behulp van het hoogwater 1970.  
Rijkswaterstaat, Directie Waterhuishouding en Waterbeweging, District Zuidoost,  
notitie 77-F,  
augustus 1977
  
- 5 RIJKSWATERSTAAT,  
Hoogwatermodel Maas, Onderzoek afvoerverloop tijdens hoge afvoergolven te  
Borgharen,  
Notitie 1978-J, Rijkswaterstaat, Directie Waterhuishouding en Waterbeweging,  
District Zuidoost, notitie 77-F,  
augustus 1977
  
- 6 ENGELUND, F.,  
Flow resistance and hydraulic radius  
Acta Polytechnica Scandinavia, 1964, nr. ci24

LITERATUUR (vervolg)

- 7 GRIJSEN, J.G. en MEIJER, Th.J.P.G.,  
"On the modelling of flood flow in large river systems with flood plains",  
Waterloopkundig Laboratorium, publikatie no. 227,  
maart 1980
  
- 8 RIJKSWATERSTAAT,  
Hoogwatermodel Maas, Verslag eerste resultaten (evaluatie) nota 1979.1,  
Rijkswaterstaat, Directie Waterhuishouding en Waterbeweging, District Zuid-  
oost, Afdeling Maas,  
januari 1979



Hoofdkanaal		Zijkanaal	
Naam	Coördinaat (m)	Naam	Coördinaat (m)
MAAS	13180	BRUG	0
MAAS	13460	BRUG	280
MAAS	14600	BORG	0
MAAS	16600	BORG	1710
MAAS	47300	UIT1	0
MAAS	48800	UIT1	2360
MAAS	52450	UIT1	4640
MAAS	52800	UIT1	5080
MAAS	55000	UIT2	0
MAAS	57000	UIT2	1600
MAAS	59600	UIT2	2330
MAAS	61600	UIT2	3830
MAAS	62000	UIT2	4400

Tabel 1 Overzicht koppeling zijkanalen aan hoofdkanaal

Dwarsprofiel					Ruwheid	
nummer	coördinaat	hoogte	breedte	stroomvoerende breedte	hoogte	C <sub>o</sub> -waarde
	(m)	(m)	(m)	(m)	(m)	(m <sup>1/3</sup> /s)
MA 1	2485	44,10	60	60	49,50	30
		47,60	132	132		
		48,35	149	148	51,15	30
		49,50	158	157		
		50,40	192	184	51,50	31
		51,15	315	237		
		51,50	593	428		
MA 2	4240	41,70	60	60	48,35	30
		46,30	132	132		
		47,40	149	148	49,50	30
		48,35	158	157		
		49,00	192	184		
		49,50	315	237	50,10	31
		50,10	593	428		
MA 3	5680	39,60	60	60	47,80	30
		39,70	76	76		
		41,70	144	144	48,70	30
		45,70	169	169		
		46,95	206	176	49,35	29
		47,80	265	259		
		48,30	281	262		
		48,70	333	302		
		49,35	656	533		
MA 4	7120	38,70	60	60	47,60	30
		39,50	80	80		
		41,50	125	125	48,45	30
		45,50	149	149		
		46,75	710	155	49,10	31
		47,60	774	429		
		48,10	807	617		
		48,45	872	672		
		49,10	996	854		
MA 5	8025	38,60	60	60	47,40	30
		39,35	80	80		
		41,35	125	125	48,25	30
		45,35	149	149		
		46,55	710	155	48,85	31
		47,40	774	429		
		47,90	807	617		
		48,25	872	672		
48,85	996	854				

Tabel 2 Geometrische gegevens en bijbehorende ruwheidscoëfficiënten van hoofd- en zijkanalen

Dwarsprofiel					Ruwheid	
nummer	coördinaat	hoogte	breedte	stroomvoerende breedte	hoogte	C <sub>o</sub> -waarde
	(m)	(m)	(m)	(m)	(m)	(m <sup>1/3</sup> /s)
MA 6	10880	38,40	60	60	49,50	30
		40,80	127	127		
		44,80	151	151	47,60	30
		45,95	186	156		
		46,75	300	249	48,20	30
		47,20	455	432		
		47,60	465	447		
MA 7	11860	38,40	60	60	46,45	30
		40,55	127	127		
		44,55	151	151	47,25	30
		45,65	186	156		
		46,45	300	249	47,90	30
		46,90	455	432		
		47,25	465	447		
MA 8	12740	38,80	60	60	46,15	30
		40,35	112	112		
		44,35	141	141	46,90	30
		45,40	144	144		
		46,15	147	147	47,40	30
		46,60	148	148		
		46,90	149	149		
MA 9	13040	39,10	60	60	46,05	30
		40,30	112	112		
		44,30	141	141	46,80	30
		45,30	144	144		
		46,05	147	147	47,25	30
		46,50	148	148		
		46,80	149	149		
MA 10	13320	39,30	25	25	46,00	30
		40,20	44	44		
		44,20	57	57	46,65	30
		45,20	59	59		
		46,00	61	61	47,10	30
		46,40	63	63		
		46,65	63	63		
		47,10	64	64		

Tabel 2 (vervolg)

Dwarsprofiel					Ruwheid	
nummer	coördinaat	hoogte	breedte	stroomvoerende breedte	hoogte	C <sub>o</sub> -waarde
	(m)	(m)	(m)	(m)	(m)	(m <sup>1/3</sup> /s)
MA 11	13680	39,00	60	60	45,85	30
		41,10	135	135		
		44,10	165	165	46,55	30
		45,10	171	171		
		45,85	175	175	46,95	30
		46,25	176	176		
		46,55	177	177		
		46,95	179	179		
MA 12	14250	38,20	60	60	45,70	30
		43,90	190	159		
		44,95	190	163	46,35	30
		45,70	211	165		
		46,10	286	166	46,70	30
		46,35	307	167		
		46,70	329	168		
MA 13	14950	38,00	60	60	44,65	30
		39,45	108	108		
		43,45	139	139	45,45	31
		44,65	175	159		
		45,45	355	303	46,50	31
		46,50	355	303		
MA 14	15300	37,90	60	60	44,55	30
		39,30	108	108		
		43,30	139	139	45,30	31
		44,55	175	159		
		45,30	355	303	46,35	31
		46,35	355	303		
MA 15	15500	37,80	60	60	44,50	30
		39,15	95	95		
		43,15	112	112	45,25	30
		44,50	158	158		
		45,25	755	630	45,65	30
		45,65	771	680		
		45,85	771	765		
		46,25	771	765		

Tabel 2 (vervolg)

Dwarsprofiel					Ruwheid	
nummer	coördinaat	hoogte	breedte	stroomvoerende breedte	hoogte	C <sub>o</sub> -waarde
	(m)	(m)	(m)	(m)	(m)	(m <sup>1/3</sup> /s)
MA 16	15800	37,20	60	60	44,40	31
		39,10	91	91		
		43,10	118	118	45,15	34
		44,40	119	119		
		45,15	483	365	45,50	33
		45,50	650	603		
		45,75	650	648		
		46,15	650	648		
MA 17	16300	36,60	60	60	44,20	31
		38,90	88	88		
		42,90	106	106	44,95	32
		44,20	174	174		
		44,95	360	360	45,30	36
		45,30	1035	667		
		45,55	1035	675		
		45,95	1035	675		
MA 18	16900	36,30	60	60	44,00	31
		38,70	88	88		
		42,70	108	108	44,70	32
		44,00	186	140		
		44,70	678	382	45,05	41
		45,05	1018	701		
		45,30	1024	706		
		45,75	1024	706		
MA 19	17950	35,80	60	60	43,60	31
		38,35	88	88		
		42,35	108	108	44,25	32
		43,60	186	140		
		44,25	678	382	44,55	41
		44,55	1018	701		
		44,80	1024	706		
		45,20	1024	706		
MA 20	18650	35,10	60	60	43,35	31
		36,15	63	63		
		38,15	95	95	44,00	32
		42,15	111	111		
		43,35	211	161	44,30	31
		44,00	1643	679		
		44,30	1686	1379		
		44,55	1724	1490		
		44,95	1724	1490		

Tabel 2 (vervolg)

Dwarsprofiel					Ruwheid	
nummer	coördinaat	hoogte	breedte	stroomvoerende breedte	hoogte	C <sub>o</sub> -waarde
	(m)	(m)	(m)	(m)	(m)	(m <sup>1/3</sup> /s)
MA 21	19350	34,70	60	60	43,05	32
		37,85	87	87		
		41,85	106	106	43,70	35
		43,05	290	205		
		43,70	983	653	44,30	35
		44,00	1211	840		
		44,30	1272	996		
		44,70	1365	1073		
MA 22	21450	34,60	60	60	42,20	32
		36,95	87	87		
		40,95	106	106	42,85	35
		42,20	290	205		
		42,85	983	653	44,25	35
		43,20	1211	840		
		43,60	1272	996		
		44,25	1365	1073		
MA 23	23350	34,10	60	60	41,40	32
		36,15	73	73		
		40,15	109	109	42,10	38
		41,40	163	147		
		42,10	708	553	43,85	35
		42,45	921	689		
		43,00	968	773		
		43,85	989	941		
MA 24	25250	33,30	60	60	40,60	32
		35,35	72	72		
		39,35	108	108	41,30	33
		40,60	197	157		
		41,30	636	467	42,95	33
		41,70	710	467		
		42,15	727	467		
		42,95	727	598		
MA 25	27300	32,60	60	60	39,75	32
		34,45	72	72		
		38,45	108	108	40,50	33
		49,75	197	157		
		40,50	636	467	40,85	33
		40,85	710	467		
		41,30	727	467		
		42,00	727	598		

Tabel 2 (vervolg)

Dwarsprofiel					Ruwheid	
nummer	coördinaat	hoogte	breedte	stroomvoerende breedte	hoogte	C <sub>o</sub> -waarde
	(m)	(m)	(m)	(m)	(m)	(m <sup>1/3</sup> /s)
MA 26	28700	31,70	60	60	37,90	32
		33,90	73	73		
		37,90	97	97	39,15	33
		39,15	246	217		
		39,95	292	281	39,95	34
		40,30	427	294		
		40,70	483	294		
		40,95	483	294		
MA 27	30200	30,40	60	60	37,25	28
		33,25	84	84		
		37,25	101	101	38,50	30
		38,50	291	291		
		39,30	334	313	39,65	30
		39,65	506	323		
		39,95	528	333		
		40,40	528	333		
MA 28	31800	29,40	60	60	37,80	28
		32,50	78	78		
		36,50	108	108	38,75	30
		37,80	363	153		
		38,55	1166	680	29,10	31
		38,95	1416	902		
		39,10	1535	1072		
		39,35	1592	1072		
MA 29	33900	28,40	60	60	36,85	28
		31,60	78	78		
		35,60	108	108	37,77	30
		36,85	363	153		
		37,60	1166	680	38,20	31
		37,95	1416	902		
		38,20	1535	1072		
		38,55	1592	1072		
MA 30	36100	27,00	60	60	35,90	28
		28,60	64	64		
		30,60	80	80	36,60	28
		34,60	100	100		
		35,90	623	194	36,95	28
		36,60	932	594		
		36,95	1015	611		
		37,15	1015	611		
37,50	1053	611				

Tabel 2 (vervolg)

Dwarsprofiel					Ruwheid	
nummer	coördinaat	hoogte	breedte	stroomvoerende breedte	hoogte	C <sub>O</sub> -waarde
	(m)	(m)	(m)	(m)	(m)	(m <sup>1/3</sup> /s)
MA 31	36400	20,80	60	60	35,75	28
		28,45	64	64		
		30,45	80	80		
		34,45	100	100	36,45	28
		35,75	623	194		
		36,45	932	594	36,80	28
		36,80	1015	611		
		37,05	1015	611		
		37,40	1053	611		
MA 32	38000	25,70	60	60	35,05	28
		27,75	67	67		
		29,75	87	87	35,75	28
		33,75	105	105		
		35,05	200	196	36,10	28
		35,75	200	196		
		36,10	446	196		
		36,30	446	196		
MA 33	39400	25,10	60	60	34,40	32
		27,10	64	64		
		29,10	78	78	35,10	32
		33,10	103	103		
		34,40	305	250	35,45	32
		35,10	609	438		
		35,45	811	562		
		35,55	811	575		
MA 34	40750	24,70	60	60	33,80	32
		28,50	71	71		
		32,50	92	92	34,50	37
		33,80	367	166		
		34,50	756	647	34,80	41
		34,80	832	799		
		34,90	844	813		
MA 35	42250	24,10	60	60	31,85	32
		27,85	77	77		
		31,85	98	98	33,15	35
		33,15	923	302		
		33,80	1910	724	34,25	30
		34,10	1927	873		
		34,25	1972	1420		
		34,50	2046	1420		

Tabel 2 (vervolg)



Dwarsprofiel					Ruwheid	
nummer	coördinaat	hoogte	breedte	stroomvoerende breedte	hoogte	C <sub>o</sub> -waarde
	(m)	(m)	(m)	(m)	(m)	(m <sup>1/3</sup> /s)
MA 36	42775	23,80	60	60	31,60	32
		27,60	77	77		
		31,60	98	98	32,90	35
		32,90	923	302		
		33,50	1910	724	34,05	30
		33,90	1927	873		
		34,05	1972	1420		
		34,35	2046	1420		
MA 37	44230	23,20	60	60	30,95	32
		26,95	79	79		
		30,95	96	96	32,25	32
		32,25	771	207		
		32,90	974	834	33,40	32
		33,20	1109	834		
		33,40	1317	834		
		33,90	2097	839		
MA 38	45675	23,10	60	60	30,20	32
		26,20	71	71		
		30,20	90	90	31,50	33
		31,50	444	164		
		32,20	1055	595	33,00	36
		32,50	1115	719		
		32,70	1192	723		
		33,00	1208	815		
MA 39	46550	23,20	60	60	29,65	32
		25,65	71	71		
		29,65	90	90	31,00	33
		31,00	444	164		
		31,70	1055	595	32,60	36
		32,05	1115	719		
		32,25	1192	723		
		32,60	1208	815		
MA 40	48050	22,60	60	60	28,70	32
		24,70	65	65		
		28,70	89	89	30,10	33
		30,10	381	225		
		30,85	820	741	30,85	38
		31,25	847	769		
		31,50	918	820		

Tabel 2 (vervolg)

Dwarsprofiel					Ruwheid	
nummer	coördinaat	hoogte	breedte	stroomvoerende breedte	hoogte	C <sub>O</sub> -waarde
	(m)	(m)	(m)	(m)	(m)	(m <sup>1/3</sup> /s)
MA 41	49550	21,70	60	60	29,20	32
		23,80	72	72		
		27,80	95	95	30,45	34
		29,20	197	131		
		30,00	567	538	31,40	37
		30,45	679	555		
		30,80	881	557		
		31,40	881	625		
MA 42	52275	20,70	60	60	27,60	32
		22,10	72	72		
		26,10	95	95	29,00	34
		27,60	197	131		
		28,50	567	538	30,05	37
		29,00	679	555		
		29,40	881	557		
		30,05	881	625		
MA 43	52630	20,20	60	60	28,35	33
		21,95	75	75		
		25,95	95	95	29,25	26
		27,40	140	131		
		28,35	151	143	29,85	33
		28,85	1194	346		
		29,25	1226	669		
		29,85	1226	1157		
MA 44	52975	19,70	60	60	28,80	33
		21,85	74	74		
		25,85	90	90	29,10	35
		27,30	288	104		
		28,20	337	159	29,75	35
		28,70	1209	460		
		29,10	1213	748		
		29,75	1213	769		
MA 45	54000	19,20	60	60	27,80	33
		21,50	74	74		
		25,50	90	90	28,70	35
		26,90	288	104		
		27,80	337	159	29,35	35
		28,35	1209	460		
		28,70	1213	748		
		29,35	1213	769		

Tabel 2 (vervolg)

Dwarsprofiel					Ruwheid	
nummer	coördinaat	hoogte	breedte	stroomvoerende breedte	hoogte	C <sub>o</sub> -waarde
	(m)	(m)	(m)	(m)	(m)	(m <sup>1/3</sup> /s)
MA 46	56000	18,10	60	60	27,55	33
		20,85	79	79		
		24,85	96	96	27,95	36
		26,20	642	102		
		27,05	644	105	28,55	37
		27,55	728	188		
		27,95	768	597		
		28,55	773	639		
MA 47	58000	17,10	60	60	26,30	33
		18,25	76	76		
		20,25	93	93	26,80	37
		24,25	108	108		
		25,45	326	130	27,80	37
		26,30	414	178		
		26,80	1133	420		
		27,15	1135	428		
27,80	1140	440				
MA 48	58600	16,80	60	60	26,10	33
		18,05	76	76		
		20,05	93	93	26,55	37
		24,05	108	108		
		25,25	326	130	27,55	37
		26,10	414	178		
		26,55	1133	420		
		26,95	1135	428		
27,55	1140	440				
MA 49	60600	16,20	60	60	25,35	33
		17,40	67	67		
		19,40	85	85	25,97	34
		23,40	111	111		
		24,50	639	170	26,75	35
		25,35	811	196		
		25,80	1610	487		
		26,15	1615	502		
26,75	1793	725				

Tabel 2 (vervolg)

Dwarsprofiel					Ruwheid			
nummer	coördinaat	hoogte	breedte	stroomvoerende breedte	hoogte	C <sub>o</sub> -waarde		
	(m)	(m)	(m)	(m)	(m)	(m <sup>1/3</sup> /s)		
MA 50	61400	16,00	60	60	25,05	33		
		17,15	67	67				
		19,15	85	85			25,67	34
		23,15	111	111			26,45	35
		24,25	639	170				
		25,05	811	196				
		25,50	1610	487				
		25,85	1615	502				
		26,45	1793	725				
MA 51	61800	15,90	60	60	24,10	33		
		19,00	73	73				
		23,00	92	92			25,35	35
		24,10	880	102			26,30	34,5
		24,90	1532	128				
		25,35	2225	645				
		25,70	2323	648				
		26,30	2778	1068				
		MA 52	62200	15,80			60	60
18,90	81			81				
22,90	105			105	23,95	36		
23,95	1768			551	25,55	34		
24,70	1925			760				
25,20	1955			831				
25,55	2816			984				
26,15	2868			1134				
MA 53	64175	15,60	60	60	22,25	33		
		18,25	81	81				
		22,25	105	105			23,25	36
		23,25	1768	551			24,80	34
		23,95	1925	760				
		24,45	1955	831				
		24,80	2816	984				
		25,40	2868	1134				
MA 54	65830	15,10	60	60	21,75	33		
		17,75	82	82				
		21,75	110	110			22,65	34
		22,65	570	183			23,35	38
		23,35	882	489				
		23,80	933	493				
		24,15	1749	497				
		24,75	1888	534				

Tabel 2 (vervolg)

Dwarsprofiel					Ruwheid		
nummer	coördinaat	hoogte	breedte	stroomvoerende breedte	hoogte	C <sub>o</sub> -waarde	
	(m)	(m)	(m)	(m)	(m)	(m <sup>1/3</sup> /s)	
MA 55	66650	14,80	60	60	21,45	33	
		17,45	82	82			
		21,45	110	110	22,35	34	
		22,35	570	183			
		23,05	882	489	23,05	38	
		23,50	933	493			
		23,85	1749	497			
		24,40	1888	534			
BRU 1	-	39,00	1	1			
		niet in berekening opgenomen	40,25	34			34
		44,25	89	89			
		45,25	85	85			
		46,00	81	81			
		46,45	76	76			
		46,70	74	74			
BRU 2	150	39,50	1	1	45,25	25	
		40,20	69	69			
		44,20	120	120	46,00	25	
		45,20	125	125			
		46,00	129	129	46,45	25	
		46,40	132	132			
		46,65	133	133			
		47,10	134	134			
BOR 1	0	44,75	1	1	36,75	65	
		45,25	130	130			
		47,25	130	130			
BOR 2	855	43,75	1	1			
		44,25	130	130			
		46,25	130	130			
BOR 3	1710	42,75	1	1			
		43,25	130	130			
		45,25	130	130			
UT1 1	0	31,94	851	323	28,70	32	
		32,19	1048	323	30,10	32	
		32,64	1219	406	31,50	32	
UT1 2	1180	31,25	851	323			
		31,50	1048	323			
		31,95	1219	406			

Tabel 2 (vervolg)

Dwarsprofiel					Ruwheid	
nummer	coördinaat	hoogte	breedte	stroomvoerende breedte	hoogte	C <sub>O</sub> -waarde
	(m)	(m)	(m)	(m)	(m)	(m <sup>1/3</sup> /s)
UT1 3	3500	29,90	787	518		
		30,25	787	518		
		30,80	787	518		
UT1 4	4860	28,85	1066	236	25,95	33
		29,25	1066	236	28,35	33
		29,85	1066	236	28,85	33
UT1 5	5080	28,68	1066	236		
		29,08	1066	236		
		29,68	1066	236		
UT2 1	0	28,13	500	309	24,15	33
		28,53	500	309	26,20	33
		29,13	516	309	26,70	33
UT2 2	800	27,55	500	309		
		27,95	500	309		
		28,55	516	309		
UT2 3	1965	26,70	700	216		
		27,05	775	216		
		27,65	775	216		
UT2 4	3080	25,80	569	417		
		26,15	569	417		
		26,75	630	479		
UT2 5	4115	25,35	610	192		
		25,70	657	192		
		26,30	691	291		
UT2 6	4400	25,23	610	192		
		25,58	657	192		
		26,18	691	291		

Tabel 2 (vervolg)

plaats	coördinaat (m)	NETFLOW		NEBAS		IMPLIC	
		maximum waterstand (m)	maximum afvoer (m <sup>3</sup> /s)	maximum waterstand (m)	maximum afvoer (m <sup>3</sup> /s)	maximum waterstand (m)	maximum afvoer (m <sup>3</sup> /s)
Eijsden kmr. 4.475	4960	50,36	3800	50,22	3800	50,31	3800
St. Pieter kmr. 9.455	9455	49,55	-	49,65	3797	49,32	-
Maastricht kmr. 13.895	13895	47,32	3796	47,57	3798	47,33	-
Borgharen kmr. 15.590	15590	46,26	3068	46,58	3302	46,48	-
Hocht kmr. 18.285	18285	45,34	-	45,52	3797	45,47	-
Elsloo kmr. 29.405	29405	40,95	3791	41,12	3795	41,26	3792
Berg kmr. 38.800	38800	36,25	3786	36,37	3791	36,50	-
Obbicht kmr. 41.500	41500	35,05	-	35,30	3790	35,24	-
Grevendicht kmr. 44.945	44945	33,58	3783	33,86	3789	33,85	-
Visserweert kmr. 48.800	48800	31,56	-	31,54	-	31,76	-
Maaseik kmr. 52.450	52450	30,27	-	30,19	-	30,42	-
Maasbracht kmr. 66.650	66650	23,74	3769	24,45	3778	24,54	3771

Tabel 3 Maximum waterstanden ten opzichte van N.A.P. en afvoeren ten tijde van het To-hoogwater volgens Notitie 1978-J [5], berekend met de programma's NETFLOW, NEBAS en IMPLIC

tijdstip (uren)	traagheidsterm $\frac{1}{gA_s} \frac{\partial Q}{\partial t}$ ( $10^{-6}$ )	convectieterm $\frac{1}{gA_s} \frac{\partial}{\partial x} \left( \frac{Q^2}{A_s} \right)$ ( $10^{-6}$ )	zwaartekrachts- term $\frac{\partial h}{\partial x}$ ( $10^{-6}$ )	weerstandsterm $\frac{Q Q }{C^2 A_s^2 R}$ ( $10^{-6}$ )
120	0	-146	-181	388
130	0	-146	-181	388
140	0,110	-147	-181	389
150	0,245	-148	-180	386
160	0,317	-149	-178	382
170	0,585	-152	-175	379
180	0,645	-156	-170	372
190	0,649	-165	-165	370
200	0,622	-174	-164	374
210	0,689	-173	-167	382
220	0,657	-155	-182	396
230	0,587	-145	-201	408
240	0,533	-146	-212	414
250	0,455	-154	-217	415
260	0,369	-162	-217	415
270	-0,086	-161	-213	409

Tabel 4 Overzicht van de grootte van de termen uit de impulsvergelijking voor het hoofdkanaal ter plaatse van de coördinaat 4960 m



tijdstip (uren)	traagheidsterm $\frac{1}{gA_s} \frac{\partial Q}{\partial t}$ ( $10^{-6}$ )	convectieterm $\frac{1}{gA_s} \frac{\partial}{\partial x} \left( \frac{Q^2}{A_s} \right)$ ( $10^{-6}$ )	zwaartekrachten- term $\frac{\partial h}{\partial x}$ ( $10^{-6}$ )	weerstandsterm $\frac{Q Q }{C^2 A_s^2 R}$ ( $10^{-6}$ )
120	0	38	-280	274
130	0	38	-280	274
140	0,110	38	-281	274
150	0,201	38	-284	276
160	0,284	40	-287	277
170	0,466	41	-292	280
180	0,630	48	-301	286
190	0,635	65	-322	301
200	0,672	96	-346	317
210	0,704	143	-379	338
220	0,657	184	-419	361
230	0,620	219	-454	379
240	0,576	249	-482	392
250	0,518	278	-507	402
260	0,426	303	-529	410
270	-0,050	311	-535	412

Tabel 5 Overzicht van de grootte van de termen uit de impulsvergelijking voor het hoofdkanaal ter plaatse van de coördinaat 12300 m

tijdstip (uren)	traagheidsterm $\frac{1}{gA_s} \frac{\partial Q}{\partial t}$ ( $10^{-6}$ )	convectieterm $\frac{1}{gA_s} \frac{\partial}{\partial x} \left( \frac{Q^2}{A_s} \right)$ ( $10^{-6}$ )	zwaartekrachtsterm $\frac{\partial h}{\partial x}$ ( $10^{-6}$ )	weerstandsterm $\frac{Q Q }{C^2 A_s^2 R}$ ( $10^{-6}$ )
120	0	2	-419	429
130	0	2	-419	429
140	0,123	2	-420	429
150	0,252	2	-421	429
160	0,365	1	-422	428
170	0,578	- 2	-425	429
180	0,720	- 9	-434	437
190	0,245	-15	-419	423
200	0,590	-16	-415	415
210	0,618	-23	-378	399
220	0,582	-28	-381	429
230	0,440	-40	-363	447
240	0,396	-43	-345	434
250	0,345	-43	-331	423
260	0,278	-42	-319	414
270	-0,036	-42	-312	406

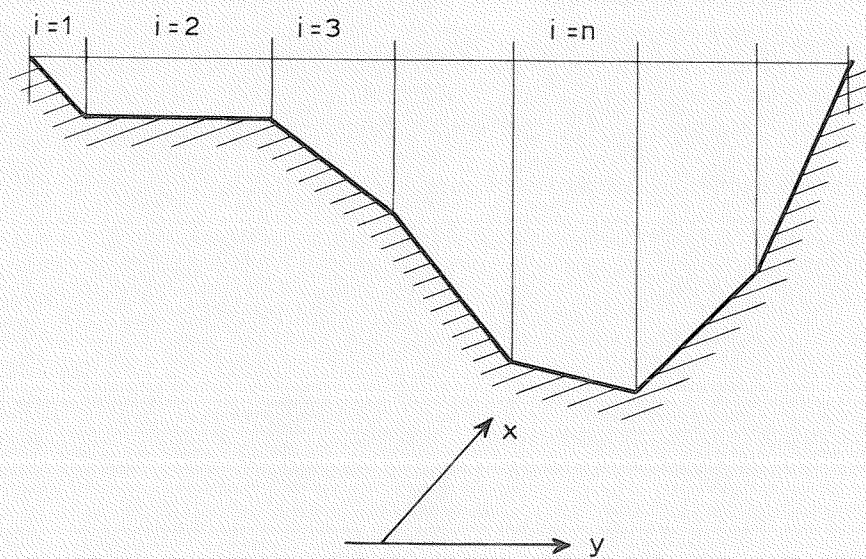
Tabel 6 Overzicht van de grootte van de termen uit de impulsvergelijking voor het hoofdkanaal ter plaatse van de coördinaat 16000 m

tijdstip (uren)	traagheidsterm $\frac{1}{gA_s} \frac{\partial Q}{\partial t}$ ( $10^{-6}$ )	convectieterm $\frac{1}{gA_s} \frac{\partial}{\partial x} \left( \frac{Q^2}{A_s} \right)$ ( $10^{-6}$ )	zwaartekrachtsterm $\frac{\partial h}{\partial x}$ ( $10^{-6}$ )	weerstandsterm $\frac{Q Q }{C^2 A_s^2 R}$ ( $10^{-6}$ )
120	0	25	-608	586
130	0	25	-608	586
140	0,132	25	-608	585
150	0,273	26	-607	583
160	0,411	27	-606	580
170	0,598	25	-603	596
180	0,853	17	-599	573
190	0,838	9	-583	562
200	0,579	24	-569	550
210	0,823	48	-573	543
220	0,806	70	-590	538
230	0,702	87	-613	537
240	0,650	104	-634	537
250	0,592	123	-654	537
260	0,491	140	-672	535
270	0,045	148	-679	533

Tabel 7 Overzicht van de grootte van de termen uit de impulsvergelijking voor het hoofdkanaal ter plaatse van de coördinaat 28000 m

tijdstip (uren)	traagheidsterm $\frac{1}{gA_s} \frac{\partial Q}{\partial t}$ ( $10^{-6}$ )	convectieterm $\frac{1}{gA_s} \frac{\partial}{\partial x} \left( \frac{Q^2}{A_s} \right)$ ( $10^{-6}$ )	zwaartekrachts- term $\frac{\partial h}{\partial x}$ ( $10^{-6}$ )	weerstandsterm $\frac{Q Q }{C^2 A_s^2 R}$ ( $10^{-6}$ )
120	0	- 1	-517	516
130	0	- 1	-517	516
140	0,114	- 1	-518	516
150	0,239	- 2	-518	516
160	0,362	- 1	-518	516
170	0,522	- 3	-518	515
180	0,753	14	-510	499
190	0,727	32	-498	473
200	0,524	29	-485	458
210	0,714	6	-485	464
220	0,706	- 26	-476	474
230	0,615	- 54	-467	490
240	0,560	- 80	-455	505
250	0,506	-102	-436	515
260	0,420	-119	-419	522
270	0,050	-128	-404	522

Tabel 8 Overzicht van de grootte van de termen uit de impulsvergelijking voor het hoofdkanaal ter plaatse van de coördinaat 31000 m

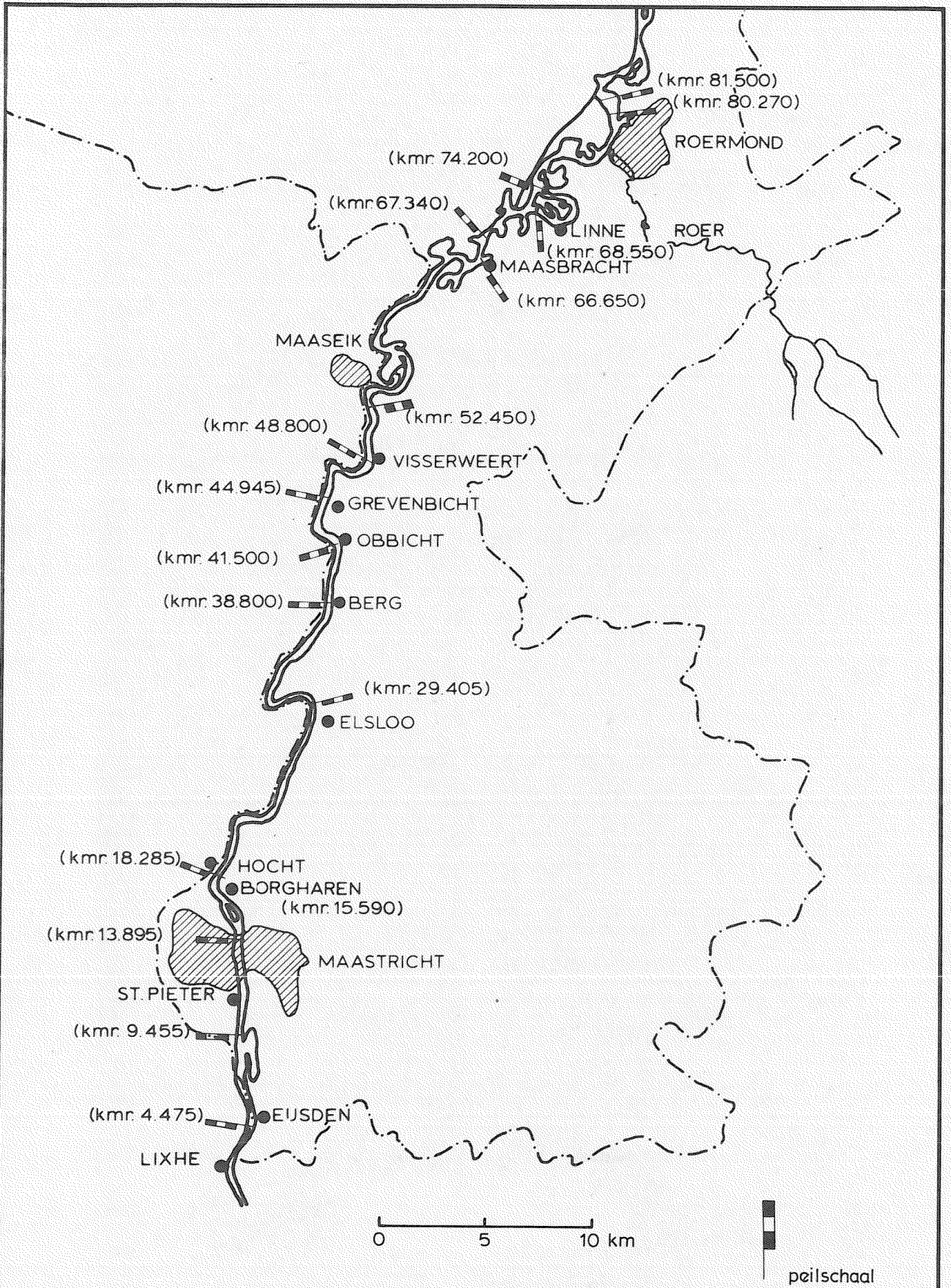


VERDELING VAN HET DWARSPROFIEL  
 IN SECTIES BIJ TOEPASSING VAN DE  
 HYDRAULISCHE STRAAL VOLGENS ENGELUND

WATERLOOPKUNDIG LABORATORIUM

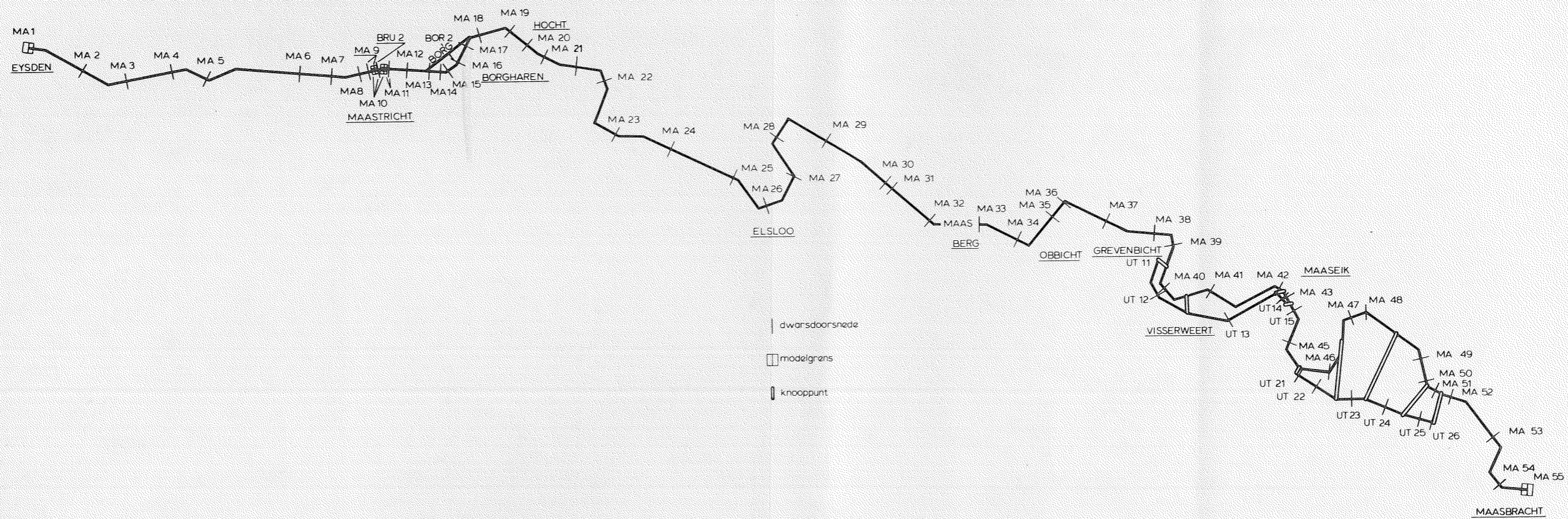
R 1302-III

FIG. 1



OVERZICHT VAN DE MAAS MET SITUERING VAN PEILSCHALEN TUSSEN EIJSDEN EN MAASBRACHT



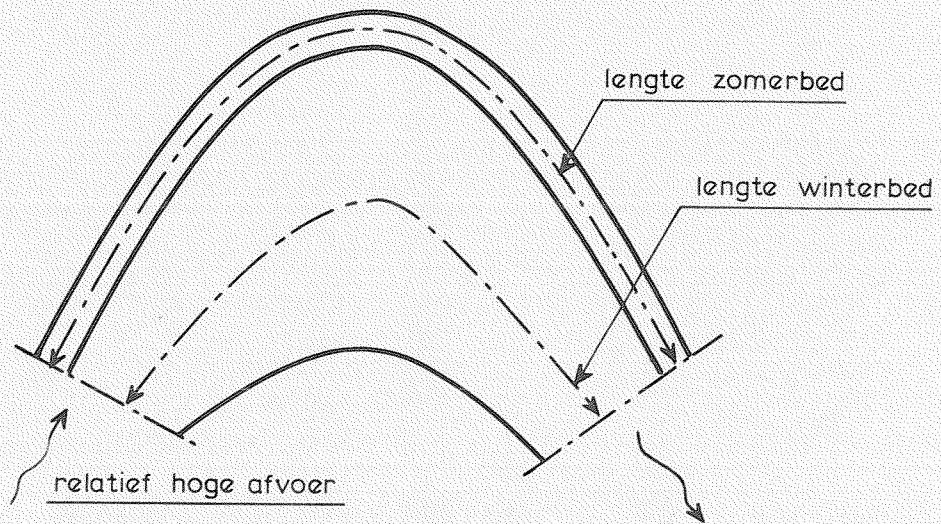
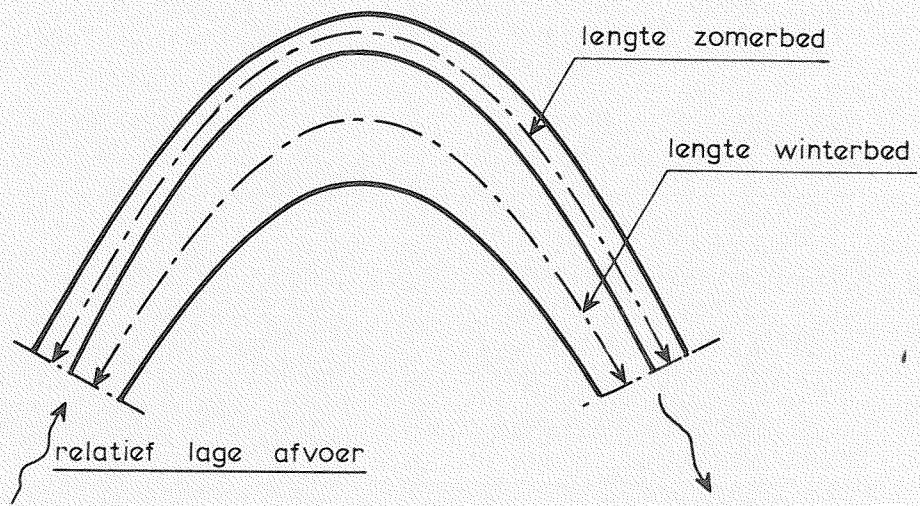


OVERZICHT VAN HET NETWERK VAN  
KANALEN, E'USDEN-MAASBRACHT

WATERLOOPKUNDIG LABORATORIUM

M 1302-III

FIG. 3



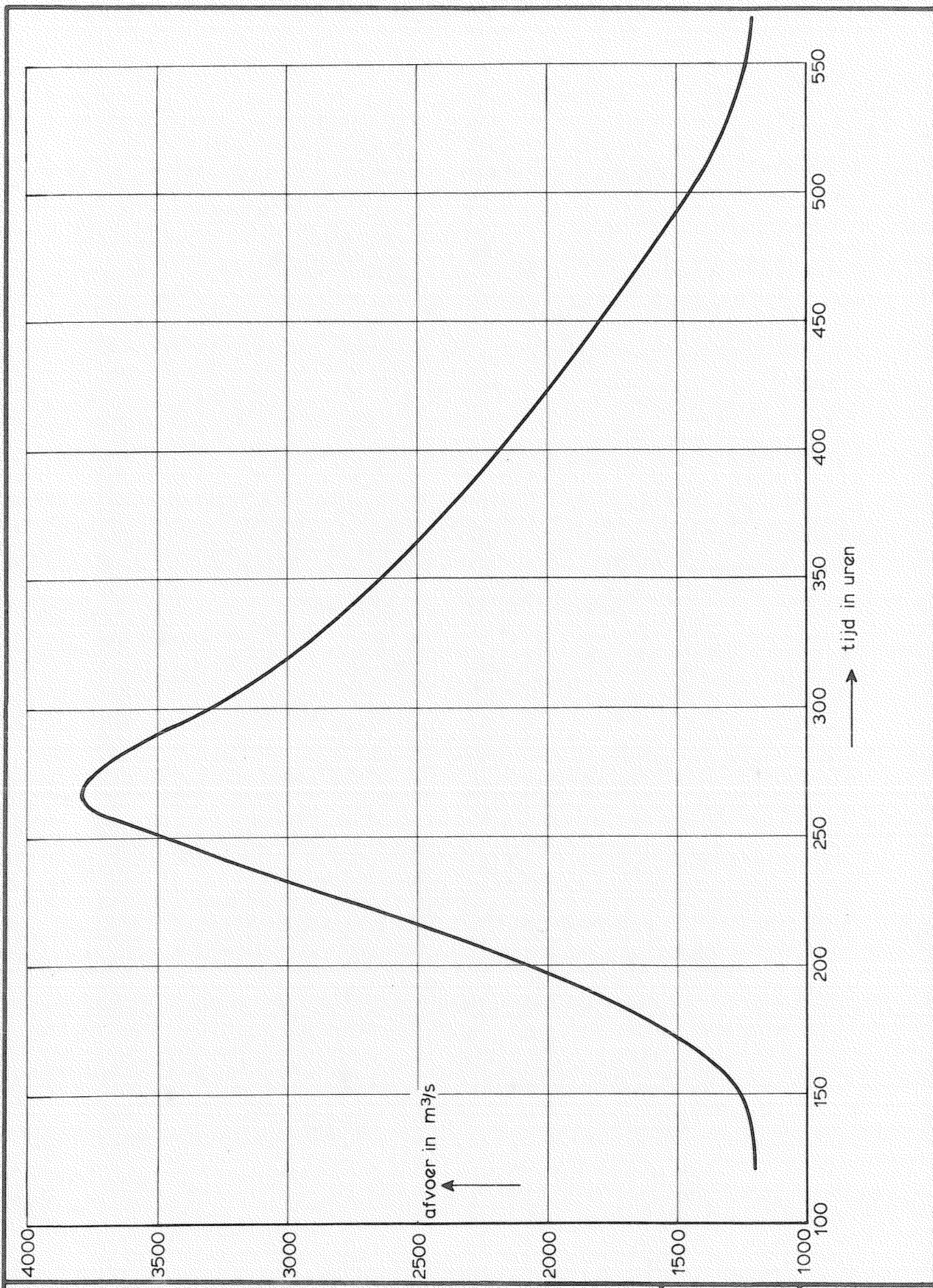
LENGTE VAN ZOMER- EN WINTERBED  
 BIJ VERSCHILLENDE AFVOEREN

WATERLOOPKUNDIG LABORATORIUM

R 1302-III

FIG. 4



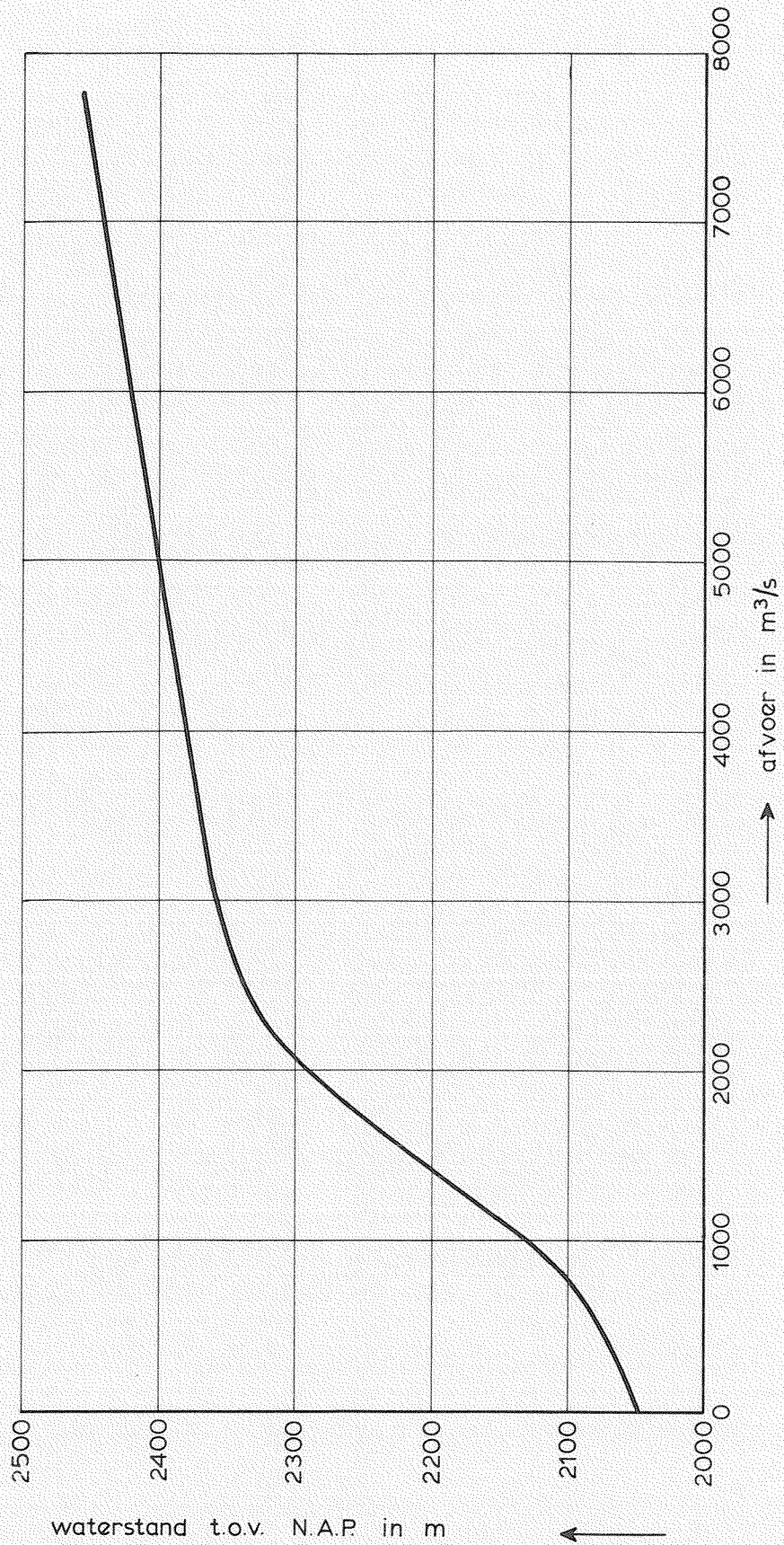


AFVOERVERLOOP TE EYSDEN, BOVENRANDVOORWAARDE

WATERLOOPKUNDIG LABORATORIUM

R 1302-III

FIG. 5

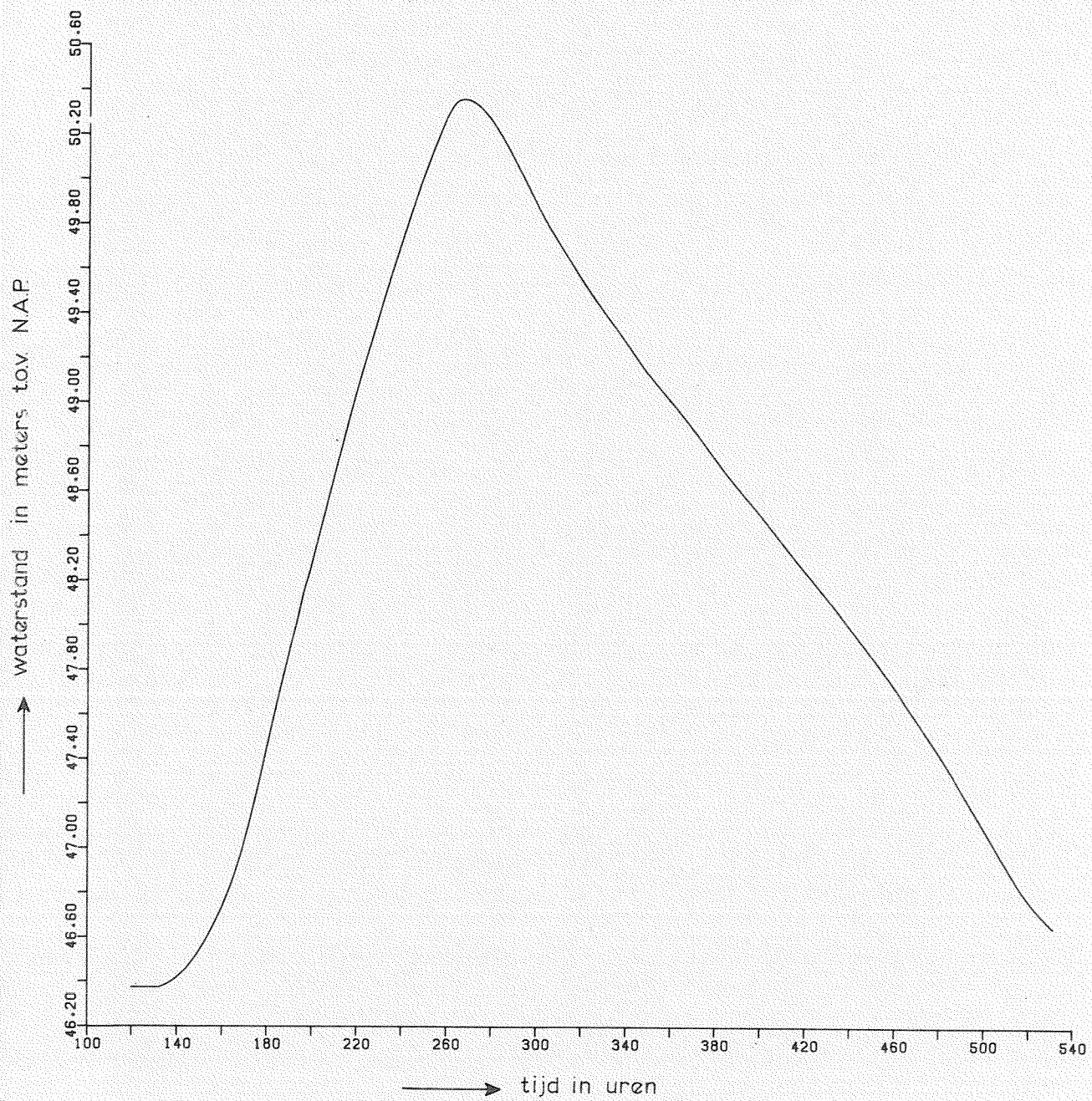


Q-h RELATIE TE MAASBRACHT  
 ( BENEDENRANDVOORWAARDE)

WATERLOOPKUNDIG LABORATORIUM

R 1302 III

FIG. 6

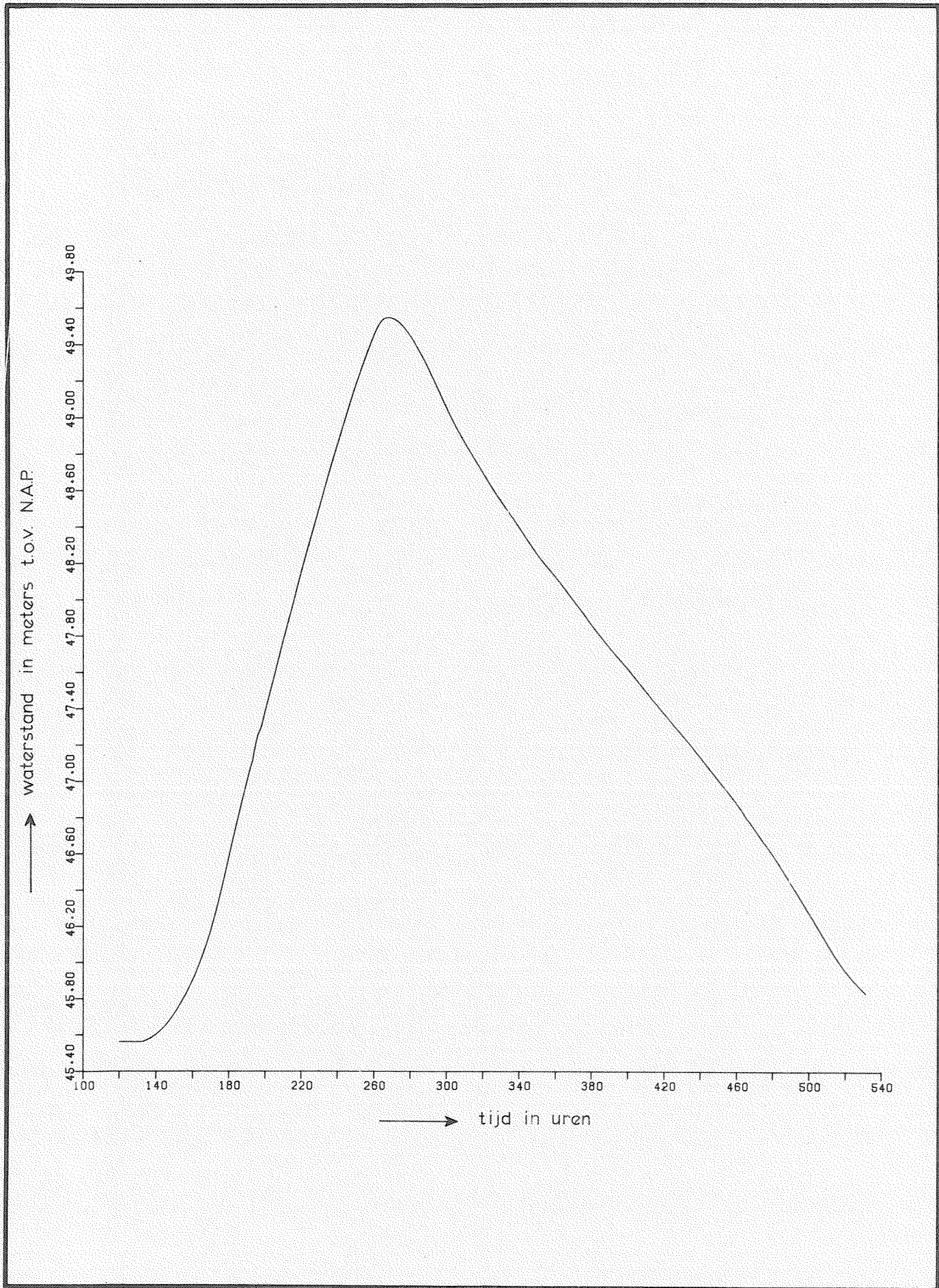


WATERSTANDSVERLOOP TE EYSDEN ( kmr. 4.475 )

WATERLOOPKUNDIG LABORATORIUM

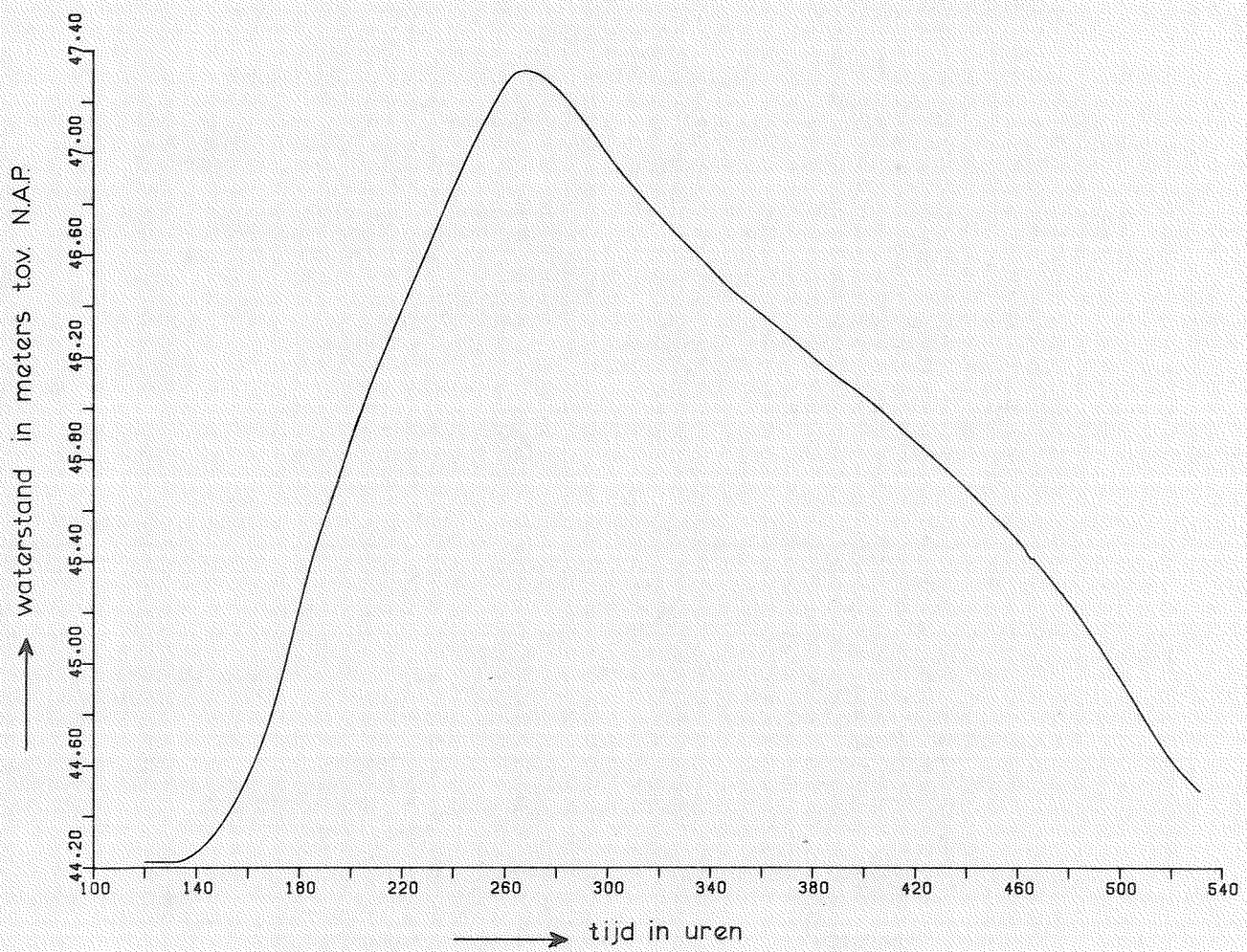
R 1302-III

FIG. 7



WATERSTANDSVERLOOP TE ST. PIETER ( kmr. 9.455 )		
WATERLOOPKUNDIG LABORATORIUM	R 1302-III	FIG. 8



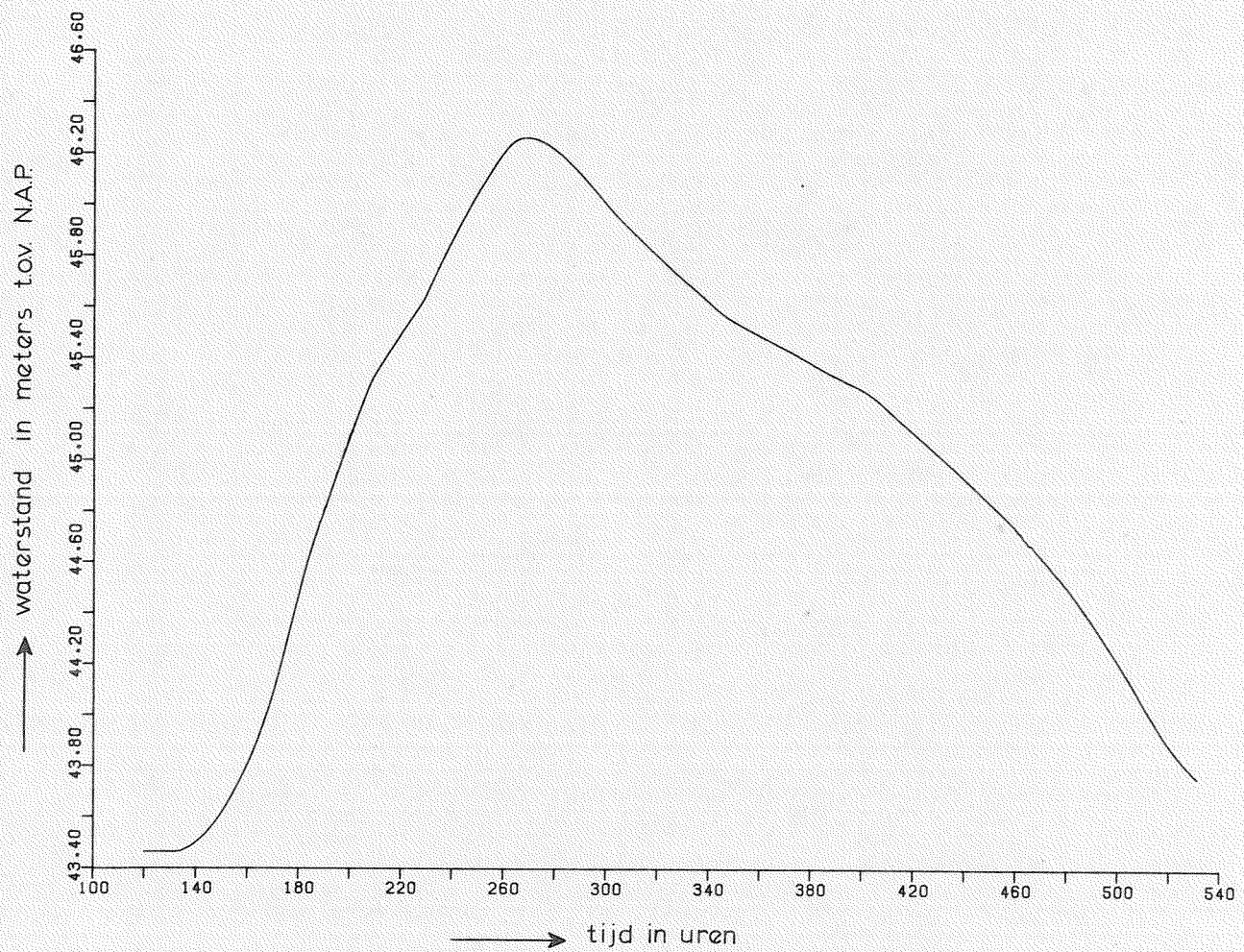


WATERSTANDSVERLOOP TE MAASTRICHT ( kmr. 13.895)

WATERLOOPKUNDIG LABORATORIUM

R 1302-III

FIG. 9

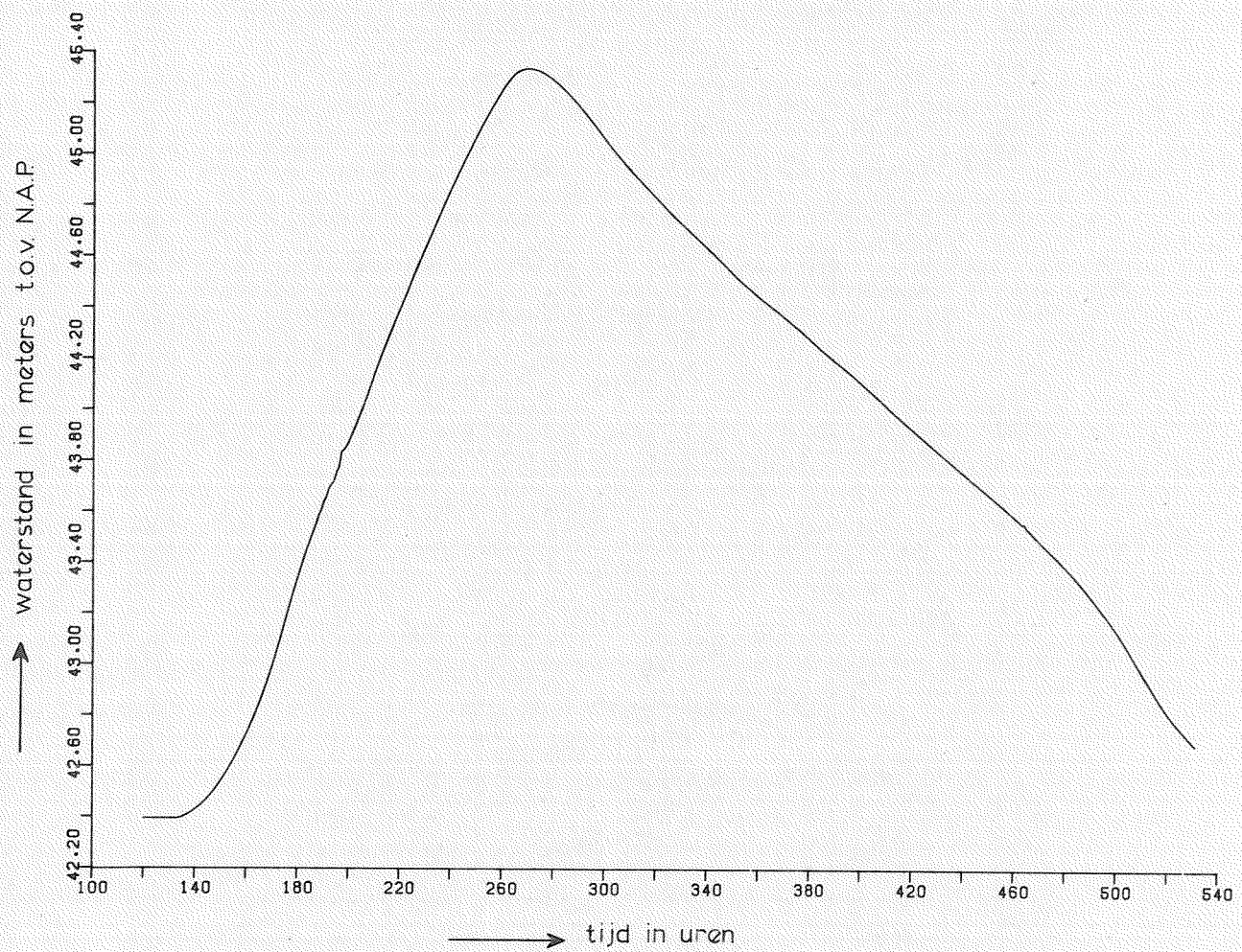


WATERSTANDSVERLOOP TE BORGHAREN (kmr. 15.590)

WATERLOOPKUNDIG LABORATORIUM

R 1302-III

FIG. 10



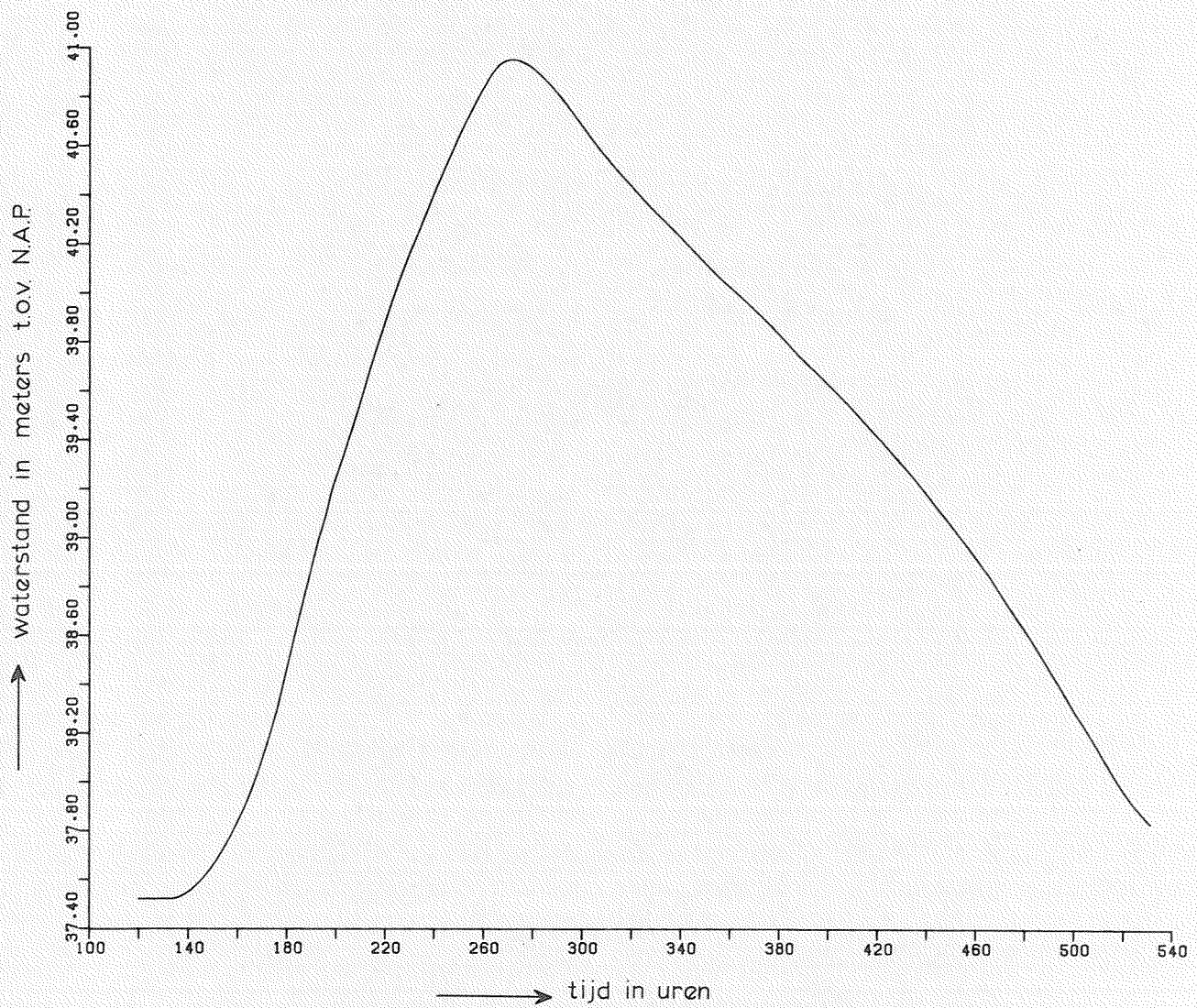
WATERSTANDSVERLOOP TE HOCHT ( kmr. 18.285)

WATERLOOPKUNDIG LABORATORIUM

R 1302-III

FIG. 11





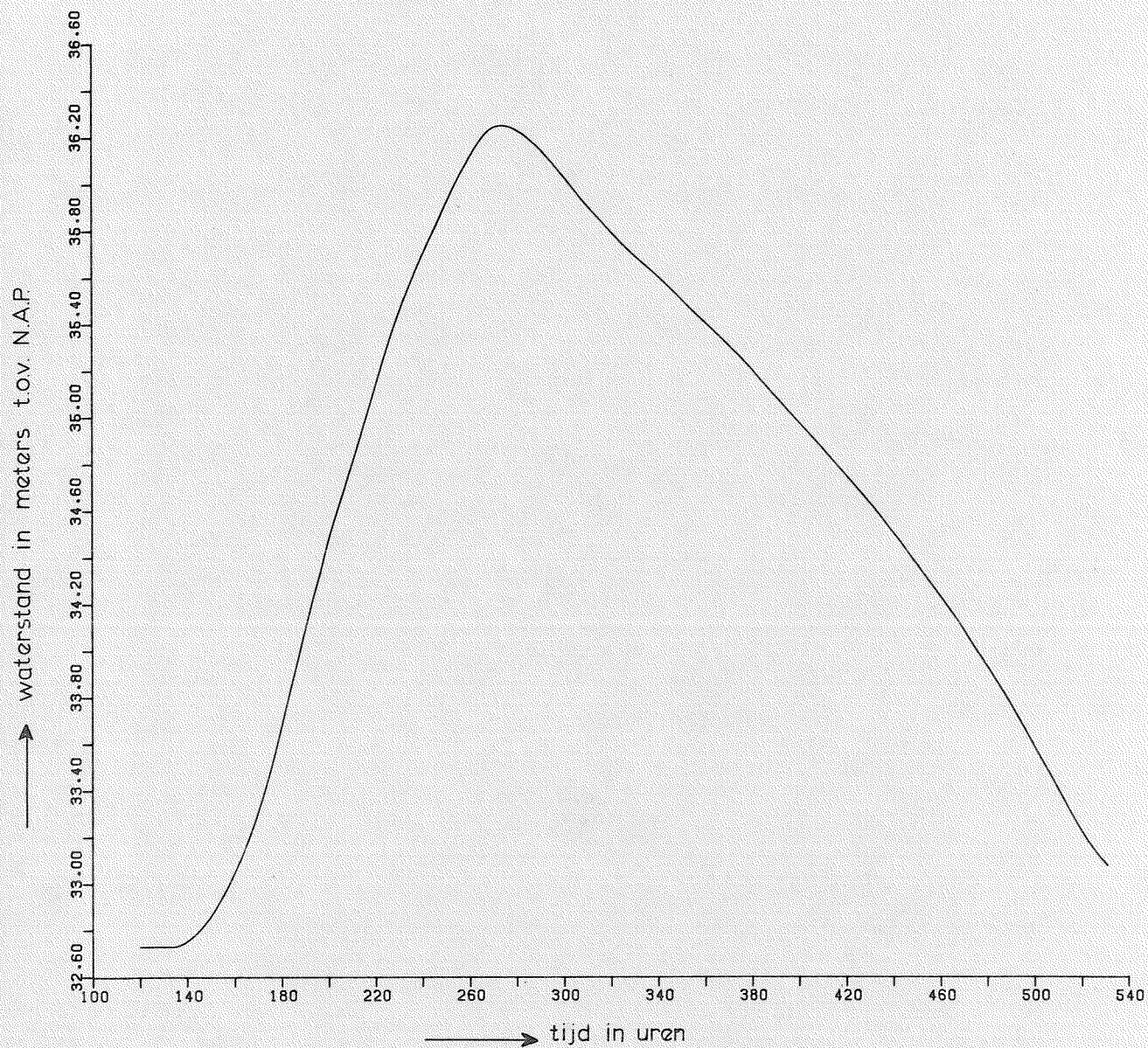
WATERSTANDSVERLOOP TE ELSLOO (kml. 29.405)

WATERLOOPKUNDIG LABORATORIUM

R 1302-III

FIG. 12



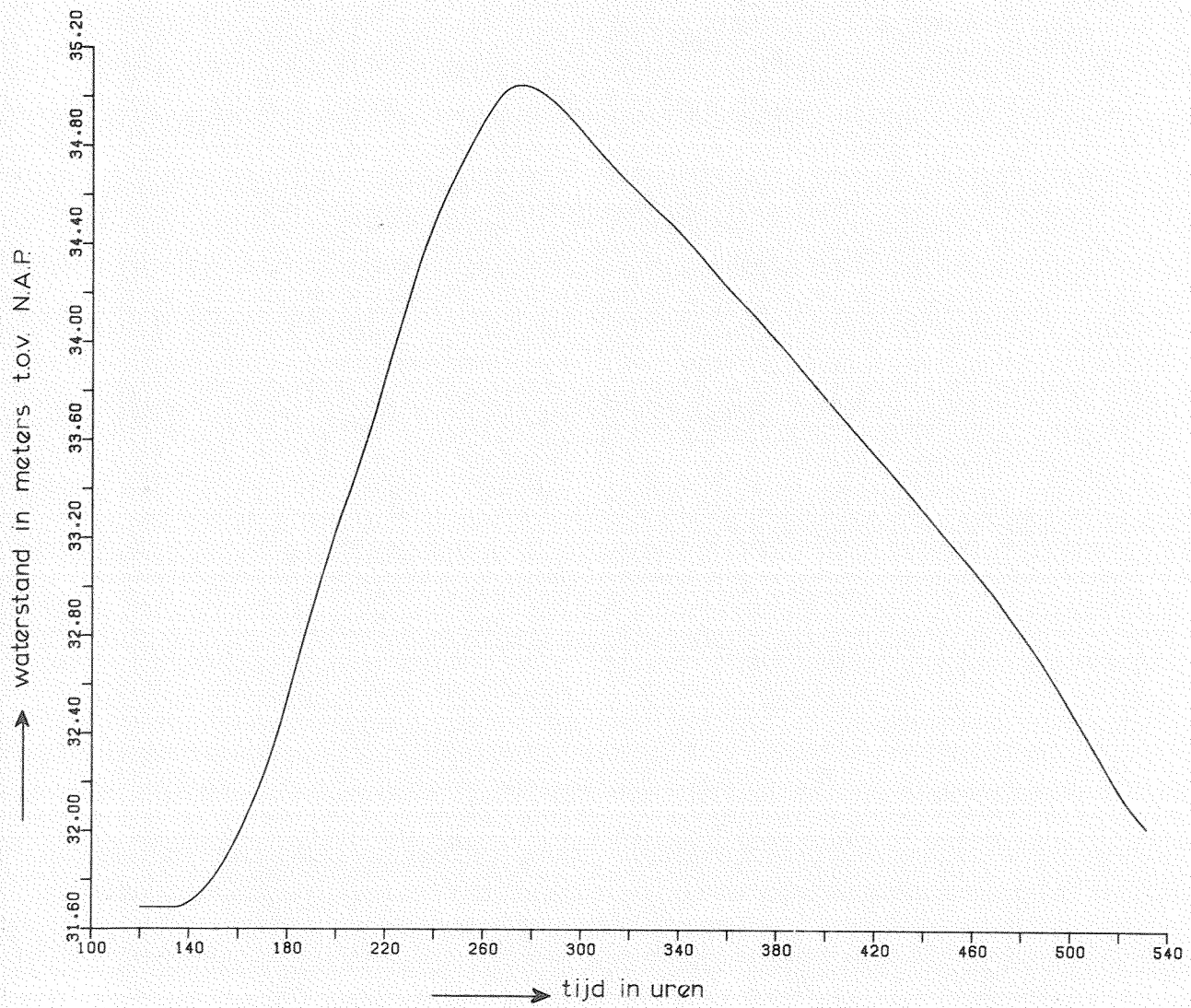


WATERSTANDSVERLOOP TE BERG (kmr. 38.800)

WATERLOOPKUNDIG LABORATORIUM

R 1302-III

FIG. 13

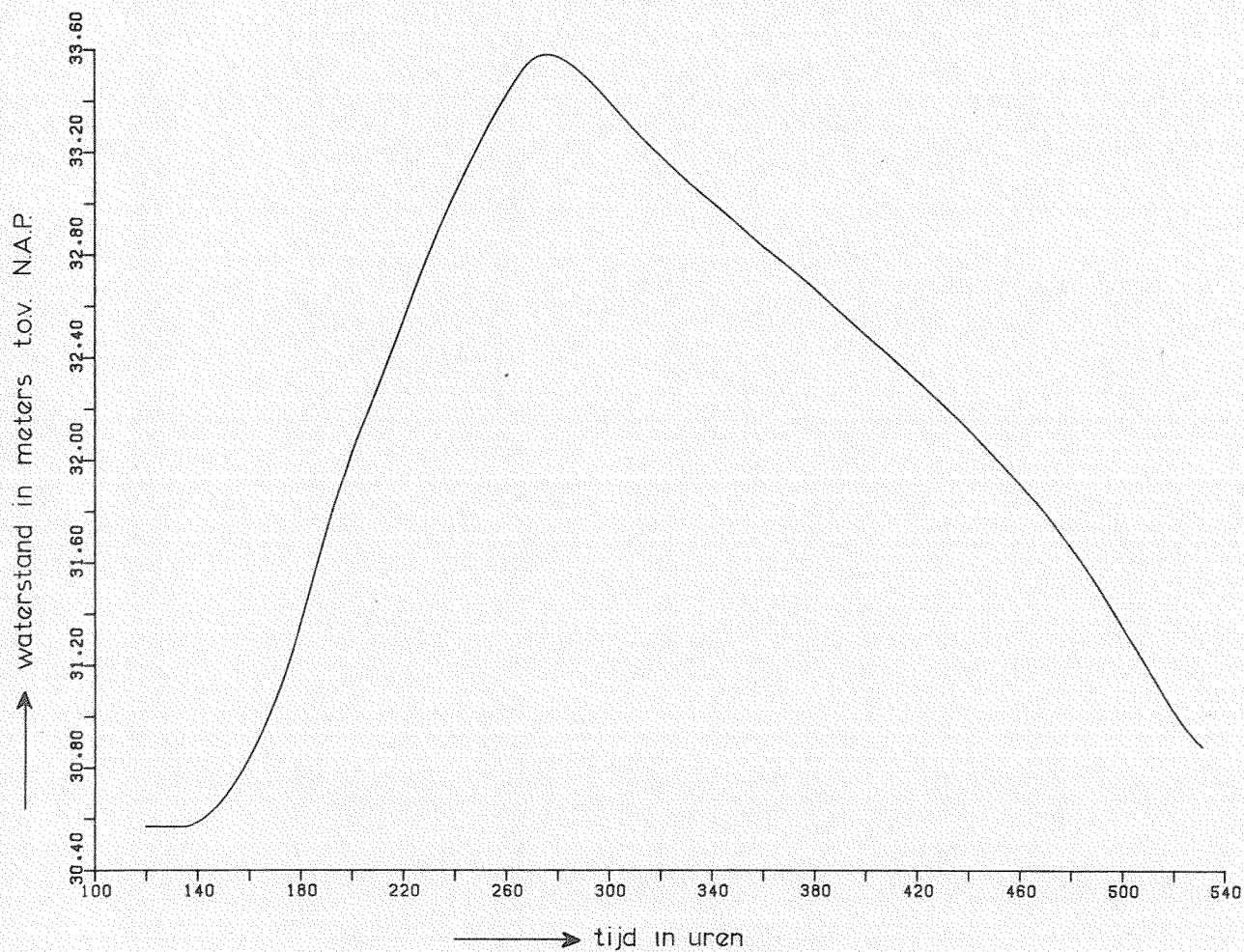


WATERSTANDSVERLOOP TE OBBICHT (kmr. 41.500)

WATERLOOPKUNDIG LABORATORIUM

R 1302 III

FIG. 14

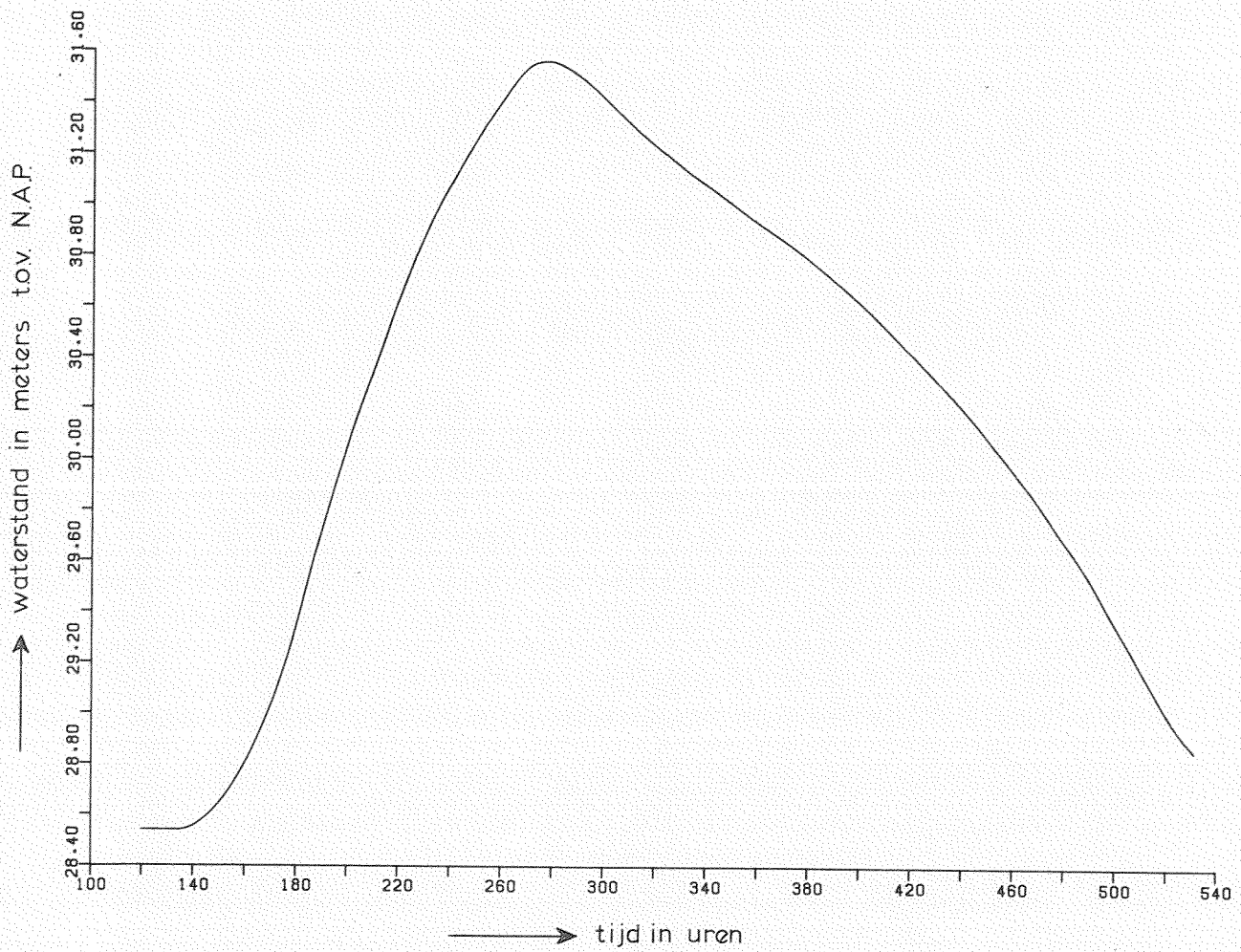


WATERSTANDSVERLOOP TE GREVENBICHT ( kmr.44.945)

WATERLOOPKUNDIG LABORATORIUM

R 1302-III

FIG. 15



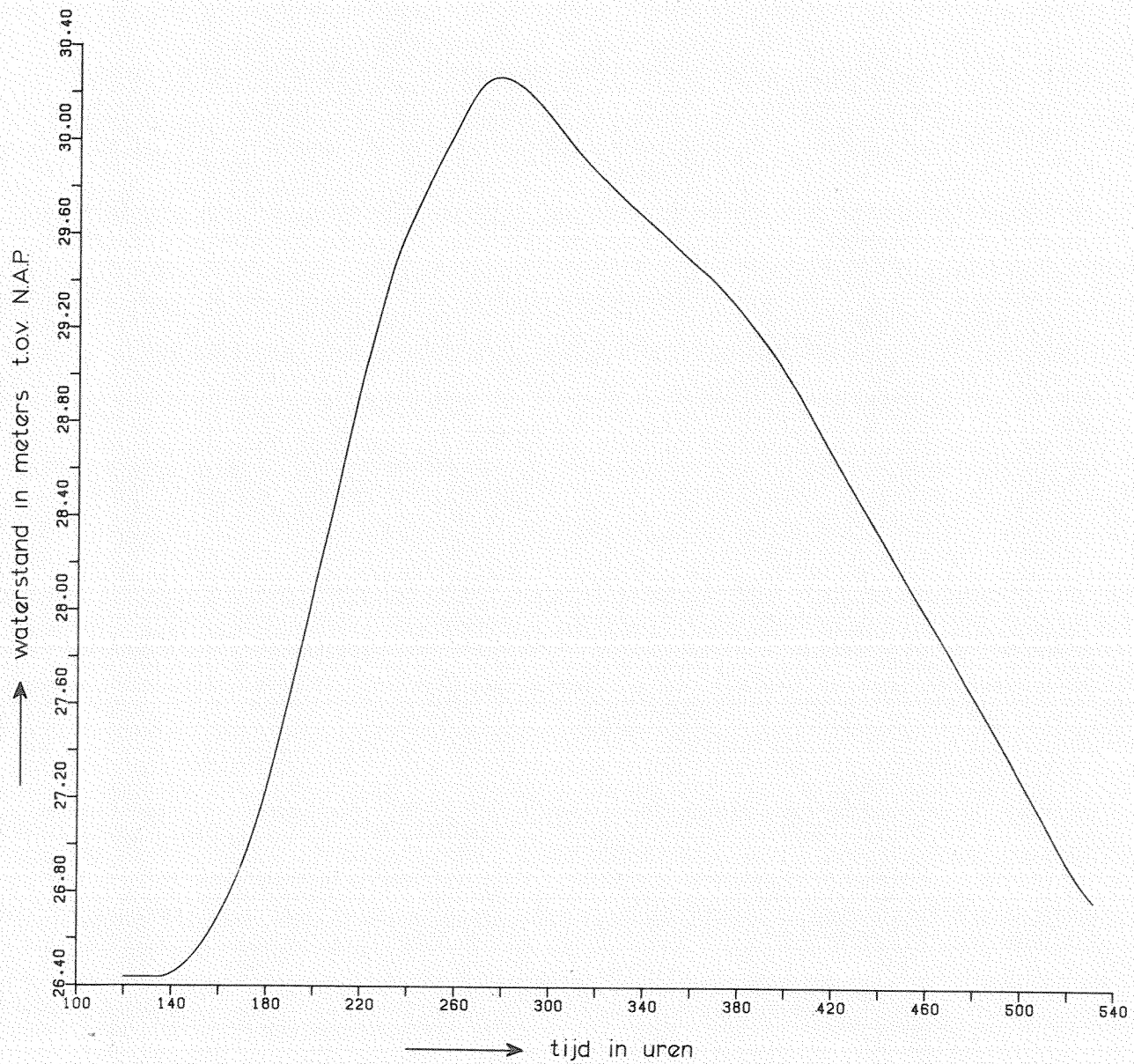
WATERSTANDSVERLOOP TE VISSERWEERT (k.mr. 48.800)

WATERLOOPKUNDIG LABORATORIUM

R 1302-III

FIG 16



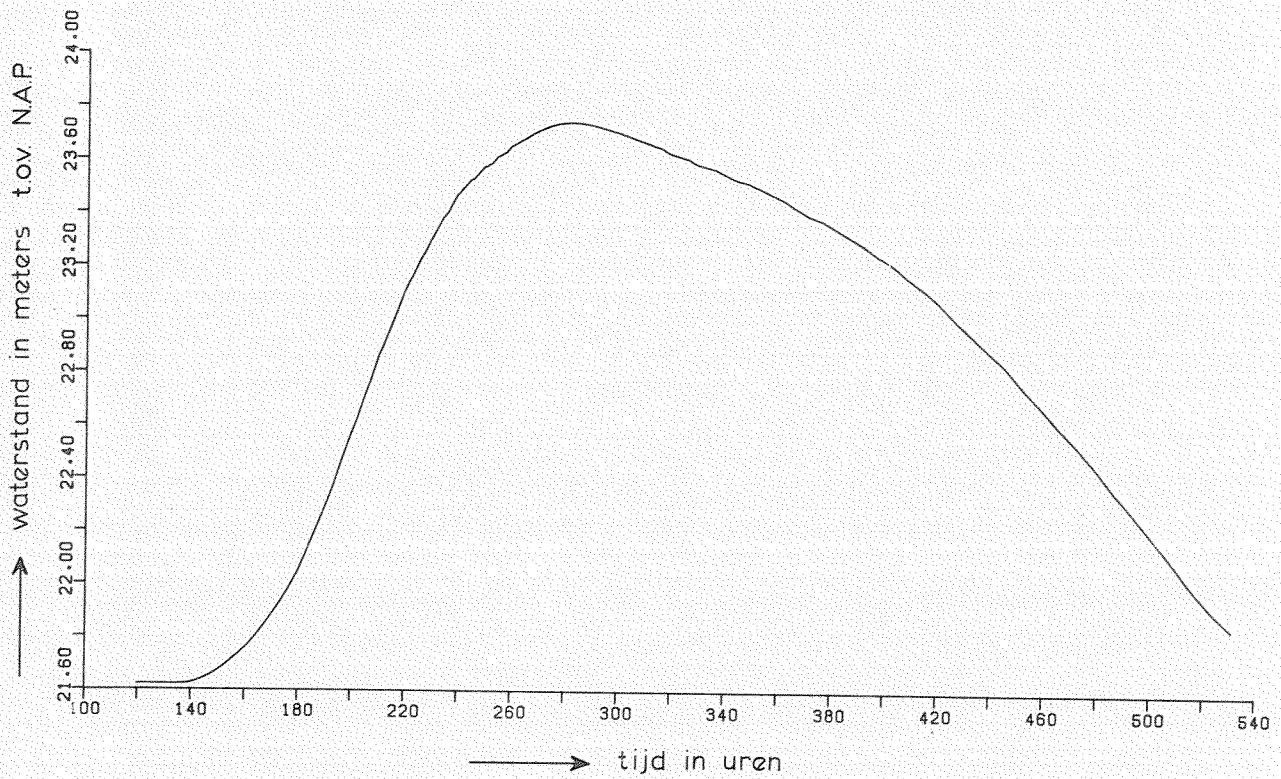


WATERSTANDSVERLOOP TE MAASEIK (kmr. 52.450)

WATERLOOPKUNDIG LABORATORIUM

R 1302-III

FIG. 17

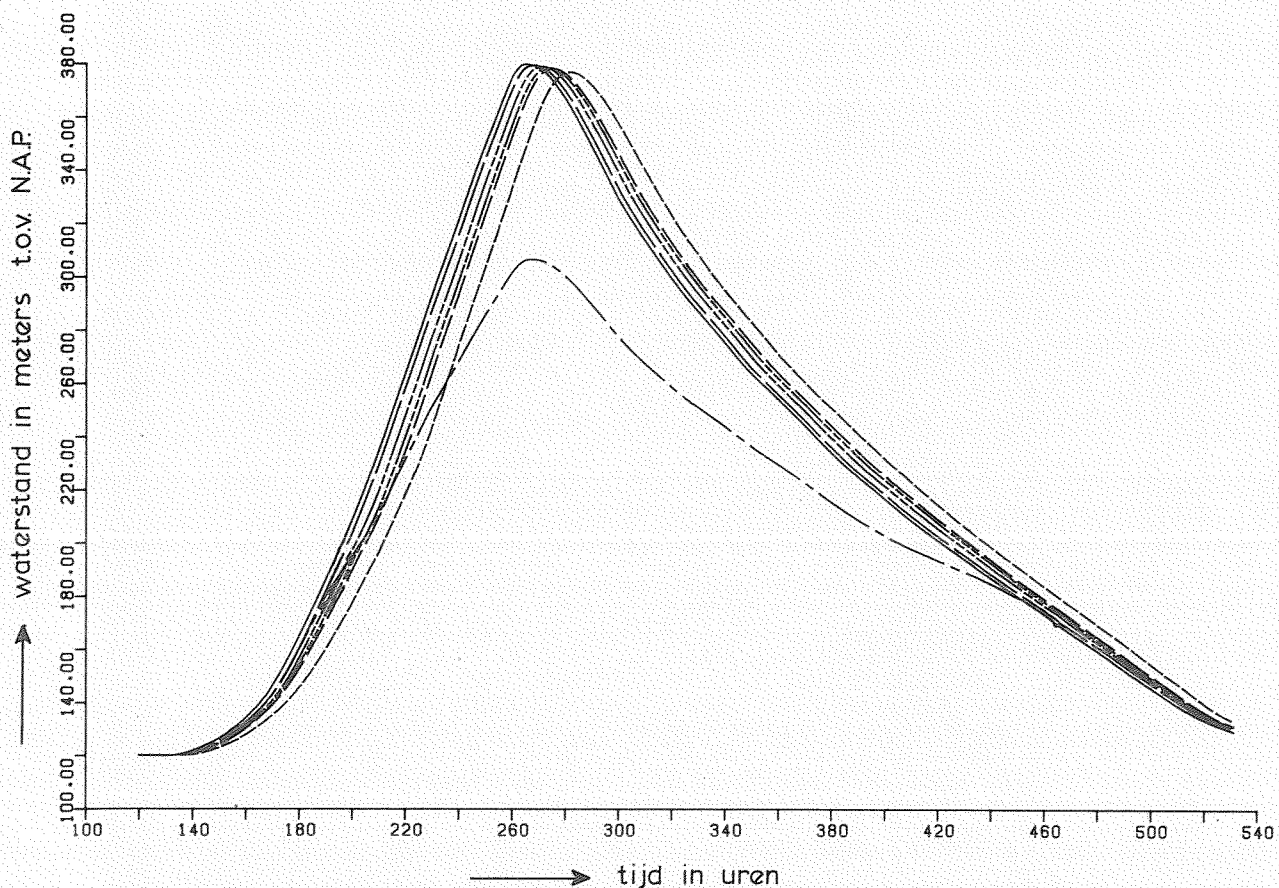


WATERSTANDSVERLOOP TE MAASBRACHT ( kmr. 66.650)

WATERLOOPKUNDIG LABORATORIUM

R 1302-III

FIG. 18



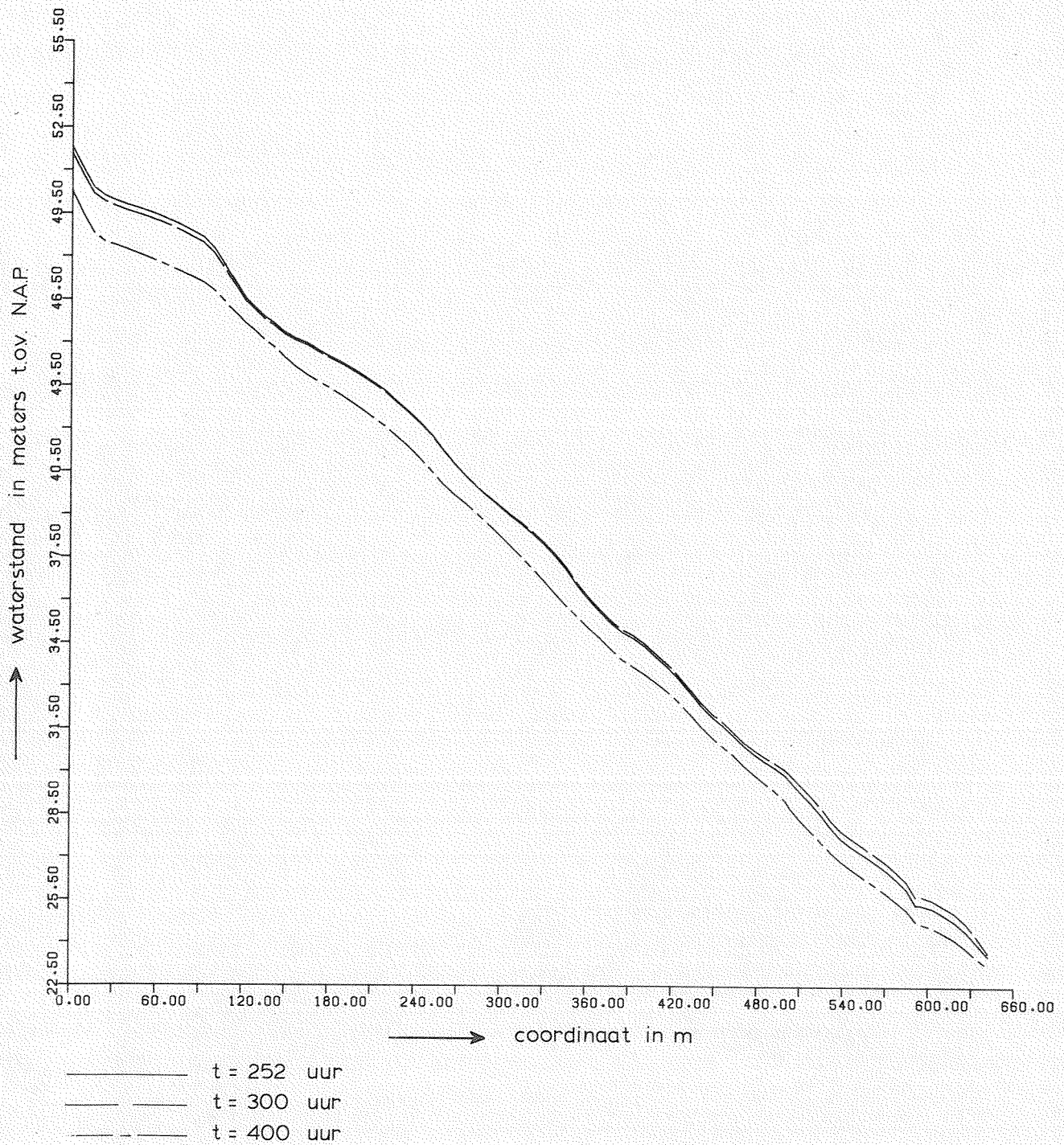
- Q bovenrand
- Q Maastricht (hoofdsluis)
- Q Borgharen
- Q Elsloo
- Q Berg
- Q Grevenbicht
- Q Maasbracht

AFVOERVERLOOP OP DIVERSE PLAATSEN

WATERLOOPKUNDIG LABORATORIUM

R 1302-III

FIG. 19



MOMENTOPNAME VAN DE WATERSTAND LANGS  
DE HOOFDGEUL OP t = 252, 300 EN 400 UUR

WATERLOOPKUNDIG LABORATORIUM

R 1302-III

FIG 20



Correctie van de differentiaalvergelijkingen voor verschil in lengte van  
zomer- en winterbed

	blz.
1. <u>Inleiding</u> .....	1
2. <u>Noodzaak tot correctie</u> .....	1
2.1 Algemeen.....	1
2.2 Bergende oppervlakte.....	1
2.3 Verhang.....	2
3. <u>Correctie voor verschil in lengte van zomer- en winterbed</u> .....	3
3.1 Bergende oppervlakte.....	3
3.2 Verhang.....	3
4. <u>Conclusie</u> .....	5

FIGUREN

- A 1 Verschil in lengte van zomer- en winterbed
- A 2 Dwarsprofiel van de rivier

CORRECTIE VAN DE DIFFERENTIAALVERGELIJKINGEN VOOR VERSCHIL IN LENGTE VAN  
ZOMER- EN WINTERBED

1. Inleiding

Voor het berekenen van afvoeren en waterstanden in rivieren tijdens hoogwaters wordt gebruik gemaakt van een ééndimensionaal rekenprogramma. Voordat een dergelijk rekenprogramma kan worden toegepast moet de rivier worden geschematiseerd.

Door het meanderen van de rivier zal in het algemeen de lengte van het zomerbed niet gelijk zijn aan de lengte van het winterbed (zie figuur A1). Bij de schematisatie van de rivier moet met dit verschil in lengte rekening worden gehouden.

De noodzaak hiertoe zal in hoofdstuk 2 worden aangegeven. In hoofdstuk 3 wordt vervolgens toegelicht hoe in de schematisatie voor het verschil in lengte kan worden gecorrigeerd. Tenslotte wordt het resultaat van hoofdstuk 3 samengevat in hoofdstuk 4.

2. Noodzaak tot correctie

2.1 Algemeen

Bij het schematiseren kunnen, indien geen rekening wordt gehouden met het verschil in lengte, twee zaken onjuist worden weergegeven, met name de bergende oppervlakte en het verhang. In het navolgende zal dit worden toegelicht.

2.2 Bergende oppervlakte

De bergende oppervlakte wordt gedefiniëerd door:

$$A_b = b \times L; \quad (A-1)$$

hierin is  $A_b$  = bergende oppervlakte,  
b = bergende breedte,  
L = lengte.

In de figuren A1 en A2 wordt het begrip bergende breedte nader verduidelijkt. Wordt gerekend met de bergende breedte en de coördinaat langs het zomerbed, dan wordt met een te grote bergende oppervlakte gerekend. De lengte van het zomerbed is immers groter dan de lengte van het winterbed. De invloed hiervan op de rekenresultaten kan worden afgeleid uit de continuïteitsvergelijking:

$$\frac{\partial Q}{\partial x} + b \frac{\partial h}{\partial t} = 0; \quad (\text{A-2})$$

waarin: h = waterstand,

Q = afvoer,

t = tijd,

x = coördinaat.

Vergelijking (A-2), in diskrete vorm voor het in figuur A-1 afgebeelde rivier-  
vak luidt:

$$\Delta Q = -bL_z \frac{\Delta h}{\Delta t} \quad (\text{A-3})$$

Daar de bergende oppervlakte ( $bL_z$ ) te groot wordt weergegeven, wordt de afname van de afvoer ( $\Delta Q$ ) langs de coördinaat niet korrekt weergegeven. Met een verschil in lengte tussen zomer- en winterbed moet daarom rekening worden gehouden.

### 2.3 Verhang

Het verhang wordt gedefiniëerd door:

$$i = \Delta h / L_z; \quad (\text{A-4})$$

waarin: i = het verhang,

$L_z$  = lengte zomerbed,

$\Delta h$  = verval

Doordat met de lengte van het zomerbed wordt gerekend zal in het hier beschouwde voorbeeld het verhang te klein worden weergegeven. Dit verhang komt tot uitdrukking in de term  $\partial h / \partial x$  van de navolgende impulsvergelijking:

$$\frac{1}{gA_s} \frac{\partial Q}{\partial t} + \frac{1}{gA_s} \frac{\partial}{\partial x} \left( \frac{Q^2}{A_s} \right) + \frac{\partial h}{\partial x} + \frac{Q|Q|}{C^2 A_s^2 R} = 0; \quad (A-5)$$

waarin:  $A_s$  = stroomvoerend oppervlak,  
 $C$  = coëfficiënt van Chézy,  
 $g$  = versnelling van de zwaartekracht,  
 $R$  = hydraulische straal.

Doordat  $\partial h/\partial x$  te klein wordt weergegeven zal vergelijking (A-5) niet korrekt worden opgelost. De betrouwbaarheid van de berekening neemt hierdoor af.

### 3. Correctie voor verschil in lengte van zomer- en winterbed

#### 3.1 Bergende oppervlakte

Wat betreft de bergende oppervlakte kan voor het verschil in lengte op de navolgende wijze worden gecorrigeerd.

Voor een goede weergave van  $\partial Q/\partial x$  in de continuïteitsvergelijking (A-2) moet gelden:

$$A_b = b \times L_w = b^* \times L_z; \quad (A-6)$$

waarin:  $b^*$  = gecorrigeerde bergende breedte,  
 $L_w$  = lengte van het winterbed,  
 $L_z$  = lengte van het zomerbed.

De vereiste correctie voor het verschil in lengte volgt uit vergelijking (A-6). De bergende breedte moet met een faktor  $L_w/L_z$  worden vermenigvuldigd.

#### 3.2 Verhang

Wat betreft het verhang kan de correctie voor het verschil als volgt worden afgeleid.

Pas de impulsvergelijking (A-5) toe voor het winterbed met langscoördinaat  $x_w$ .  
Voer vervolgens een nieuwe coördinaat in volgens:

$$x_z = x_w \cdot \frac{L_z}{L_w}; \quad (\text{A-7})$$

waarin:  $x_w$  = coördinaat langs de as van het winterbed,  
 $x_z$  = coördinaat langs de as van het zomerbed.

De voor het winterbed geldende impulsvergelijking langs de zomerbedcoördinaat luidt nu:

$$\frac{1}{gA_s} \cdot \frac{\partial Q}{\partial t} \left( \frac{L_w}{L_z} \right) + \frac{1}{gA_s} \cdot \frac{\partial}{\partial x_z} \left( \frac{Q^2}{A_s} \right) + \frac{\partial h}{\partial x_z} + \frac{Q|Q|}{C^2 A_s^2 R} \cdot \frac{L_w}{L_z} = 0 \quad (\text{A-8})$$

De termen uit de impulsvergelijking hebben de navolgende orde van grootte:

- de traagheidsterm  $\frac{1}{gA_s} \frac{\partial Q}{\partial t} \approx 10^{-7} \text{ à } 10^{-6}$ ,
- de convectieterm  $\frac{1}{gA_s} \frac{\partial}{\partial x} \left( \frac{Q^2}{A_s} \right) \approx 10^{-4} \text{ à } 10^{-3}$ ,
- de zwaartekrachtsterm  $\frac{\partial h}{\partial x} \approx 10^{-4} \text{ à } 10^{-3}$ ,
- de weerstandsterm  $\frac{Q|Q|}{C^2 A_s^2 R} \approx 10^{-4} \text{ à } 10^{-3}$ .

Uit deze schatting blijkt dat de traagheidsterm een zeer ondergeschikte rol speelt. Uit vergelijking (A-8) volgt dat zowel de traagheidsterm als de weerstandsterm moeten worden gecorrigeerd. Gezien de zeer ondergeschikte rol van de traagheidsterm bij het oplossen van de impulsvergelijking kan worden volstaan met een correctie van de weerstandsterm voor het verschil in lengte.

De correctiefactor  $L_w/L_z$  kan worden toegekend aan:

- het stroomvoerend oppervlak  $A_s$ ; dit heeft echter ook invloed op de convectieterm.
- de hydraulische straal  $R$ ; dit heeft als nadeel dat de hydraulische straal niet meer door het programma kan worden berekend.
- de Chézy-waarde; dit lijkt de meest aantrekkelijke oplossing.

Voor een correctie van het verschil in lengte van zomer- en winterbed wordt de Chézy-waarde van het winterbed vermenigvuldigd met een factor  $\sqrt{L_z/L_w}$ :

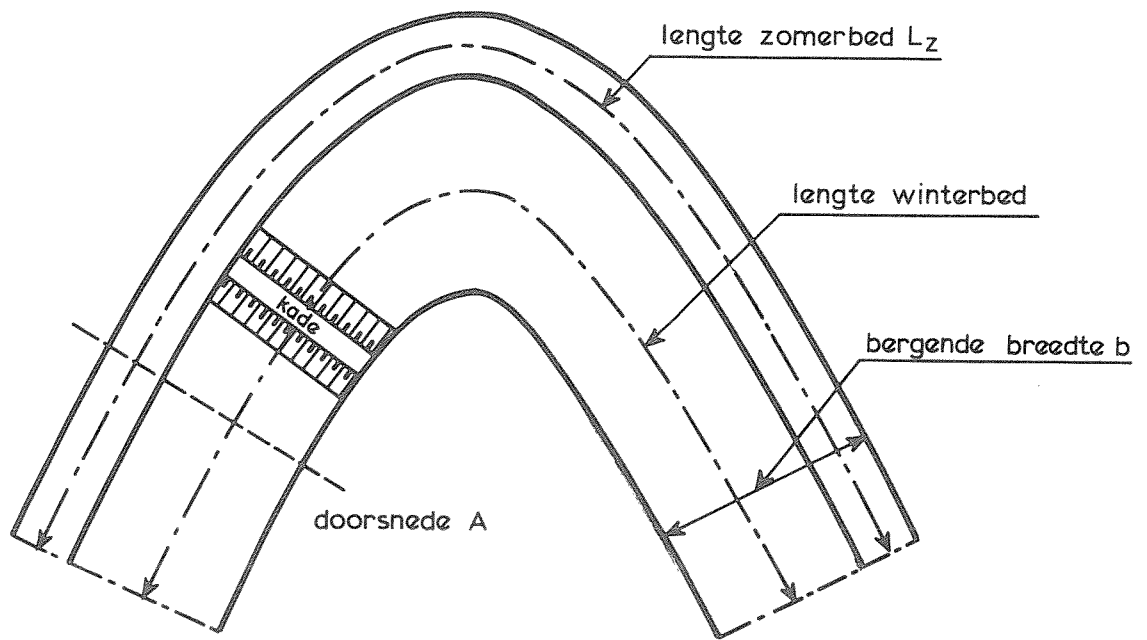
$$C^* = C \sqrt{L_z/L_w} \quad (\text{A-9})$$

#### 4. Conclusie

Met het verschil in lengte van zomer- en winterbed kan bij gebruik van een ééndimensionaal rekenmodel op eenvoudige wijze rekening worden gehouden door:

- enerzijds de bergende breedte te vermenigvuldigen met een faktor  $L_w/L_z$ ;
- anderzijds de Chézy-waarde van het winterbed te vermenigvuldigen met een faktor  $\sqrt{L_z/L_w}$ .





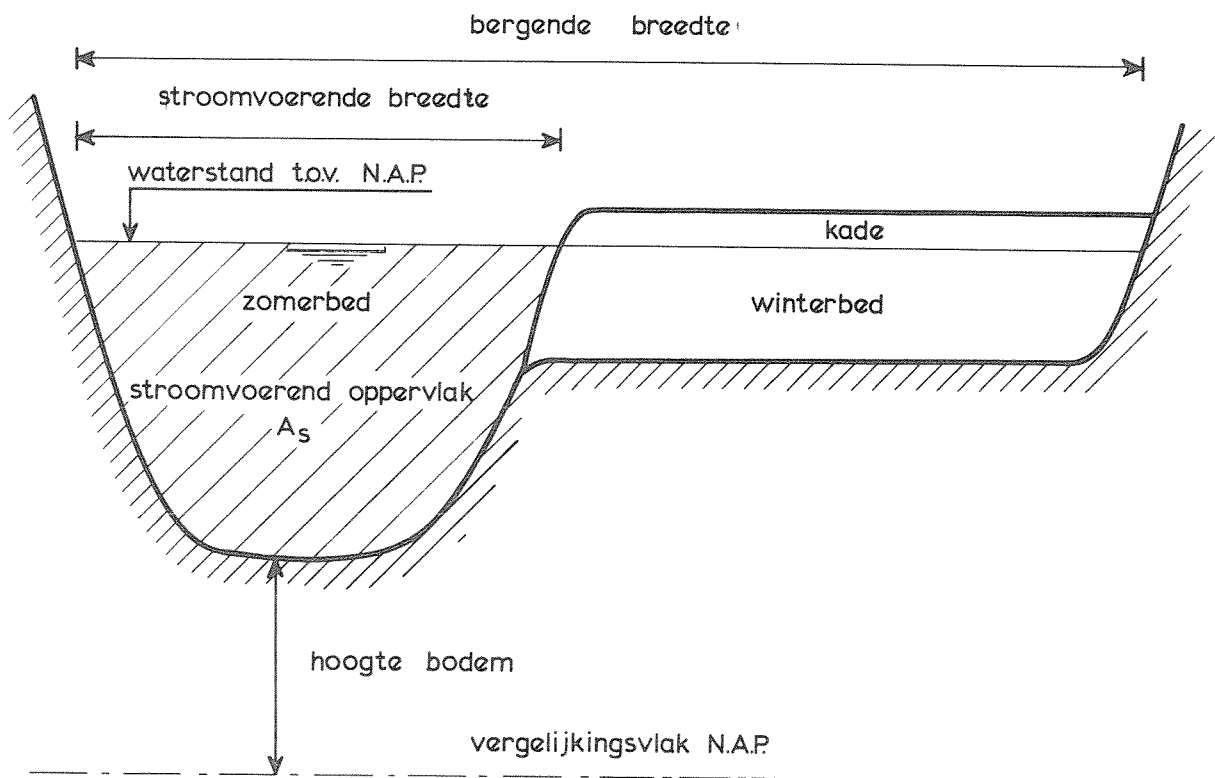
VERSCHIL IN LENGTE ZOMER WINTERBED

WATERLOOPKUNDIG LABORATORIUM

R 1302-III

FIG. A-1





DWARSPROFIEL VAN DE RIVIER

WATERLOOPKUNDIG LABORATORIUM

R 1302-III

FIG. A-2

p.o. box 177

2600 mh delft

the netherlands