

WATERLOOPKUNDIG LABORATORIUM

Nota:

Opzet Boven-Waal onderzoek

M 932-1

januari 1970

## INHOUD

	blz.
<u>1. Inleiding</u> .....	1
<u>2. Overzicht onderzoeken</u> .....	2
<u>3. Programma M 932 (Splitsingspunt Pannerden)</u>	
3.1. Werking splitsingspunt.....	5
3.2. Permanente afvoeren Boven-Rijn.....	5
3.3. Niet-permanente afvoeren Boven-Rijn.....	8
<u>4. Dimensionering tracé Boven-Waal</u>	
4.1. Globale dimensionering met stuwkrommeberekening ....	10
4.2. Definitieve dimensionering.....	10

## FIGUREN

1. Situering fysische modellen.
2. Verwerking modelresultaten M 932.

## 1. Inleiding

Als consequentie van de aanbevolen verbetering van de Waalbocht bij Nijmegen (M 249) zal het tracé van de Waal tussen deze bocht en het splitsingspunt Pannerden ingrijpend gewijzigd worden. In eerste instantie zal daarbij de bocht tussen Nijmegen en "De Zandberg" worden afgesneden en overwogen wordt om in een later stadium ook de bocht bij "De Zandberg" af te snijden.

De algehele problematiek van deze bochtafsnijdingen kan in het kort als volgt worden samengevat:

De voorziene rivierverkortingen kunnen een verstoring ten gevolge hebben van de bestaande zand- en waterverdeling bij het splitsingspunt Pannerden. Het is echter wenselijk, dat deze verdelingen (c.q. de waterstand bij de Pannerdense Kop) na uitvoering van de bochtafsnijdingen zo veel mogelijk in overeenstemming met de huidige zullen zijn. In principe kan dit worden bereikt op twee manieren.

- a) via een aangepaste dimensionering van het nieuwe tracé.
- b) via wijziging van de geometrie van de Pannerdense Kop.

Laatstgenoemd alternatief is weinig aantrekkelijk, vooral omdat het veel tijd zal vergen voordat een nieuwe evenwichtssituatie zal zijn bereikt. Er moet daarom in eerste instantie worden nagegaan of via de eerste methode een aanvaardbare oplossing kan worden bereikt.

In het kader van deze aanpassingswerken op de Boven-Waal zijn thans een aantal modelonderzoekingen in voorbereiding of reeds gaande:

- a) M 988 - Ruwheidsonderzoek Waal.
- b) M 1021 - Bochtafsnijding "De Zandberg" (fase 1).
- c) M 932 - Splitsingspunt Pannerden.
- d) M 395 - Splitsingspunt Westervoort (voortgezet onderzoek).
- e) Stuwkrommeberekeningen en berekeningen van tijdsafhankelijke morfologische processen (W 30).

Voor een situering van de fysische modellen wordt verwezen naar figuur 1.

Naast een nadere verduidelijking van de diverse modelonderzoekingen zal in deze nota vooral aandacht worden geschonken aan de wijze waarop het modelonderzoek van het splitsingspunt Pannerden past in het geheel van het Boven-Waal onderzoek.

## 2. Overzicht onderzoeken

Voor een goed begrip van de diverse onderzoekingen zijn de volgende uitgangspunten essentieel:

- a) In beginsel zal door aanpassing van de hydraulische weerstand van het nieuwe tracé van de Boven-Waal slechts voor één afvoer de vereiste (= huidige) waterstand bij de Pannerdense Kop worden bereikt.
- b) De uiteindelijke ruwheid van de Boven-Waal in de nieuwe toestand kan slechts binnen bepaalde grenzen van nauwkeurigheid worden voorspeld (vertaling van model naar prototype; mogelijke schaafeffecten).

Uit een en ander volgt, dat de opzet van het totale onderzoek zodanig dient te zijn dat bodemligging van en afvoerverdeling over de beide takken als functie van de tijd, afhankelijk van variaties in de Boven-Rijn afvoer en ruwheid van Boven-Waal, moet kunnen worden voorspeld.

Uit het eerste deel van het onderzoek M 988 (zie verslag M 988-1) is inmiddels gebleken, dat de invloed van kribben op de totale ruwheid van de Boven-Waal bijzonder gering is. Dit houdt o.a. in, dat bij handhaving van het alluviale karakter van de rivier, de gewenste extra ruwheid van het nieuwe tracé slechts kan worden bereikt door vergroting van de normaalbreedte. De hierbij behorende geringere waterdiepte is echter onaanvaardbaar met het oog op de scheepvaart. In het kader van het ruwheidsonderzoek wordt thans nagegaan of door vermindering van normaalbreedte, gecombineerd met het vastleggen van de bodem, de gewenste grotere ruwheid kan worden bereikt.

In het model M 1021 zal worden onderzocht:

- a) de vormgeving van de bovenstroomse aansluiting van het nieuwe aan het oude tracé.

- b) drie-dimensionale effecten (die uit het onderzoek M 988 niet volgen), zoals:
- dwarsprofiel van een vastgelegde bodem in een bocht.
  - configuratie van de bodem in een bocht bij zandtransport over een vastgelegde bodem.
  - invloed op de ruwheid van bochten in een riviertracé met vastgelegde bodem.

Het onderzoek van het splitsingspunt Pannerden (M 932) is opgezet op grond van de volgende overwegingen:

- a) Riviermodellen met bewegelijke bodem kunnen slechts worden gebruikt voor relatief korte riviertakken. De modellen kunnen worden bedreven zonder een exacte wiskundige beschrijving van de fysische processen.
- b) Wiskundige modellen hebben geen beperking met betrekking tot de maximale lengte van het tracé. Een goede wiskundige beschrijving van de fysische processen is echter essentieel om tot een goed resultaat te komen. Tot nu toe zijn deze wiskundige modellen van morfologische processen (W 30) van beperkt nut, omdat alleen informatie over de gemiddelde bodemligging per raai kan worden verkregen.
- c) Het onderzoek inzake morfologische processen in de rivier kan door een combinatie van beide type modellen worden uitgevoerd. De hydraulische modellen geven detailinformatie, de wiskundige modellen globale informatie over grotere trajecten.
- d) Hydraulische modellen zijn onmisbaar voor die riviergedeelten waarvoor geen wiskundige grondslag is te geven: splitsingspunten ! Het model "Splitsingspunt Pannerden" is daarom onmisbaar wanneer vragen betreffende wijzigingen in de rivierbodem (c.q. waterdiepte) van de diverse takken moeten worden beantwoord.

Het model Pannerden zal de randvoorwaarden moeten leveren voor het Boven-Waal onderzoek. Gelet op de lange duur van proeven in modellen met bewegelijke bodem, is het van belang het onderzoek in M 932 voorlopig geheel af te stemmen op de behoeften van dit Boven-Waal onderzoek. Zeker wanneer de dimensionering van dit riviergedeelte niet geheel zo kan worden uitgevoerd dat de waterstanden bij de Kop geen invloed ondervinden, zullen deze randvoorwaarden van essentieel belang zijn (dit geldt ook reeds voor de 1<sup>e</sup> fase van de bochtafsnijding).

Bij het voortgezet onderzoek M 395 zal nagegaan worden hoe bij het splitsingspunt Westervoort de zand- en waterverdeling zal zijn onder verschillende omstandigheden. De opzet van dit onderzoek zal analoog zijn aan die voor het onderzoek Pannerden. Met betrekking tot het Boven-Waal onderzoek zijn de resultaten van het onderzoek van het splitsingspunt Westervoort alleen van belang, indien de huidige zand- en waterverdeling bij het splitsingspunt Pannerden wijzigingen ondergaat.

Bij de dimensionering van de Boven-Waal vinden stuwkrommeberekeningen plaats. Bij als functie van de plaats gegeven bodemhoogte, rivierbreedte, afvoer en ruwheid, benevens de waterhoogte op de beneden rand, kan de waterhoogte op iedere andere plaats van de rivier worden berekend.

Het wiskundig model W 30 dient voor de berekening van tijdsafhankelijke morfologische processen. Bij toepassing op de Boven-Waal dienen, indien de zand- en waterverdeling bij de Pannerdense Kop zich wijzigt, de randvoorwaarden met betrekking tot het water- en zand aanbod voor het rekenmodel te worden ontleend aan het model M 932. Voor gegevens omtrent ruwheden moet hierbij worden gebruik gemaakt van de resultaten van M 988 en M 1021. Aangezien in het rekenmodel wordt uitgegaan van een alluviale bodem doet zich bij deze berekeningen een complicatie voor indien een gedeelte van de Boven-Waal wordt uitgevoerd met een vaste laag. In dat geval moet worden onderzocht op welke wijze deze vaste laag in het rekenprogramma kan worden meegenomen.

### 3. Programma M 932 (Splitsingspunt Pannerden)

#### 3.1. Werking splitsingspunt

Voor een beschouwing over de werking van het splitsingspunt wordt in eerste benadering uitgegaan van een constante afvoer op de Boven-Rijn ( $Q_{BR}$ ). Uitgegaan wordt ook van een evenwichtstoestand. Daarvoor geldt:

- de benedenstroomse takken hebben de evenwichtsdiepte;
- de balansen van zand en water kloppen, terwijl er ook slechts één waterstand ( $H_{kop}$ ) kan optreden.

Bij het uitschrijven van bewegings- en continuïteitsvergelijkingen voor de drie takken blijkt dat er vier onbekenden te veel zijn. Drie daarvan, n.l. de Chézy-waarden, zullen door schattingen moeten worden verkregen. De vierde, de zandverdeling, zal uit het hydraulische model moeten worden afgeleid.

In het prototype wordt de waterverdeling nauwelijks beïnvloed door de geometrie van de Kop, maar voornamelijk bepaald door de capaciteit van de benedenstroomse takken. De zandverdeling zal waarschijnlijk wel sterk beïnvloed worden door de geometrie van de kop (locale kromming van de stroombanen!) Uiteraard is er een koppeling tussen zand- en waterverdeling. Zo zal bijvoorbeeld een reductie van het zandaanbod voor één van de benedenstroomse takken leiden tot erosie en dit op zijn beurt tot een verhoging van de capaciteit van deze tak. Dit geeft op zich weer een verandering van de zandverdeling.

#### 3.2. Permanente afvoeren Boven-Rijn

In eerste instantie zouden de kenmerken voor het splitsingspunt voor verschillende, maar constante, afvoeren van de Boven-Rijn moeten worden onderzocht:

Gegevens:  $Q_{BR}$ ,  $S_{BR}$ ,  $H_{PK}$  en  $H_{BW}$

Resultaten:  $Q_{PK}$ ,  $Q_{BW}$ ,  $S_{PK}$ ,  $S_{BW}$ ,  $z_{PK}$ ,  $z_{BW}$  en  $H_{kop}$



met:

- $Q_{BR}$ ,  $Q_{BW}$ ,  $Q_{PK}$  = afvoer over respectievelijk Boven-Rijn, Boven-Waal en Pannerdens Kanaal;
- $S_{BR}$ ,  $S_{BW}$ ,  $S_{PK}$  = bodemtransport over respectievelijk Boven-Rijn, Boven-Waal en Pannerdens Kanaal;
- $H_{BW}$ ,  $H_{PK}$  = waterstand ter plaatse van de benedenstroomse modelrand Waal-, respectievelijk Pannerdens Kanaaltak;
- $H_{kop}$  = waterstand bij de Pannerdense Kop;
- $z_{BW}$ ,  $z_{PK}$  = gemiddelde bodemligging op respectievelijk Boven-Waal en Pannerdens kanaal.

Een alternatieve mogelijkheid is hierbij een opzet volgens:

Gegevens:  $Q_{BR}$ ,  $S_{BR}$ ,  $Q_{PK}/Q_{BW}$  en  $H_{kop}$

Resultaten:  $S_{BW}$ ,  $S_{PK}$ ,  $z_{BW}$ ,  $z_{PK}$ ,  $H_{BW}$  en  $H_{PK}$

Uit het oogpunt van modeltechniek moet aan de eerste opzet duidelijk de voorkeur worden gegeven. Het enige bezwaar tegen deze opzet is echter, dat  $H_{kop}$  als resultaat wordt gevonden, terwijl op het eerste gezicht deze waarde als gegeven beter op zijn plaats is. Voor het model is echter de waterstand op de kop een onbelangrijke parameter. Als het gehele proces zich op een iets lager of hoger niveau afspeelt is correctie naar andere waarden eenvoudig mogelijk (uitzondering: hoge waarden van  $Q_{BR}$  waarbij hoogteligging kribben ten opzichte van  $H_{kop}$  van belang is).

In eerste instantie zal worden uitgegaan van de bedvormende afvoer op de Boven-Rijn (ca. 2100 m<sup>3</sup>/s). Een voorlopig programma zou er dan als volgt uit kunnen zien (veranderingen opgegeven ten opzichte van de huidige toestand):

TABEL I Bedvormende afvoer

Proef no.	$\Delta Q_{BR}$	$\Delta S_{BR}$	$\Delta H_{BW}$	$\Delta H_{PK}$	Opm.:
1	0	0	0	0	T0
2	0	0	- a	0	*) Een praktische waarde voor a nader vast te stellen.
3	0	0	+ a	0	
4	0	0	- 1/2 a	0	
5	0	0	+ 1/2 a	0	

Het niet veranderen van  $H_{PK}$  hangt samen met de veronderstelling dat  $H_{kop}$  voor het model geen belangrijke parameter is. De resultaten worden het snelst bereikt door steeds één klepstand te variëren (n.l. die voor  $H_{BW}$ ).

Voor andere afvoeren dan de bedvormende afvoer is het eveneens mogelijk de hier voorgestelde procedure te volgen. Hierbij verdient het evenwel aanbeveling met een aantal complicaties rekening te houden. Deze kunnen als volgt worden omschreven:

- a) De Boven-Waal zal zodanig worden gedimensioneerd, dat na de bochtafsnijding(en) voor tenminste één afvoer over de Boven-Rijn de huidige water- en zandverdeling bij het splitsingspunt Pannerden wordt gehandhaafd. Het ligt voor de hand in eerste instantie voor deze ontwerpafvoer uit te gaan van de huidige bedvormende afvoer over de Boven-Rijn (ca.  $2100 \text{ m}^3/\text{s}$ ). Voor andere afvoeren dan deze bedvormende afvoer moet in dat geval de mogelijkheid onderkend worden, dat de aangepaste Boven-Waal vlak na de respectievelijke bochtafsnijdingen ten opzichte van de huidige toestand stuwend of afzuigend gaat werken. Tijdelijke snelheidsveranderingen op de Boven-Rijn en een daarmee samenhangend gewijzigd zandaanbod bij de Kop zullen daarvan het gevolg zijn. Om deze reden verdient het aanbeveling bij het onderzoek eveneens na te gaan in hoeverre de verhouding  $S_{BW}/S_{PK}$  afhankelijk is van de grootte van  $S_{BR}$ .
- b) De mogelijkheid bestaat, dat voor de Boven-Rijn het verband tussen afvoer en zandtransport voor model en prototype verschillend is. Dit houdt dan eveneens in, dat het niet mogelijk zal zijn bij de verschillende afvoeren de gewenste zanddosering in het model vast te stellen aan de hand van de beschikbare prototype-gegevens. In dat geval kan echter voor het bepalen van deze dosering worden verondersteld, dat de bodemligging in het prototype bij de verschillende afvoeren nauwelijks wijziging ondergaat. Met behulp van een aantal verschillende zanddoseringen kan dan bij de onderscheiden afvoeren in het model worden nagegaan bij welke zanddosering de bodemligging ten opzichte van de gemiddelde bodemligging in het prototype optimaal is.

Uit het bovenstaande komt naar voren, dat het meetprogramma voor deze afvoeren als volgt zou kunnen luiden (veranderingen opgegeven ten opzichte van de bestaande toestand in het prototype):

TABEL II Andere dan de bedvormende afvoer

Proef no.	$\Delta Q_{BR}$	$\Delta S_{BR}$	$\Delta H_{BW}$	$\Delta H_{PK}$	Opm.:
1A	0	$\alpha_1 S_{BR}$	0	0	serie A ( $Q_A$ )
2A	0	$\alpha_2 S_{BR}$	0	0	
3A	0	$\alpha_3 S_{BR}$	0	0	
4A	0	$\alpha_0 S_{BR}$	0	0	
5A	0	$\alpha_0 S_{BR}$	- a	0	
6A	0	$\alpha_0 S_{BR}$	+ a	0	
7A	0	$\alpha_0 S_{BR}$	- 1/2 a	0	
8A	0	$\alpha_0 S_{BR}$	+ 1/2 a	0	
1B t/m 8B	0	-idem-	-idem-	-idem-	serie B ( $Q_B$ )
1C t/m 8C	0	-idem-	-idem-	-idem-	serie C ( $Q_C$ )

De waarde  $\alpha_0$  dient in elke serie te worden bepaald op grond van de resultaten van de eerste drie proeven. Voor een mogelijke verwerking van de resultaten in grafiekvorm wordt verwezen naar figuur 2.

Mocht uit de proeven blijken dat de grootte van  $S_{BR}$  van invloed is op de verhouding  $S_{BW}/S_{PK}$ , dan dient naast  $H_{BW}$  als variabele ook  $S_{BR}$  te worden ingevoerd. Het aantal volgens tabellen I en II gegeven proeven dient dan aanzienlijk te worden uitgebreid. De verwerkingswijze van figuur 2 is dan ook niet meer mogelijk.

### 3.3. Niet-permanente afvoeren Boven-Rijn

Uit het in paragraaf 3.2. gegeven programma volgen voor verschillende afvoeren gegevens met betrekking tot de water- en zandverdeling bij het splitsingspunt bij permanenties. Het is de vraag of de gevonden verdelingen ook gelden voor niet-permanente omstandigheden. Reeds eerder (paragraaf 3.1.) is gesteld, dat de transportverdeling sterk afhangt van de geometrie van de kop. Ook de bodemligging

in de nabijheid van de kop zal invloed hebben op de zandverdeling. Nu is deze bodemligging tijdsafhankelijk (regieminvloeden) en moet dus de mogelijkheid onderkend worden van een faseverschuiving in de tijd tussen een afvoer van de Boven-Rijn en een bij deze afvoer behorende bodemligging (c.q. zandverdeling) bij de kop. Er kunnen zich twee gevallen voordoen:

- a) De bodemligging vlak voor de kop is in statisch evenwicht als er sprake is van steeds dezelfde evenwichtsligging, onafhankelijk van  $Q_{BR}$ . De zandverdeling past zich dan direct aan aan de wijzigingen in  $Q_{BR}$ , zodat bij iedere optredende  $Q_{BR}$  direct een permanente zandverdeling over Waal en Pannerdens Kanaal wordt verkregen. In dit geval kan bij het onderzoek met permanenties worden volstaan en kan de in paragraaf 3.2. aangegeven werkwijze worden toegepast.
- b) De bodemligging is in een dynamisch evenwicht wanneer de evenwichtsligging afhankelijk is van  $Q_{BR}$ . Er verloopt dan een zekere tijd alvorens bij wijzigingen van  $Q_{BR}$  de bodem zich aanpast, c.q. de bij deze afvoer behorende  $S_{BW}/S_{PK}$  zich instelt. Voor de dimensionering van de Boven-Waal is het nu niet mogelijk rechtstreeks gebruik te maken van de resultaten van het in permanentie uitgevoerde onderzoek (zie verder paragraaf 4.2.).

Op grond van de jaarlijkse bodempeilingen in het prototype kan worden aangenomen, dat voor een bepaald regiem van afvoeren de bodem bovenstrooms van de kop nagenoeg in statisch evenwicht is. Dit kan mogelijk worden verklaard door:

- a) vrijwel rechte aanstroming over een grote afstand (zwakke spiraalstroming bij zowel lage als hoge afvoeren);
- b) splitsing ligt niet duidelijk ter plaatse van een oversteek of benedenstrooms van een abrupte wijziging in rivierbreedte (plaatsen die "ademen" t.g.v. regieminvloeden).

Door vergelijken van een aantal bij permanenties gevonden evenwichtsliggingen uit het in par. 3.2. gegeven programma kan e.e.a. worden geverifieerd.

#### 4. Dimensionering tracé Boven-Waal

##### 4.1. Globale dimensionering met stuwkrommeberekening

Bij dimensionering van het nieuwe Boven-Waal tracé kan in eerste benadering worden uitgegaan van stuwkrommeberekeningen en gegevens ontleend aan M 249, M 988 en M 1021. Variabelen zijn:

- a) tracé.
- b) aansluiting oude en nieuwe tracé.
- c) lengte van de bestorting.
- d) samenstelling stortsteen.
- e) normaalbreedte van het nieuwe tracé.

Binnen bepaalde grenzen van nauwkeurigheid kan de ruwheid ter plaatse van de bestorting, bij optreden van zandtransport over deze vaste laag, uit M 988 en M 1021 volgen. Voor één afvoer kan dan worden berekend wat de normaalbreedte moet zijn om bij de Pannerdense Kop een met de huidige situatie overeenkomende waterstand te verkrijgen. Voor andere afvoeren kan worden berekend (opnieuw met ruwheidscijfers verkregen uit M 988 en M 1021) in hoeverre dan op afwijkende waterstanden bij de Kop moet worden gerekend.

##### 4.2. Definitieve dimensionering

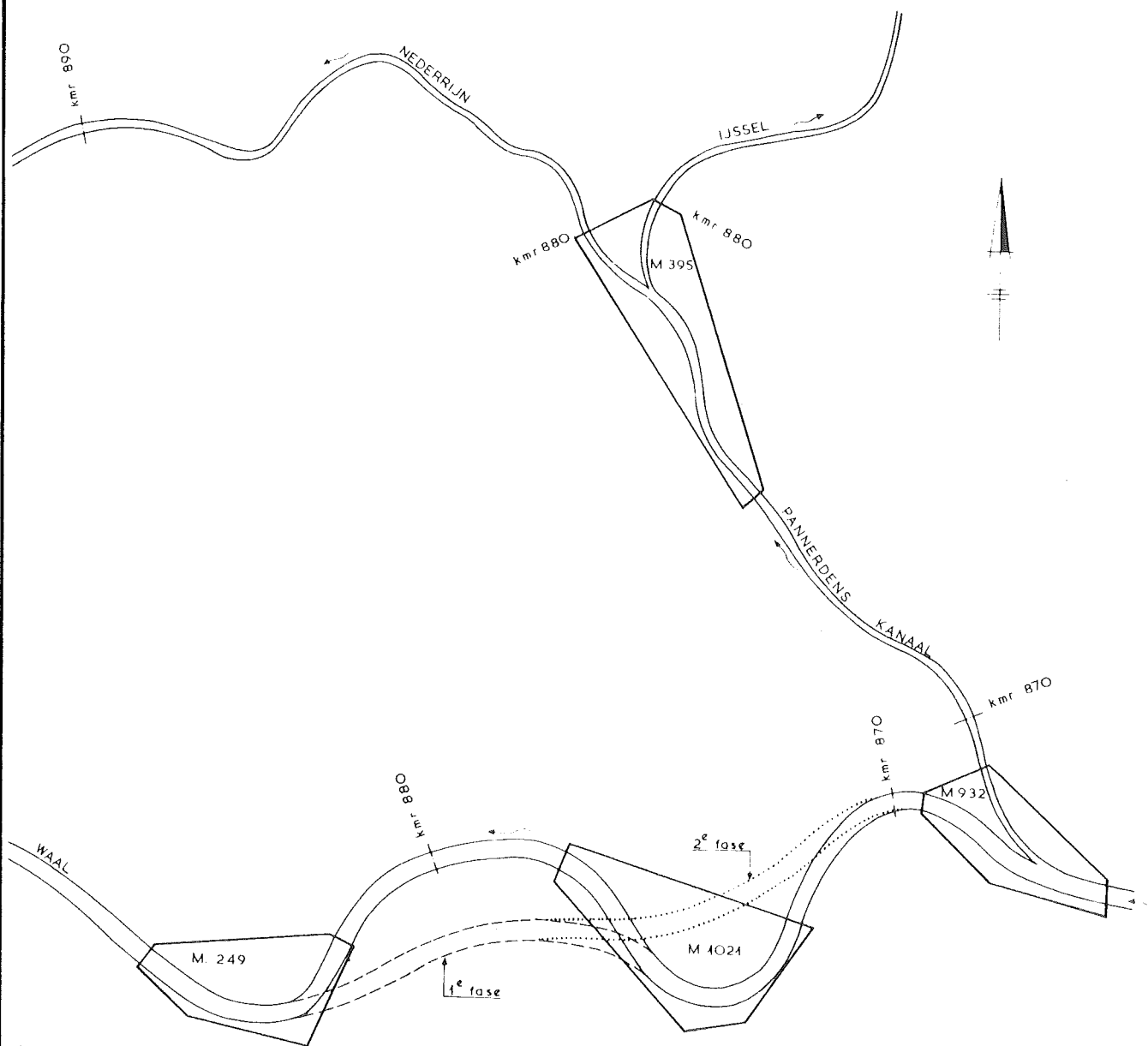
Een definitieve dimensionering van het tracé Boven-Waal is slechts mogelijk indien uit M 932 de benodigde informatie met betrekking tot de zand- en waterverdeling is verkregen.

In eerste instantie uitgaande van een statisch evenwicht (bij gewijzigde omstandigheden) van de bodem bovenstrooms van de Pannerdense Kop kan de volgende procedure worden gevolgd:

- 1<sup>e</sup>. Met M 932-gegevens kan via het W 30-programma de nieuwe evenwichtsligging op de takken worden berekend.
- 2<sup>e</sup>. Nagaan of met deze voor de takken berekende evenwichtsliggingen alsnog voor de bodem boven de Kop op een statisch evenwicht mag worden gerekend.
- 3<sup>e</sup>. Is dit wèl het geval dan kunnen de W 30-resultaten direct worden vertaald naar prototype-omstandigheden. Er kunnen zich dan twee mogelijkheden voordoen:

- a) de berekende evenwichtsliggingen en zand- waterverdelingen zijn acceptabel. Uit berekeningen met andere dimensioneringen van de Boven-Waal zal dan nog dienen te volgen of deze oplossing als de meest optimale kan gelden.
- b) de toestand is niet acceptabel wat diepte en/of zand- waterverdelingen betreft. Wanneer ook met andere dimensioneringen van de Boven-Waal geen goede oplossing kan worden verkregen, zal wijziging van de geometrie van de Kop moeten worden overwogen.

4<sup>e</sup>. Blijkt uit 2<sup>e</sup> significant dat de bodem boven de Pannerdense Kop niet stabiel is, dan houdt dit in dat met fase-verschuivingen rekening moet worden gehouden en tevens dat in het W 30-programma niet mag worden uitgegaan van de met permanenties uit M 932 verkregen resultaten. Een mogelijke oplossing zou kunnen zijn om dan in M 932 regiems te draaien, maar de onzekerheid m.b.t. de tijdschaal maakt deze procedure onaantrekkelijk. Een andere mogelijkheid is om na te gaan bij welke dimensies van de Boven-Waal wèl een (kwasi-) statische situatie aanwezig zal zijn. Voor iedere dimensionering kan dan (via W 30 en M 932) worden nagegaan welke fluctuaties in de bodem boven de Kop kunnen worden verwacht. De dimensionering die het meest wijst op een vrijwel statische situatie zou dan als mogelijke definitieve oplossing gezien kunnen worden. Ook hierbij moet worden afgewacht of deze oplossing m.b.t. diepten en zand- waterverdelingen acceptabel is.

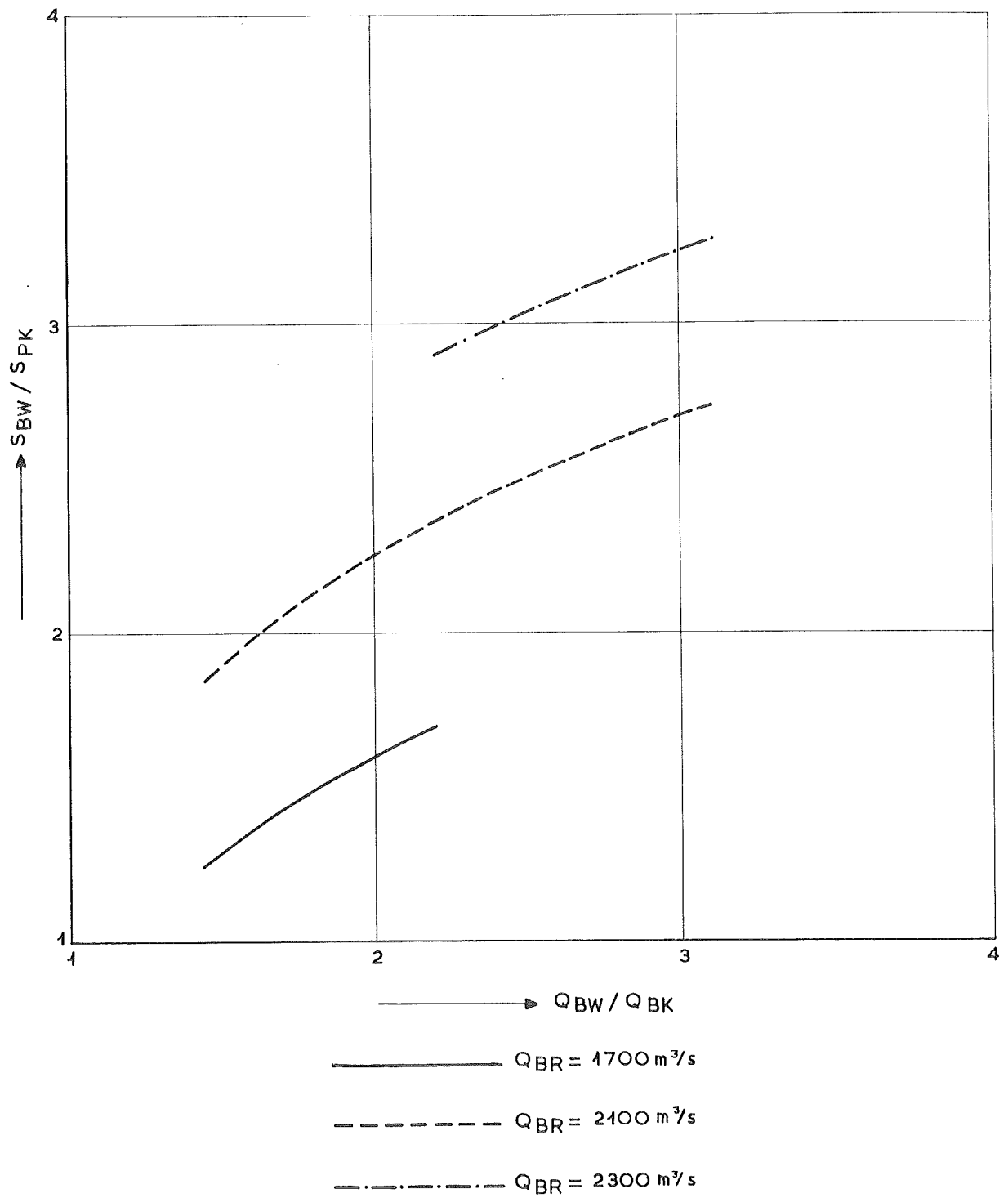


SITUERING FYSISCHE MODELLEN

SCHAAL 1:100.000

WATERLOOPKUNDIG LABORATORIUM

M 932-I FIG. 1



VERWERKING MODELRESULTATEN M 932

WATERLOOPKUNDIG LABORATORIUM

M 932-I FIG. 2