

2e exemplaar

Breusers

waterloopkundig laboratorium
delft hydraulics laboratory

hydraulische ruwheid van de Merweden en
de Maas

AFGEHANDELD

verslag onderzoek

R 2393/Q 388

december 1986

R2393

01.DEC.1987

BIBLIOTHEEK
Waterloopkundig Laboratorium
Postbus 177 - DELFT

2e exemplaar

hydraulische ruwheid van de Merweden en
de Maas

verslag onderzoek

R 2393/Q 388

december 1986

INHOUD

Samenvatting

	blz.
1. <u>Inleiding</u>	1
1.1 Opdracht.....	1
1.2 Probleemstelling.....	1
1.3 Doel en opzet van het onderzoek.....	2
2. <u>Riviergeometrie en schematisatie</u>	5
2.1 Algemeen.....	5
2.2 Projektgebied en vakindeling.....	5
2.3 Basismateriaal.....	5
2.4 ZWENDL-schematisaties.....	6
2.5 Verifikatie van de ZWENDL-schematisatie.....	7
2.6 Bodemligging in de tijd.....	8
3. <u>Bodemsamenstelling</u>	9
3.1 Bemonsteringsprocedure.....	9
3.2 Variatie in de korrelsamenstelling naar plaats.....	9
3.3 Variatie van de korrelsamenstelling in de tijd.....	11
4. <u>Beddingvormen</u>	13
4.1 Beddingvormen op de Merweden.....	13
4.2 Beddingvormen op de Maas.....	15
5. <u>Hydraulische ruwheid bij opgetreden hoogwater</u>	17
5.1 Ruwheidslengte van het zomerbed van de Merweden.....	17
5.1.1 Basisgegevens.....	17
5.1.2 Externe randvoorwaarden.....	18
5.1.3 Berekeningsprocedure voor k_{zomerbed}	18
5.1.4 Resultaten.....	20
5.2 Ruwheidslengte van het zomerbed van de Maas.....	20
5.2.1 Basisgegevens.....	20
5.2.2 Externe randvoorwaarden.....	21
5.2.3 Berekeningsprocedure voor k_{zomerbed}	22
5.2.4 Resultaten.....	23

INHOUD (vervolg)

6.	<u>Hydraulische ruwheid bij extreem hoogwater</u>	24
6.1	Extrapolatieprocedure.....	24
6.2	Hydraulische ruwheid op de Merweden.....	26
6.2.1	Ruwheidslengten bij MHW.....	26
6.2.2	C-waarde ZWENDL bij MHW.....	26
6.3	Hydraulische ruwheid op de Maas en de Bergsche Maas.....	27
7.	<u>Konklusies en aanbevelingen</u>	28
7.1	Konklusies.....	28
7.2	Aanbevelingen.....	30

LITERATUUR

TABELLEN

FIGUREN

BIJLAGE

TABELLEN

- 1 Nummering en begrenzing van ZWENDL-takken
- 2 Overzicht van basismateriaal dat gebruikt is bij de schematisatie voor de ZWENDL- en WAQUA-modellen
- 3 Dwarsprofielkarakteristieken van ZWENDL-sekties en een vergelijking tussen gemiddelde bodemligging uit ZWENDL-schematisatie en jaarlijkse dwarspeilingen voor 1976
- 4 Gemiddelde bodemligging ten opzichte van NAP voor modelijkingen
- 5 Verschil in bodemligging ten opzichte van het jaar 1976
- 6 Bodembemonstering op de Merweden en de Maas, bemonsteringsdata en afvoerkondities
- 7 Variatie van D_{50} in dwarsrichting voor de Merweden en de Maas
- 8 D_{50} per vak voor opeenvolgende bemonsteringen op de Merweden
- 9 D_{50} per vak voor opeenvolgende bemonsteringen op de Maas en op de Bergsche Maas
- 10 k_s -waarden van het zomerbed van de Boven Merwede uit ijkingsberekeningen
- 11 k_s -waarden van het zomerbed van de Beneden Merwede uit ijkingsberekeningen
- 12 k_s -waarden van het zomerbed van de Beneden Merwede uit ijkingsberekeningen
- 13 k_s -waarden van het zomerbed van de Nieuwe Merwede uit ijkingsberekeningen
- 14 k_s -waarden van het zomerbed van de Nieuwe Merwede uit ijkingsberekeningen
- 15 k_s -waarden van het zomerbed van de Maas uit ijkingsberekeningen met ZWENDL; traject Hedel-Lith
- 16 k_s -waarden van het zomerbed van de Maas uit ijkingsberekeningen met ZWENDL; traject Heesbeen-Hedel
- 17 k_s -waarden van het zomerbed van de Bergsche Maas uit ijkingsberekeningen met ZWENDL; traject Capelse Veer-Heesbeen
- 18 k_s -waarden van het zomerbed van de Bergsche Maas uit ijkingsberekeningen met ZWENDL; traject Mond der Donge-Capelse Veer
- 19 k_s -waarden van het zomerbed van de Maas en de Bergsche Maas uit WAQUA-ijkingen
- 20 Berekening van k_{sz} -waarde bij MHW volgens aanname $k_{sz} = \text{konstant}$
- 21 Hydraulische en morfologische parameters van de Merweden voor hoogwater 1983 en de geschatte extreem hoogwatersituatie
- 22 Berekening van k_{sz} -waarden bij MHW uit ontwikkelingen van beddingvormen
- 23 Konservatieve en optimistische schatting van k_{sz} -waarden voor Merweden bij extreem hoogwater

TABELLEN (vervolg)

- 24 Berekening van C-waarde ZWENDL voor MHW, konservatieve schatting
- 25 Berekening van C-waarde ZWENDL voor MHW, optimistische schatting
- 26 Hydraulische en morfologische parameters van de Maas en de Bergsche Maas voor hoogwater februari 1984 en de geschatte extreem hoogwatersituatie
- 27 Berekening van k_{sz} -waarde bij MHW uit ontwikkeling van beddingvormen voor de Maas en de Bergsche Maas
- 28 Konservatieve en optimistische schatting van k_{sz} -waarden voor de Maas en de Bergsche Maas bij extreem hoogwater

FIGUREN

- 1 ZWENDL-schematisatie van een deel van het Noordelijk Deltabekken
- 2 Vergelijking tussen ZWENDL- en WL-profielen voor Boven Merwede (52+53)
- 3 Vergelijking tussen ZWENDL- en WL-profielen voor Beneden Merwede (50+51)
- 4 Vergelijking tussen ZWENDL- en WL-profielen voor Beneden Merwede (48+49)
- 5 Vergelijking tussen ZWENDL- en WL-profielen voor Nieuwe Merwede (103+104)
- 6 Vergelijking tussen ZWENDL- en WL-profielen voor Nieuwe Merwede (101+102)
- 7 Bodemregistraties Boven Merwede, hoogwater april 1983, sektie 52
- 8 Bodemregistraties Boven Merwede, hoogwater juni 1983, sektie 52
- 9 Bodemregistraties Boven Merwede, hoogwater april 1983, sektie 51
- 10 Bodemregistraties Boven Merwede, hoogwater juni 1983, sekties 50 en 51
- 11 Bodemregistraties Boven Merwede, hoogwater april 1983, sektie 50
- 12 Bodemregistraties Boven Merwede, hoogwater april 1983, sektie 49
- 13 Bodemregistraties Boven Merwede, hoogwater april 1983, sektie 48
- 14 Bodemregistraties Boven Merwede, hoogwater juni 1983, sekties 48 en 49
- 15 Bodemregistraties Nieuwe Merwede, hoogwater april 1983, sektie 104
- 16 Bodemregistraties Nieuwe Merwede, hoogwater juni 1983, sekties 103 en 104
- 17 Bodemregistraties Nieuwe Merwede, hoogwater april 1983, sektie 103
- 18 Bodemregistraties Nieuwe Merwede, hoogwater april 1983, sektie 102
- 19 Bodemregistraties Nieuwe Merwede, hoogwater april 1983, sektie 101
- 20 Bodemregistraties Nieuwe Merwede, hoogwater april 1983, sektie 100
- 21 Bodemregistraties Nieuwe Merwede, hoogwater juni 1983, sekties 100 en 101
- 22 Bodemregistraties Maas, hoogwater februari 1984, sekties 83 en 84
- 23 Bodemregistraties Maas, hoogwater februari 1984, sektie 82
- 24 Bodemregistraties Bergsche Maas, hoogwater februari 1984, sektie 81
- 25 Bodemregistraties Bergsche Maas, hoogwater februari 1984, sekties 79 en 80
- 26 Bodemregistraties Bergsche Maas, hoogwater februari 1984, sekties 77 en 78
- 27 Ruwheidslengte k_{sz} op Boven Merwede
- 28 Ruwheidslengte k_{sz} op Beneden Merwede
- 29 Ruwheidslengte k_{sz} op Nieuwe Merwede
- 30 Ruwheidslengte k_{sz} op de Maas
- 31 Ruwheidslengte k_{sz} op de Bergsche Maas
- 32 Beddingvormhoogte en -steilheid volgens van Rijn (1984)

Lijst van gebruikte symbolen

A_w	oppervlak van stroomvoerend profiel uiterwaard
A_w^*	oppervlak van stroomvoerend profiel uiterwaard volgens WL-profiel
A_z	oppervlak van stroomvoerend profiel zomerbed
A_z^*	oppervlak van stroomvoerend profiel zomerbed volgens WL-profiel
β	reduktie bodemruwheid als functie van steilheid lijzide beddingvormen
C	Chézykoefficiënt van samengesteld rivierbed
C_E	Chézykoefficiënt van samengesteld rivierbed bij MHW
C_M	Chézykoefficiënt van samengesteld rivierbed bij opgetreden hoogwater
C_w^*	Chézykoefficiënt van uiterwaard volgens WL-profiel
C_z^*	Chézykoefficiënt van zomerbed volgens WL-profiel
C_{zE}	Chézykoefficiënt van zomerbed bij MHW
C_{zM}	Chézykoefficiënt van zomerbed bij opgetreden hoogwater
D_{50}, D_{90}	karacteristieke korrelgrootte
H	hoogte van beddingvormen
H_E	hoogte van beddingvormen bij MHW
H_M	hoogte van beddingvormen bij opgetreden hoogwater
H/L	steilheid van beddingvormen
$(H/L)_E$	steilheid van beddingvormen bij MHW
$(H/L)_M$	steilheid van beddingvormen bij opgetreden hoogwater
\bar{H}	gemiddelde bodemhoogte volgens ZWENDL-schematisatie
H_{1976}	gemiddelde bodemhoogte volgens baggerpeilingen in 1976
h	waterdiepte ten opzichte van NAP
h_w	waterdiepte
h_{wE}	waterdiepte bij MHW
h_{wM}	waterdiepte bij opgetreden hoogwater
k_s	Nikuradse's equivalente zandruwheidslengte
k_{sw}	Nikuradse's equivalente zandruwheidslengte van uiterwaard
k_{sz}	Nikuradse's equivalente zandruwheidslengte van zomerbed
k_{szE}	ruwheidslengte zomerbed bij MHW
k_{szM}	ruwheidslengte zomerbed bij opgetreden hoogwater
L	lengte van beddingvormen
R	hydraulische straal
R_w	hydraulische straal van uiterwaard
R_w^*	hydraulische straal van uiterwaard volgens WL-profiel

Lijst van gebruikte symbolen (vervolg)

R_z	hydraulische straal van zomerbed
R_z^*	hydraulische straal van zomerbed volgens WL-profiel
T	van Rijn's dimensieloze transportparameter
T_E	van Rijn's dimensieloze transportparameter bij MHW
T_M	van Rijn's dimensieloze transportparameter bij opgetreden hoogwater
θ'	dimensieloze korrelschuifspanning
θ_{cr}	dimensieloze kritieke bodemschuifspanning
u_{zE}	gemiddelde stroomsnelheid in het zomerbed bij MHW

SAMENVATTING

Voor de berekening van de maatgevende hoogwaterstanden op de Merweden en de Maas beneden Lith wordt gebruik gemaakt van het 1D-waterbewegingsmodel ZWENDL. Belangrijk in deze berekeningen is een goede schatting te maken van de Chézy-waarde voor het zomerbed van de rivier. Deze ruwheid wordt met name bepaald door de grootte en steilheid van de beddingvormen. De opdracht omvatte onderzoek naar het optreden van bedvervlakking bij maatgevend hoogwater en de daarbij behorende hydraulische ruwheid van de Merweden en de Maas. De ruwheid bij MHW kan worden bepaald op basis van de ruwheid bij hoge afvoeren al of niet met inachtnaam van de geschatte ontwikkeling van de beddingvormen. De ruwheid van de rivierbodem tijdens de passage van hoogwatergolven is in getijdgebieden slechts uit ijkingsberekeningen met 1D- of 2DH-waterbewegingsmodellen te bepalen. Voor een goede schatting van de fysische ruwheid van het zomerbed is hierbij van belang dat het rivierprofiel korrekt is geschematiseerd en realistische ruwheden voor de uiterwaarden worden toegepast. Bovenstaande overwegingen hebben geleid tot de volgende opzet van het onderzoek:

- onderzoek naar de kwaliteit van de schematisatie van de rivierprofielen
- analyse van de bodemsamenstelling naar plaats en in de tijd
- analyse van de beddingvormregistraties
- bepaling van de zomerbedruwheid bij opgetreden hoogwaters
- schatting van de zomerbedruwheid bij MHW.

In hoofdstuk 2 is de verifikatie van de ZWENDL-schematisaties beschreven aan de hand van rivierkaarten en resultaten van 2DH-berekeningen met WAQUA. Voor de Merweden blijkt dat in het algemeen het doorstroomprofiel in de schematisaties is onderschat. Voorts wordt een evaluatie gegeven van de ligging van de rivierbodem in de tijd.

De analyse van de bodemsamenstelling wordt beschreven in hoofdstuk 3. De gegevens van diverse bodembemonsteringen tonen aan dat er sprake is van uitzeving van bodemmateriaal in dwarsrichting onder invloed van de aardrotatie; langs de rechteroever is het materiaal gemiddeld grover dan in de rivieras en langs de linkeroever. Dit heeft consequenties voor de uitvoering van de bemonsteringen. In de tijd heeft de bodemsamenstelling zich met uitzondering van de Nieuwe Merwede en de Bergsche Maas niet gewijzigd. Op de Nieuwe Merwede en de Bergsche Maas blijkt zich veel slib te hebben afgezet direkt na de afsluiting

van het Haringvliet. In recente bodemonsters van de Bergsche Maas is vrijwel geen slib meer aangetroffen.

In hoofdstuk 4 worden vervolgens de beschikbare beddingvormenregistraties besproken. Hoewel de beschikbare gegevens onvoldoende zijn voor een goede analyse, kan worden gekonkludeerd dat rond het splitsingspunt van de Merweden korte steile duinen voorkomen waarbij hun dimensies met de afvoer meegroeien. Op enkele plaatsen op de Bergsche Maas duiden de registraties op vlakbedsituaties.

In hoofdstuk 5 wordt de hydraulische ruwheid van het zomerbed bij de passage van recente hoogwatergolven geschat. Een berekeningsprocedure wordt afgeleid om de geijkte Chézy-waarden uit het ZWENDL-model om te rekenen naar fysische zomerbedruwheden, waarbij correctie voor doorstroomprofiel en uiterwaardruwheid worden meegenomen.

Schattingen voor de hydraulische ruwheid bij MHW worden in hoofdstuk 6 behandeld. Een extrapolatieprocedure voor de zomerbedruwheid wordt in paragraaf 6.1 afgeleid. Hierbij wordt op basis van gemeten beddingvormen en ruwheid bij opgetreden hoogwater de beddingvormdimensie en de zomerbedruwheid bij MHW geschat gebruik maken van aangepaste voorspellers van genoemde grootheden volgens van Rijn. Onderscheid worden gemaakt tussen een conservatieve schatting van de zomerbedruwheid, waarbij geen rekening wordt gehouden met de ontwikkeling van de beddingvormen, en een optimistische schatting waarbij een en ander wel wordt meegenomen.

In hoofdstuk 7 tenslotte worden konklusies getrokken en worden aanbevelingen gedaan voor veldmetingen en onderzoek om bestaande onzekerheden weg te nemen.

HYDRAULISCHE RUWHEID VAN DE MERWEDEN EN DE MAAS

1. Inleiding

1.1 Opdracht

Per telex d.d. 25 oktober 1985 is door de Hoofd-Ingenieur Directeur van de Dienst Binnenwateren/RIZA van Rijkswaterstaat aan het Waterloopkundig Laboratorium opdracht gegeven voor onderzoek naar het optreden van bedvervlakking bij maatgevend hoogwater en de daarbij behorende hydraulische ruwheid van de navolgende rivieren:

- Boven Merwede
- Beneden Merwede
- Nieuwe Merwede
- Maas, benedenstrooms van Lith, en
- Bergsche Maas.

De ontvangst van de opdracht is bevestigd per brief met kenmerk RS4739/HJMO/1h van 29 oktober 1985.

Het onderzoek is uitgevoerd door ir. J.G. Grijsen en ir. H.J.M. Ogink, waarbij laatstgenoemde ook de verslaggeving heeft verzorgd.

1.2 Probleemstelling

Voor de bepaling van de maatgevende hoogwaterstanden is, naast de geometrie van de rivier en de externe randvoorwaarden, de hydraulische ruwheid van het zomerbed en de uiterwaarden van belang. De stromingsweerstand wordt in het rekenmodel weergegeven door de Chézy koëfficiënt (C), die een functie is van de waterdiepte (h_w) en de ruwheidslengte (k_s): $C = f_1(h_w, k_s)$.

Op basis van experimenteel onderzoek in prototype is de k_s -waarde voor grasland in de uiterwaard bepaald op 0,20 m een waarde die lokaal gekorrigeerd wordt voor extra weerstanden door bossages, etc.

De hydraulische ruwheid van de alluviale rivierbodem is samengesteld uit korrelruwheid en de weerstand van beddingvormen, de zogenaamde vormweerstand. De vormweerstand is afhankelijk van de hoogte (H), van de steilheid (H/L) en van

de vormfaktor (β) van de beddingvormen (Ogink, 1984). Voor de ruwheidslengte van de rivierbodem geldt voor $k_s < 0,1 h_w$: $k_s = f_2(D_{90}, H, H/L, \beta)$.

De dimensies van de bodemvormen zijn onder meer afhankelijk van de stromingscondities. Van Rijn (1984) beschrijft de duinhoogte en duinsteilheid als functie van de karakteristieke korrelgrootte D_{50} , de waterdiepte h_w en de transportparameter T , die de effectieve korrelschuifspanning ten opzichte van de schuifspanning bij begin van beweging weergeeft. Vanaf de vlakbed situatie zonder transport $T < 0$ vindt bij toename van de stroomsnelheid, en daarmee van T eerst groei plaats van de relatieve duinhoogte en de duinsteilheid tot ca. $T = 5$. Bij verdere verhoging van T neemt de duinsteilheid weer af. Volgens bestaande theorieën neemt voor grotere waarden van T ook de relatieve duinhoogte af. Resultaten van recente proeven in de zandgoot van het Waterloopkundig Laboratorium (Termes, 1986) geven echter aan dat de relatieve duinhoogte voor $5 < T < 20$ ongeveer gelijk blijft. De ruwheid volgt op basis van de geschetste ontwikkeling van de bodemvormen globaal het volgende patroon: voor $T > 0$ vindt eerst een sterke toename van k_s plaats tot ca. $T = 5$, waarna de groei afneemt, zich vervolgens stabiliseert en tenslotte afneemt voor grote waarden van T als de beddingvormen sterk gestrekt zijn.

Uit het voorgaande volgt dat voor de bepaling van de hydraulische weerstand bij maatgevend hoogwater uitgaande van de k_s -waarden bij opgetreden hoogwaters de ontwikkeling van de bodemvormen moet worden geschat, waarvoor de T -parameter een indikator is.

1.3 Doel en opzet van het onderzoek

De opdracht, weergegeven in 1.1, houdt in:

- onderzoek naar het optreden van bedvervlakking bij maatgevend hoogwater (MHW) op de Merweden en de Maas, en
- schatting van de daarbij behorende hydraulische ruwheid.

Het uiteindelijke doel is de bepaling van de C -waarden die voor de MHW-berekeningen in model ZWENDL moeten worden ingevoerd. ZWENDL is een één-dimensionaal water- en zoutbewegingsmodel, dat door Rijkswaterstaat wordt toegepast voor hydraulische- (zoals de MHW-berekeningen) en zoutindringingsberekeningen in het Noordelijk Deltabekken; een korte karakteristiek van ZWENDL is gegeven in bijlage 1.

De ruwheidslengte van het zomerbed bij MHW, k_{sZE} kan worden geschat uit de ruwheidslengte bij opgetreden hoogwaters k_{sZM} met inachtnaam van de ontwikkeling van de dimensies van de beddingvormen bij toename van de afvoer. In beginsel kan de ruwheid van het zomerbed k_{sZM} direkt uit hydraulische metingen (verhang, waterdiepte en stroomsnelheid) worden bepaald. In een getijgebied is dit echter een uiterst gekompliceerde zaak door het sterke niet-permanente karakter van de stroming. Daarom wordt gebruik gemaakt van de resultaten van modelijkingen:

- ZWENDL-ijkingsberekeningen voor de Merweden, en
- ZWENDL- en WAQUA-ijkingsberekeningen voor de Maas beneden Lith en de Bergsche Maas.

Essentieel hierbij is dat de daaruit af te leiden k_s -waarde een fysische betekenis heeft, teneinde een extrapolatie mogelijk te maken. Dit houdt in dat aan de volgende voorwaarden moet zijn voldaan:

1. in de modelvergelijkingen worden alle voor de waterbeweging van belang zijnde termen korrekt meegenomen;
2. de boven- en benedenstroomse randvoorwaarden zijn juist ingevoerd;
3. het bergend en stroomvoerende profiel van de rivier zijn goed geschematiseerd, en
4. de ruwheid van de uiterwaarden en van de kribvakken zijn korrekt geschat.

Voor de extrapolatie van k_{sZM} is, zoals gesteld, inzicht vereist in de dimensies van de beddingvormen bij de opgetreden hoogwaters en in de mate waarin deze dimensies zich aanpassen aan de MHW-kondities. Hierbij dient ook de bodemsamenstelling en de variatie ervan naar plaats en in de tijd in beschouwing te worden genomen teneinde:

- de representativiteit van de gemeten bodemvormen te kunnen beoordelen (variatie in dwarsrichting)
- de homogeniteit van de gegevens (bodemvormen en ruwheid) te kunnen toetsen (variatie in de tijd)
- schattingen te kunnen geven voor de grootte van de transportparameter T.

Daar de samengestelde rivierprofielen ten behoeve van de ZWENDL-berekeningen voor de Merweden door middel van enkelvoudige takken en voor de Maas en de Bergsche Maase door middel van parallele takken (aparte takken voor het zomerbed en voor de uiterwaarden) zijn geschematiseerd (zie 2.4), worden voor deze rivieren verschillende procedures gebruikt bij de bepaling van de hydraulische ruwheid bij MHW.

Voor de bepaling van de C-waarde in ZWENDL bij MHW (C_E) wordt voor de Merweden de volgende procedure toegepast:

1. bepaal C-ZWENDL voor opgetreden hoogwaters $\rightarrow C_M$
2. bepaal uit C_M , k_s -uiterwaard en profielgegevens de C-waarde van het zomerbed $\rightarrow C_{zM}$
3. reken C_{zM} om naar k_{szM} via inversie van de weerstandsformule van White-Colebrook
4. bepaal de T-parameter en de beddingvormdimensies bij opgetreden hoogwaters, respectievelijk T_M , H_M en $(H/L)_M$
5. schat de T-parameter voor MHW, T_E , en op basis hiervan de ontwikkeling van de duinhoogte en -steilheid $\rightarrow H_E$ en $(H/L)_E$
6. schat de ruwheidslengte van het zomerbed bij MHW, k_{szE} , uitgaande van k_{szM} en ontwikkeling van beddingvormafmetingen
7. reken k_{szM} om naar C_{zE} en transformeer deze vervolgens naar C_E via inversie van de procedure onder 2.

Voor de Maas en de Bergsche Maas wordt een licht afwijkende procedure gevolgd. Hier is uit de ZWENDL-ijkingen door de afzonderlijke schematisering direct C_{zM} beschikbaar en uit de WAQUA-ijkingen k_{szM} zodat 1, 2 en 3 enigszins anders verlopen. Voorts wordt bij de konversie van k_{szE} naar C_E gebruik gemaakt van het twee-dimensionale waterbewegingsmodel WAQUA. De waarde k_{szE} wordt ingevoerd in het WAQUA-model van de Maas, waarmee de MHW-situatie met konstante randvoorwaarden wordt doorgerekend. Hierop wordt vervolgens ZWENDL geijkt $\rightarrow C_E$, waarna de niet-permanente MHW-berekening uitgevoerd kan worden.

Bovenstaande overwegingen hebben geleid tot de volgende opzet van het onderzoek:

- schematisatie van de rivierprofielen (hoofdstuk 2)
- analyse van de bodemsamenstelling naar plaats en in de tijd (hoofdstuk 3)
- analyse van de beschikbare beddingvormregistraties (hoofdstuk 4)
- bepaling van de hydraulische ruwheid van het zomerbed bij opgetreden hoogwaters (hoofdstuk 5)
- schatting van de hydraulische ruwheid van het zomerbed bij MHW, waarbij een konservatieve en een optimistische schatting wordt gegeven (hoofdstuk 6).

Tenslotte zijn in hoofdstuk 7 de konklusies uit dit onderzoek weergegeven en worden aanbevelingen gedaan voor voortgezet onderzoek.

2. Riviergeometrie en schematisatie

2.1 Algemeen

Voor de bepaling van k_s -waarden voor het zomerbed uit modelijkingen is het van belang dat de geometrie van de rivier korrekt geschematiseerd is. In dit hoofdstuk worden de schematisaties van de rivierprofielen in ZWENDL getoetst aan de hand van beschikbare lodings- en rivierkaarten. Door verschil van inzicht omtrent het aandeel van de uiterwaard in het totale stroomvoerende profiel is ook een eigen schematisatie ingevoerd die wordt gebruikt in de konversie van C_M naar C_{ZM} . Tenslotte zijn de lodingen die als uitgangspunt zijn genomen voor de schematisaties, vergeleken met dwarspeilingen uit andere jaren.

2.2 Projektgebied en vakindeling

In figuur 1 is een overzicht gegeven van de ZWENDL-schematisatie van het Noordelijk Deltabekken. Het projektgebied omvat de volgende sekties:

- sekties 52 en 53 op de Boven Merwede
- sekties 48 t/m 51 op de Beneden Merwede
- sekties 100 t/m 104 op de Nieuwe Merwede
- sekties 82 t/m 85 op de Maas, en
- sekties 77 t/m 81 op de Bergsche Maas.

De sektiegrenzen komen overeen met de lokatie van peilschalen indien aanwezig.

Voor de schematisatie van de dwarsprofielen is door Rijkswaterstaat een andere nummering aangehouden, die slechts per riviertrajekt eenduidig is, zie tabel 1. In deze tabel zijn ook de lokaties van de sektiegrenzen en de vaklengtes aangegeven.

Tenslotte zij vermeld dat voor de evaluatie van de bodemontwikkeling op de benedenrivieren door de Directie Benedenrivieren (zie par. 2.6) een afwijkende nummering en vakindeling wordt toegepast.

2.3 Basismateriaal

Een overzicht van de rivier- en lodingskaarten die voor de ZWENDL- en WAQUA-schematisaties zijn gebruikt is gegeven in tabel 2. De tabel geeft aan dat

voor de schematisatie van het zomerbed in ZWENDL de peilingen van 1976 zijn gebruikt, met uitzondering van het grootste deel van de Maas, zie ook tabel 3, kolom 5. De rivierkaarten voor de schematisatie van de uiterwaarden en de langs de rivieren gelegen polders zijn van vroegere datum. Onduidelijk is of de huidige situatie afwijkt van de toestand op de rivierkaarten. Ten aanzien van de Nieuwe Merwede wordt opgemerkt dat de rivierkaart slechts zeer beperkte hoogte informatie geeft.

Voor de WAQUA-schematisatie van de Maas en de Bergsche Maas zijn lodingen van recentere datum toegepast, respectievelijk 1979 en 1981.

2.4 ZWENDL-schematisaties

Voor ZWENDL zijn bij de modellering van de samengestelde rivierprofielen (zomerbed en uiterwaard) twee soorten schematisaties toegepast, te weten:

- enkelvoudige takken voor de Merweden, en
- twee parallelle op de knooppunten gekoppelde takken voor de Maas en de Bergsche Maas.

Enkelvoudige takken

Per sectie is een gemiddeld profiel bepaald op basis van de dwarspeilingen en de hoogteligging van de uiterwaard afgeleid van rivierkaarten. Dit bepaalt de contouren van het bergend profiel. Ter bepaling van de omvang van het stroomvoerend profiel zijn op de rivierkaarten op basis van hoogtecijfers hoogtelijnen ingetekend die aangeven bij welke waterstand het betreffende deel van de uiterwaard aan de stroming mee zal doen. In het algemeen stroomt de uiterwaard volgens deze aannames pas mee indien de waterdiepte ter plaatse meer dan 1 meter bedraagt.

Parallele takken

De schematisatie van het samengestelde profiel tot aparte takken voor zomerbed en uiterwaard van de Maas en de Bergsche Maas is gebaseerd op de schematisatie voor de enkelvoudige takbenadering, die voor deze rivieren reeds aanwezig was met daarbij de volgende kanttekeningen:

- het stroomvoerend profiel van het zomerbed volgt uit het enkelvoudige stroomvoerend profiel, afgekapt bij het begin van de uiterwaard

- het stroomvoerend profiel van de uiterwaardtak begint daar waar in de enkelvoudige tak benadering het bergend profiel van het uiterwaard begint en volgt verder de contouren van de bodem
- de ruimte tussen de stroomvoerende profielen van zomerbed en uiterwaard wordt als berging toegevoegd aan de zomerbedtak.

Deze schematisatie houdt in dat het totale stroomvoerende oppervlak ten opzichte van de enkelvoudige takbenadering aanzienlijk kan zijn toegenomen.

Karakteristieken van de rivierprofielen volgens de ZWENDL-schematisatie zijn weergegeven in tabel 3.

2.5 Verifikatie van de ZWENDL-schematisatie

De omvang van het stroomvoerend profiel in de ZWENDL-schematisaties zijn geverifieerd aan de hand van gegeven bodem- en dijkhoogten op de rivierkaarten en waar mogelijk aan resultaten van WAQUA-berekeningen.

Op de Boven Merwede is de omvang van het stroomvoerend profiel afgeleid uit WAQUA-berekeningen voor gemeten en extreem hoogwater. Volgens de WAQUA-berekeningen heeft de uiterwaard een belangrijker aandeel in de hoogwaterafvoer dan uit ZWENDL volgt. Bij enkele sekties van de Beneden en Nieuwe Merwede lijkt het stroomvoerend oppervlak ook te zijn onderschat, zie figuur 2...6. Daar een en ander konsekwenties heeft voor de te bepalen ruwheid zijn voor latere bewerkingen (hoofdstuk 5) de ZWENDL-profielen en de aangepaste profielen, hierna aangeduid als WL-profielen, overgezet op een gegevensbestand.

Het dwarsprofiel van de uiterwaarden van de Maas is ruim en zeer onregelmatig. Hierdoor is de schematisatie voor de één-dimensionale benadering volgens ZWENDL te onnauwkeurig om een goede schatting te verkrijgen voor de ruwheid van het zomerbed. Eenzelfde procedure als voor de Merweden is voor de Maas daarom niet uitgevoerd. ZWENDL-resultaten zijn hier dan ook alleen maar gebruikt voor die situaties waarbij de uiterwaard niet of slechts in geringe mate aan de stroming meedoet. De hoogtes van de zomerkaden zijn daarom uit het beschikbare materiaal bepaald om het geldigheidsbereik van de ZWENDL-ijkningen te kunnen vaststellen. Voor hogere hoogwaters is gebruik gemaakt van de WAQUA-berekeningen voor dit traject.

2.6 Bodemligging in de tijd

Sinds de afsluiting van het Haringvliet in 1971, vindt op de benedenrivieren versterkte aanzanding plaats, zie WWZO nota 82.22 en de BER nota's 83-29, 84-04, 84-05, 84-12, 84-18; Een overzicht hiervan is gegeven in de BER nota 84-25. Door middel van baggeren wordt getracht de benedenrivieren op diepte te houden. Desondanks zijn van jaar tot jaar verschillen te verwachten in de gemiddelde bodemligging van het zomerbed. Daar de ruwheidslengte erg gevoelig is voor variaties in de waterdiepte h_w : $k_s \sim h_w^{10}$ wordt hiervoor gecorrigeerd (zie hoofdstuk 5).

In tabel 4 is een overzicht gegeven van de gemiddelde bodemligging in de ZWENDL-sekties volgens de BER nota's voor die jaren waarvoor ijkingsberekeningen beschikbaar zijn. Het verschil met de bodemligging in 1976, het peilingsjaar waarop de ZWENDL-schematisatie is gebaseerd, is aangegeven in tabel 5. Uit deze laatste tabel blijkt dat met name op de Beneden Merwede tussen Sliedrecht en Dordrecht de bodem voor de recentere jaren aanzienlijk dieper ligt dan in 1976, samenhangend met omvangrijk baggerwerk in de periode 1977-1978.

Een vergelijking tussen \bar{H} en H_{1976} in tabel 3 dat wil zeggen de gemiddelde bodemligging van het zomerbed in de verschillende vakken voor 1976 volgens de ZWENDL-schematisatie en volgens de baggerpeilingen laat zien dat geringe verschillen bestaan tussen de ZWENDL-bodemdiepte en de diepte volgens de BER nota's. Hierbij wordt opgemerkt dat verschillen in definitie van de geulbreedte bij NAP en de vakbegrenzingsen bestaande afwijkingen waarschijnlijk veroorzaken. Gezien de geringe waarde van de afwijkingen zijn de profielkorrekties voor de k_s -waarde berekeningen gebaseerd op de verschillen in bodemligging volgens de BER nota's, dat wil zeggen volgens tabel 5.

3. Bodemsamenstelling

3.1 Bemonsteringsprocedure

Op de Merweden en op de Maas is in de periode 1974-1985 een aantal bodembemonsteringen uitgevoerd ter bepaling van de korrelgrootteverdeling van het materiaal op de rivierbodem. Een overzicht van de bemonsteringstijdstippen, de afvoerkondities en de bemonsterde trajekten is gegeven in tabel 6. De resultaten zijn per km gepresenteerd in de bijlagen 2a...e, met uitzondering van de bemonstering op de Maas in 1981.

De metingen zijn volgens informatie van DBW/RIZA Dordrecht uitgevoerd met een bodemhapper. In Jansen et al. (1979), pp. 222 is aangegeven dat de bodemhapper bij voorkeur niet moet worden toegepast voor korrelmateriaal met $D_{50} > 300 \mu\text{m}$: bij grof materiaal bestaat de mogelijkheid dat de bek van de happer zich onvoldoende kan sluiten, waardoor fijne korrels worden uitgespoeld. Op de Boven en Beneden Merwede wordt aan de gestelde voorwaarde niet voldaan, zodat de kans bestaat dat hier de karakteristieke korrelgrootten enigszins zijn overschat.

Mogelijke onzuiverheden in de onderlinge vergelijking van de resultaten worden voorts veroorzaakt door:

- verschil in stromingskondities voorafgaande aan de bodembemonsteringen, en
- verschil in de plaats van bemonstering in het dwarsprofiel (verschillend aantal raaien, variërend van 1 tot maximaal 3) door uitzeving in dwarsrichting, niet alleen in bochten maar ook elders onder invloed van de aardrotatie (Corioliseffekt).

3.2 Variatie in de korrelsamenstelling naar plaats

Variatie in dwarsrichting

Ter bepaling van de representativiteit van de korrelgroottes, die gebaseerd zijn op bemonsteringen van beperkte omvang (1 à 2 langdraaien) is de homogeniteit van de bodemsamenstelling in dwarsrichting geanalyseerd. Beperkingen in de omvang van het aantal langdraaien zijn alleen geoorloofd als geen systematische verschillen tussen de korrelgroottes links en rechts van de as voorkomen. Het verstoringseffekt van bochten door uitzeving in transversale richting

kan worden geëlimineerd door lange trajekten te beschouwen, waarbij zowel bochten naar links als naar rechts voorkomen. Voor die bemonsteringen, waarbij in 2 of 3 langsraaien monsters zijn getrokken, zijn de D_{50} 's per raai en per rivier weergegeven in tabel 7.

Op de Boven Merwede is de korreldiameter langs de rechteroever aanmerkelijk grover dan in de as en langs de linkeroever. Het materiaal in de as is op haar beurt iets grover dan dat links van de as. Het verloop in dwarsrichting is echter duidelijk niet lineair (de D_{50} -as ligt dichterbij D_{50} -links dan bij D_{50} -rechts), zodat de as alleen een onzuivere schatting geeft van de gemiddelde korrelgrootte in de sektie. De gemiddelde waarde voor D_{50} uit $(\text{rechts} + \text{as} + \text{links})/3$, $(\text{rechts} + \text{links})/2$ en de as voor de bemonsteringen in 1985 leveren respectievelijk de volgende waarden op 524, 550 en 470 μm . De beperkte monsternames in 1 of 2 raaien geven hier dus respectievelijk een onderschatting en een overschatting van de D_{50} .

Het grove materiaal dat op de Boven Merwede zich langs de rechteroever bevindt trekt de Beneden Merwede op. Ook op de Beneden Merwede blijkt de rivierbodem rechts van de as grover van samenstelling te zijn, hoewel de verschillen niet zo spektakulair zijn als op de Boven Merwede.

Op de Nieuwe Merwede die het (fijne) materiaal van de Boven Merwede ontvangt dat zich in en links van de as bevindt, blijkt ook in geringe mate sprake te zijn van niet-uniformiteit in dwarsrichting met langs de rechteroever in het algemeen weer het minst fijne materiaal. Grote afwijkingen zullen hier door slechts in de as te meten echter niet optreden.

Voor de Maas en de Bergsche Maas geldt hetzelfde als voor de Merweden: gemiddeld genomen is rechts het materiaal grover dan links, hoewel de verschillen in korreldiameter uit $(\text{rechts} + \text{as} + \text{links})/3$, $(\text{rechts} + \text{links})/2$ en de as alleen gering zijn.

Bovenstaande geeft aan dat of alleen links of alleen rechts van de as bemonsteren onjuist is. Het bemonsteren van alleen de as leidt voor de Nieuwe Merwede en de Maas niet tot grote onzuiverheden indien lange trajekten worden beschouwd; lokaal voor een enkele sektie zijn echter wel grote onzuiverheden te verwachten met name bij sterke krommingen van de rivieras. Op de Boven Merwede zijn gegevens uit tenminste 3 langsraaien nodig voor een zuivere schatting.

Verloop van korrelgrootte in langsrichting

De karakteristieke korreldiameter D_{50} uit de opeenvolgende bemonsteringen is per sectie weergegeven in tabel 8 en 9. De secties zijn hierbij gerangschikt volgens de gemiddelde stroomrichting teneinde het verloop in langsrichting zichtbaar te maken. Op alle rivieren vindt naar beneden toe een geleidelijke verfijning van het korrelmateriaal plaats. Dit heeft consequenties voor de dimensies van de beddingvormen en daarmee voor de hydraulische ruwheid.

3.3 Variatie van de korrelsamenstelling in de tijd

Door de afsluiting van het Haringvliet is de morfologie van de benedenrivieren verstoord. Globaal zijn in de tijd de volgende ontwikkelingen volgend op de afsluiting te verwachten:

1. stroomverlamming door wegvallen van getij
2. → afzetting van fijn materiaal
3. → vernauwing van het stroomvoerend profiel
4. → vergroting van de stroomsnelheid
5. → afzetting van grover sediment.

Aldus verplaatst zich de situatie naar benedenstrooms toe voort: deltavorming. Bovenstaande ontwikkelingen worden op de benedenrivieren wel verstoord door grootschalige baggerwerken.

Uit een rij's-gewijze analyse van de tabellen 8 en 9, met inachtneming van het gestelde in paragraaf 3.2, is globaal een eventuele tijdsafhankelijkheid van D_{50} af te leiden, met uitzondering van de secties op de Beneden Merwede vanwege het geringe tijdsinterval tussen de 2 beschikbare bemonsteringen.

Over een periode van 10 jaar blijkt de korrelgrootte zich op de Boven Merwede, in de bovenloop van de Nieuwe Merwede en op de Maas zich niet significant te hebben gewijzigd. In de midden- en benedenloop van de Nieuwe Merwede en op de Bergsche Maas is ten opzichte van de mid-zeventiger jaren sprake van een vergroving van het bodemmateriaal. Met name voorbij km 970 op de Nieuwe Merwede en over een groot deel van de Bergsche Maas heeft zich kort na de afsluiting van het Haringvliet veel slib afgezet, zie ook bijlagen 2a en 2b en DBW/RIZA Dordrecht nota 13.003.11, bijlage 17. Het slibgehalte in recente monsters van de Bergsche Maas is gering gebleken. Uit de beperkte beschikbare informatie kan echter nog niet worden afgeleid of de situatie op de Bergsche Maas zich weer volledig gestabiliseerd heeft.

Uit het voorgaande volgt, dat, met uitzondering van de Nieuwe Merwede en de Bergsche Maas, de ruwheden bepaald voor hoogwaters in de jaren zeventig ook representatief zijn voor de huidige situatie. Voor de Nieuwe Merwede en de Bergsche Maas zijn de hoogwaters in de eerste jaren na de afsluiting van het Haringvliet minder goede indicators. Aanbevolen wordt de ontwikkelingen in de korrelsamenstelling nauwlettend te blijven volgen teneinde de representativiteit van de huidige schattingen voor toekomstige situaties te kunnen beoordelen.

4. Beddingvormen

4.1 Beddingvormen op de Merweden

Tijdens de passage van de hoogwatergolven in april en juni 1983 zijn langspeilingen uitgevoerd op de Merweden, die zijn vastgelegd op echogrammen. Met name tijdens het hoogwater van april zijn vrij frekvent metingen uitgevoerd. Het aantal langsraaien dat gevaren is, is echter zeer beperkt. Soms zijn peilingen beschikbaar van een raai links en rechts van de rivieras, maar meestal zijn uit maar één raai gegevens beschikbaar. Gezien de variatie van de karakteristieke korrelgroottes in dwarsrichting en daardoor mogelijk ook verschil in beddingvormdimensies, zijn de beschikbare gegevens ontoereikend om goede schattingen te kunnen geven van opgetreden duindimensies. Tendenties kunnen echter wel worden aangegeven.

De topafvoeren bij genoemde hoogwaters bedroegen ruim 6000 m³/s op de Boven Merwede (WWZW nota 13.003.09), zie onderstaande tabel.

datum	max. afvoer (m ³ /s) uit metingen		
	Bov. Merw.	Ben. Merw.	Nieuwe Merw.
1983-04-15	6090	2440	3660
1983-04-16	6135	2417	3904
1983-06-01	6070	2450	3615
1983-06-02	5800	2310	3535

Hoewel de groottes van de maximale afvoeren elkaar niet veel ontliepen was de golf van april 1983 minder steil dan die van juni. De optredende beddingvormen tijdens deze hoogwaters worden in het volgende per rivier besproken.

Boven Merwede

De echogrammen voor sectie 52 vertonen voor april 1983 een sterke groei van de duinhoogte bij nadering van de top, zie figuur 7. Na de passage van de top neemt de duinhoogte weer snel af. De duinlengte vertoont globaal eenzelfde beeld. De registraties van het hoogwater in juni missen de top. De duinen lijken hier ronder van vorm, zie figuur 8.

Beschouwt men alleen de steile delen van de lijzijde van de duinen dan zijn hoogte en steilheid voor de top van het hoogwater in april resp. $H = 0,75$ m en $H/L = 0,06$. Met de formule van Van Rijn (1984) (zie paragraaf 6.1, vgl. (13)) geeft dit een k_s -waarde van ca. 0,65 m.

Beneden Merwede

Direkt benedenstrooms van het splitsingspunt van de Merweden, sectie 51, is sprake van samengestelde beddingvormen: kleine duinen gesuperponeerd op grote, zie figuren 9 en 10. Bij toename van de afvoer degenereren de grote duinen, terwijl de kleine duinen groeien. De beschikbare registraties voor de overige secties, zie figuren 11...14 laten geen samengestelde beddingvormen zien. De beddingvormen gedragen zich hier overigens identiek aan de klein steile duinen in de meest bovenstroomse sectie: de duinen groeien bij de aanzet van het hoogwater, terwijl na de passage van de top de bodemvormen weer vervagen. De effectieve duinhoogte op de Beneden Merwede nabij de top van het hoogwater van april 1983 bedroeg 0,3 tot 0,4 m met een duinlengte van 6 tot 8 m. Voor de berekeningen in hoofdstuk 6 zijn duinsteelheden variërend van 0,06 bij het splitsingspunt tot 0,04 bij Dordrecht, sectie 48, gehanteerd.

Nieuwe Merwede

Het karakter van de beddingvormen juist voorbij het splitsingspunt komt sterk overeen met die op de Boven Merwede: in sectie 104 komen korte steile duinen voor die sterk groeien in hoogte en lengte bij de nadering van de hoogwatergolf. Van afvlakking van de beddingvormen bij toenemende stroomsnelheid is althans voor de gemeten situaties geen sprake, zie figuren 15 en 16. Verder naar beneden toe verandert het karakter van de beddingvormen, zie figuren 17...21. Ruim voor en na de passage van de hoogwatergolf vindt met hier typische symmetrische beddingvormen. Ook hier treedt overigens groei op van beddingvormen bij het toenemen van de afvoer, met name ook in sectie 100 beneden Deneplaat. Van de echogrammen is de steilheid van de lijzijde niet duidelijk af te lezen, waardoor schattingen voor de ruwheidslengte van deze beddingvormen uit hoogte en steilheid uiterst spekulatief zijn. De duinhoogtes bedroegen nabij de top van het hoogwater april 1983 0,4 à 0,8 m, met duinsteelheden tot Deneplaat ca. 0,04 en voor sectie 100 ongeveer 0,06.

Uit het voorgaande kan worden gekonkludeerd dat afvlakkingsverschijnselen zich bij de opgetreden hoogwaters niet hebben voorgedaan. Dit hoeft evenwel niet te

betekenen dat de ruwheidslengte steeds groter wordt naarmate de afvoer stijgt, daar de ruwheidslengte ook bepaald wordt door de duinsteilheid. De beschikbare gegevens zijn echter te summier voor een betrouwbaar beeld.

4.2 Beddingvormen op de Maas

Tijdens de passage van de hoogwatergolf van februari 1984 zijn op de Maas beneden Lith en op de Bergsche Maas langspeelingen uitgevoerd tussen kmr 210 en kmr 260. De hoogwatergolf bereikte een maximale waarde van 2325 m³/s op 11-12 februari, terwijl in de periode van 9-15 februari de afvoer bij Lith 1500 m³/s overschreed (WWZO nota 84.7).

De lodingen zijn vericht op 8, 13, 14, 15, 20, 21 en 22 februari op 1/4 van de normaalbreedte links van de as van de rivier; de top van de hoogwatergolf is dus juist gemist. Bodemregistraties van de diverse sekties op de Maas en de Bergsche Maas zijn weergegeven in de figuren 22...26. De beperkingen ten aanzien van representativiteit van de registraties genoemd onder 4.1 zijn hier ook van toepassing.

Maas

De echogrammen van de sekties 81 t/m 84 (figuren 22, 23 en 24), dat wil zeggen de Maas en de bovenloop van de Bergsche Maas vertonen een vrijwel identiek verloop. De bodemvormen direkt voor en na de passage van de top van de hoogwatergolf zijn van dezelfde orde van grootte met duinlengtes van ca. 10 m en duinhoogtes van 0,40 tot 0,80 m. Na de passage van de top neemt de duinhoogte af tot orde 0,10 m. Voor de berekeningen in hoofdstuk 6 is een duinsteilheid van 0,06 gehanteerd.

Bergsche Maas

De bodemregistraties van de Bergsche Maas (sekties 77 t/m 80) geven geen eenduidig beeld. Over grote delen blijkt direkt na de passage van de top de duinhoogte en duinlengte sterk te zijn gegroeid (zie figuren 25 en 26), terwijl op de volledige echogrammen ook kilometers lange trajekten voorkomen die zeer gestrekte beddingvormen of een vrijwel vlak bed laten zien juist na de top. Welke beddingvormen tijdens het afvoermaximum zijn opgetreden blijft onduidelijk. Opvallend is wel dat de duinen zich redelijk snel aanpassen aan de afvoeromstandigheden. Dit is mogelijk doordat de duinlengte gering is en de voortplantingssnelheid van de beddingvormen tijdens hoge afvoer groot is,

waarbij bij verschil in loopsnelheid de ene duin de andere gemakkelijk kan inhalen. De steilheid van de afvoergolf is hierbij ook een belangrijke faktor. Na de top ontwikkelen zich kleine verstoringen op de gestrekte beddingvormen waardoor het duinenpatroon weer sterk van karakter verandert.

Uit het voorgaande volgt dat de beschikbare beddingvormregistraties onvoldoende inzicht geven om betrouwbare konklusies te kunnen trekken omtrent de duindimensies bij hoge afvoer. Hiervoor is nodig dat tijdens de passage van de hoogwatergolf dagelijks per traject meerdere langsraaien worden bemonsterd die digitaal worden ingewonnen, waarbij een passend bemonsteringinterval wordt toegepast (Ogink, 1984). Ook is hierbij van belang dat regelmatig bodemonsters worden genomen zodat een duidelijk beeld ontstaat van de relatie tussen beddingvormen, afvoeromstandigheden en bodemsamenstelling momentaan en van de veranderingen in de tijd voor vaste lokaties.

5. Hydraulische ruwheid bij opgetreden hoogwater

5.1 Ruwheidslengte van het zomerbed van de Merweden

5.1.1 Basisgegevens

Gegevens over de hydraulische ruwheid op de Merweden direkt uit hydraulische metingen zijn niet beschikbaar. De ruwheidslengtes voor de Merweden kunnen wel bepaald worden uit ijkingsberekeningen met model ZWENDL. Bij gegeven externe randvoorwaarden en geometrie van het riviervak wordt door ZWENDL de C-waarde zodanig aangepast dat het verschil tussen het gemeten en het berekende waterstandsverloop minimaal is. Deze optimalisatieprocedure is toegepast met intervallen van 0,5 m in de waterstand.

Teneinde de ontwikkeling van de k_s -waarde als functie van de waterdiepte vast te kunnen stellen zijn naast ijkingsgegevens van hoge afvoeren ook die van perioden met lagere afvoeren in beschouwing genomen. Een overzicht van de gebruikte gegevens is gegeven in de onderstaande tabel.

ijkingsperiode	ZWENDL-sectie										
	53	52	51	50	49	48	104	103	102	101	100
12 sept. 1976	+	+	+	+	+	+					
22-28 febr. 1977	+	+	+	+	o	o					
8-10 sept. 1979	+	+	+	+	+	+					
3-16 febr. 1980	o	o	o	o	o	o					
2-15 jan. 1982	o	o	o	o	o	o					
febr. 1983	o	o	o	o	o	o	o	o	o	o	
15-16 apr. 1983	o	o	o	o	o	o	o	o	o	o	
1- 2 juni 1983	o	o	o	o	o	o	o	o	o	o	

+ gegevens aanwezig

o gegevens gebruikt bij k_{szM} bepaling

Overzicht van ijkingsperioden van ZWENDL

In de tabel is ook aangegeven welke ijkingsperioden uiteindelijk zijn gebruikt voor de schatting van k_{szM} .

5.1.2 Externe randvoorwaarden

Als externe randvoorwaarden bij de ZWENDL-ijkings wordt bij Tiel op de Waal een debietsverloop opgegeven en aan de benedenstroomse randen waterstanden. In februari, april en juni 1983 zijn afvoermetingen uitgevoerd bij Werkendam rond het splitsingspunt (WWZW nota 13.003.09). Voor die periodes zijn de Merweden afzonderlijk geijkt met voor de Beneden en Nieuwe Merwede debietsranden bij respektievelijk Hardinxveld en Werkendam. De ingevoerde debieten zijn vergeleken met de resultaten van de metingen. Dit heeft voor het hoogwater van juni 1983 geleid tot nieuwe ijkingsberekeningen voor de Beneden en de Nieuwe Merwede ten behoeve van deze studie.

5.1.3 Berekeningsprocedure voor k_{zomerbed}

In ZWENDL wordt bij de schematisatie van een samengesteld profiel tot één tak een vervangende hydraulische straal R uitgerekend teneinde variaties in deze grootheid ten gevolge van plotselinge veranderingen in het doorstroomprofiel te elimineren. De hydraulische straal van het samengestelde profiel is hierbij als volgt gedefinieerd:

$$R = \left(\frac{A_z R_z^{2/3} + A_w R_w^{2/3}}{A_z + A_w} \right)^{3/2} \quad (1)$$

waarin:

R = hydraulische straal van het samengestelde profiel

R_z = hydraulische straal van het zomerbed

R_w = hydraulische straal van de uiterwaard

A_z = oppervlak stroomvoerend profiel van het zomerbed

A_w = oppervlak stroomvoerend profiel van de uiterwaard

Bovenstaande benadering houdt in dat voor zomer- en winterbed een gelijke ruwheidslengte wordt toegepast. Daar dit laatste in het algemeen niet het geval zal zijn krijgt de C-waarde in ZWENDL een empirisch karakter, ook al omdat in enkele gevallen het stroomvoerend profiel van de uiterwaard onjuist is ingeschat, zie hoofdstuk 2.

Door het zomer- en winterbed als aparte takken te beschouwen kunnen met de aangepaste profielen en een aanname voor de ruwheidslengte van de uiterwaard de C-waarden voor het zomerbed berekend worden uit:

$$(A_z + A_w) C\sqrt{R} = A_z^* C_z^* \sqrt{R_z^*} + A_w^* C_w^* \sqrt{R_w^*} \quad (2)$$

met:

A_z^*, A_w^* = WL-profielen voor stroomvoerend oppervlak in respektievelijk zomerbed en uiterwaard

R_z^*, R_w^* = hydraulische straal van zomerbed en uiterwaard volgens de WL-profielen

C_z^*, C_w^* = Chèzy-koëfficiënt voor zomerbed en uiterwaard voor de WL-profielen

De C-waarde voor de uiterwaard wordt bepaald uit:

$$C_w^* = 18 \log (12 R_w^* / k_{sw}) \quad (3)$$

waarin k_{sw} de ruwheidslengte van de uiterwaard is, die uit metingen op de Rijntakken geschat is op 0,20 m (voor grasland). Deze waarde is in de berekeningen konstant gehouden. Voor de C-waarde van het zomerbed volgt uit (2):

$$C_z^* = \frac{(A_z + A_w) C\sqrt{R} - A_w^* C_w^* \sqrt{R_w^*}}{A_z^* \sqrt{R_z^*}} \quad (4)$$

Via inversie van de formule voor de Chèzy-koëfficiënt volgens White-Colebrook volgt dan voor de ruwheidslengte van het zomerbed:

$$k_{sz} = 12 R_z^* \cdot 10^{-C_z^*/18} \quad (5)$$

Deze procedure geeft een eerste schatting voor k-zomerbed. Vervolgens wordt k_{sz} gecorrigeerd voor dieptevariaties in de tijd (zie hoofdstuk 2), waarbij de correctie gebaseerd is op de $k_{sz} - R_z^*$ relatie voor de evenwichtsdiepte. Volgens Strickler geldt hiervoor:

$$k_{s,gecorrigeerd} = k_{sz} * (R_{z,gecorrigeerd}^* / R_z^*)^{10} \quad (6)$$

De correcties zijn meestal uitgevoerd ten opzichte van het WL-profiel gebaseerd op de bodempeilingen van 1983 = WL-profiel 1976 + bodemcorrectie volgens tabel 5.

5.1.4 Resultaten

De resultaten van de k_{sz} bepaling volgens de bovenomschreven procedure zijn weergegeven in de tabellen 10...14 en in de figuren 27...29. De tabellen en figuren geven aan dat er sprake is van een aanzienlijke spreiding.

Hoge k_{sz} -waarden worden gevonden voor de sekties rond het splitsingspunt. Dit is in overeenstemming met de hoge steile beddingvormen die ter plaatse voorkomen. Naar benedenstrooms toe neemt k_{sz} af.

Beschouwt men de ontwikkeling van k_{sz} met de afvoer of met de waterdiepte dan blijkt dat bij toenemende waterdiepte op de Boven Merwede de ruweheidslengte van het zomerbed eerst toeneemt. Bij verdere stijging lijkt k_{sz} zich daar globaal te stabiliseren.

Op de Beneden en Nieuwe Merwede echter is nauwelijks sprake van enige wijziging in de k_{sz} -waarde bij de passage van een afvoergolf. De spreiding in de k_{sz} -waarde voor de verschillende hoogwatergolven is echter groot met name in de vakken juist benedenstrooms van het splitsingspunt.

5.2 Ruweheidslengte van het zomerbed van de Maas

5.2.1 Basisgegevens

De ruweheid van het zomerbed van de Maas bij opgetreden hoogwaters is afgeleid uit ijkingsberekeningen met het 1D-model ZWENDL en het 2DH-model WAQUA daar onvoldoende gegevens voorhanden waren om de ruweheid direkt uit hydraulische metingen te bepalen.

Met model ZWENDL zijn door Rijkswaterstaat ijkingsberekeningen uitgevoerd voor de volgende hoogwatergolven:

● 25 februari-5 maart 1970	$Q_{\max \text{ Lith}} = 1975 \text{ m}^3/\text{s}$
● 24-26 februari 1977	$Q_{\max \text{ Lith}} = 1123 \text{ m}^3/\text{s}$
● 8-13 februari 1980	$Q_{\max \text{ Lith}} = 1426 \text{ m}^3/\text{s}$
● 23-27 juli 1980	$Q_{\max \text{ Lith}} = \pm 1750 \text{ m}^3/\text{s}$
● 10-18 februari 1984	$Q_{\max \text{ Lith}} = 2325 \text{ m}^3/\text{s}$

Met model WAQUA zijn permanentieberekeningen uitgevoerd voor de hoog- en laagwatersituatie tijdens de passage van de hoogwatergolven van:

● februari 1970	$Q_{\max} \text{ Lith} = 1940 \text{ m}^3/\text{s}$
● maart 1979	$Q_{\max} \text{ Lith} = 1240 \text{ m}^3/\text{s}$
● februari 1980	$Q_{\max} \text{ Lith} = 1400 \text{ m}^3/\text{s}$
● maart 1981	$Q_{\max} \text{ Lith} = 1260 \text{ m}^3/\text{s}$
● januari 1982	$Q_{\max} \text{ Lith} = 1320 \text{ m}^3/\text{s}$
● februari 1984	$Q_{\max} \text{ Lith} = 2325 \text{ m}^3/\text{s}$

5.2.2 Externe randvoorwaarden

Als externe randvoorwaarden bij de ijkingsberekeningen met ZWENDL voor de Maas beneden Lith zijn een debietsverloop bij Lith en een waterstandsverloop bij Mond der Donge (1970 t/m 1980) of Keizersveer (1984, kmr 247.600) toegepast.

De debietsverlopen bij Lith zijn voor de hoogwaters van 1970, 1977 en februari 1980 afgeleid uit de 8 h-afvoeren uit de jaarboeken van de waterhoogten, waarbij voor het laatste hoogwater een correctie is toegepast op basis van afvoermetingen. Voor de simulatie van het hoogwater van juni 1980 is sterk afgeweken van de 8 h-afvoeren uit de jaarboeken. De randvoorwaarde is hier gebaseerd op resultaten van afvoermetingen te Ravenstein (kmr 180.600), zie nota 80.17.

Daarop zijn twee correcties toegepast: één voor stroming door een afgesneden rivierarm ter plaatse van de meetraai op basis stroombaanberekeningen en één voor golfdemping tussen de meetraai en Lith. Het resultaat is een afvoerkromme die duidelijk afwijkt van gemeten afvoerkrommen voor en na juni 1980 (vergeleijk met nota 84.7). Door genoemde onzekerheden zijn de resultaten van dit hoogwater in deze analyse niet meegenomen.

Tijdens het hoogwater van februari 1984 zijn afvoermetingen uitgevoerd onder meer bij Kerkdriel (kmr 210.500). Het aangenomen verloop bij Lith correspondeert hiermee voor wat betreft de aanzet tot de top van de afvoergolf; voor de dalende tak is de overeenkomst minder goed (bij Lith daalt de afvoer sneller dan bij Kerkdriel is gemeten).

Voor de WAQUA-berekeningen zijn de Maas en de Bergsche Maas in 4 trajecten verdeeld, te weten:

- Lith - Hedel
- Hedel - Heesbeen

- Heesbeen - Capelse Veer
- Capelse Veer - Keizersveer/Mond der Donge.

Bij elk traject is benedenstrooms een waterstand opgelegd en aan de bovenrand een debietsverdeling. Voor de hoogwaters van 1970 t/m 1982 is ten aanzien van het op te leggen debiet rekening gehouden met topvervlakking. Voor het hoogwater van 1984 is geen topvervlakking meegenomen.

5.2.3 Berekeningsprocedure voor $k_{zomerbed}$

Bij de ZWENDL-berekeningen voor de Maas en de Bergsche Maas is het samengestelde rivierprofiel geschematiseerd tot twee parallelle takken, zie paragraaf 2.4. Voor de uiterwaardtak is een vaste C-waarde van $35 \text{ m}^{\frac{1}{2}}/\text{s}$ aangehouden, uitgaande van een k_s -waarde van 0,20 m en een waterdiepte van gemiddeld 1,50 m. In paragraaf 2.5 is aangegeven dat het dwarsprofiel van de Maas zeer onregelmatig is en dientengevolge de schatting van het doorstroomsprofiel onnauwkeurig is. Situaties waarbij de uiterwaard een substantieel deel van het Maasdebiet afvoert zijn daarom niet in de berekeningsprocedure meegenomen. Hierbij zijn de volgende globale zomerkadehoogtes gehanteerd:

vak	kadehoogte (m + NAP)	vak	kadehoogte (m + NAP)
3/77	2,00	8/82	3,50
4/78	2,00	9/83	3,50
5/79	2,00	10/84	4,00
6/80	2,50	11/85	4,50
7/81	3,00		

Ter bepaling van de ruwheid van het zomerbed is gebruik gemaakt van de geoptimaliseerde C-waarden van de zomerbedtakken die als functie van de waterdiepte met intervallen van 0,50 m beschikbaar zijn. Deze C-waarden zijn met behulp van vergelijking (5) omgerekend naar k_{sz} -waarden met inachtnaam van bodemdieptekorrektes ten opzichte van de situatie in 1976.

De WAQUA-berekeningen zijn uitgevoerd met een vaste k_s -waarde van 0,20 m voor de uiterwaard en in langsricting een variërende k_{sz} -waarde. Op basis van ijkingen op de hoogwatergolven van voor 1984 is per vak een k_{sz} -waarde vastgesteld waarbij goede overeenkomst tussen gemeten en berekende maximum en

minimum waterstanden is verkregen. Deze k_{sz} -waarde is vervolgens toegepast bij de verifikatieberekening voor het hoogwater van februari 1984. De berekende verhanglijn blijkt bij de aangenomen ruwheid ongeveer 0,30 m hoger te liggen dan de gemeten verhanglijn (= hoogwater met index (M)). In de k_{sz} -waarde berekening is hiervoor voor de Maas gekompenseerd door toepassing van vergelijking (6). Deze compensatie is voor de Bergsche Maas achterwege gelaten omdat de waarde van permanentieberekeningen hier uiterst twijfelachtig wordt. Voorts zijn met WAQUA berekeningen uitgevoerd voor het hoogwater 1984 waarbij de k_{sz} -waarden zo zijn aangepast dat de gemeten en berekende verhanglijnen elkaar dekken (= hoogwater met index (D)). Hierbij wordt opgemerkt dat deze procedure voor de meer benedenstrooms van Lith gelegen vakken tot te optimistische schattingen van de ruwheid kan leiden omdat geen rekening is gehouden met golfdemping zoals bij de eerdere hoogwaters.

5.2.4 Resultaten

De resultaten van de ruwheidslengte berekening voor de Maas en de Bergsche Maas zijn gepresenteerd in de tabellen 15...19 en in de figuren 30 en 31.

De resultaten geven aan dat de spreiding in de ruwheidslengte groot is. Voor het traject Hedel-Lith duiden de WAQUA-ijkingen op een afname van de ruwheid bij toename van de afvoer; deze tendentie is veel minder duidelijk aanwezig in het resultaat van de ZWENDL-ijkingen. Zowel de WAQUA- als de ZWENDL-berekeningen laten een gladdere bodem zien bij toenemende afvoer op het traject Hedel-Capelse Veer. Benedenstrooms van Capelse Veer is geen steigende of dalende tendentie van de ruwheidslengte vast te stellen bij toenemende waterdiepte; op dit traject is met name de opgelegde benedenstroomse waterstand van belang voor het optreden van extrema en niet het debiet zoals verder bovenstrooms. De ijking voor de afvoergolf van 1977 wijkt voor de vakken 3...6 zeer sterk af van de ijking voor de andere jaren. De lage ruwheidswaarden zijn hier mogelijk veroorzaakt door de aanwezigheid van veel slib op de bodem van de Bergsche Maas.

6. Hydraulische ruwheid bij extreem hoogwater

6.1 Extrapolatieprocedure

Voor de samenhang tussen beddingvormdimensies, korrelgrootte D_{50} , waterdiepte h_w en transportparameter T heeft van Rijn (1984) de volgende empirische relaties opgesteld:

$$\frac{H}{h_w} = 0,11 \left(\frac{D_{50}}{h_w} \right)^{0,3} (1 - \exp(-0,5T)) (25-T) \quad (7)$$

$$\frac{H}{L} = 0,015 \left(\frac{D_{50}}{h_w} \right)^{0,3} (1 - \exp(-0,5T)) (25-T) \quad (8)$$

Hierin is de transportparameter T gedefinieerd volgens:

$$T = \frac{\theta' - \theta_{cr}}{\theta_{cr}} \quad (9)$$

waarin:

θ' = dimensieloze korrelschuifspanning

θ_{cr} = kritieke dimensieloze bodemschuifspanning

(Voor definities van θ' en θ_{cr} wordt verwezen naar bijlage 3.)

De relaties (7) en (8) zijn weergegeven in figuur 32. Hierin zijn ook de resultaten weergegeven van het onderzoek naar het afvlakken van beddingvormen dat recentelijk is uitgevoerd in de zandgoot van het Waterloopkundig Laboratorium (Termes, 1986). Deze resultaten tonen aan dat in plaats van (7) voor $T > 5$ beter met een konstante relatieve duinhoogte gewerkt kan worden:

$$\frac{H}{h_w} \approx \text{konstant} \quad (10)$$

Ten aanzien van de bovengrens $T = 25$ moet worden opgemerkt dat deze vrij arbitrair gekozen is. Bovendien is de definitie van duinhoogte voor deze grote waarden van T niet eenduidig. In de berekeningen is verondersteld dat (8) en (10) geldig zijn tot $T = 20$.

De koëfficiënten in (7) en (8) zijn bepaald als gemiddelde waarde om bij het gegeven functionele verband zo goed mogelijk aansluiting te verkrijgen bij model en prototyperesultaten. Voor een bepaalde rivier kunnen deze koëfficiënten

afwijken. IJking van (7), (8) en (10) per riviervak is een aantrekkelijker oplossing. Daar vanaf gemeten hoogwater op de Merweden en de Maas alleen T-parameterwaarden groter dan 8 voorkomen kan volstaan worden met de volgende schattingen van de duindimensies bij MWH:

$$H_E = H_M \cdot \frac{h_{wE}}{h_{wM}} \quad 5 < T < 20 \quad (11)$$

$$(H/L)_E \approx (H/L)_M \left(\frac{h_{wM}}{h_{wE}}\right)^{0,3} \left(\frac{25-T_E}{25-T_M}\right) \quad 8 < T < 20 \quad (12)$$

Voor het verband tussen de ruweidslengte en de beddingvormdimensies heeft van Rijn (1984) de volgende empirische betrekking opgesteld voor $k_s/h_w < 0,1$:

$$k_s = 3D_{90} + 1,1 H (1 - \exp(-25H/L)) \quad (13)$$

Verwaarloost men de eerste term ter rechterzijde, die gewoonlijk zeer klein is ten opzichte van de tweede term, dan kan op analoge wijze als hiervoor is uitgewerkt in relatieve zin gebruik gemaakt worden van (13) ter bepaling van k_{szE} :

$$k_{szE} = k_{szM} \cdot \frac{H_E}{H_M} \frac{(1 - \exp(-25(H/L)_E))}{(1 - \exp(-25(H/L)_M))}$$

of met (11):

$$k_{szE} = k_{szM} \cdot \left(\frac{h_{wE}}{h_{wM}}\right) \frac{(1 - \exp(-25(H/L)_E))}{(1 - \exp(-25(H/L)_M))} \quad \text{voor } 5 < T < 20 \quad (14)$$

In beginsel moeten voor toepassing van (14) enkele iteratiestappen worden uitgevoerd, immers schattingen voor h_{wE} en u_{zE} zijn nodig om bovenstaande vergelijkingen te kunnen oplossen. Dit suggereert echter een grote nauwkeurigheid die slechts schijnbaar is. Indien de berekende k_{szE} -waarde niet sterk afwijkt van k_{sz} , die gebruikt is voor de eerste schatting van h_{wE} , dan is het niet zinvol geacht om iteraties uit te voeren.

6.2 Hydraulische ruwheid op de Merweden

6.2.1 Ruwheidslengten bij MHW

Voor de bepaling van de ruwheidslengten op de trajekten bij MHW zijn twee schattingen gegeven voor k_{szE} :

- a. een konservatieve schatting, waarbij wordt verondersteld dat de k_{sz} -waarde bij MHW gelijk is aan de k_{sz} -waarde bij opgetreden hoogwater
- b. een optimistische schatting, waarbij de k_{sz} -waarde wordt bepaald met behulp van vergelijking (14); hierbij wordt dus rekening gehouden met de ontwikkeling van de beddingvormen volgens (8) en (10).

Deze schattingen zijn uitgewerkt in de tabellen 20...22.

Voor de konservatieve schatting zijn de k_{sz} -waarden voor de 6 hoogste waterstanden geselecteerd. Op statistische gronden kan aannemelijk worden gemaakt dat uit deze extreme k_{sz} -waarden een waarde nabij de grootste als schatting in aanmerking komt. Hier is een gemiddelde genomen van enerzijds het gemiddelde van de 3 grootste k_{sz} -waarden en anderzijds van het overall gemiddelde van k_{sz} vermeerderd met de standaardafwijking. Dit is aangegeven in tabel 20.

Voor de optimistische schatting is uitgegaan van de waarden uit tabel 20. Met behulp van de resultaten van berekeningen voor hoogwater 1983 en schattingen voor h_w en u uit ZWENDL-berekeningen voor MHW zijn de T-waarden bepaald, zie tabel 21. Vervolgens zijn hieruit door toepassing van vergelijking (14) de optimistische schattingen voor k_{sz} afgeleid, zie tabel 22.

Beide schattingen zijn samengevat in tabel 23.

6.2.2 C-waarde ZWENDL bij MHW

De C-waarde voor ZWENDL bij MHW is bepaald door omkering van de berekeningsprocedure voor k_{szM} . Uit vergelijking (2) volgt:

$$C_E = \frac{A_z^* C_z^* \sqrt{R_z^*} + A_w^* C_w^* \sqrt{R_w^*}}{(A_z + A_w) \sqrt{R}} \quad (15)$$

met:

$$C_z^* = 18 \log (12R_z^*/k_{szE}) \quad (16)$$

C-ZWENDL is als functie van de waterstand bepaald op basis van k_{szE} -konservatief en k_{szE} -optimistisch. De resultaten zijn weergegeven in de tabellen 24 en 25.

6.3 Hydraulische ruwheid op de Maas en de Bergsche Maas

Voor de konservatieve schatting van de ruwheidslengte (zie paragraaf 6.2.1) is voor de Maas gebruik gemaakt van de ijkingsberekeningen met WAQUA en ZWENDL voor de hoogwaters van 1970 en 1984 waarbij aan beide berekeningswijzen een gelijk gewicht is toegekend.

Voor de Bergsche Maas is alleen het ZWENDL resultaat gebruikt voor de hoogwaters van 1970 en 1984, inclusief 1980 voor het traject benedenstrooms van Capelse Veer. Het WAQUA resultaat op basis van permanenties is gezien het sterke niet-permanente karakter van de stroming hier niet in beschouwing genomen; gezien het zeer regelmatige profiel is een 2D-modellering hier niet nauwkeuriger dan een 1D-benadering, ook al door de toegepaste schematisatie met een rechthoekig rooster in WAQUA.

De konservatieve schattingen zijn vervolgens onderworpen aan de extrapolatieprocedure die in paragraaf 6.1 is beschreven teneinde rekening te houden met de geschatte ontwikkeling van beddingvormen en ruwheid. Deze procedure is uitgewerkt in de tabellen 26 en 27. Toepassing van deze procedure leidt tot een lichte afname van de ruwheid ten opzichte van de gemeten hoogwatersituatie, zie tabel 28, met uitzondering van het traject Hedel-Lith. Hier voorspelt de methode een geringe toename van de ruwheid (van 0,19 naar 0,22 m).

7. Konklusies en aanbevelingen

7.1 Konklusies

Rivierprofielen

- 1) Het stroomvoerend profiel van de uiterwaarden van de Merweden is in de ZWENDL-schematisatie in het algemeen onderschat (paragraaf 2.5).
- 2) Het profiel van de uiterwaarden van de Maas tussen Lith en Heesbeen is zeer onregelmatig; dit geeft aanleiding tot onnauwkeurigheden in de 1D-schematisatie en daardoor in de uit 1D-modelijking af te leiden zomerbedruwheidswaarde voor die gevallen waarbij de uiterwaarde een substantieel deel van het Maasdebiet afvoert (paragraaf 2.5).
- 3) Opgetreden veranderingen in de bodemligging ten opzichte van de model-schematisatie zijn voor de bodemruweidsbepaling niet verwaarloosbaar (paragraaf 2.6).

Bodemsamenstelling

- 4) Voor zowel de Merweden als de Maas geldt dat gemiddeld genomen het bodem-materiaal rechts van de rivieras grover is dan links. Voor een zuivere schatting van de karakteristieke korreldiameter is het daarom gewenst in tenminste 3 langsraaien (rechts van, in en links van de rivieras) monsters te trekken. Dit geldt het sterkst voor de Boven Merwede (paragraaf 3.2).
- 5) Direkt na de afsluiting van het Haringvliet heeft zich op de Nieuwe Merwede en de Bergsche Maas veel slib afgezet. Het slibgehalte van recente bodemonsters van de Bergsche Maas is evenwel gering gebleken (paragraaf 3.3).

Beddingvormen

- 6) Afvlakkingsverschijnselen hebben zich bij de bemonsterde hoogwaters op de Merweden en de Maas niet voorgedaan met uitzondering van de Bergsche Maas. Op de Bergsche Maas komen enkele gedeelten voor waarbij juist na de top van de afvoergolf van februari 1984 een vrijwel vlak rivierbed is

gemeten (paragrafen 4.1 en 4.1). Bij hoge afvoer komen forse beddingvormen voor rond het splitsingspunt van de Merweden.

- 7) Algemeen zijn de langspeelingen tijdens de recente hoogwaters te summier geweest om een betrouwbaar beeld te krijgen van het verloop van de beddingvormdimensies tijdens de passage van afvoergolven.

Ruwheid bij opgetreden hoogwater

- 8) De spreiding in de ruwheidslengte van het zomerbed is voor vergelijkbare afvoerstandigheden op zowel de Merweden als de Maas groot.
- 9) In het ZWENDL-model voor de Merweden wordt voor uiterwaard en zomerbed dezelfde ruwheid toegepast, waardoor deze grootheid een empirisch karakter krijgt; dit wordt nog versterkt door het gestelde onder 1. Door het zomerbed en de uiterwaarden als aparte takken te beschouwen kan met aangepaste profielen en een aanname voor de ruwheidslengte van de uiterwaard de ruwheid van het zomerbed worden geschat uit de geoptimaliseerde C-waarden van model ZWENDL (paragraaf 5.1.3).
- 10) De ruwheidslengte neemt op de Boven Merwede eerst toe met de afvoer, maar lijkt zich te stabiliseren bij verdere toename van het debiet. Op de Beneden en de Nieuwe Merwede is nauwelijks sprake van enige wijziging in de ruwheidslengte bij de passage van een afvoergolf.
- 11) Op het Maas-trajekt Hedel-Capelse Veer neemt de ruwheid bij toename van de afvoer af. Boven- en benedenstrooms van dit trajekt is deze tendentie niet duidelijk aanwezig.

Ruwheid bij MHW

- 12) Voor MHW zijn een konservatieve en een optimistische schatting gegeven van de zomerbedruwheid. De eerste is gebaseerd op de ruwheid bij de gemeten hoogste hoogwaters. Bij de laatste is daarenboven ook rekening gehouden met de ontwikkeling van de beddingvormen; deze zijn in het geval van de Merweden en de Maas in het algemeen lager dan schattingen die alleen op gemeten hoogwaters zijn gebaseerd.

- 13) De extrapolatie van ruwheden geschiedt met behulp van de ruwheid- en beddingvormvoorspellers van Van Rijn, die zijn aangepast op basis van recent experimenteel onderzoek (Termes, 1986). Van deze voorspellers wordt in relatieve zin gebruik gemaakt door vergelijking met de situatie bij gemeten hoogwater.
- 14) Konservatieve en optimistische schattingen voor de ruwheidslengte bij MHW voor de Merweden en de Maas zijn respectievelijk gegeven in de tabellen 23 en 28. Benadrukt wordt dat deze waarden niet gezien moeten worden als boven- en ondergrens van de meest aannemelijke schatting van de ruwheid. De kennis omtrent de ontwikkeling van beddingvormen is nu nog te gering om dergelijke grenzen aan te kunnen geven.

7.2 Aanbevelingen

Teneinde bestaande onzekerheden ten aanzien van de ruwheidsbepaling van de rivierbodem te reduceren is nader onderzoek gewenst. Dit betreft onder meer:

- Onderzoek naar de ontwikkeling van beddingvormen onder niet-permanente stromingskondities inclusief getijgebieden.
- Onderzoek naar de ontwikkeling van samengestelde beddingvormen.
- Dagelijks verrichten van langspeilingen in verschillende raaien tijdens de passage van afvoergolven, die digitaal worden ingewonnen met een passend bemonsteringsinterval.
- Regelmatig uitvoeren van bodembemonsteringen in 3 langsraaien zodat een duidelijk beeld ontstaat van de relatie tussen beddingvormen, afvoeromstandigheden en bodemsamenstelling in de tijd voor vaste lokaties.
- Uitvoering van afvoermetingen rond het splitsingspunt van de Merweden van en op de Maas met name tijdens de passage van hoogwatergolven.
- Het niet-permanent doorrekenen van opgetreden hoogwatergolven met behulp van WAQUA, waarbij de Maas op een kromlijng rooster wordt geschematiseerd.

LITERATUUR

Havinga, H. (1982)

Aanzanding in de Beneden Waal
WWZO Nota 82.22, Rijkswaterstaat

Ogink, H.J.M. (1984)

Hydraulische ruwheid van de Bovenrijn en de Waal
Waterloopkundig Laboratorium, verslag R 2017, september

Rijn, L.C. van (1984)

Sediment transport, Part III: Bedforms and alluvial roughness
Proc. ASCE Journal of Hydraulic Engineering, Vol. 110, No. 12 (ook WL-publika-
tie No. 334, 1985)

Termes, A.P.P. (1986)

Dimensies van beddingvormen onder permanente stromingsomstandigheden bij hoog
sedimenttransport
Waterloopkundig Laboratorium, verslag M 2130, januari

Rijkswaterstaat (1980)

Hoogwater op de Maas in juli 1980
WWZO nota 80.17, Projectnr. 18.500.04

Rijkswaterstaat en Waterloopkundig Laboratorium (1983)

Inventarisatie onderzoeksmiddelen voor het Noordelijk Deltabekken
Verslag M 1775-II, WWZW nota 11.004.02, juni

Rijkswaterstaat (1983)

Evaluatie bodemontwikkeling van het benedenrivierengebied in de periode
1971-1982
Nota LTL/83-29, Directie Benedenrivieren

Rijkswaterstaat (1984)

Evaluatie bodemontwikkeling van de Nieuwe Merwede in de periode 1971 t/m 1982
Nota LTL/84-04, Directie Benedenrivieren

LITERATUUR (vervolg)

Rijkswaterstaat (1984)

Evaluatie bodemontwikkeling van de Boven Merwede in de periode 1971 t/m 1982

Nota LTL/84-05, Directie Benedenrivieren

Rijkswaterstaat (1984)

Hoogwater op de Maas in februari 1984

WWZO nota 84.07, projectnr. 18.500.05, Afdeling Maas

Rijkswaterstaat (1984)

Evaluatie bodemontwikkeling van de Beneden Merwede in de periode 1971-1982

Nota LTL/84-12, Directie Benedenrivieren

Rijkswaterstaat (1984)

Evaluatie bodemontwikkeling van de Bergsche Maas in de periode 1971-1982

Nota LTL/84-18, Directie Benedenrivieren

Rijkswaterstaat (1984)

Evaluatie bodemontwikkeling benedenrivierengebied

Nota LTL/84-25, Directie Benedenrivieren

Jansen, P.Ph., L. van Bendegom, J. van den Berg, M. de Vries en A. Zanen (1979)

Principles of River Engineering. The non-tidal alluvial River.

Pitman Book Ltd, London

Rijkswaterstaat (1985)

De ruwheid van de Maas bij hoge afvoeren

Koncept Nota nr. 13.003.11, DBW/RIZA, vestiging Dordrecht

Rijkswaterstaat (1985)

Meting afvoerverdeling Merweden tijdens hoge afvoeren in 1983

WWZW nota 13.003.09

riviertraject	vak	ZWENDL sektienr.	begrenzing (km)	lengte (m)	profiel- schem.
Boven Merwede	2	53	950.00-954.70	4686	S
	1	52	954.70-961.00	6301	S
Beneden Merwede	4	51	961.00-965.00	4010	S
	3	50	965.00-968.16	3128	S
	2	49	968.16-972.00	3865	S
	1	48	972.00-976.10	4217	S
	5	104	961.00-962.30	1382	S
Nieuwe Merwede	4	103	962.30-966.00	3608	S
	3	102	966.00-971.00	4938	S
	2	101	971.00-977.00	6119	S
	1	100	977.00-979.70	2763	S
	11	85	202.37-208.00	5620	D+S
Maas	10	84	208.00-214.10	6125	D+S
	9	83	214.10-220.01	5909	D+S
	8	82	220.01-225.00	5027	D+S
	7	81	225.00-230.60	5587	D+S
Bergsche Maas	6	80	230.60-236.00	5394	D+S
	5	79	236.00-241.36	5367	D+S
	4	78	241.36-246.00	4663	D+S
	3	77	246.00-250.90	4974	D+S

Tabel 1 Nummering en begrenzing van ZWENDL-takken

Opmerking:

S = schematisatie van samengesteld profiel d.m.v. enkelvoudige tak

D = schematisatie door middel van twee parallelle takken.

rivier	rivierkaarten		lodingskaarten		
	schaal	datum	schaal	datum	raaiafst. (m)
ZWENDL-schem.					
Boven Merwede	1:5000 1:2000	1968-1970	1:5000	1976	125
Beneden Merwede	1:2000	1965-1972	1:5000	1976	125
Nieuwe Merwede	1:2000 1:25000*	1964-1971 1967	1:5000 1:5000	1976	150-200
Maas	1:5000	1974	1:5000	1973-1976	100
Bergsche Maas	1:5000	1973-1974	1:5000	1976	125
WAQUA-schem.					
Maas	-	1974	-	1979	-
Bergsche Maas	-	1974-1980	-	1981	-

* beperkte hoogte informatie

Tabel 2 Overzicht van basismateriaal dat gebruikt is bij de schematisaties voor de ZWENDL- en WAQUA-modellen

rivier	ZWENDL-schematisatie								baggerpeilingen		
	vak	snr	kmr	lodingdatum	A (m ²)	B (m)	\bar{H} (m)	R (m)	H ₁₉₇₆	kmr	
					bij NAP	bij NAP	bij NAP	bij NAP	bij NAP		
Boven Merw.	2	53	950.00-954.70	voorjaar '76	1622	349	4,65	4,51	5,09	952.40-956.40	
	1	52	954.70-961.00	apr '76	2072	418	4,96	4,81	4,91	956.40-961.00	
Ben. Merw.	4	51	961.00-965.00	apr '76	1093	223	4,90	4,66			
	3	50	965.00-968.16	apr '76	1182	236	5,01	4,92	5,35	961.20-968.20	
	2	49	968.16-972.00	apr '76	1300	235	5,53	5,28			
	1	48	972.00-976.10	mrt '76	1672	276	6,06	5,80	5,72	968.30-976.10	
Nieuwe Merw.	5	104	961.00-962.30	febr/mrt '76	1577	362	4,36	4,19			
	4	103	962.30-966.00	mrt '76	1453	389	3,74	3,68	4,08	961.20-964.10	
	3	102	966.00-971.00	febr/mrt '76	1605	438	3,66	3,57	3,83	964.10-968.50	
	2	101	971.00-977.00	febr '76	2024	546	3,71	3,65			
	1	100	977.00-979.70	febr '76	2781	673	4,13	4,08	3,86	968.50-979.80	
Maas	12	86	200.87-202.37		'73	490	138	3,55	3,37	-	-
	11	85	202.37-208.00		'73	451	138	3,26	3,02	-	-
	10	84	208.00-214.10		'73	570	142	4,01	3,81	-	-
	9	83	214.10-220.01	mei	'76	633	148	4,28	4,05	-	-
	8	82	270.01-225.00		'73/'76	781	150	5,21	4,79	-	-
Bergsche Maas	7	81	225.00-230.60	apr	'76	841	158	5,32	5,01	5,46	226.50-231.10
	6	80	230.60-236.00	apr	'76	989	165	5,99	5,64	5,90	213.20-236.70
	5	79	236.00-241.36	apr	'76	1083	198	5,47	5,26	5,45	237.00-241.40
	4	78	241.36-246.00	mei	'76	1191	218	5,46	5,17	5,49	241.50-246.20
	3	77	246.00-250.90	mei	'76	1351	254	5,51	4,94	5,35	246.30-250.00

Tabel 3 Dwarsprofielkarakteristieken van ZWENDL-sekties en een vergelijking tussen gemiddelde bodemligging uit ZWENDL-schematisatie en jaarlijkse dwarspeilingen voor 1976

rivier	BER	ZWENDL	ZWENDL	peilingsjaar					
	vak	vak	snr	1976	1977	1979	1980	1982	1983
Boven Merw.	1	2	53	4,91	4,94	4,93	5,01	5,03	5,06
	2	1	52	5,09	5,01	5,13	5,24	5,16	5,35
Beneden Merw.	1	3+4	50+51	5,35	5,43	5,44	5,43	5,49	5,43
	2	1+2	48+49	5,72	5,82	6,05	6,12	6,21	6,13
Nieuwe Merw.	1	4+5	103+104	4,08					4,05
	2	3	102	3,83					4,00
	3	1+2	100+101	3,86					3,90
Bergsche Maas					1971	1976	1977	1980	1983
	1	7	81		5,47	5,46	5,40	5,42	5,32
	2	6	80		6,12	5,90	5,87	5,93	5,90
	3	5	79		5,61	5,45	5,42	5,54	5,47
	4	4	78		5,66	5,49	5,51	5,52	5,40
	5	3	77		5,75	5,35	5,37	5,38	5,37

Tabel 4 Gemiddelde bodemligging ten opzichte van NAP voor modelijkingen

rivier	BER vak	ZWENDL vak	ZWENDL snr	peilingsjaar					
				1976	1977	1979	1980	1982	1983
Boven Merw.	1	2	53	0,00	+0,03	+0,02	+0,10	+0,12	+0,15
	2	1	52	0,00	-0,08	+0,04	+0,15	+0,07	+0,26
Beneden Merw.	1	3+4	50+51	0,00	+0,08	+0,09	+0,08	+0,14	+0,08
	2	1+2	48+49	0,00	+0,10	+0,33	+0,40	+0,49	+0,41
Nieuwe Merw.	1	4+5	103+104	0,00					-0,03
	2	3	102	0,00					+0,17
	3	1+2	100+101	0,00					+0,04
Bergsche Maas					1971	1976	1977	1980	1983
	1	7	81	+0,01	0,00	-0,06	-0,04	-0,14	
	2	6	80	+0,22	0,00	-0,03	+0,03	0,00	
	3	5	79	+0,16	0,00	-0,03	+0,09	+0,02	
	4	4	78	+0,17	0,00	+0,02	+0,03	-0,09	
	5	3	77	+0,40	0,00	+0,02	+0,03	+0,02	

Tabel 5 Verschil in bodemligging ten opzichte van het jaar 1976 ($H_i - H_{1976}$)

riviertrajekt	jaar	dag/maand	Q _{Lobith} (m ³ /s)	Q _{Lith} (m ³ /s)	Δx (m)	aantal raaien	trajekt
Boven Merwede (953-961)	1974	1feb	2238	-	1000	2	+ 1)
	1975	21jan	2534	-	1000	2	+
	1983	apr		-	1000	1	+
	1984	4apr		-	500	3	951-953 ⁵
	1985	6feb		-	500	3	954-961
	1986	1-2apr		-	500	3	942-961
Beneden Merwede (961 ⁵ -976)	1983	apr		-	1000	1	+
	1985	7+8feb		-	500	2	961 ⁵ -975 ⁵
Nieuwe Merwede (961 ⁵ -980)	1974	31jan+1+2feb	2236	-	1000	2	+
	1975	17-21jan	2613	-	1000	2	+
	1983	apr		-	1000	1	+
	1985	6+8feb		-	500	3	961 ⁵ -971
Maas (ben. Lith) (201-226)	1974	6+7feb		430	1000	2	+
	1975	22+23jan		475	1000	2	+
	1981	-		-	1000	3	203-226
	1984	8/13feb		-	1000	3	222-226
	1984	21feb		-	1000	1	+
	1984	26apr		-	1000	1	+
	1985	5mrt		-	1000	3	220-226
Bergsche Maas (227-250)	1974	5+6feb		315	1000	2	+
	1975	22+27 jan		540	1000	2	+
	1984	8/13feb		-	1000	3	226-247
	1984	21feb		-	1000	1	+
	1984	26apr		-	1000	1	+
	1985	5+6mrt		-	1000	3	+

Tabel 6 Bodembemonstering op de Merweden en de Maas, bemonsteringsdata en afvoerkondities

Opmerking: +¹⁾ = volledig trajekt

rivier	datum	trajekt	D ₅₀ (µm)		
	bemonst.	(km)	rechts	as	links
Boven Merw.	jan-febr '76	951-961	657	-	390
	jan '76	951-961	637	-	413
	febr '76	953-960	649	467	443
	apr-mei '85	953-960	675	474	432
Beneden Merw.	febr '85	961-975	550	-	473
Nieuwe Merw.	jan-febr '74	962-973	290	-	326
	jan '75	962-973	323	-	311
	apr-mei '85	961-969	373	344	333
Maas	jan-febr '74	202-226	407	-	355
	jan '74	202-226	408	-	378
	mrt '85	221-226	449	379	416
Bergsche Maas	jan-febr '74	227-250	247	-	201
	jan '74	227-250	336	-	238
	febr '84	227-247	392	340	311
	mrt '85	227-250	386	326	309

Tabel 7 Variatie van D₅₀ in dwarsrichting voor de Merweden en de Maas

rivier	vak	snr	D ₅₀ (µm) per jaar				
			1974	1975	1983	1985 ¹	1985 ²
Boven Merw.	2	53	642	590	538	633	705
	1	52	486	494	482	501	499
Beneden Merw.	4	51	-	-	518	553	-
	3	50	-	-	513	525	-
	2	49	-	-	408	475	-
	1	48	-	-	390	477	-
Nieuwe Merw.	4+5	103+104	360	346	326	-	367
	3	102	235	296	304	-	312
	2	101	124	167	302	-	-
	1	100	<16	<25	-	-	-

Tabel 8 D₅₀ per vak voor opeenvolgende bemonsteringen op de Merweden

rivier	vak	snr	D ₅₀ (µm) per jaar						
			1974	1975	1981	1984 ¹	1984 ²	1984 ³	1985
Maas	11	85	412	433	501	-	410	452	-
	10	84	374	366	437	-	378	386	-
	9	83	390	425	454	-	405	412	-
	8	82	328	329	442	386	335	354	410
Bergsche Maas	7	81	248	393	-	424	359	383	425
	6	80	176	284	-	332	331	342	332
	5	79	229	287	-	348	306	313	347
	4	78	268	268	-	322	306	305	325
	3	77	206	222	-	312	270	212	281

Tabel 9 D₅₀ per vak voor opeenvolgende bemonsteringen op de Maas en op de Bergsche Maas

vak	snr	jaar/ maand	h (m)	C _{ZWENDL} (m ^{1/2} /s)	C _{zomer} (m ^{1/2} /s)	k _{zomer} (m)	R _{zomer} (m)	R _{zomer} gecorr. (m)	k _{zomer} gecorr. (m)	$\frac{Q_{zomer}}{Q_{totaal}}$ (-)
2	53	1976	0,50	58,0	55,6	0,052	5,27	5,01	0,031	1,00
		1977	2,03	45,0	43,6	0,305	6,73	6,39	0,182	1,00
		1977	3,14	46,6	44,8	0,302	7,77	7,43	0,193	0,97
		1979	0,75	48,0	46,1	0,182	5,51	5,29	0,121	1,00
		1980	1,44	44,5	42,9	0,305	6,17	6,06	0,255	1,00
		1980	2,00	43,5	42,1	0,366	6,70	6,59	0,310	1,00
		1980	3,00	45,7	44,1	0,323	7,64	7,53	0,279	0,98
		1980	4,13	49,0	45,2	0,321	8,68	8,57	0,283	0,89
		1982	2,10	43,5	42,2	0,370	6,79	6,60	0,279	1,00
		1982	3,00	46,6	45,0	0,289	7,64	7,45	0,225	0,98
		1982	3,91	48,0	44,7	0,335	8,48	8,29	0,267	0,91
		1983.2	2,00	45,5	44,1	0,286	6,70	-	0,286	1,00
		1983.2	2,50	45,5	44,2	0,302	7,17	-	0,302	1,00
		1983.4	4,20	55,7	52,0	0,136	8,75	-	0,136	0,90
		1983.4	4,29	55,7	51,8	0,140	8,83	-	0,140	0,89
		1983.4	4,19	54,8	51,1	0,152	8,74	-	0,152	0,90
		1983.4	4,29	54,8	50,9	0,158	8,83	-	0,158	0,89
		1983.6	4,05	53,3	49,8	0,177	8,61	-	0,177	0,91
		1983.6	4,43	54,4	50,2	0,176	8,96	-	0,176	0,88
		1983.6	4,05	51,5	48,0	0,224	8,61	-	0,224	0,91
1983.6	4,43	52,0	47,6	0,242	8,96	-	0,242	0,87		
1	52	1976	0,50	50,0	46,6	0,172	5,60	5,45	0,131	1,00
		1977	1,36	41,0	38,6	0,551	6,42	6,30	0,456	1,00
		1977	2,40	41,8	39,6	0,561	7,41	7,29	0,476	0,99
		1980	1,05	47,0	44,1	0,260	6,13	6,08	0,240	1,00
		1980	2,00	42,0	39,8	0,519	7,03	6,98	0,483	1,00
		1980	3,10	42,4	39,5	0,618	8,06	8,01	0,581	0,96
		1982	1,40	47,0	44,3	0,269	6,46	6,43	0,257	1,00
		1982	2,00	42,5	40,3	0,489	7,03	7,00	0,469	1,00
		1982	2,98	43,0	40,2	0,554	7,95	7,92	0,533	0,97
		1983.2	1,75	44,5	42,1	0,374	6,79	-	0,374	1,00
		1983.4	3,23	43,7	40,6	0,542	8,18	-	0,542	0,95
		1983.4	3,34	43,7	40,5	0,557	8,29	-	0,557	0,95
		1983.4	3,18	45,0	41,0	0,455	8,14	-	0,455	0,96
		1983.4	3,34	45,0	41,8	0,474	8,29	-	0,474	0,95
		1983.6	3,16	46,8	43,7	0,362	8,12	-	0,362	0,96
		1983.6	3,50	47,2	43,8	0,374	9,44	-	0,374	0,94
		1983.6	3,16	44,2	41,2	0,500	8,12	-	0,500	0,96
		1983.6	3,50	44,2	40,8	0,545	8,44	-	0,545	0,94

Tabel 10 k_g-waarden van het zomerbed van de Boven Merwede uit
ijkingsberekeningen

vak	snr	jaar/ maand	h (m)	C _{ZWENDL} (m ^{1/2} /s)	C _{zomer} (m ^{1/2} /s)	k _{zomer} (m)	R _{zomer} (m)	R _{zomer} gecorr. (m)	k _{zomer} gecorr. (m)	$\frac{Q_{zomer}}{Q_{totaal}}$ (-)
4	51	1976	0,35	50,0	48,6	0,125	5,25	5,15	0,103	1,00
		1977	0,87	52,0	50,7	0,104	5,70	5,68	0,100	1,00
		1977	1,20	52,0	50,8	0,109	5,98	5,96	0,105	1,00
		1977	1,90	51,0	50,0	0,133	6,61	6,59	0,129	1,00
		1979	0,75	57,0	55,6	0,055	5,59	5,58	0,054	1,00
		1980	0,75	46,8	45,6	0,196	5,59	5,57	0,189	1,00
		1980	1,60	47,5	46,5	0,200	6,34	6,32	0,194	1,00
		1980	2,32	47,8	47,0	0,207	7,00	6,98	0,201	1,00
		1982	0,82	47,0	45,8	0,193	5,65	5,69	0,207	1,00
		1982	1,60	47,5	46,5	0,200	6,34	6,38	0,213	1,00
		1982	2,32	48,2	47,4	0,196	7,00	7,04	0,207	1,00
		1983.2	1,00	46,5	45,4	0,210	5,81	5,79	0,203	1,00
		1983.4	2,21	43,4	42,6	0,356	6,90	6,88	0,346	1,00
		1983.4	2,47	43,3	42,6	0,369	7,13	7,11	0,359	1,00
		1983.4	2,16	42,5	41,7	0,397	6,85	6,83	0,386	1,00
		1983.4	2,30	42,7	41,9	0,392	6,98	6,96	0,381	1,00
		1983.4	2,48	43,0	42,3	0,383	7,14	7,12	0,372	1,00
		1983.6	2,27	42,4	41,6	0,406	6,95	6,93	0,394	1,00
		1983.6	2,50	43,0	42,3	0,384	7,16	7,14	0,373	1,00
		1983.6	2,62	43,2	42,5	0,378	7,27	7,25	0,368	1,00
1983.6	2,27	43,0	42,2	0,376	6,95	6,93	0,365	1,00		
1983.6	2,45	43,4	42,7	0,365	7,16	7,14	0,356	1,00		
1983.6	2,62	43,7	43,0	0,355	7,27	7,25	0,345	1,00		
3	50	1976	0,35	50,0	48,7	0,128	5,40	5,30	0,106	1,00
		1977	0,53	52,0	50,7	0,102	5,56	5,54	0,098	1,00
		1977	1,00	52,0	50,8	0,109	6,00	5,98	0,105	1,00
		1977	1,70	52,0	49,9	0,134	6,64	6,62	0,130	1,00
		1979	0,75	57,0	55,6	0,057	5,77	5,76	0,056	1,00
		1980	0,48	46,8	45,6	0,194	5,52	5,50	0,187	1,00
		1980	1,50	47,5	46,5	0,203	6,46	6,44	0,197	1,00
		1980	2,07	47,8	46,9	0,208	6,98	6,96	0,202	1,00
		1982	0,69	47,0	45,8	0,195	5,71	5,75	0,209	1,00
		1982	1,50	47,5	46,5	0,203	6,46	6,50	0,216	1,00
		1982	2,14	48,2	47,3	0,199	7,05	7,09	0,211	1,00
		1983.2	1,00	46,5	45,4	0,217	6,00	5,98	0,210	1,00
		1983.4	1,44	43,2	42,2	0,346	6,40	6,38	0,335	1,00
		1983.4	1,96	43,5	42,6	0,353	6,88	6,86	0,343	1,00
		1983.4	1,39	42,2	41,2	0,390	6,36	6,34	0,378	1,00
		1983.4	1,75	43,0	42,1	0,368	6,69	6,67	0,357	1,00
		1983.4	1,99	43,7	42,9	0,345	6,91	6,89	0,335	1,00
		1983.6	1,65	42,2	41,3	0,402	6,60	6,58	0,390	1,00
		1983.6	1,85	42,8	41,9	0,381	6,78	6,76	0,370	1,00
		1983.6	2,10	43,6	42,8	0,353	7,01	6,99	0,343	1,00
1983.6	1,65	43,3	42,4	0,350	6,60	6,58	0,340	1,00		
1983.6	1,85	43,5	42,6	0,349	6,78	6,76	0,339	1,00		
1983.6	2,10	43,8	43,0	0,344	7,01	6,99	0,234	1,00		

Tabel 11 k_s-waarden van het zomerbed van de Beneden Merwede uit
ijkingsberekeningen

vak	snr	jaar/ maand	h (m)	C_{ZWENDL}	C_{zomer}	k_{zomer}	R_{zomer}	R_{zomer} gecorr.	k_{zomer} gecorr.	$\frac{Q_{zomer}}{Q_{totaal}}$
				$(m^{\frac{1}{2}}/s)$	$(m^{\frac{1}{2}}/s)$	(m)	(m)	(m)	(m)	(-)
2	49	1976	0,25	67,0	60,7	0,032	6,21	5,80	0,016	1,00
		1977	0,25	56,5	51,2	0,107	6,21	5,90	0,064	1,00
		1977	1,00	56,0	51,3	0,117	6,90	6,59	0,074	1,00
		1977	1,54	56,0	52,7	0,120	7,40	7,09	0,078	1,00
		1979	0,25	68,0	61,6	0,028	6,21	6,13	0,025	1,00
		1980	0,20	54,8	49,6	0,130	6,17	6,16	0,128	1,00
		1980	1,00	55,0	50,4	0,132	6,90	6,89	0,130	1,00
		1980	1,79	55,2	51,1	0,132	7,63	7,62	0,130	1,00
		1982	0,45	55,0	50,0	0,128	6,40	6,48	0,145	1,00
		1982	1,20	55,2	50,7	0,130	7,09	7,17	0,145	1,00
		1982	1,96	55,5	51,5	0,128	7,78	7,86	0,142	1,00
		1983.2	0,25	57,0	5,16	0,101	6,21	-	0,101	1,00
		1983.4	0,86	64,8	59,2	0,042	6,78	-	0,042	1,00
		1983.4	1,50	67,8	62,5	0,030	7,36	-	0,030	1,00
		1983.4	0,80	64,2	58,6	0,045	6,72	-	0,045	1,00
		1983.4	1,20	64,9	59,6	0,042	7,09	-	0,042	1,00
		1983.4	1,65	64,5	59,6	0,044	7,50	-	0,044	1,00
		1983.6	1,20	63,6	58,4	0,048	7,09	-	0,048	1,00
		1983.6	1,50	65,5	60,4	0,039	7,36	-	0,039	1,00
		1983.6	1,76	64,8	60,0	0,042	7,60	-	0,042	1,00
1983.6	1,20	66,2	60,8	0,036	7,09	-	0,036	1,00		
1983.6	1,50	64,9	60,0	0,042	7,36	-	0,042	1,00		
1983.6	1,76	63,5	58,8	0,049	7,60	-	0,049	1,00		
1	48	1976	0,25	67,0	61,1	0,032	6,61	6,20	0,017	1,00
		1977	0,02	56,5	51,4	0,108	6,39	6,08	0,066	1,00
		1977	1,00	56,0	51,6	0,120	7,30	6,99	0,078	1,00
		1977	1,41	56,0	51,8	0,122	7,66	7,35	0,081	1,00
		1979	0,25	68,0	62,0	0,028	6,61	6,53	0,025	1,00
		1980	0,00	54,8	49,8	0,131	6,38	6,37	0,129	1,00
		1980	1,00	55,0	50,7	0,134	7,30	7,29	0,132	1,00
		1980	1,51	55,2	51,1	0,135	7,75	7,74	0,133	1,00
		1982	0,20	55,0	50,1	0,129	6,56	6,64	0,146	1,00
		1982	1,00	55,2	50,8	0,131	7,30	7,38	0,146	1,00
		1982	1,78	55,5	51,5	0,131	7,98	8,06	0,145	1,00
		1983.2	0,25	57,0	52,0	0,102	6,61	-	0,102	1,00
		1983.4	0,49	64,6	59,1	0,043	6,83	-	0,043	1,00
		1983.4	1,10	67,4	62,1	0,031	7,39	-	0,031	1,00
		1983.4	0,40	64,1	58,6	0,045	6,75	-	0,045	1,00
		1983.4	1,00	66,5	61,2	0,035	7,30	-	0,035	1,00
		1983.4	1,44	63,8	59,0	0,048	7,69	-	0,048	1,00
		1983.6	0,83	63,4	58,3	0,050	7,14	-	0,050	1,00
		1983.6	1,20	65,0	60,0	0,042	7,48	-	0,042	1,00
		1983.6	1,55	64,9	60,1	0,043	7,78	-	0,043	1,00
1983.6	0,83	67,0	61,6	0,033	7,14	-	0,033	1,00		
1983.6	1,20	65,4	60,4	0,040	7,48	-	0,040	1,00		
1983.6	1,55	63,0	58,4	0,053	7,78	-	0,053	1,00		

Tabel 12 k_s-waarden van het zomerbed van de Beneden Merwede uit
ijkingsberekeningen

vak	snr	jaar/ maand	h (m)	C _{ZWENDL} (m ^{1/2} /s)	C _{zomer} (m ^{1/2} /s)	k _{zomer} (m)	R _{zomer} (m)	R _{zomer} gecorr. (m)	k _{zomer} gecorr. (m)	$\frac{Q_{zomer}}{Q_{totaal}}$ (-)			
5	104	1983	1,00	70,9	72,0	0,006	5,25	5,25	0,006	1,00			
			1,50	68,5	70,3	0,009	5,73	5,70	0,008	0,99			
			1,50	49,0	50,1	0,113	5,73	5,70	0,107	0,99			
			2,00	48,5	49,9	0,126	6,20	6,17	0,120	0,98			
			1,00	42,6	43,2	0,251	5,25	5,22	0,237	1,00			
			1,50	43,6	44,6	0,230	5,73	5,70	0,218	0,99			
			1,00	44,7	45,3	0,191	5,25	5,22	0,180	1,00			
			1,50	46,6	47,7	0,155	5,73	5,70	0,147	0,99			
			2,45	45,6	46,7	0,202	6,63	6,60	0,193	0,97			
			2,65	45,6	46,7	0,209	6,81	6,78	0,200	0,97			
			2,43	47,5	48,7	0,156	6,61	6,58	0,149	0,97			
			2,65	47,6	48,8	0,159	6,81	6,78	0,152	0,97			
			2,50	38,9	39,6	0,504	6,67	6,64	0,482	0,96			
			2,80	38,9	39,5	0,530	6,95	6,92	0,508	0,95			
			2,50	42,5	43,4	0,310	6,67	6,64	0,296	0,96			
			2,80	42,6	43,5	0,320	6,95	6,92	0,306	0,96			
			2,45	44,0	45,0	0,251	6,63	6,60	0,240	0,97			
			2,07	44,1	45,2	0,230	6,27	6,24	0,219	0,98			
			4	103	1983	1,07	59,2	60,0	0,025	4,58	4,55	0,023	1,00
						1,28	59,2	60,2	0,026	4,77	4,74	0,024	0,99
1,14	59,7	60,6				0,024	4,64	4,61	0,022	0,99			
1,41	59,8	60,8				0,024	4,89	4,86	0,023	0,99			
1,03	62,5	63,3				0,016	4,54	4,51	0,015	1,00			
1,29	63,1	64,1				0,016	4,78	4,75	0,015	0,99			
0,84	66,7	67,4				0,009	4,36	4,33	0,008	1,00			
1,11	67,3	68,0				0,009	4,61	4,58	0,008	0,99			
2,08	59,4	60,5				0,029	5,52	5,49	0,027	0,98			
2,38	59,4	60,3				0,031	5,79	5,76	0,029	0,97			
2,05	62,4	63,6				0,019	5,49	5,46	0,018	0,98			
2,36	62,4	63,4				0,021	5,77	5,74	0,020	0,97			
2,25	55,1	56,0				0,053	5,67	5,64	0,050	0,97			
2,50	55,1	55,6				0,050	5,90	5,87	0,055	0,96			
2,25	56,4	57,3				0,044	5,67	5,64	0,042	0,97			
2,50	56,5	57,4				0,048	5,90	5,87	0,046	0,96			
1,77	56,7	57,7				0,039	5,23	5,20	0,037	0,98			
2,12	56,8	57,9				0,041	5,55	5,52	0,039	0,97			

Tabel 13 - k_s-waarden van het zomerbed van de Nieuwe Merwede uit
ijkingsberekeningen

vak	snr	jaar/ maand	h (m)	C _{ZWENDL} (m ^{1/2} /s)	C _{zomer} (m ^{1/2} /s)	k _{zomer} (m)	R _{zomer} (m)	R _{zomer} gecorr. (m)	k _{zomer} gecorr. (m)	$\frac{Q_{zomer}}{Q_{totaal}}$ (-)			
3	102	1983	0,89	59,3	55,7	0,045	4,67		0,045	1,00			
			1,13	59,2	55,9	0,046	4,90		0,046	1,00			
			0,86	59,2	55,5	0,046	4,64		0,046	1,00			
			1,22	59,9	56,6	0,043	4,99		0,043	1,00			
			0,71	62,2	58,2	0,032	4,50		0,032	1,00			
			1,06	63,2	59,6	0,028	4,83		0,028	1,00			
			0,58	66,5	62,0	0,019	4,37		0,019	1,00			
			0,92	67,3	63,2	0,017	4,70		0,017	1,00			
			1,52	59,3	56,4	0,047	5,27		0,047	0,99			
			1,90	59,3	57,0	0,048	5,64		0,048	0,99			
			1,50	62,4	59,3	0,032	5,25		0,032	0,99			
			1,88	62,5	59,7	0,033	5,62		0,033	0,99			
			1,75	55,0	52,4	0,081	5,49		0,081	0,99			
			2,00	55,1	52,7	0,081	5,73		0,081	0,99			
			1,75	56,3	53,7	0,069	5,49		0,069	0,99			
			2,00	56,5	54,0	0,068	5,73		0,068	0,99			
			1,26	56,5	53,4	0,065	5,03		0,065	1,00			
			1,72	56,9	54,2	0,064	5,47		0,064	0,99			
			2	101	1983	0,66	51,7	51,8	0,069	4,32	4,36	0,076	1,00
						0,95	51,6	51,9	0,073	4,60	4,64	0,080	1,00
0,49	53,5	53,5				0,053	4,15	4,19	0,058	1,00			
0,96	52,3	52,6				0,066	4,61	4,65	0,072	1,00			
0,33	61,1	61,1				0,019	4,00	4,04	0,021	1,00			
0,79	60,6	60,8				0,022	4,45	4,49	0,024	1,00			
0,50	60,4	60,4				0,022	4,16	4,20	0,024	1,00			
0,69	61,2	61,3				0,020	4,35	4,39	0,022	1,00			
0,80	63,3	63,5				0,016	4,46	4,50	0,017	1,00			
1,38	63,7	64,5				0,016	5,02	5,06	0,017	0,99			
0,78	65,9	66,1				0,011	4,44	4,48	0,011	1,00			
1,36	64,6	65,4				0,014	5,00	5,04	0,015	0,99			
1,00	58,6	59,0				0,029	4,65	4,69	0,032	0,99			
1,50	58,3	59,0				0,032	5,14	5,18	0,035	0,99			
1,00	56,6	59,6				0,038	4,65	4,69	0,041	1,00			
1,50	58,9	59,6				0,030	5,14	5,18	0,032	0,99			
0,69	58,0	58,1				0,031	4,35	4,39	0,034	1,00			
1,29	57,5	58,1				0,035	4,93	4,97	0,038	0,99			

Tabel 14 k_s-waarden van het zomerbed van de Nieuwe Merwede uit
ijkingsberekeningen

trajekt: Hedel-Lith

ZWENDL-ijkings								
vak	HW	Q (m ³ /s)	h _{max} (m)	h (m)	C (m ³ /s)	R (m)	k _s (m)	
9/83	febr '70	1975	4,35 (+0,85)	2,00	44,6	5,67	0,23	
				2,50	45,8	6,06	0,21	
				3,00	45,8	6,44	0,22	
				3,50	47,6	6,85	0,19	
				(4,00)	(50,2)	7,27	(0,14)	
	febr '77	1123	2,90	2,00	46,8	5,67	0,17	
				2,50	46,2	6,06	0,20	
				2,90	46,9	6,36	0,19	
	febr '80	1426	3,55 (+0,05)	2,00	43,5	5,67	0,26	
				2,50	43,5	6,06	0,28	
				3,50	43,4	6,44	0,30	
	febr '84	2325	4,55 (+1,05)	3,55	44,2	6,89	0,29	
				2,00	50,3	5,67	0,11	
				2,50	48,2	6,06	0,15	
				3,00	47,1	6,44	0,19	
				3,50	46,8	6,85	0,21	
	10/84	febr '70	1975	4,85 (+0,85)	(4,00)	(47,1)	7,27	(0,21)
					(4,55)	(49,8)	7,73	(0,16)
					2,50	44,7	5,50	0,22
					3,00	45,8	6,04	0,21
3,50					45,8	6,04	0,21	
febr '77		1123	3,35	4,00	47,3	6,37	0,18	
				(4,50)	(50,4)	6,80	(0,13)	
				(4,85)	(49,7)	7,10	(0,15)	
febr '80		1426	4,05 (+0,05)	2,50	47,8	5,50	0,15	
				3,00	46,2	5,67	0,18	
				3,35	45,5	5,93	0,21	
febr '84		2325	5,15 (+1,15)	2,50	43,5	5,50	0,25	
				3,00	43,3	5,67	0,27	
				3,50	43,4	6,04	0,28	
				4,05	44,1	6,41	0,27	
				2,50	50,0	5,50	0,11	
11/85		febr '70	1975	5,45 (+0,95)	3,00	48,2	5,67	0,14
					3,50	47,1	6,04	0,18
					4,00	46,8	6,37	0,19
					4,50	46,8	6,80	(0,20)
	(5,00)				(46,9)	6,80	(0,20)	
	febr '77	1123	3,80	(5,00)	(49,2)	7,23	(0,16)	
				3,00	44,7	5,08	0,20	
				3,50	46,1	5,48	0,18	
	febr '80	1426	4,70 (+0,20)	4,00	45,7	5,91	0,21	
				4,50	47,1	6,32	0,18	
				(5,00)	(50,5)	6,74	(0,13)	
				(5,45)	(49,8)	7,11	(0,15)	
				3,80	45,5	5,74	0,20	
	febr '84	2325	5,55 (+1,05)	3,00	43,7	5,08	0,23	
				3,50	43,5	5,48	0,25	
				4,00	43,3	5,91	0,28	
				4,50	44,0	6,32	0,27	
				(4,70)	(44,4)	6,49	(0,27)	
	febr '84	2325	5,55 (+1,05)	3,00	50,0	5,08	0,10	
				3,50	48,4	5,48	0,13	
4,00				47,0	5,91	0,17		
4,50				46,7	6,32	0,19		
(5,00)				(46,7)	6,74	(0,21)		
febr '84	2325	5,55 (+1,05)	(5,55)	(48,7)	7,19	(0,17)		

Opm.: Gegevens (...) betreffen situaties waarbij ook afstroming via de uiterwaard plaatsvindt; vergelijk hiervoor de kadehoogte met h_{max}

Tabel 15 k_s-waarden van het zomerbed van de Maas uit ijkingsberekeningen met ZWENDL; trajekt Hedel-Lith

trajekt: Heesbeen-Hedel

ZWENDL-ijkingsen										
vak	HW	Q (m ³ /s)	h _{max} (m)	h (m)	C (m ^{1/2} /s)	R (m)	korr.	R _{korr.} (m)	k _s (m)	
7/81	febr '70	1975	3,20	1,50	42,3	6,18	(0,01)	6,19	0,33	
			(+0,20)	2,00	43,8	6,56		6,57	0,29	
				2,50	46,2	6,93		6,94	0,23	
				3,00	48,6	7,21		7,22	0,17	
	febr '77	1123	1,80		(3,20)	(48,5)	7,38	(-0,05)	7,39	(0,18)
					1,00	46,4	5,81		5,76	0,18
	febr '80	1426	2,45		1,50	46,4	6,18	(-0,03)	6,13	0,19
					1,80	46,4	6,41		6,36	0,20
					1,50	42,0	6,18		6,15	0,34
	febr '84	2325	3,30		2,00	42,2	6,56	(-0,11)	6,53	0,35
				(+0,30)	2,45	43,4	6,89		6,86	0,32
					1,50	44,5	6,18		6,07	0,25
					2,00	44,3	6,56		6,45	0,27
	8/82	febr '70	1975		2,50	45,1	6,93	(-0,11)	6,82	0,26
					3,00	47,5	7,21		7,10	0,20
					(3,30)	(49,1)	7,46		7,35	(0,17)
				2,00	44,8	6,40			0,25	
febr '77		1123	2,40		2,50	44,5	6,81	(-0,11)		0,28
					3,00	46,2	7,22			0,24
					3,50	48,7	7,63			0,18
					(3,75)	(48,2)	7,83			(0,20)
febr '80		1426	2,95		1,50	46,6	6,00	(-0,11)		0,19
					2,00	46,2	6,40			0,21
					2,40	46,5	6,73			0,21
febr '84		2325	3,95		1,50	41,6	6,00	(-0,11)		0,35
					2,00	41,9	6,40			0,36
					2,50	42,3	6,81			0,36
					2,95	43,2	7,18			0,34
febr '84		2325	(+0,45)		2,00	44,5	6,40	(-0,11)		0,26
				2,50	44,3	6,81			0,28	
				3,00	45,0	7,22			0,27	
				3,50	46,5	7,63			0,24	
			(3,95)	(49,9)	7,99			(0,16)		

Tabel 16 k_s-waarden van het zomerbed van de Maas uit ijkingsberekeningen met ZWENDL; trajekt Heesbeen-Hedel

Opm.: Gegevens (...) betreffen situaties waarbij ook afstroming via de uiterwaard plaatsvindt; vergelijk hiervoor de kadehoogte met h_{max}

trajekt: Capelse Veer-Heesbeen

ZWENDL-ijkingen										
vak	HW	Q (m ³ /s)	h _{max} (m)	h (m)	C (m ^{1/2} /s)	R (m)	korr.	R _{korr.} (m)	k _s (m)	
5/79	febr '70	1975	2,30 (+0,30)	0,50	45,1	5,70	(0,14)	5,84	0,22	
				1,00	45,7	6,07			6,23	
				1,50	47,8	6,42			6,56	
				2,00	50,7	6,67			6,81	
	febr '77	1123	1,20	(2,30)	58,2	5,70	(-0,03)	5,67	0,04	
				0,50	58,9	6,07			6,04	
	febr '80	1426	1,65	0,50	44,7	5,70	(0,08)	5,78	0,23	
					1,00	45,5			6,07	6,15
					1,50	46,9			6,42	6,50
	febr '84	2325	2,10 (+0,10)	0,50	47,0	5,70	(0,02)	5,72	0,14	
					1,00	48,6			6,07	6,09
					1,50	49,1			6,42	6,42
2,00					54,3	6,67			6,69	
6/80	febr '70	1975	2,65 (+0,15)	(2,10)	(54,4)	6,76	(0,20)	6,78	(0,08)	
				1,00	44,2	6,41			6,61	
				1,50	45,6	6,65			6,85	
				2,00	47,2	6,85			7,05	
	febr '77	1123	1,40	0,50	52,3	7,28	(-0,03)	6,00	0,11	
					(2,65)	(52,8)			7,41	7,61
	febr '80	1426	2,00	1,00	59,4	6,03	(0,03)	6,44	0,04	
					1,00	58,5			6,41	6,38
					1,40	58,8			6,60	6,57
	febr '84	2325	2,65 (+0,15)	1,00	44,2	6,41	(0,00)	6,41	0,27	
					1,50	45,9			6,65	6,68
					2,00	47,3			6,85	6,88
2,00					48,0	6,41			6,41	
				46,8	6,65	(0,09)	6,65	0,20		
				1,50	46,8			6,65	6,65	
				2,00	48,8			6,85	6,85	
				2,50	53,2			7,28	7,28	
				(2,65)	(53,8)	7,41		7,41	(0,09)	

Tabel 17 k_s-waarden van het zomerbed van de Bergsche Maas uit ijkingsberekningen met ZWENDL; trajekt Capelse Veer-Heesbeen

Opm.: Gegevens (...) betreffen situaties waarbij ook afstroming via de uiterwaard plaatsvindt; vergelijk hiervoor de kadehoogte met h_{max}

trajekt: Mond der Donge-Capelse Veer

ZWENDL-ijkings									
vak	HW	Q (m ³ /s)	h _{max} (m)	h (m)	C (m ^{1/2} /s)	R (m)	korr.	R _{korr.} (m)	k _s (m)
3/77	febr '70	1975	1,60	0,00	47,2	4,94			
				0,50	49,0	5,35			
				1,00	51,1	5,76			
				1,50	46,6	6,19			
				1,60	47,5	6,27			
	febr '77	1123	1,00	0,00	72,6	4,94			
				0,50	72,3	5,35			
				1,00	69,8	5,76			
	febr '80	1426	1,15	0,00	50,3	4,94			
				0,50	50,1	5,35			
				1,00	49,0	5,76			
				1,15	48,8	5,89			
febr '84	2325	1,20	0,00	46,2	4,94				
			0,50	48,5	5,35				
			1,00	51,4	5,76				
			1,20	51,9	5,93				
			1,50	48,8	6,38				
4/78	febr '70	1975	1,95	0,50	48,6	5,60			
				1,00	49,3	5,99			
				1,50	48,8	6,38			
				1,95	49,5	6,65			
				1,95	49,5	6,65			
	febr '77	1123	1,10	0,00	72,6	5,17			
				0,50	72,5	5,60			
				1,00	70,4	5,99			
	febr '80	1426	1,35	0,00	49,0	5,17			
				0,50	49,2	5,60			
				1,00	49,8	5,99			
				1,35	49,2	6,26			
febr '84	2325	1,65	0,50	47,1	5,60				
			1,00	49,3	5,99				
			1,50	52,9	6,38				
			1,65	52,5	6,47				
			1,65	52,5	6,47				

Tabel 18 k_s-waarden van het zomerbed van de Bergsche Maas uit ijkingsberekningen met ZWENDL; trajekt Mond der Donge-Capelse Veer

WAQUA ruwheden

vak	HW	k_{model} (m)	h (m)	H_{totaal} (m)	ΔH_1 t.o.v. 1981	$k_{\text{korrr.}}$ (m)	Q (m ³ /s)
(3) + 4	1970	0,15	-	-	-	-	1940
= Keizersveer	1979	0,08	1,25	5,46	+0,05	0,09	1240
Capelse Veer	1980	0,14	1,35	6,81	+0,01	0,14	1400
$H_{\text{NAP}} = 5,46$ m	1981	0,22	1,55	7,01	-	0,22	1260
	1982	0,22	1,40	6,86	-	0,22	1320
	1984(M)	0,10	1,65	7,11	-0,09	0,09	2270
	1984(D)	0,03	1,65	7,11	-0,09	0,03	2270
5 + 6	1970	0,10	-	-	-	-	
= Capelse Veer	1979	0,10	1,60	7,23	-0,05	0,09	
Heesbeen	1980	0,10	1,82	7,55	-0,03	0,10	
$H_{\text{NAP}} = 5,73$ m	1981	0,10	1,87	7,60	-	0,10	
	1982	0,10	1,87	7,60	-0,05	0,10	
	1984(M)	0,10	2,38	8,11	-0,08	0,09	
	1984(D)	0,03	2,38	8,11	-0,08	0,03	
7 + 8	1970	0,20	3,48	8,74	+0,04	0,18	
= Heesbeen	1979	0,20	2,38	7,64	+0,02	0,20	
Hedel	1980	0,20	2,70	7,96	-	0,20	
$H_{\text{NAP}} = 5,26$ m	1981	0,20	2,58	7,84	-	0,20	
	1982	0,20	2,68	7,94	-	0,20	
	1984(M)	0,20	3,62	8,88	-0,04	0,13	
	1984(D)	0,08	3,62	8,88	-0,04	0,08	
9 + 10 + 11	1970	0,25	4,88	8,73	-	0,22	
= Hedel	1979	0,25	3,72	7,57	-	0,25	
Lith	1980	0,25	4,10	7,95	-	0,26	
$H_{\text{NAP}} = 3,85$ m	1981	0,25	3,82	7,67	-	0,26	
	1982	0,25	3,93	7,78	-	0,25	
	1984(M)	0,25	5,08	8,93	-	0,18	
	1984(D)	0,15	5,08	8,93	-	0,15	

Tabel 19 k_g -waarden van het zomerbed van de Maas en de Bergsche Maas uit WAQUA-ijkingen

Opm.: De toevoeging (M) en (D) refereert aan twee WAQUA-ijkingen voor het hoogwater van februari 1984

rivier	vak	\bar{x}_3 (m)	$\bar{x} + \sigma$ (m)	\bar{x} (m)	keuze (m)
Bo Merw	53	0,264	0,272	0,21	0,27
	52	0,561	0,587	0,51	0,57
Be Merw	51	0,366	0,391	0,31	0,38
	50	0,340	0,364	0,30	0,35
	49	0,117	0,119	0,07	0,12
	48	0,120	0,129	0,08	0,12
Ni Merw	104	0,351	0,420	0,28	0,39
	103	0,047	0,052	0,04	0,05
	102	0,071	0,078	0,06	0,07
	101	0,035	0,038	0,03	0,04
	100	-	-	-	0,04

Tabel 20 Berekening van k_{sz} -waarde bij MHW volgens
aanname $k_{sz} = \text{konstant}$

Opm.

\bar{x}_3 = gemiddelde k_{sz} -waarde van de 3 grootsten

\bar{x} = gemiddelde k_{sz} -waarde van opgetreden hoogwaters

σ = standaardafwijking van k_{sz} -waarde van opgetreden
hoogwaters

rivier	vak	D ₅₀ (μm)	D ₉₀ (μm)	D* (-)	θ_{cr} (-)	1983				MHW			
						h _w (m)	u (m/s)	θ' (-)	T (-)	h _w (m)	u (m/s)	θ' (-)	T (-)
Bo Merw	53	670	2300	12,83	0,0310	9,23	1,78	0,5001	15,1	11,06	2,08	0,6582	20,2
	52	500	1020	9,57	0,0330	8,72	1,60	0,4659	13,1	10,53	2,12	0,7891	22,9
Be Merw	51	550	1300	10,53	0,0316	7,31	1,45	0,3775	10,9	9,18	1,91	0,6262	18,8
	50	525	1805	10,05	0,0318	6,79	1,53	0,4780	14,0	8,48	2,03	0,8038	24,3
	49	475	835	9,09	0,0341	7,14	1,52	0,4426	12,0	8,54	2,08	0,8011	22,5
	48	475	855	9,09	0,0341	7,33	1,28	0,3137	8,2	8,36	1,83	0,6254	17,3
Ni Merw	104	420	645	8,04	0,0369	6,91	1,48	0,4546	11,3	8,88	1,81	0,6491	16,6
	103	340	490	6,51	0,0422	5,96	1,59	0,6331	14,0	7,93	1,71	0,6950	15,5
	102	310	450	5,93	0,0448	5,53	1,54	0,6501	13,5	7,34	1,82	0,8623	18,2
	101	300	450	5,74	0,0457	4,79	1,51	0,6634	13,5	6,15	1,78	0,8801	18,3

Tabel 21 Hydraulische en morfologische parameters van de Merweden voor hoogwater 1983 en de geschatte extreem hoogwatersituatie

rivier	vak	(H/L) ₁₉₈₃	\bar{h}_{1983} (m)	\bar{h}_{MHW} (m)	{25-T _{MHW} }	{25-T ₁₉₈₃ }	(H/L) _{MHW}	α_k	k ₁	k ₂ = $\alpha_k \cdot k_1$
Bo Merw	53	0,06	9,23	11,06	5,0*	9,9	0,029	0,80	0,27	0,21
	52	0,06	8,72	10,53	5,0*	11,9	0,024	0,70	0,57	0,40
Be Merw	51	0,06	7,31	9,18	6,2	14,1	0,025	0,75	0,38	0,29
	50	0,06	6,79	8,48	5,0*	11,0	0,026	0,77	0,35	0,27
	49	0,05	7,14	8,54	5,0*	13,0	0,018	0,43	0,12	0,05
Ni Merw	48	0,04	7,33	8,36	7,7	16,8	0,018	0,65	0,12	0,08
	104	0,04	6,91	8,88	8,4	13,7	0,023	0,89	0,39	0,35
	103	0,04	5,96	7,93	9,5	11,0	0,032	1,16	0,05	0,06
	102	0,04	5,53	7,34	6,8	11,5	0,022	0,89	0,07	0,06
	101	0,04	4,79	6,15	6,7	11,5	0,022	0,86	0,04	0,03
	100	0,06	-	-	-	-	-	-	0,04	0,03

Tabel 22 Berekening van k_{sz} -waarde bij MHW uit ontwikkeling van beddingvormen

Opm. * indien $T > 20$, $T = 20$ ingevoerd

rivier	vak	k_{MHW} (konservatief) (m)	k_{MHW} (optimistisch) (m)
Bo Merw	53	0,27	0,21
	52	0,57	0,40
Be Merw	51	0,38	0,29
	50	0,35	0,27
	49	0,12	0,05
Ni Merw	48	0,12	0,08
	104	0,39	0,35
	103	0,06	0,05
	102	0,07	0,06
	101	0,04	0,03
	100	0,04	0,03

Tabel 23 Konservatieve en optimistische schatting van k_{sz} -waarden voor Merweden bij extreem hoogwater

Vak 52

h_w	k_{sz}	C_z^*	k_{sw}	C_w^*	C
3,50	0,57	40,49	0,20	35,15	43,85
4,00	0,57	40,91	0,20	37,38	44,83
4,50	0,57	41,31	0,20	39,11	45,78
5,00	0,57	41,68	0,20	40,51	46,71
5,50	0,57	42,04	0,20	41,70	47,62
6,00	0,57	42,38	0,20	42,72	48,48

Vak 53

w	k_{sz}	C_z^*	k_{sw}	C_w^*	C
4,00	0,27	46,45	0,20	35,28	49,93
4,50	0,27	46,86	0,20	37,49	51,40
5,00	0,27	47,24	0,20	39,20	52,84
5,50	0,27	47,61	0,20	40,60	54,14
6,00	0,27	47,96	0,20	41,78	55,38
6,50	0,27	48,29	0,20	42,81	56,52
7,00	0,27	48,61	0,20	43,71	57,59

Vak 48

h_w	k_{sz}	C_z^*	k_{sw}	C_w^*	C
1,50	0,12	52,00	0,20	0,00	56,16
2,00	0,12	52,41	0,20	0,00	56,34
2,50	0,12	52,80	0,20	0,00	56,52
3,00	0,12	53,17	0,20	0,00	56,71
3,50	0,12	53,54	0,20	0,00	56,90

Vak 49

h_w	k_{sz}	C_z^*	k_{sw}	C_w^*	C
2,00	0,12	52,07	0,20	26,55	56,06
2,50	0,12	52,51	0,20	24,03	56,14
3,00	0,12	52,92	0,20	30,80	56,77
3,50	0,12	53,31	0,20	34,35	57,61
4,00	0,12	53,68	0,20	36,76	58,60

Vak 50

h_w	k_{sz}	C_z^*	k_{sw}	C_w^*	C
2,00	0,35	42,75	0,20	21,23	43,59
2,50	0,35	43,25	0,20	24,34	43,88
3,00	0,35	43,71	0,20	26,31	44,18
3,50	0,35	44,15	0,20	27,39	44,72
4,00	0,35	44,56	0,20	30,64	46,43
4,50	0,35	44,94	0,20	34,28	49,39
5,00	0,35	45,31	0,20	36,75	52,76

Vak 51

h_w	k_{sz}	C_z^*	k_{sw}	C_w^*	C
2,50	0,38	42,38	0,20	27,20	43,08
3,00	0,38	42,86	0,20	30,06	43,40
3,50	0,38	43,30	0,20	23,63	43,49
4,00	0,38	43,72	0,20	28,29	44,74
4,50	0,38	44,11	0,20	32,89	47,24
5,00	0,38	44,48	0,20	35,76	50,27
5,50	0,38	44,84	0,20	37,85	53,56

Vak 100

h_w	k_{sz}	C_z^*	k_{sw}	C_w^*	C
1,50	0,04	58,05	0,20	32,20	57,09
2,00	0,04	58,71	0,20	35,26	57,44
2,50	0,04	59,31	0,20	36,96	57,78
3,00	0,04	59,86	0,20	38,30	58,09
3,50	0,04	60,38	0,20	39,72	58,40
4,00	0,04	60,86	0,20	41,01	58,72

Vak 101

h_w	k_{sz}	C_z^*	k_{sw}	C_w^*	C
1,50	0,04	57,38	0,20	28,06	56,69
2,00	0,04	58,09	0,20	30,35	57,39
2,50	0,04	58,73	0,20	34,09	58,99
3,00	0,04	59,33	0,20	36,60	59,90
3,50	0,04	59,87	0,20	38,49	60,28
4,00	0,04	60,39	0,20	40,01	60,63

Vak 102

w	k_{sz}	C_z^*	k_{sw}	C_w^*	C
2,00	0,07	53,86	0,20	34,83	56,30
2,50	0,07	54,48	0,20	24,88	56,32
3,00	0,07	55,06	0,20	28,58	56,85
3,50	0,07	55,59	0,20	33,05	58,13
4,00	0,07	56,09	0,20	35,87	59,74
4,50	0,07	56,55	0,20	37,93	61,48
5,00	0,07	56,99	0,20	39,56	63,25

Vak 103

h_w	k_{sz}	C_z^*	k_{sw}	C_w^*	C
2,50	0,06	55,30	0,20	30,55	54,83
3,00	0,06	55,89	0,20	31,77	55,89
3,50	0,06	56,43	0,20	35,01	57,81
4,00	0,06	56,93	0,20	37,29	59,88
4,50	0,06	57,41	0,20	39,05	61,97
5,00	0,06	57,85	0,20	40,48	64,00
5,50	0,06	58,27	0,20	41,69	65,96

Vak 104

h_w	k_{sz}	C_z^*	k_{sw}	C_w^*	C
3,00	0,39	42,15	0,20	35,17	41,26
3,50	0,39	42,65	0,20	37,39	41,78
4,00	0,39	43,11	0,20	39,10	42,31
4,50	0,39	43,55	0,20	40,49	42,83
5,00	0,39	43,96	0,20	41,67	43,34
5,50	0,39	44,34	0,20	42,68	43,83
6,00	0,39	44,71	0,20	43,57	44,30

Tabel 24 Berekening van C-waarde ZWENDL voor MHW, konservatieve schatting

Vak 52							Vak 100						
h_w	k_{sz}	C_z^*	k_{sw}	C_w^*	C		h_w	k_{sz}	C_z^*	k_{sw}	C_w^*	C	
3,50	0,40	43,26	0,20	35,15	46,66		1,50	0,03	60,30	0,20	32,20	59,27	
4,00	0,40	43,68	0,20	37,38	47,59		2,00	0,03	60,95	0,20	35,26	59,58	
4,50	0,40	44,07	0,20	39,11	48,49		2,50	0,03	61,55	0,20	36,96	59,89	
5,00	0,40	44,45	0,20	40,51	49,37		3,00	0,03	62,11	0,20	38,30	60,17	
5,50	0,40	44,81	0,20	41,70	50,24		3,50	0,03	62,63	0,20	39,72	60,45	
6,00	0,40	45,15	0,20	42,72	51,06		4,00	0,03	63,11	0,20	41,01	60,74	
Vak 53							Vak 101						
h_w	k_{sz}	C_z^*	k_{sw}	C_w^*	C		h_w	k_{sz}	C_z^*	k_{sw}	C_w^*	C	
4,00	0,21	48,41	0,20	35,28	51,84		1,50	0,03	59,63	0,20	28,06	58,89	
4,50	0,21	48,82	0,20	37,49	53,27		2,00	0,03	60,34	0,20	30,25	59,56	
5,00	0,21	49,21	0,20	39,20	54,67		2,50	0,03	60,98	0,20	34,09	61,15	
5,50	0,21	49,58	0,20	40,60	55,93		3,00	0,03	61,57	0,20	36,60	62,02	
6,00	0,21	49,92	0,20	41,78	57,12		3,50	0,03	62,12	0,20	38,49	62,35	
6,50	0,21	50,25	0,20	42,81	58,22		4,00	0,03	62,64	0,20	40,01	62,65	
7,00	0,21	50,57	0,20	43,71	59,25								
Vak 48							Vak 102						
h_w	k_{sz}	C_z^*	k_{sw}	C_w^*	C		h_w	k_{sz}	C_z^*	k_{sw}	C_w^*	C	
1,50	0,08	55,17	0,20	0,00	59,59		2,00	0,06	55,07	0,20	34,83	57,54	
2,00	0,08	55,58	0,20	0,00	59,75		2,50	0,06	55,69	0,20	24,88	57,56	
2,50	0,08	55,97	0,20	0,00	59,92		3,00	0,06	56,26	0,20	28,58	58,05	
3,00	0,08	56,34	0,20	0,00	60,09		3,50	0,06	56,80	0,20	33,05	59,30	
3,50	0,08	56,71	0,20	0,00	60,27		4,00	0,06	57,29	0,20	35,87	60,88	
							4,50	0,06	57,76	0,20	37,93	62,59	
							5,00	0,06	58,19	0,20	39,56	64,33	
Vak 49							Vak 103						
h_w	k_{sz}	C_z^*	k_{sz}	C_w^*	C		h_w	k_{sz}	C_z^*	k_{sw}	C_w^*	C	
2,00	0,05	58,92	0,20	26,55	63,41		2,50	0,05	56,72	0,20	30,55	56,19	
2,50	0,05	59,36	0,20	24,03	63,43		3,00	0,05	57,31	0,20	31,77	57,23	
3,00	0,05	59,77	0,20	30,80	63,97		3,50	0,05	57,85	0,20	35,01	59,12	
3,50	0,05	60,15	0,20	34,35	64,73		4,00	0,05	58,36	0,20	37,29	61,15	
4,00	0,05	60,52	0,20	36,76	65,63		4,50	0,05	58,83	0,20	39,05	63,21	
							5,00	0,05	59,28	0,20	40,48	65,22	
							5,50	0,05	59,69	0,20	41,69	67,15	
Vak 50							Vak 104						
h_w	k_{sz}	C_z^*	k_{sw}	C_w^*	C		h_w	k_{sz}	C_z^*	k_{sw}	C_w^*	C	
2,00	0,27	44,78	0,20	21,23	45,66		3,00	0,35	43,00	0,20	35,17	42,05	
2,50	0,27	45,28	0,20	24,34	45,94		3,50	0,35	43,50	0,20	37,39	42,55	
3,00	0,27	45,74	0,20	26,31	46,21		4,00	0,35	43,96	0,20	39,10	43,06	
3,50	0,27	46,18	0,20	27,39	46,72		4,50	0,35	44,39	0,20	40,49	43,57	
4,00	0,27	46,58	0,20	30,64	48,41		5,00	0,35	44,80	0,20	41,67	44,07	
4,50	0,27	46,97	0,20	34,28	51,34		5,50	0,35	45,19	0,20	42,68	44,55	
5,00	0,27	47,33	0,20	36,75	54,69		6,00	0,35	45,56	0,20	43,57	45,01	
Vak 51													
h_w	k_{sz}	C_z^*	k_{sw}	C_w^*	C								
2,50	0,29	44,49	0,20	27,20	45,23								
3,00	0,29	44,97	0,20	30,06	45,53								
3,50	0,29	45,41	0,20	23,63	45,59								
4,00	0,29	45,83	0,20	28,29	46,82								
4,50	0,29	46,23	0,20	32,89	49,29								
5,00	0,29	46,60	0,20	35,76	52,29								
5,50	0,29	46,95	0,20	37,85	55,55								

Tabel 25 Berekening van C-waarde ZWENDL voor MHW, optimistische schatting

rivier	vak	D ₅₀ (μm)	D ₉₀ (μm)	D _* (-)	θ_{cr} (-)	1984				MHW			
						h _w (m)	u (m/s)	θ' (-)	T (-)	h _w (m)	u (m/s)	θ' (-)	T (-)
Bergsche Maas Maas	3-4	0,303	0,489	5,80	0,0455	7,11	1,43	0,556	11,2	8,52	2,01	1,063	22,4
	5-6	0,340	0,640	6,51	0,0422	8,11	1,53	0,582	12,8	9,86	1,85	0,821	18,5
	7-8	0,425	0,779	8,13	0,0366	8,88	1,79	0,651	16,8	10,70	2,01	0,722	18,7
	9-10-11	0,407	0,823	7,79	0,0376	8,93	1,52	0,493	12,1	10,56	1,52	0,478	11,7

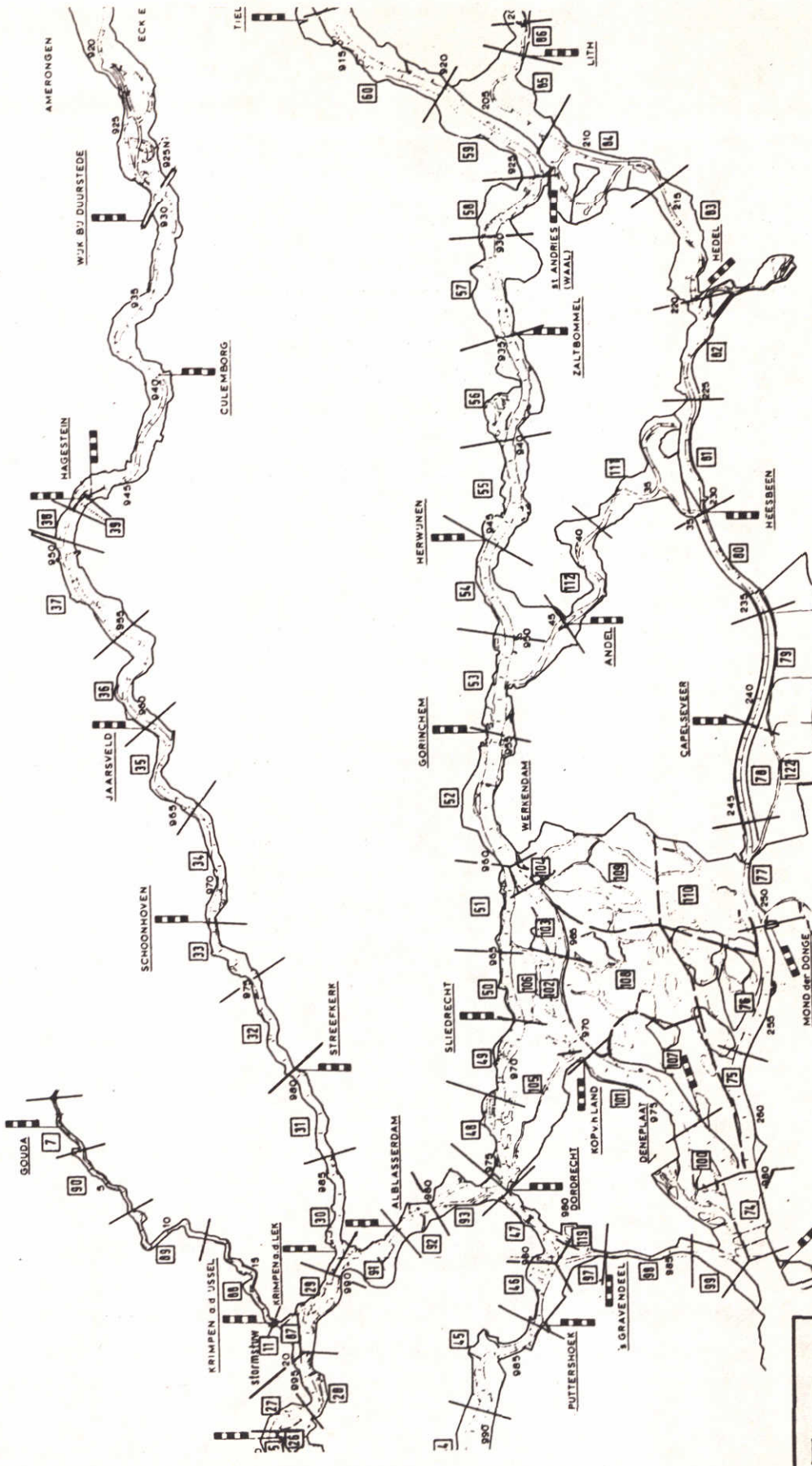
Tabel 26 Hydraulische en morfologische parameters van de Maas en de Bergsche Maas voor hoogwater februari 1984 en de geschatte extreem hoogwater situatie

rivier	vak	H/L	h ₁₉₈₄	h _{MHW}	(25-T _{MHW})	(25-T ₁₉₈₄)	H/L	α_k	k ₁	k ₂ = $\alpha_k k_1$	gekozen
Bergsche Maas	3-4	0,06	7,11	8,52	5,0	13,8	0,021	0,621	0,13	0,081	0,08
	5-6	0,06	8,11	9,86	6,5	12,2	0,030	0,826	0,10	0,083	0,08
Maas	7-8	0,06	8,88	10,70	6,3	8,2	0,044	0,804	0,17	0,138	0,14
	9-10-11	0,06	8,93	10,56	13,3	12,9	0,059	1,174	0,19	0,218	0,22


Tabel 27 Berekening van k_{sz}-waarde bij MHW uit ontwikkeling van beddingvormen voor de Maas en de Bergsche Maas


traject	k _{MHW} (konservatief) (m)	k _{MHW} (optimistisch) (m)
Mond der Donge - Capelse Veer	0,13	0,08
Capelse Veer - Heesbeen	0,10	0,08
Heesbeen - Hedel	0,17	0,14
Hedel - Lith	0,19	0,22

Tabel 28 Konservatieve en optimistische schatting van k_{sz}-waarden voor de Maas en de Bergsche Maas bij extreem hoogwater



LEGENDA

 = peilschaal

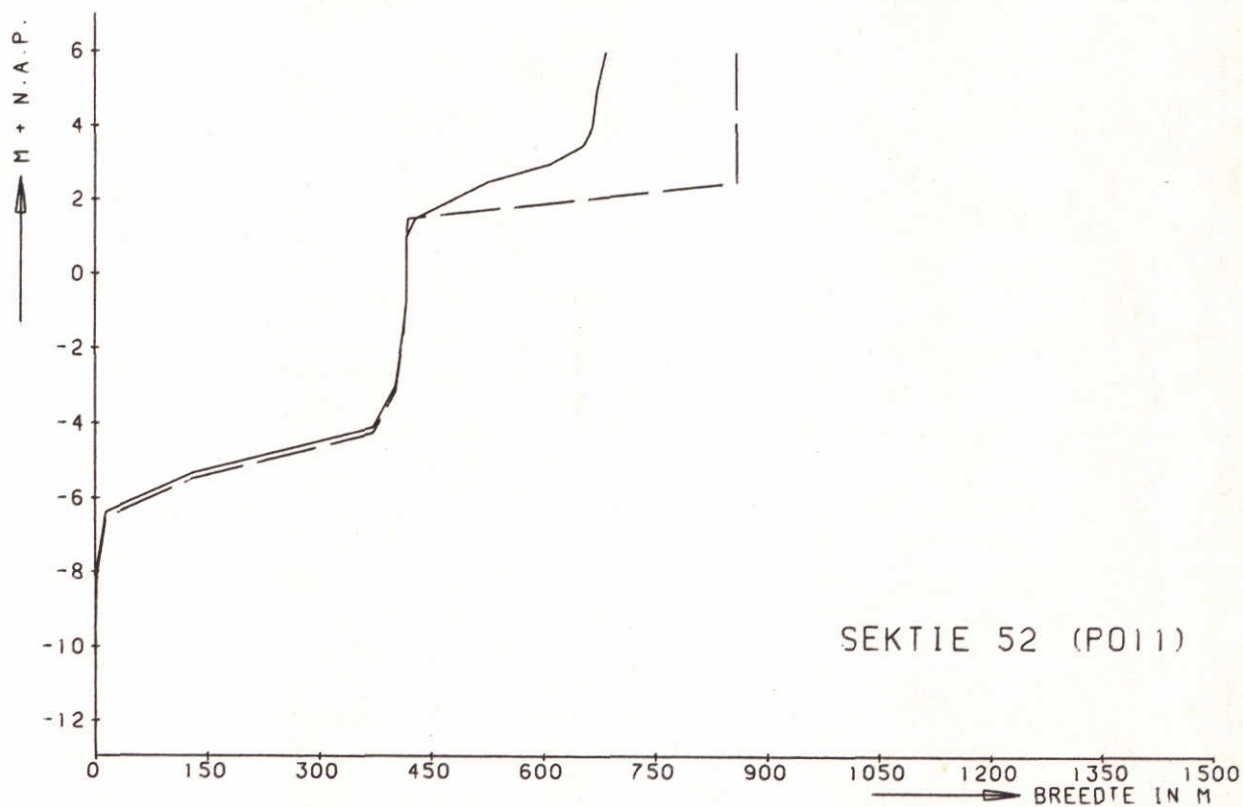
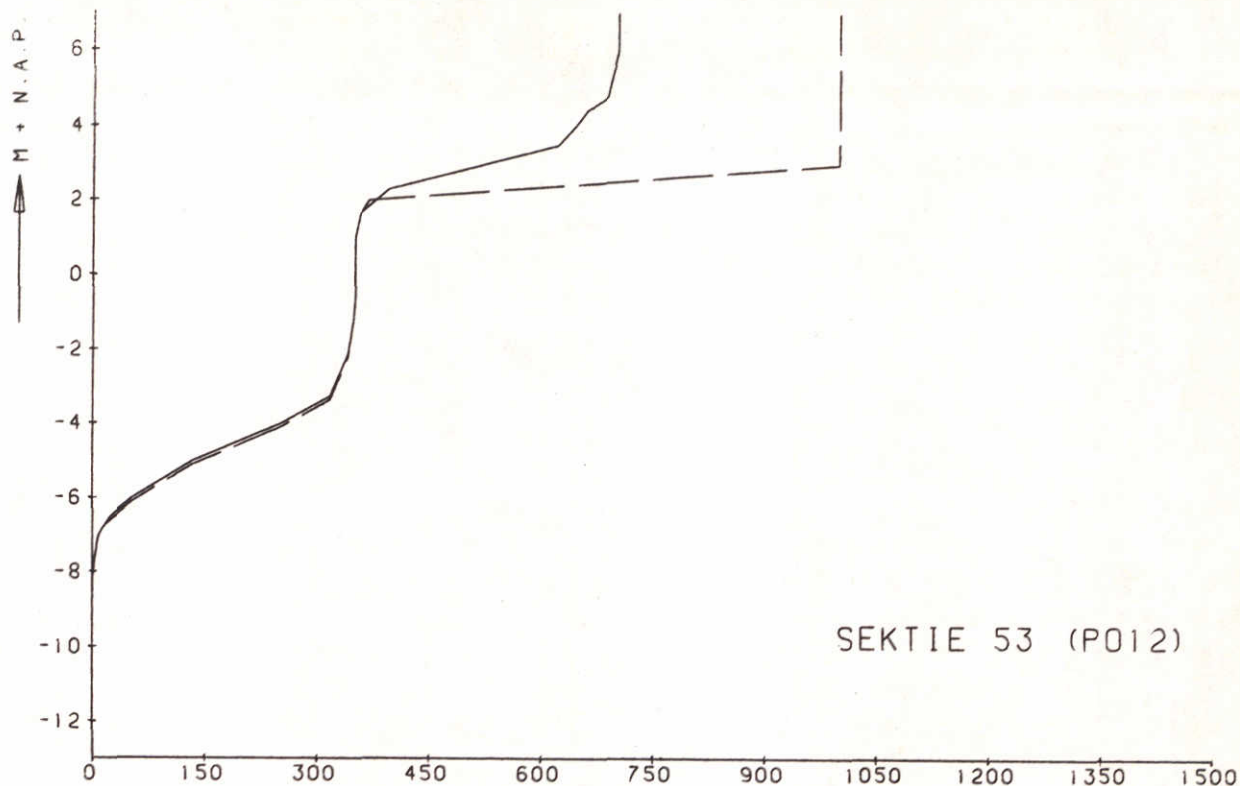
 = sektienr.

ZWENDL - SCHEMATISATIE VAN EEN DEEL
VAN HET NOORDELĲK DELTABEKKEN

WATERLOOPKUNDIG LABORATORIUM

R 2393

FIG. 1



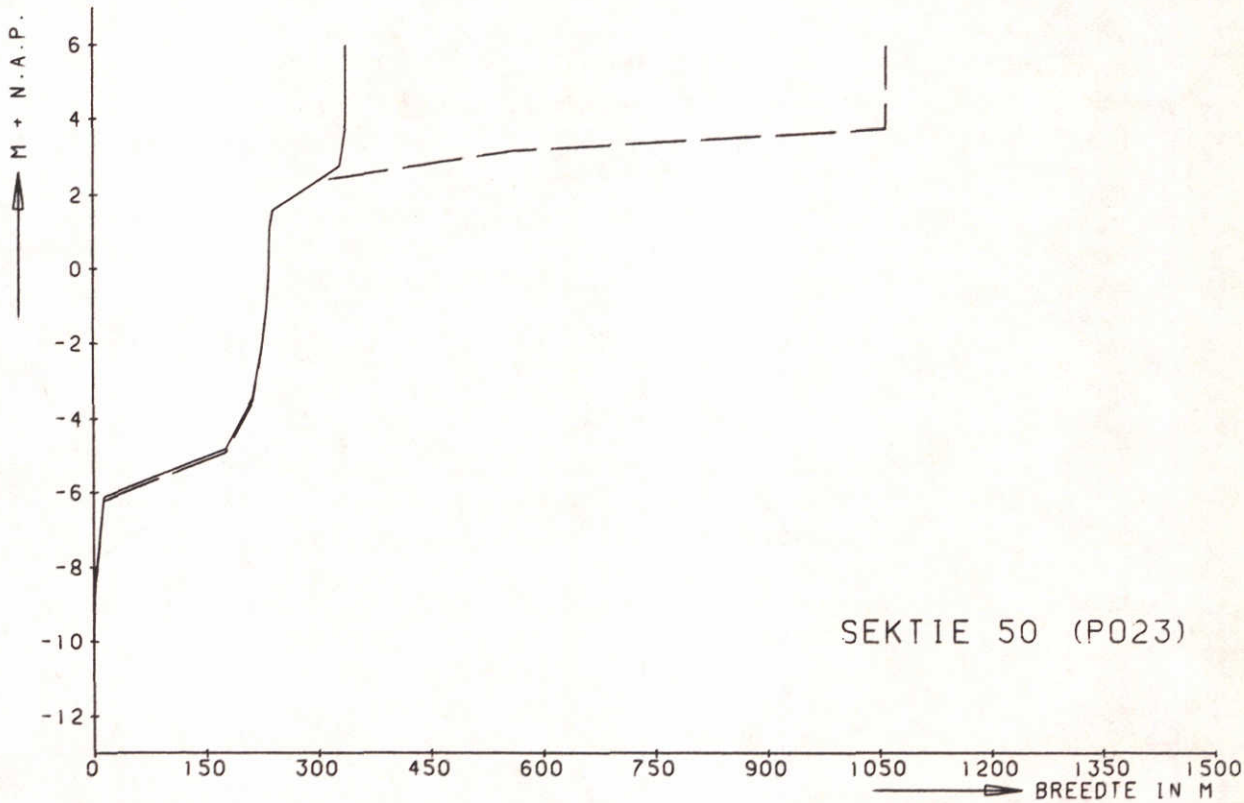
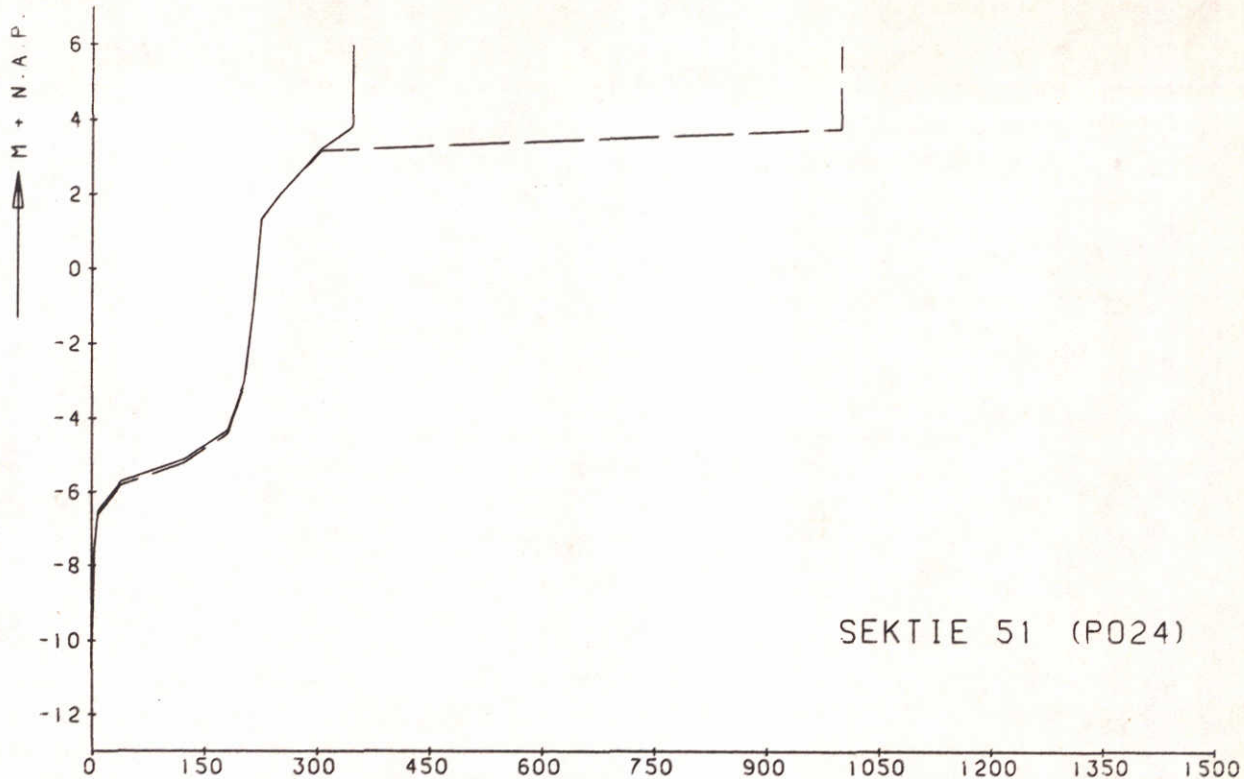
—— ZWENDL PROFIEL
 - - - - WL PROFIEL

VERGEL'IJKING TUSSEN ZWENDL - EN WL-PROFIELEN
 VOOR BOVEN MERWEDE

WATERLOOPKUNDIG LABORATORIUM

R 2393

FIG. 2



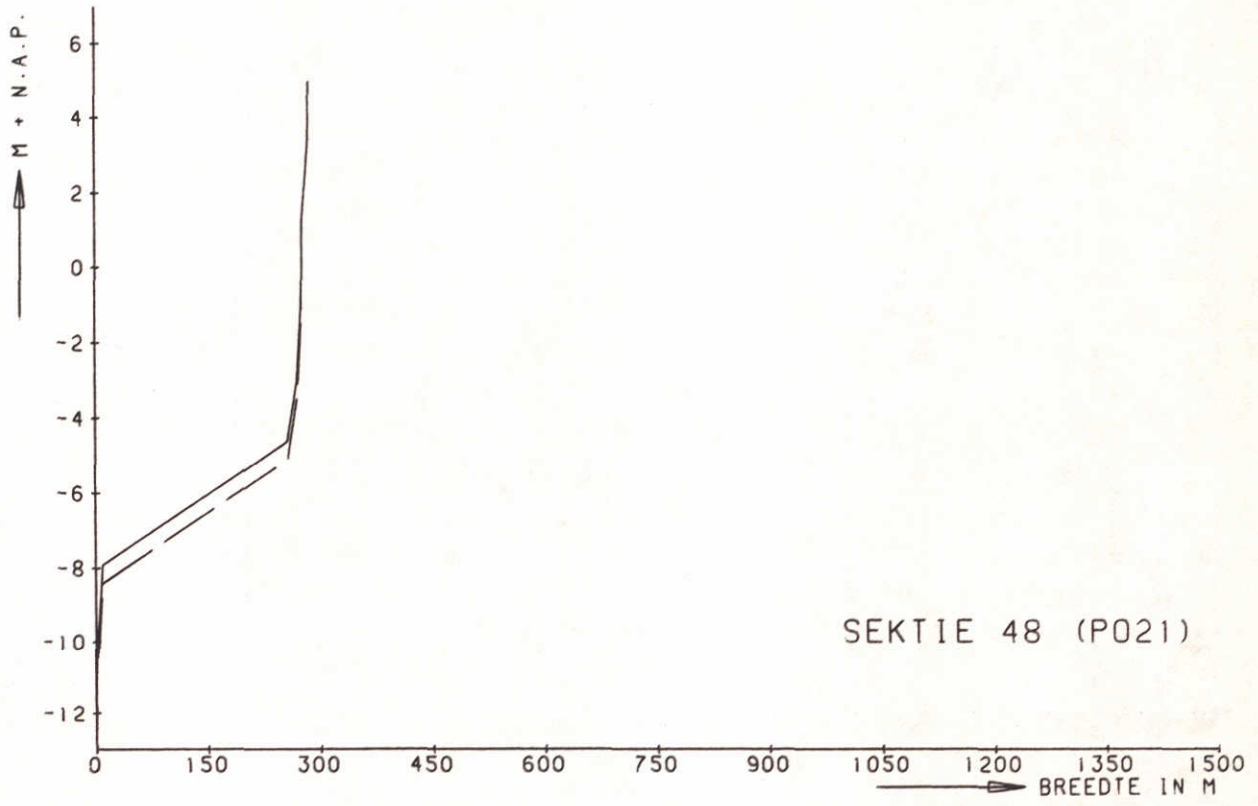
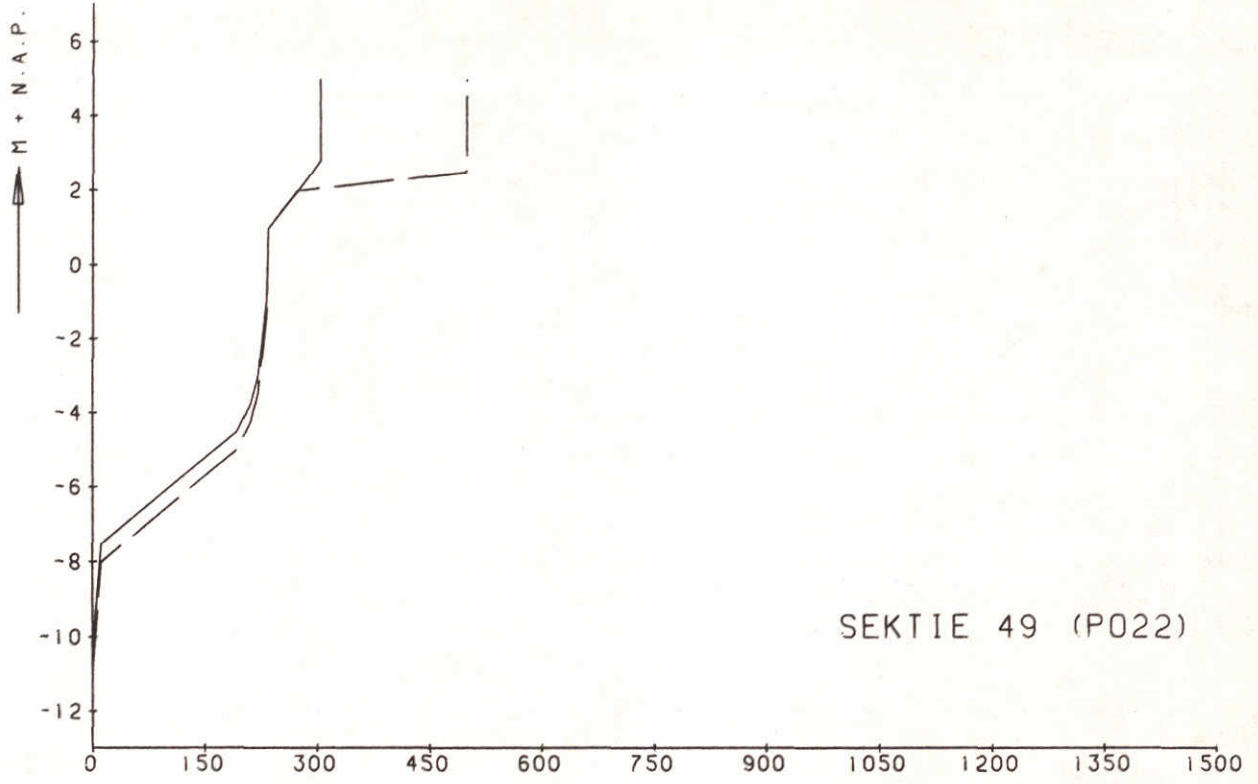
—— ZWENDL PROFIEL
 - - - - WL PROFIEL

VERGEL'JING TUSSEN ZWENDL-EN WL-PROFIELEN
 VOOR BENEDEN MERWEDE

WATERLOOPKUNDIG LABORATORIUM

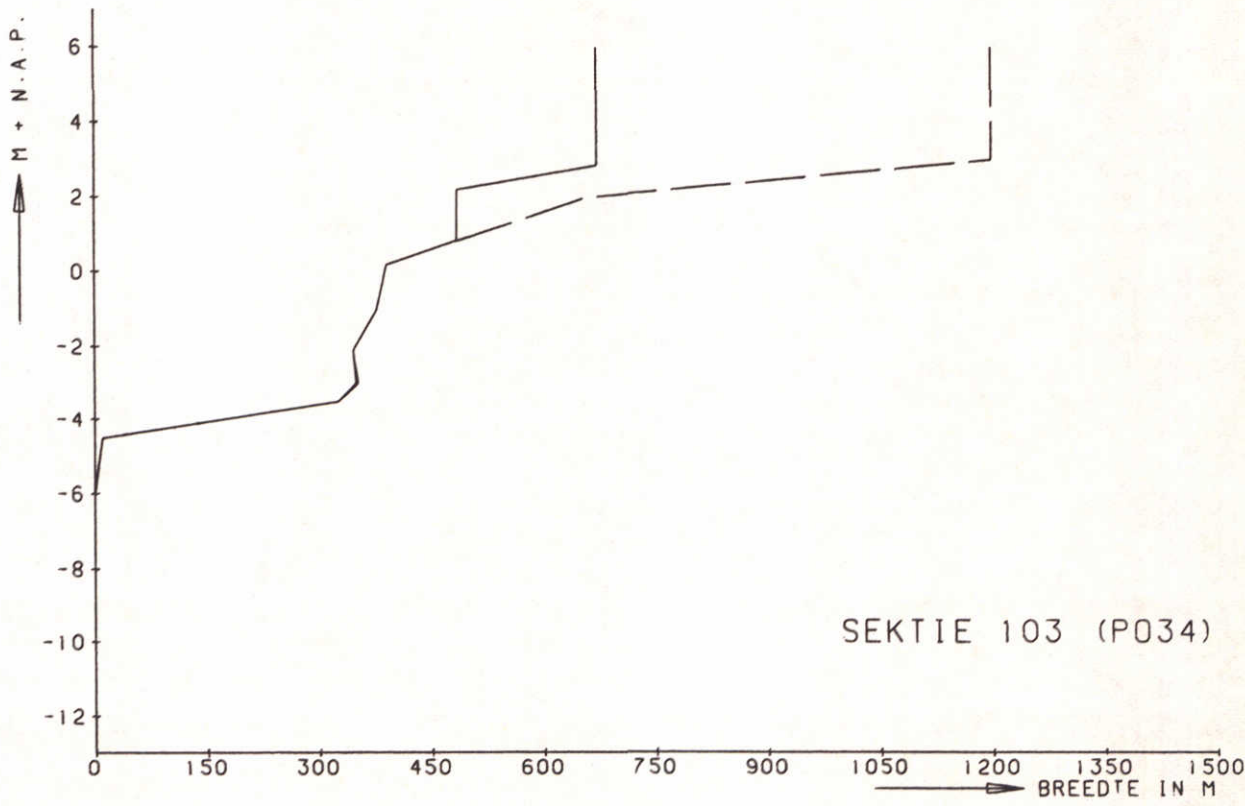
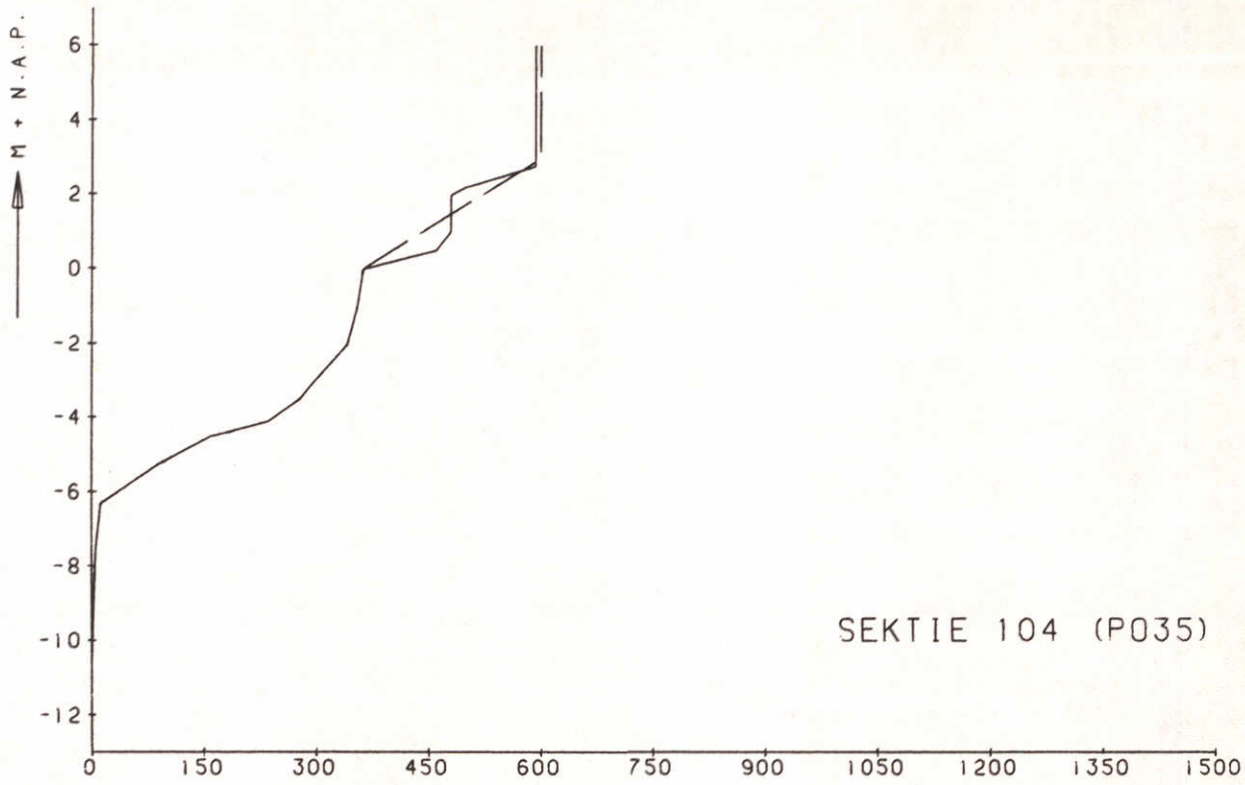
R 2393

FIG. 3



—— ZWENDL PROFIEL
 - - - - WL PROFIEL

VERGELIJKING TUSSEN ZWENDL-EN WL-PROFIELEN VOOR BENEDEN MERWEDE		
WATERLOOPKUNDIG LABORATORIUM	R 2393	FIG. 4



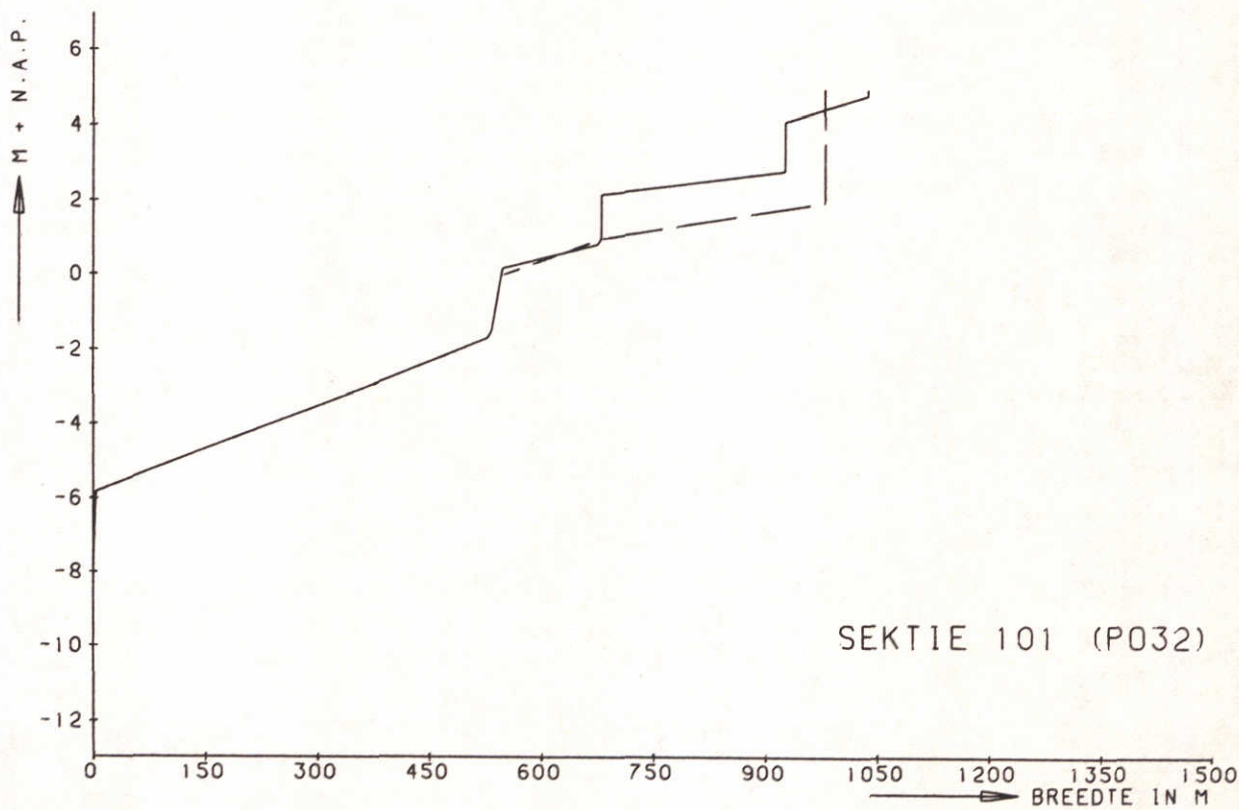
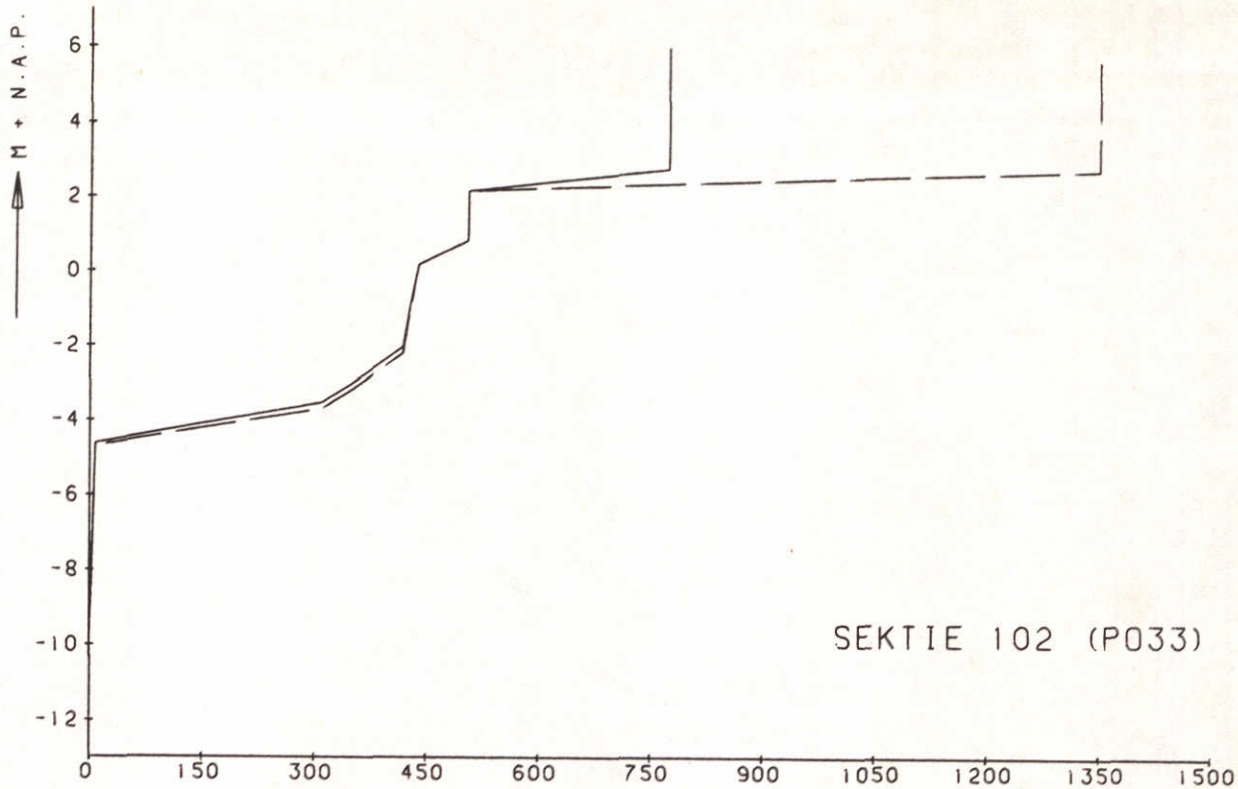
—— ZWENDL PROFIEL
 - - - WL PROFIEL

VERGELIJKING TUSSEN ZWENDL-EN WL-PROFIELEN
 VOOR NIEUWE MERWEDE

WATERLOOPKUNDIG LABORATORIUM

R 2393

FIG. 5



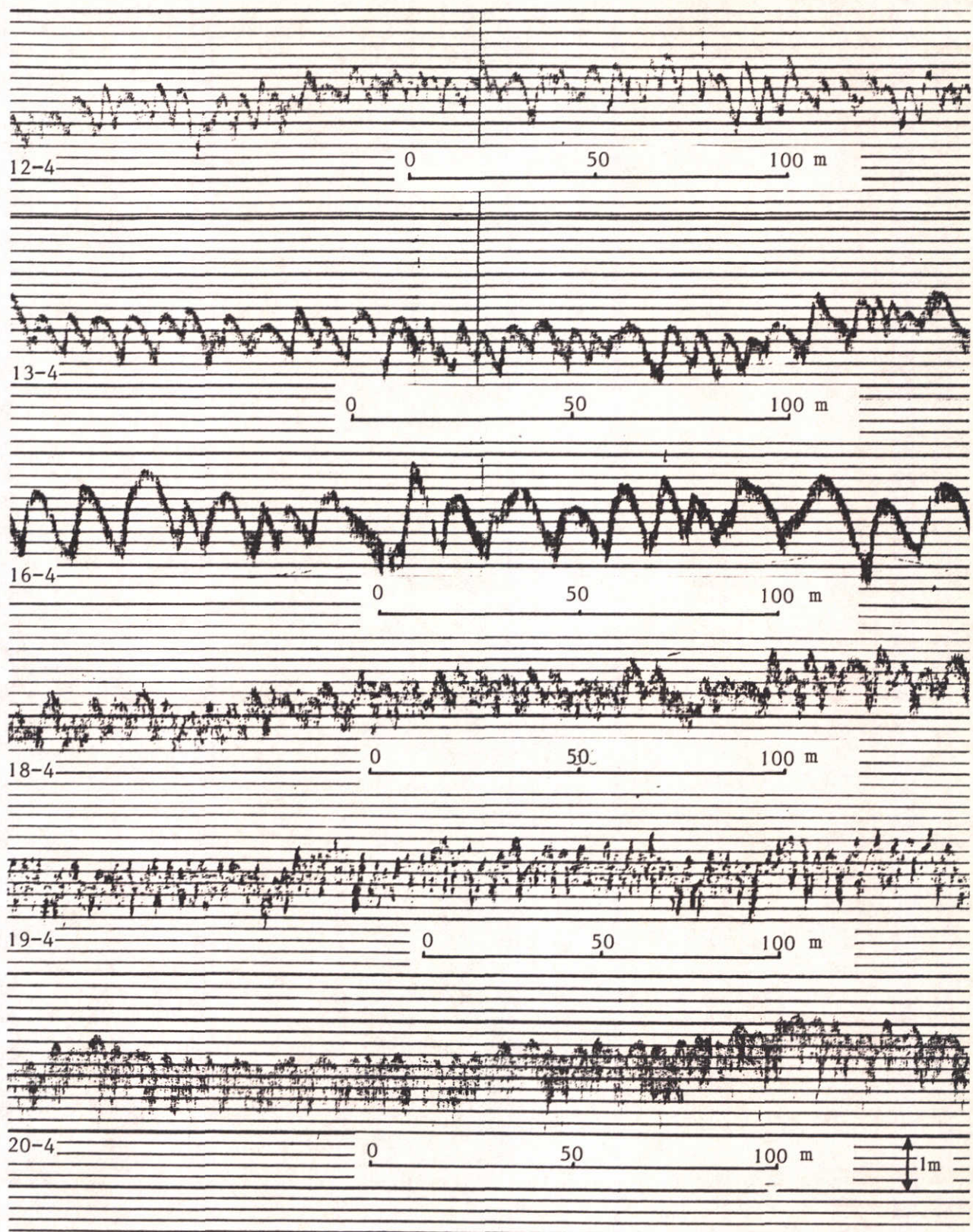
—— ZWENL PROFIEL
 - - - - WL PROFIEL

VERGELIJKING TUSSEN ZWENL - EN WL - PROFIELEN
 VOOR NIEUWE MERWEDE

WATERLOOPKUNDIG LABORATORIUM

R 2393

FIG. 6

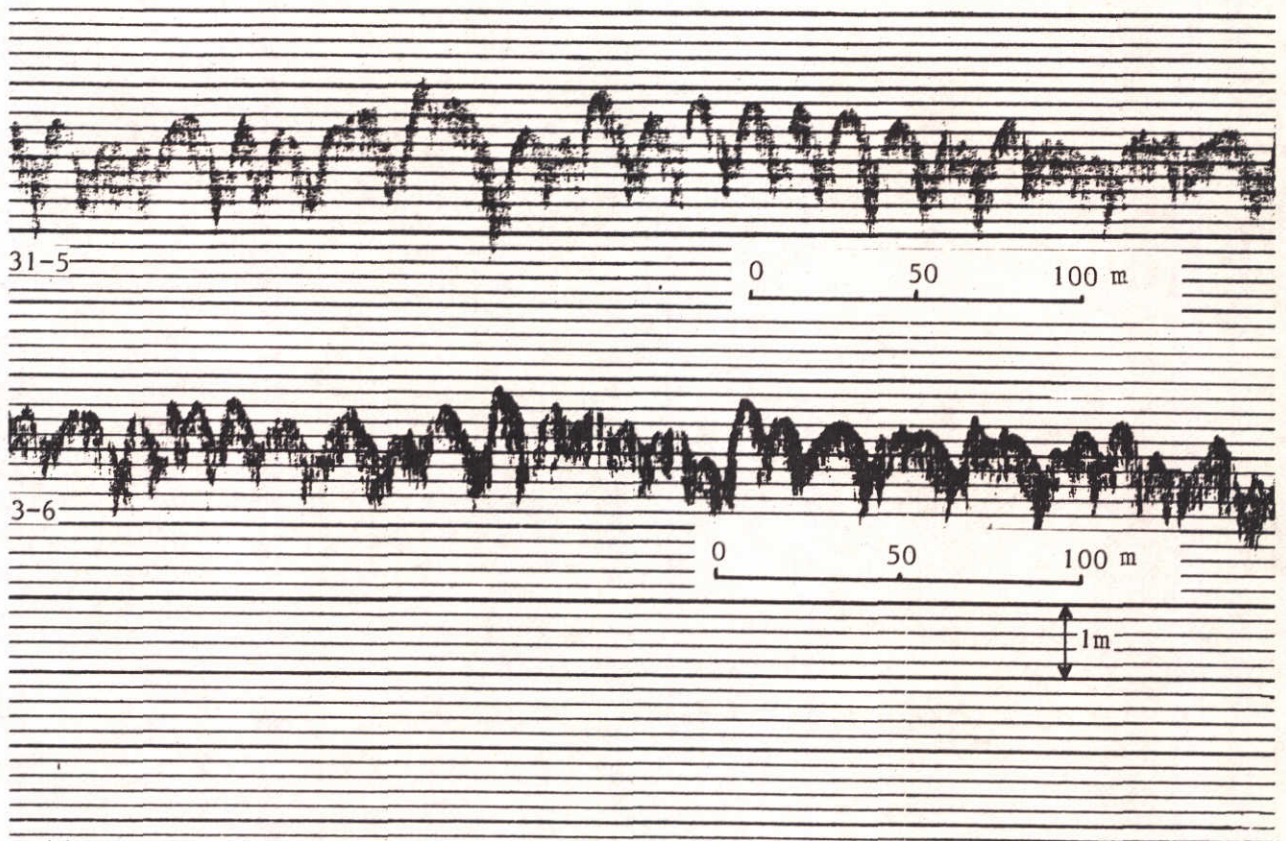


BODEMREGISTRATIES BOVEN MERWEDE
 HOOGWATER APRIL 1983, SEKTIE 52

WATERLOOPKUNDIG LABORATORIUM

R 2393

FIG. 7



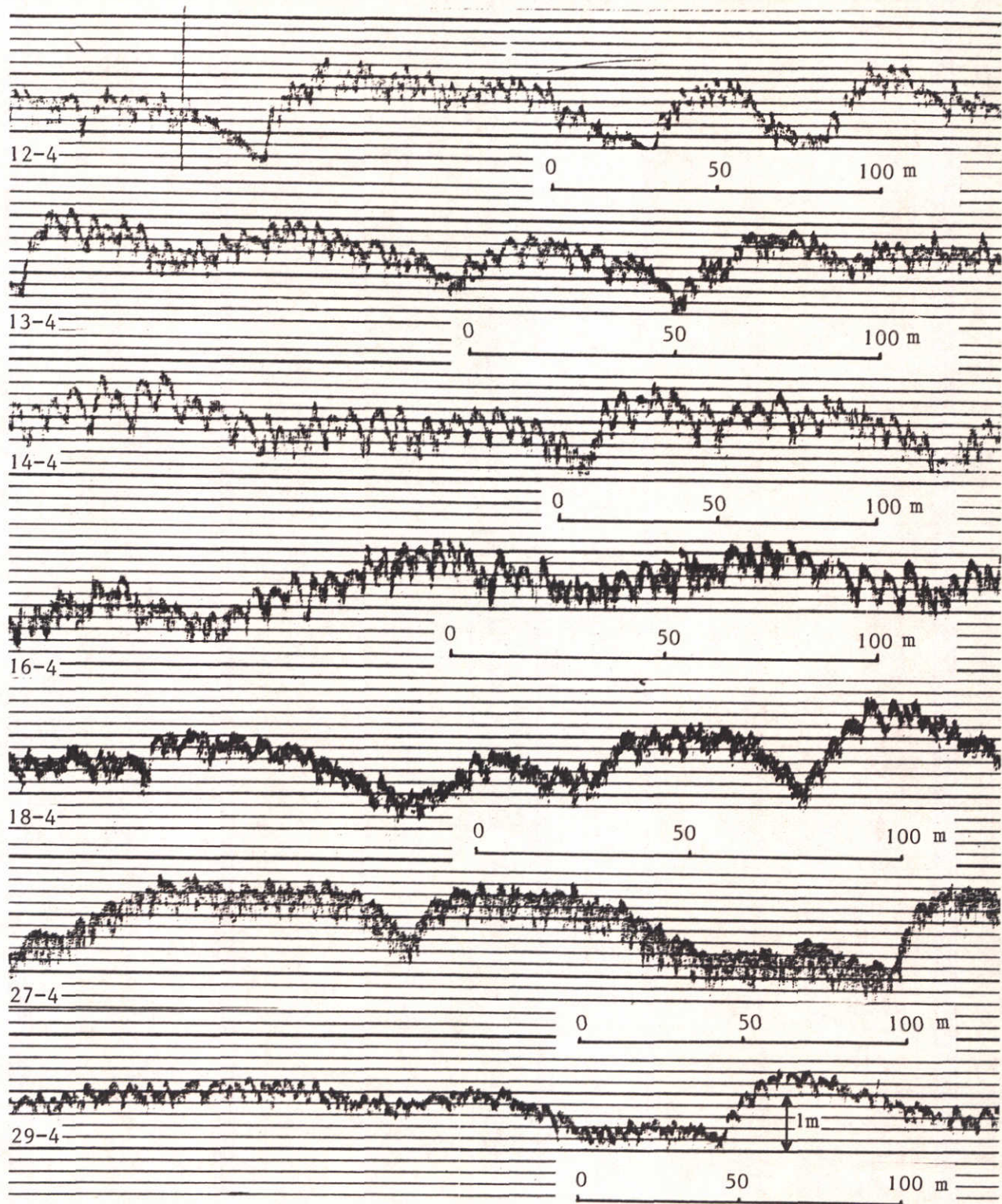
BODEMREGISTRATIES BOVEN MERWEDE

HOOGWATER JUNI 1983, SEKTIE 52

WATERLOOPKUNDIG LABORATORIUM

R 2393

FIG. 8

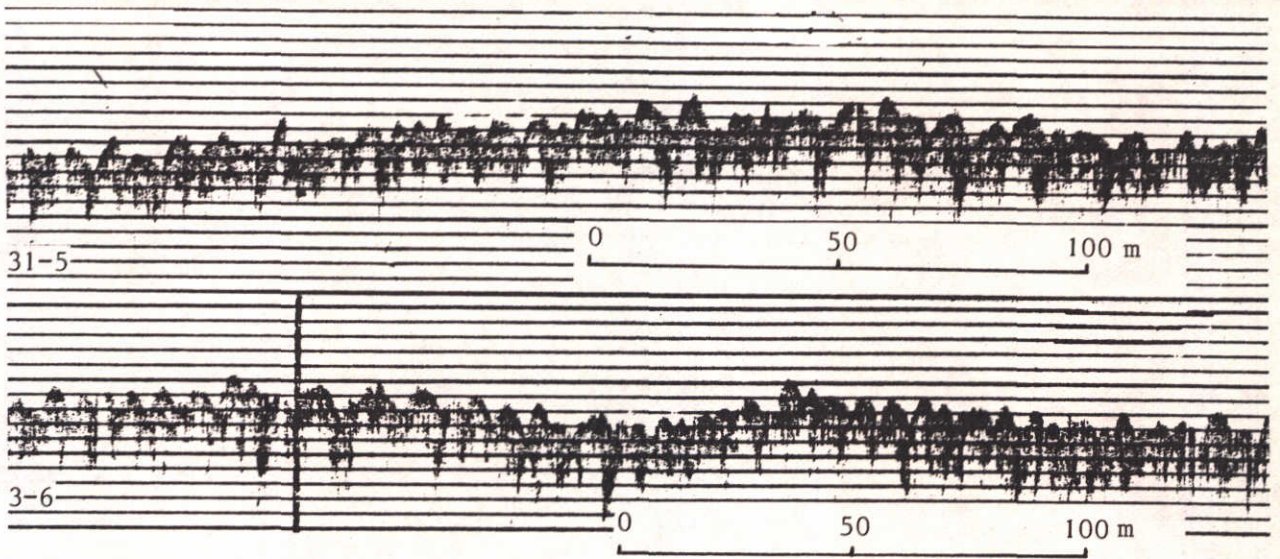


BODEMREGISTRATIES BENEDEN MERWEDE
 HOOGWATER APRIL 1983, SEKTIE 51

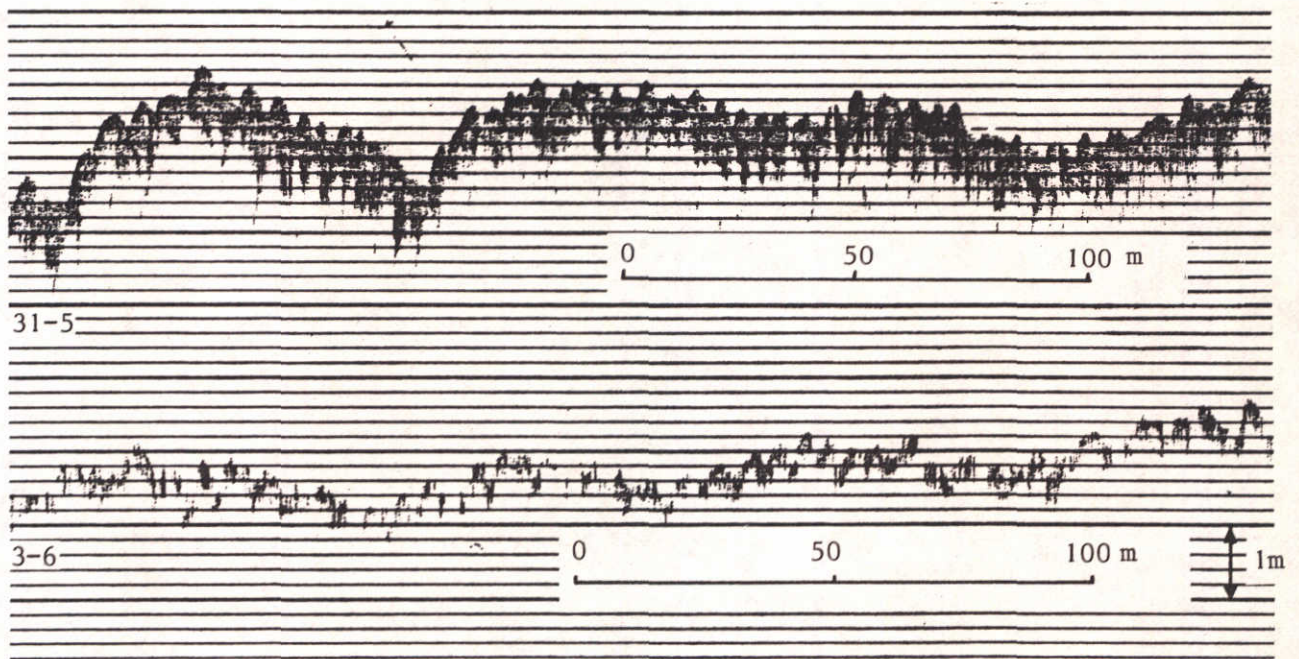
WATERLOOPKUNDIG LABORATORIUM

R 2393

FIG. 9



SEKTIE 50



SEKTIE 51

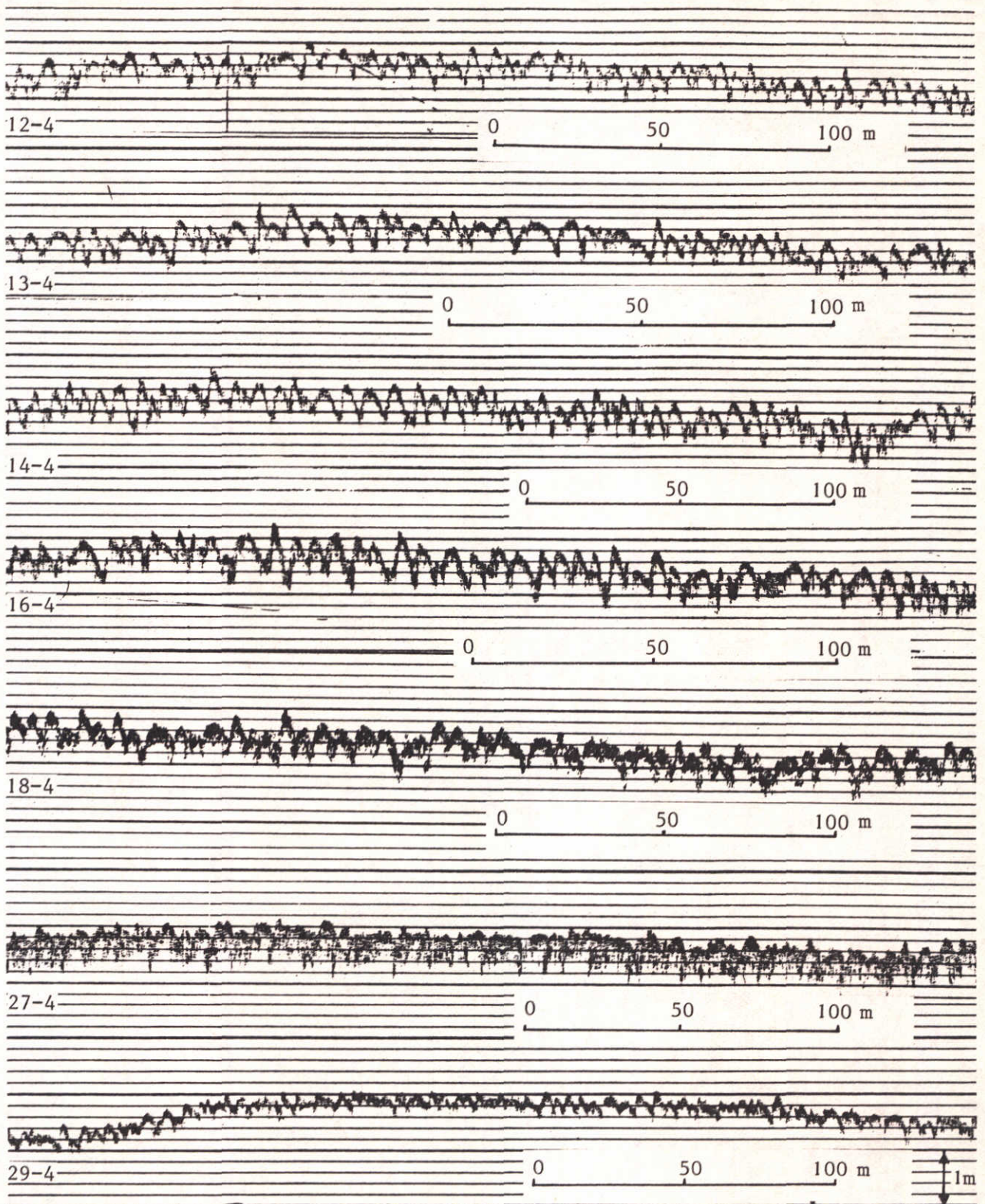
BODEMREGISTRATIES BENEDEN MERWEDE

HOOGWATER JUNI 1983, SEKTIE 50 EN 51

WATERLOOPKUNDIG LABORATORIUM

R 2393

FIG. 10

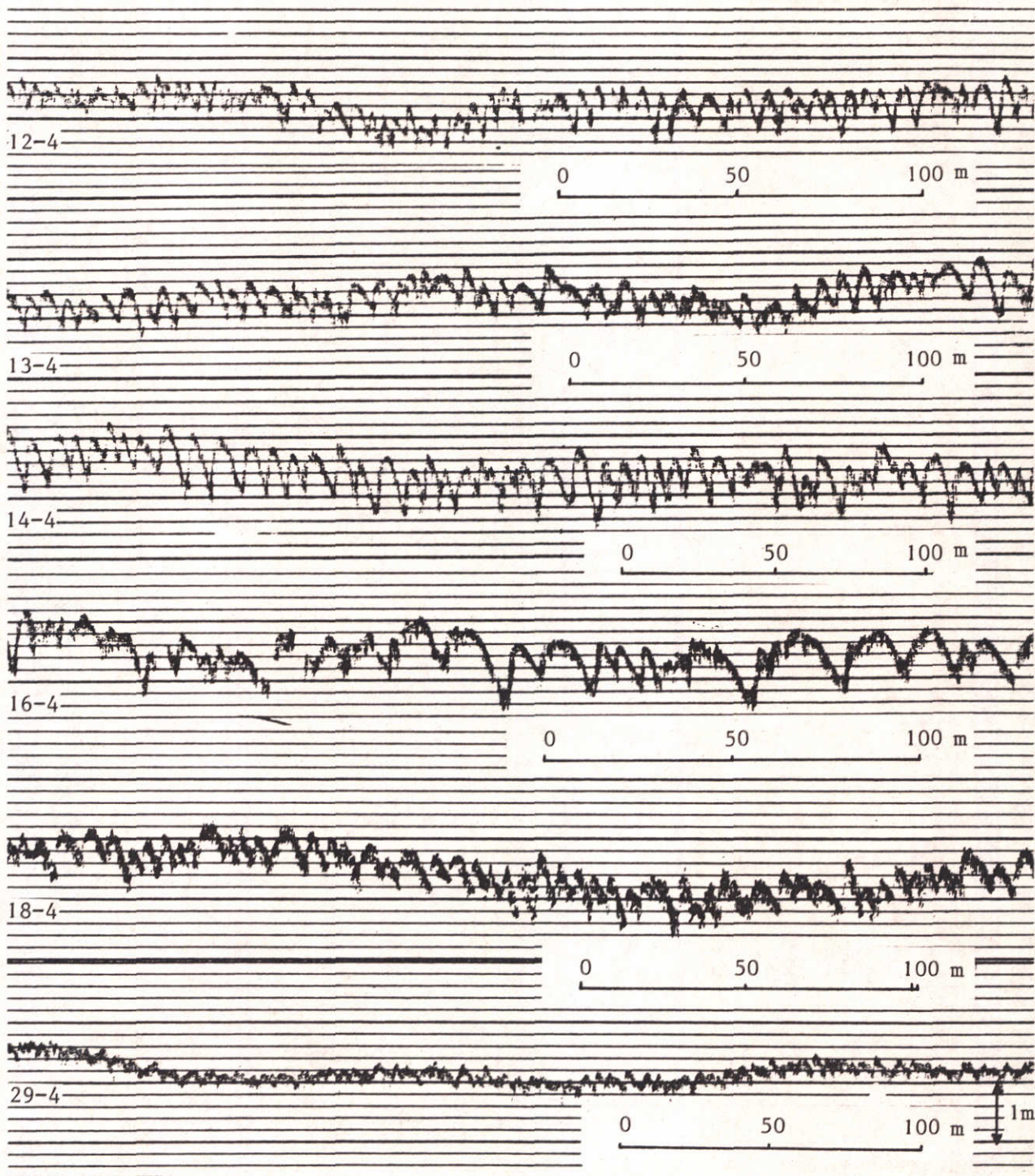


BODEMREGISTRATIES BENEDEN MERWEDE
 HOOGWATER APRIL 1983, SEKTIE 50

WATERLOOPKUNDIG LABORATORIUM

R 2393

FIG. 11

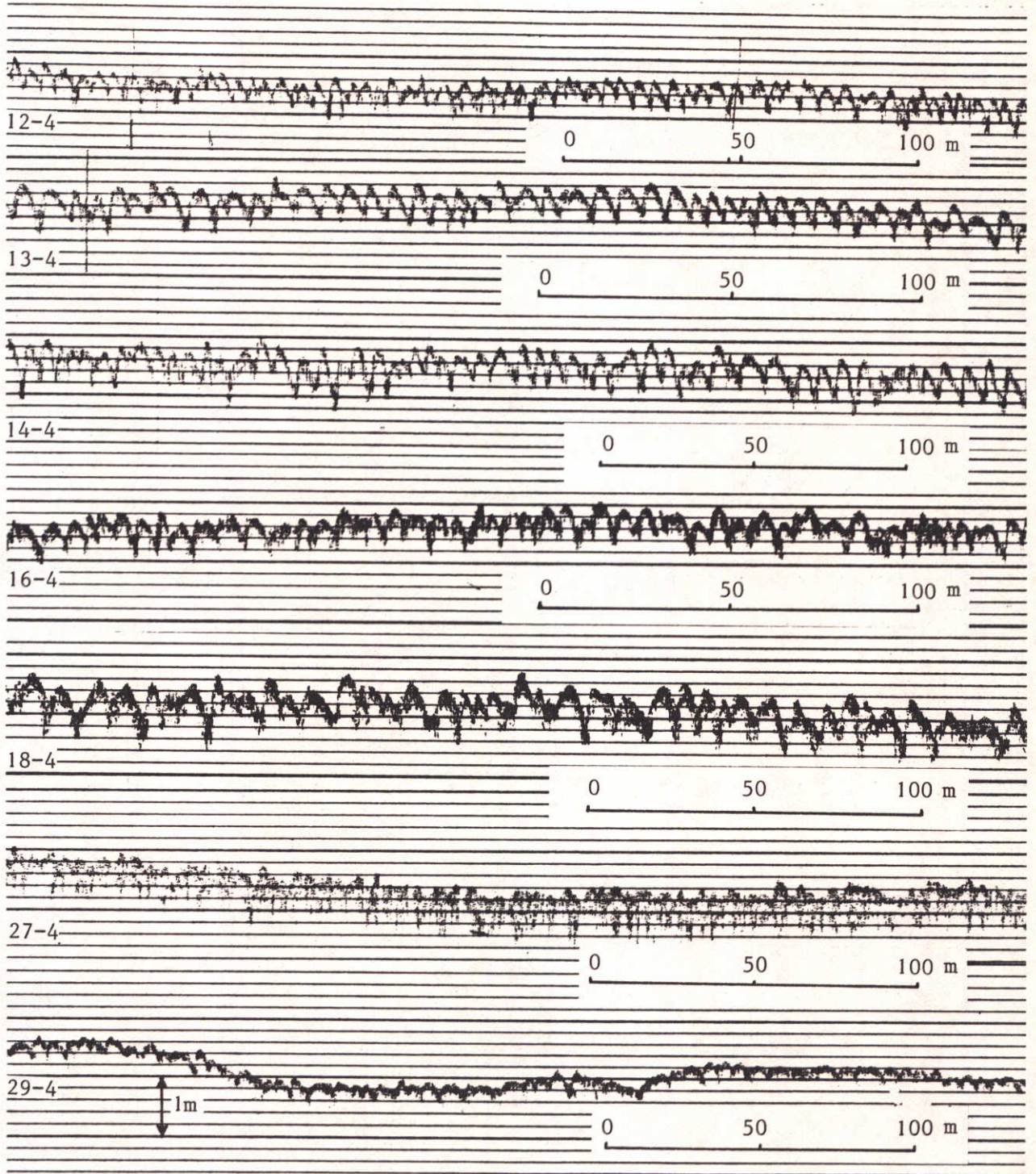


BODEMREGISTRATIES BENEDEN MERWEDE
 HOOGWATER APRIL 1983, SEKTIE 49

WATERLOOPKUNDIG LABORATORIUM

R 2393

FIG. 12

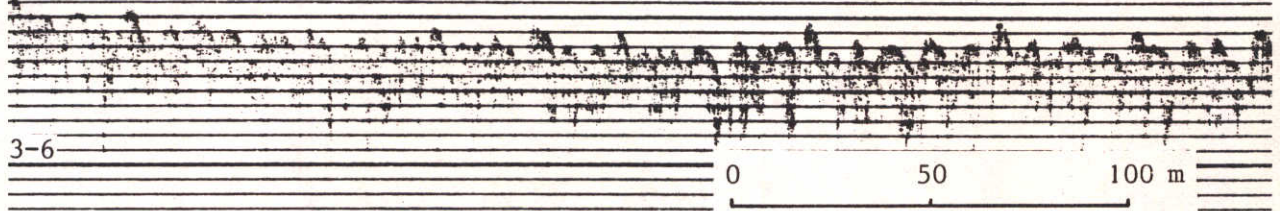
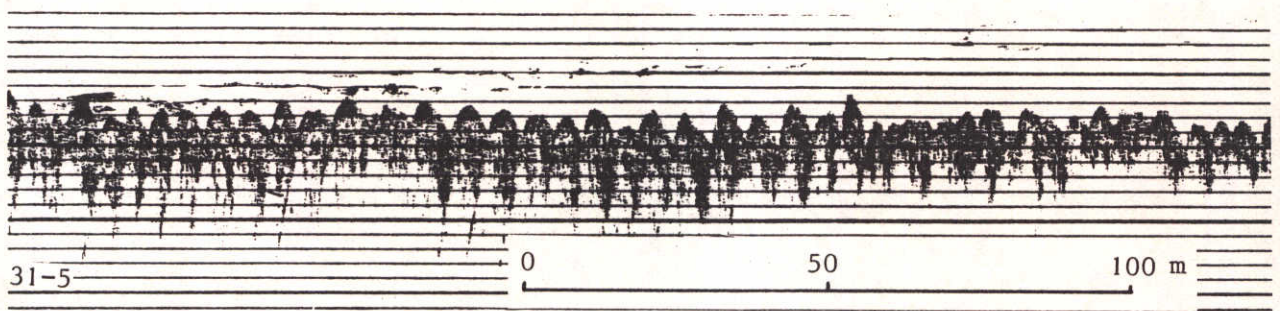


BODEMREGISTRATIES BENEDEN MERWEDE
 HOOGWATER APRIL 1983, SEKTIE 48

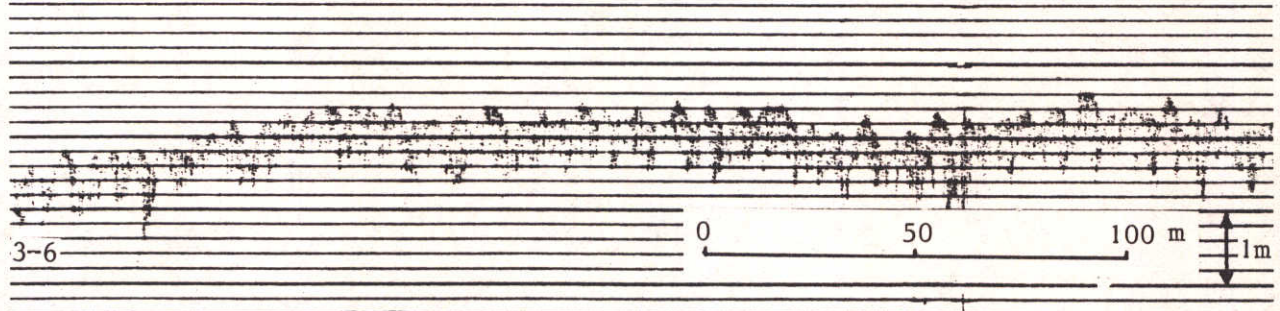
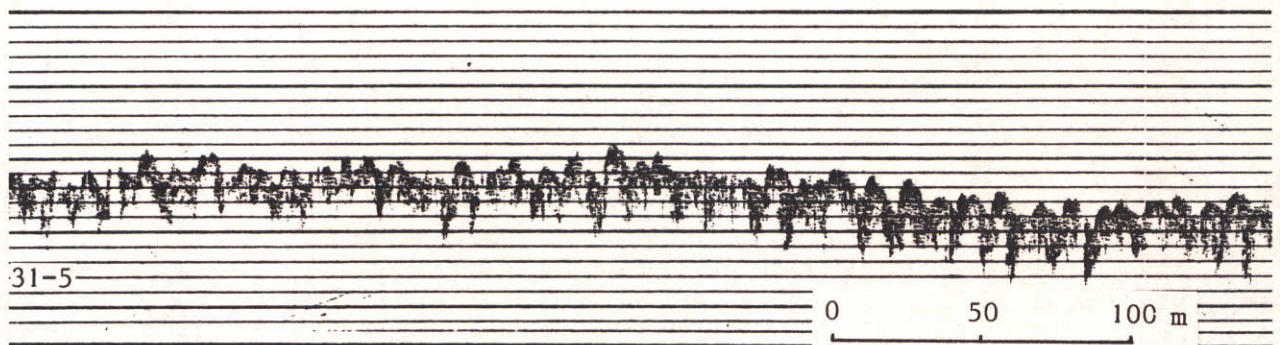
WATERLOOPKUNDIG LABORATORIUM

R 2393

FIG. 13



SEKTIE 48



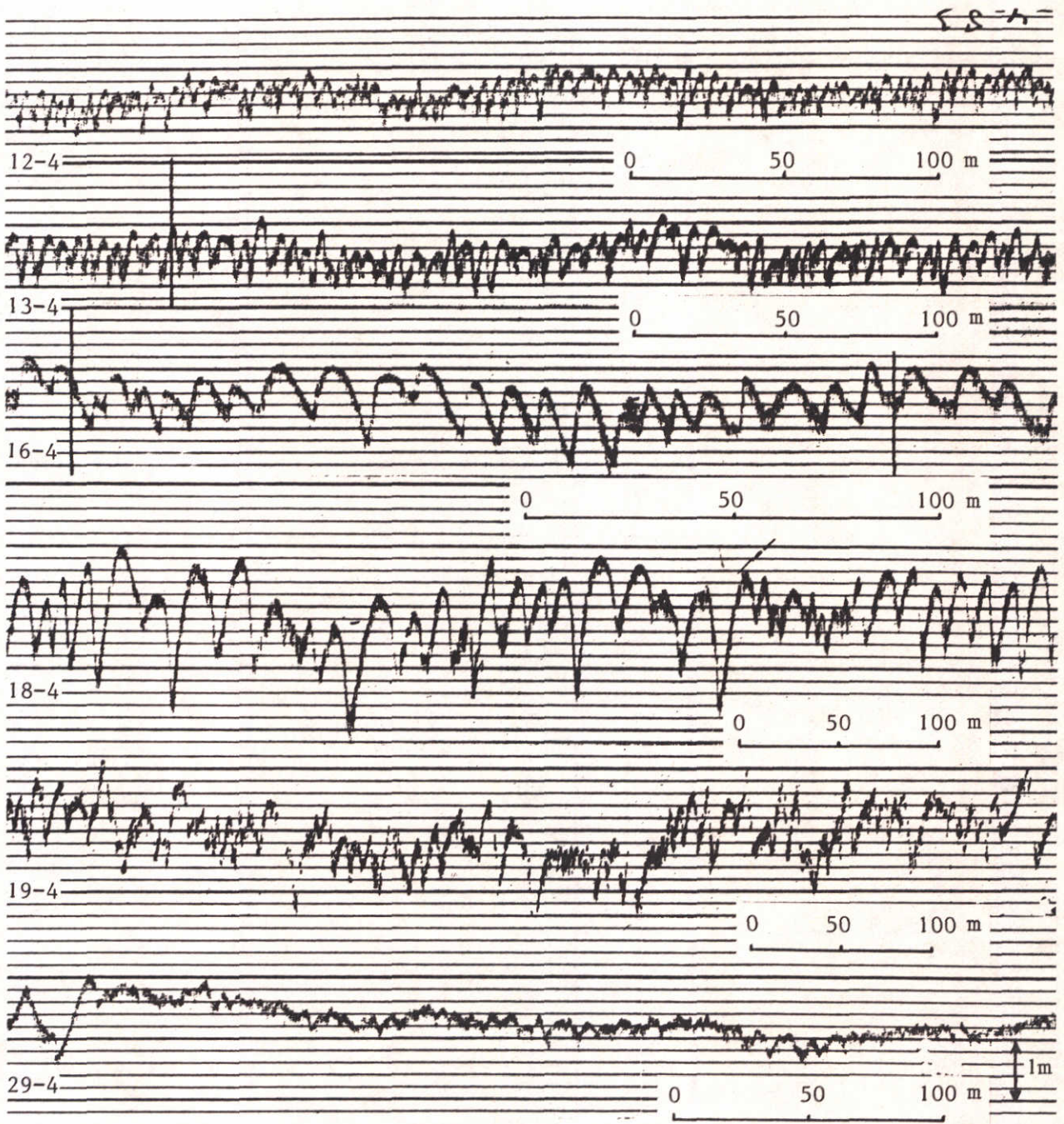
SEKTIE 49

BODEMREGISTRATIES BENEDEN MERWEDE
 HOOGWATER JUNI 1983, SEKTIE 48 EN 49

WATERLOOPKUNDIG LABORATORIUM

R 2393

FIG. 14



BODEMREGISTRATIES NIEUWE MERWEDE
 HOOGWATER APRIL 1983, SEKTIE 104

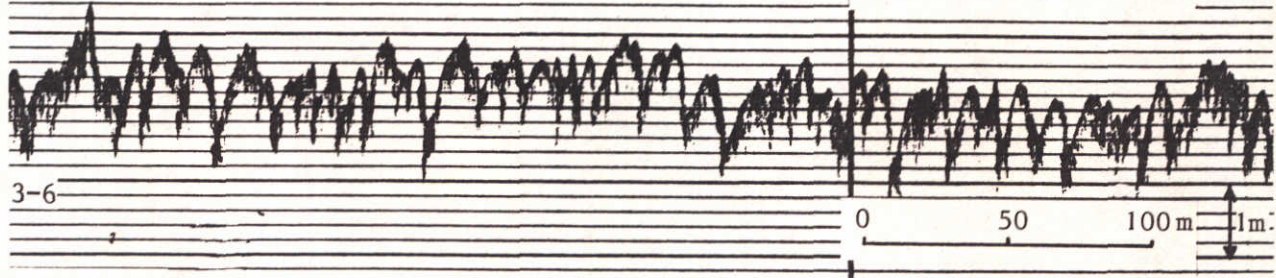
WATERLOOPKUNDIG LABORATORIUM

R 2393

FIG. 15



SEKTIE 103



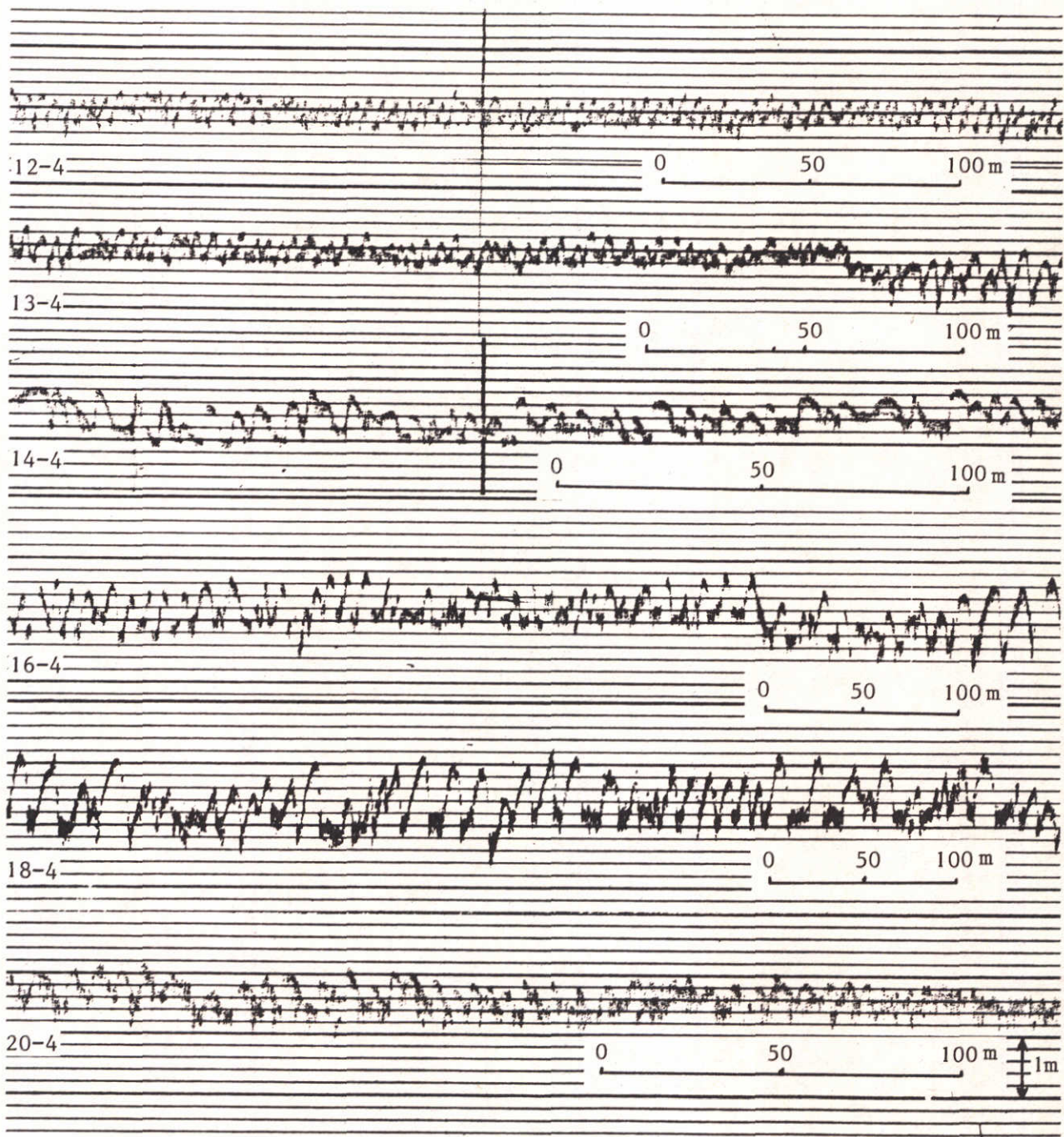
SEKTIE 104

BODEMREGISTRATIES NIEUWE MERWEDE
 HOOGWATER JUNI 1983, SEKTIES 103 EN 104

WATERLOOPKUNDIG LABORATORIUM

R 2393

FIG. 16

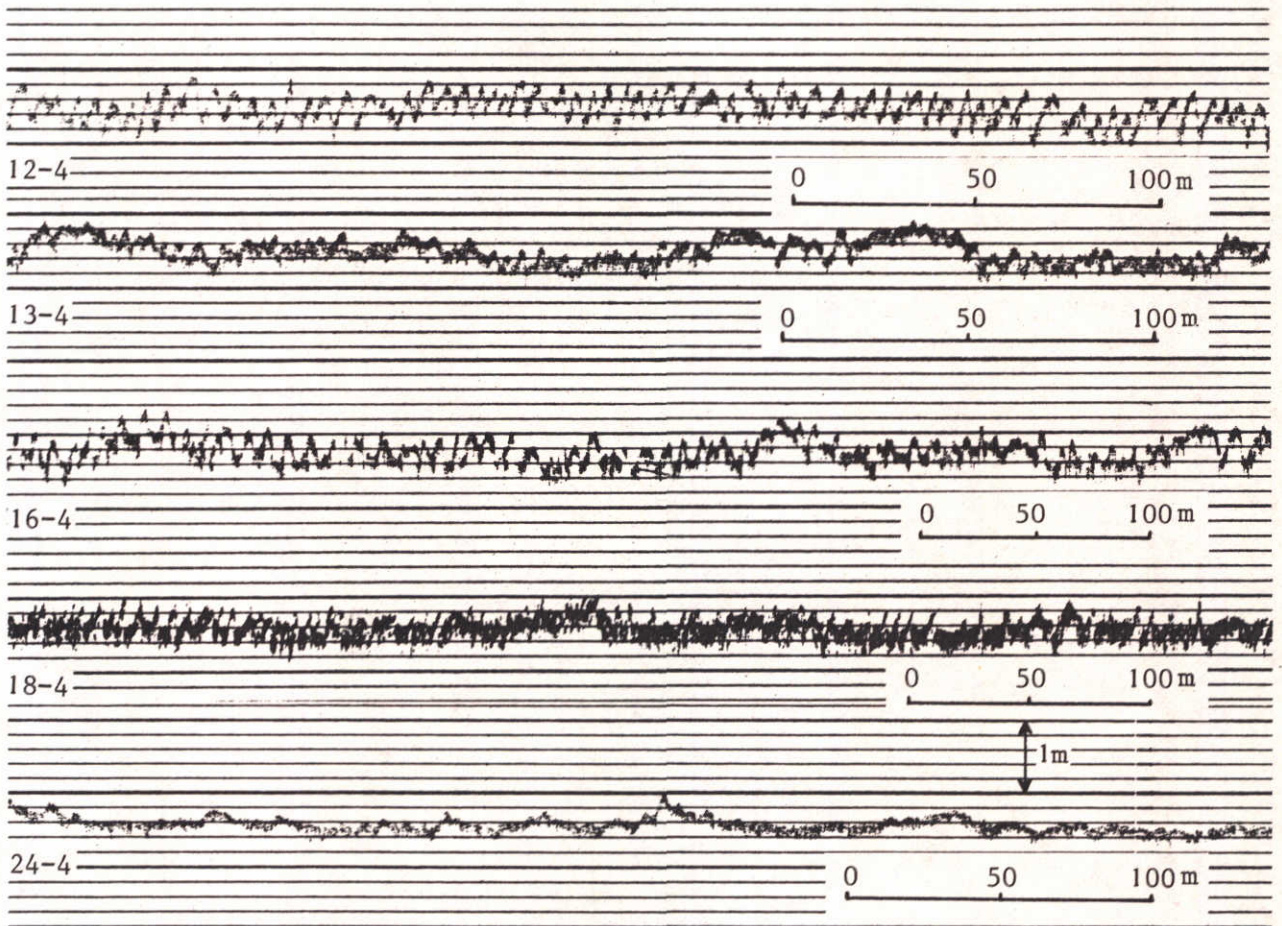


BODEMREGISTRATIES NIEUWE MERWEDE
 HOOGWATER APRIL 1983, SEKTIE 103

WATERLOOPKUNDIG LABORATORIUM

R 2393

FIG. 17



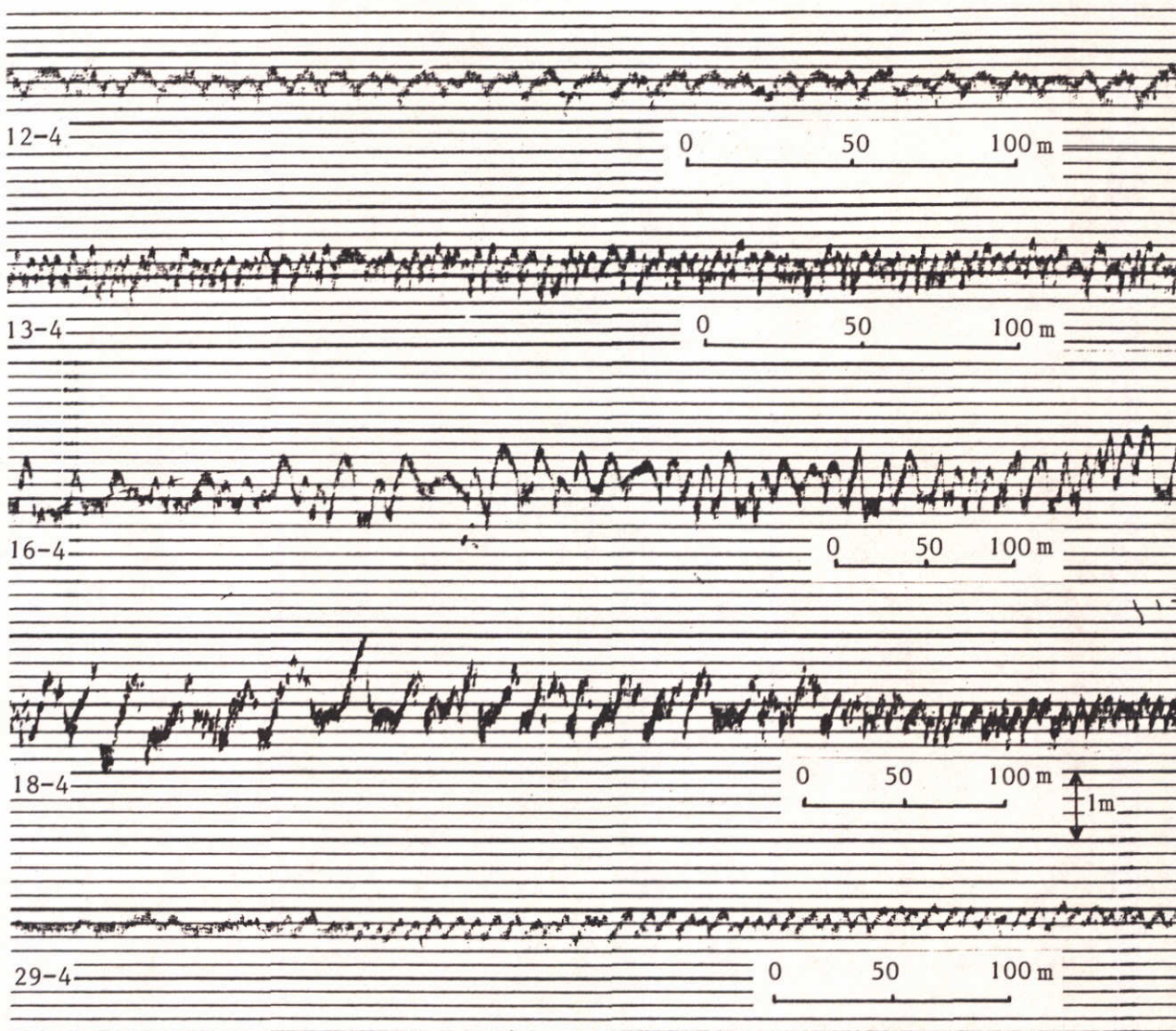
BODEMREGISTRATIES NIEUWE MERWEDE

HOOGWATER APRIL 1983, SEKTIE 102

WATERLOOPKUNDIG LABORATORIUM

R 2393

FIG. 18

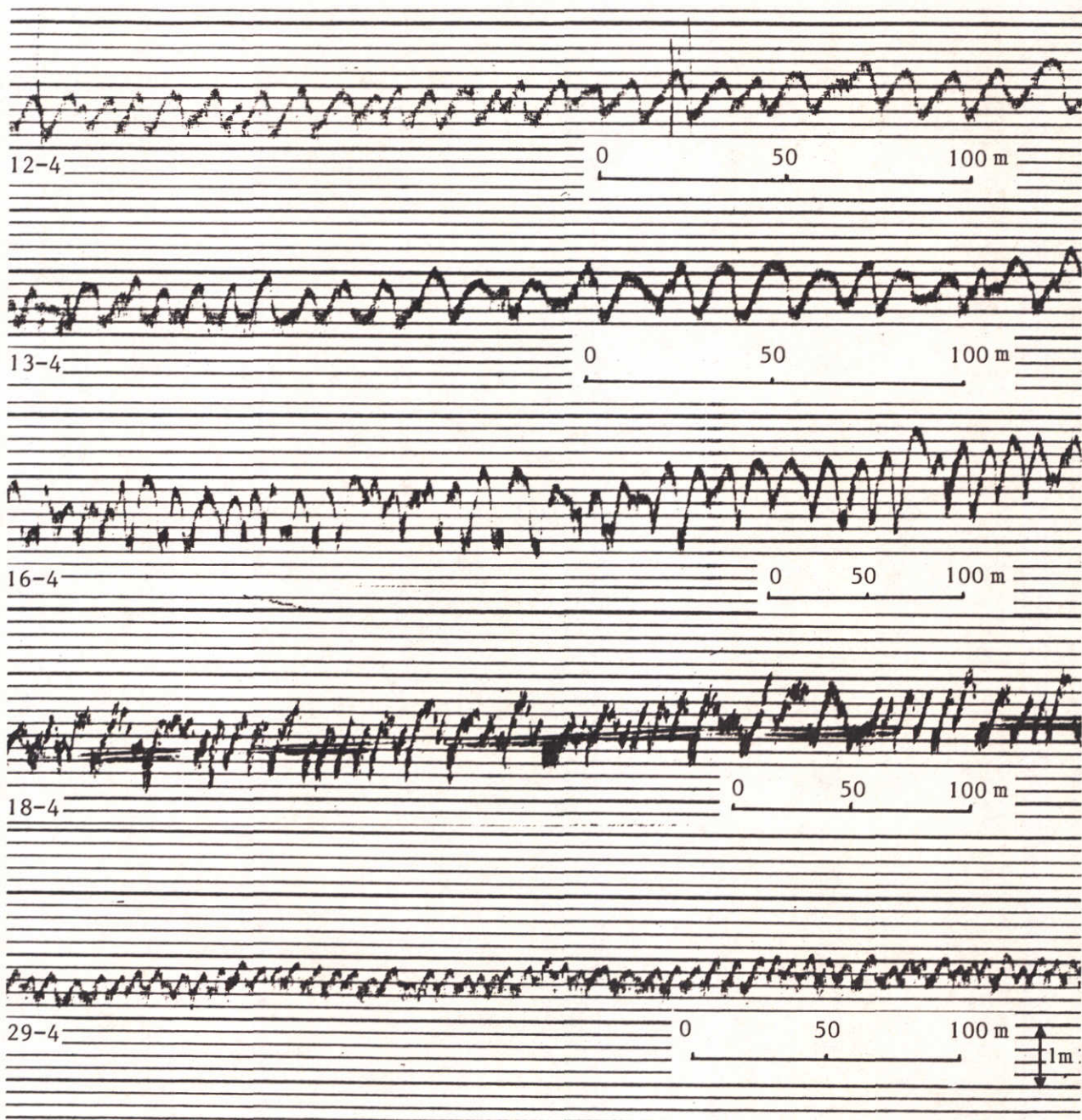


BODEMREGISTRATIES NIEUWE MERWEDE
 HOOGWATER APRIL 1983, SEKTIE 101

WATERLOOPKUNDIG LABORATORIUM

R 2393

FIG. 19



BODEMREGISTRATIES NIEUWE MERWEDE
 HOOGWATER APRIL 1983, SEKTIE 100

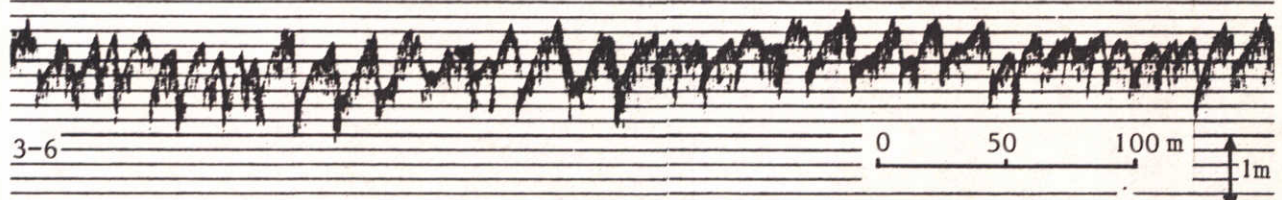
WATERLOOPKUNDIG LABORATORIUM

R 2393

FIG. 20



SEKTIE 100



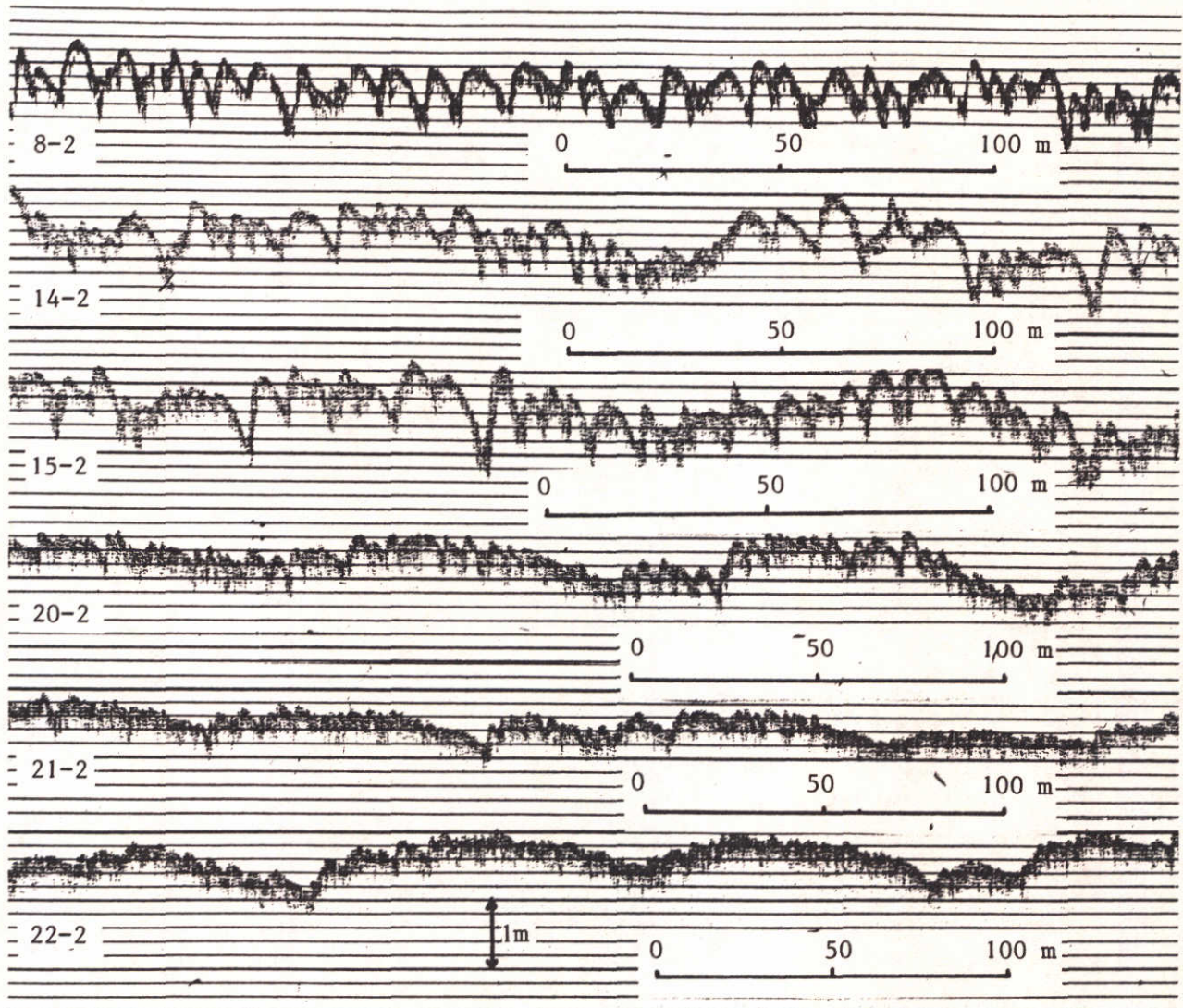
SEKTIE 101

BODEMREGISTRATIES NIEUWE MERWEDE
 HOOGWATER JUNI 1983, SEKTIES 100 EN 101

WATERLOOPKUNDIG LABORATORIUM

R 2393

FIG. 21



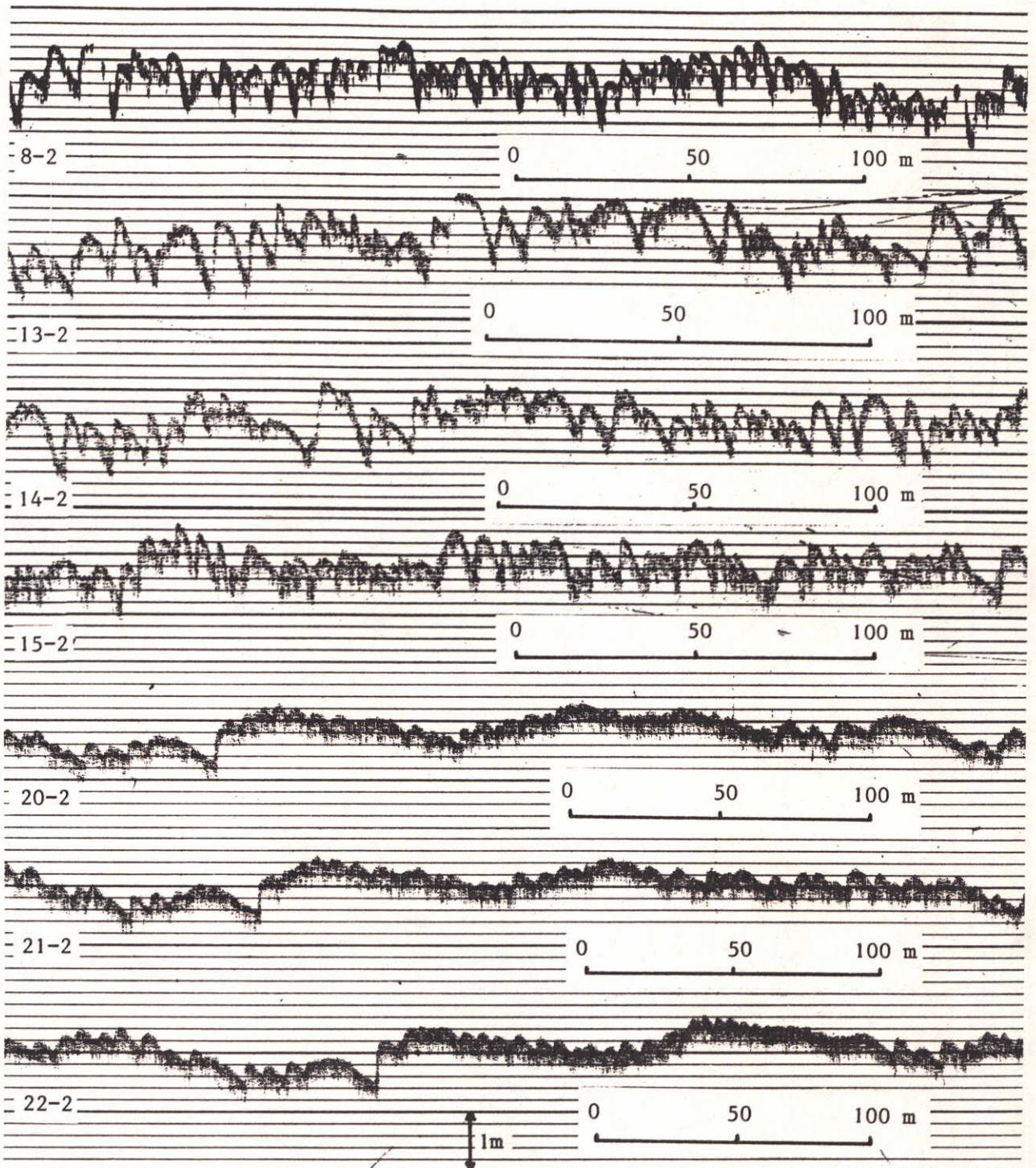
BODEMREGISTRATIES MAAS

HOOGWATER FEBR. 1984, SEKTIES 83 EN 84

WATERLOOPKUNDIG LABORATORIUM

R 2393

FIG. 22

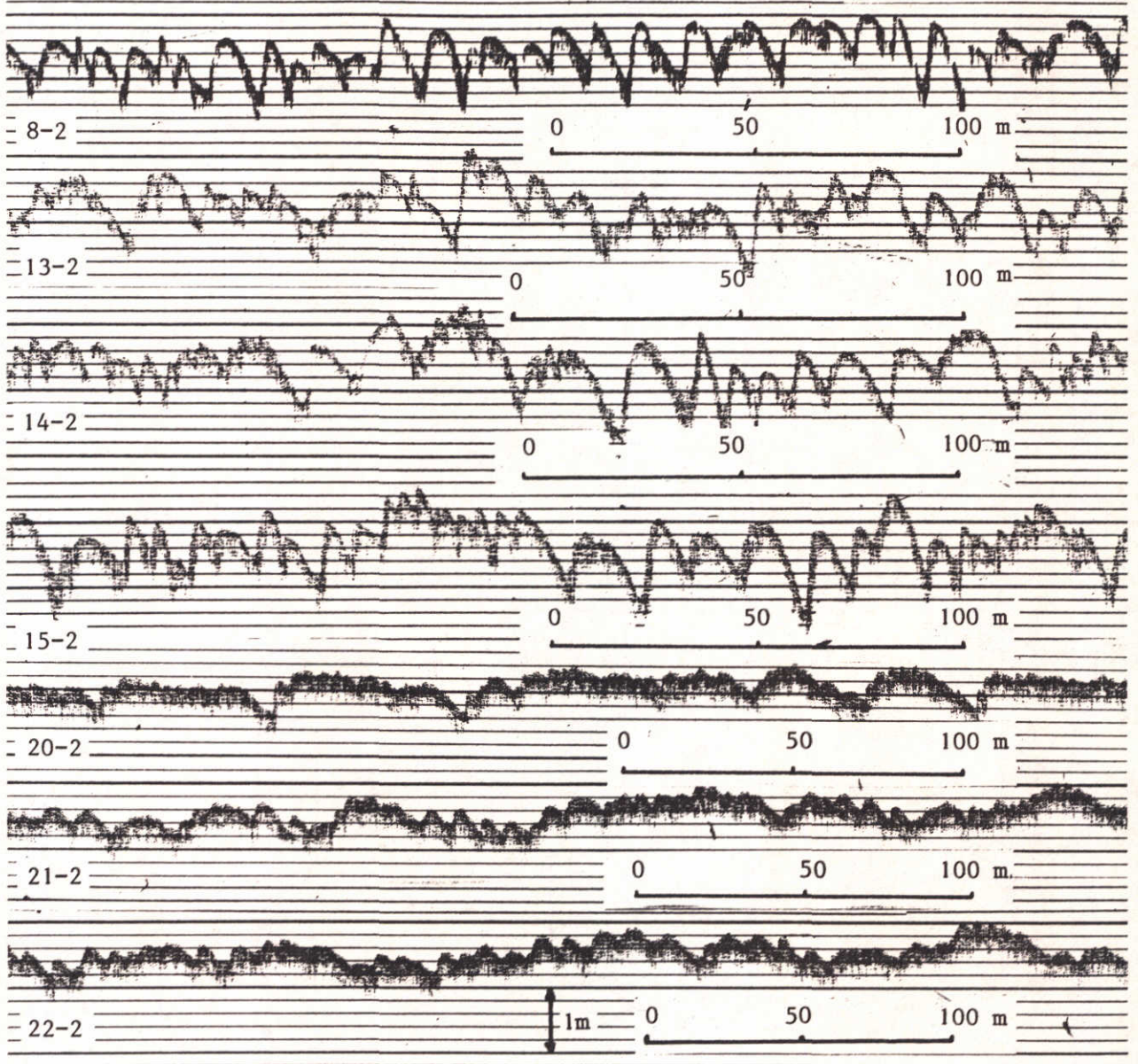


BODEMREGISTRATIES MAAS
 HOOGWATER FEBR. 1984, SEKTIE 82

WATERLOOPKUNDIG LABORATORIUM

R 2393

FIG. 23

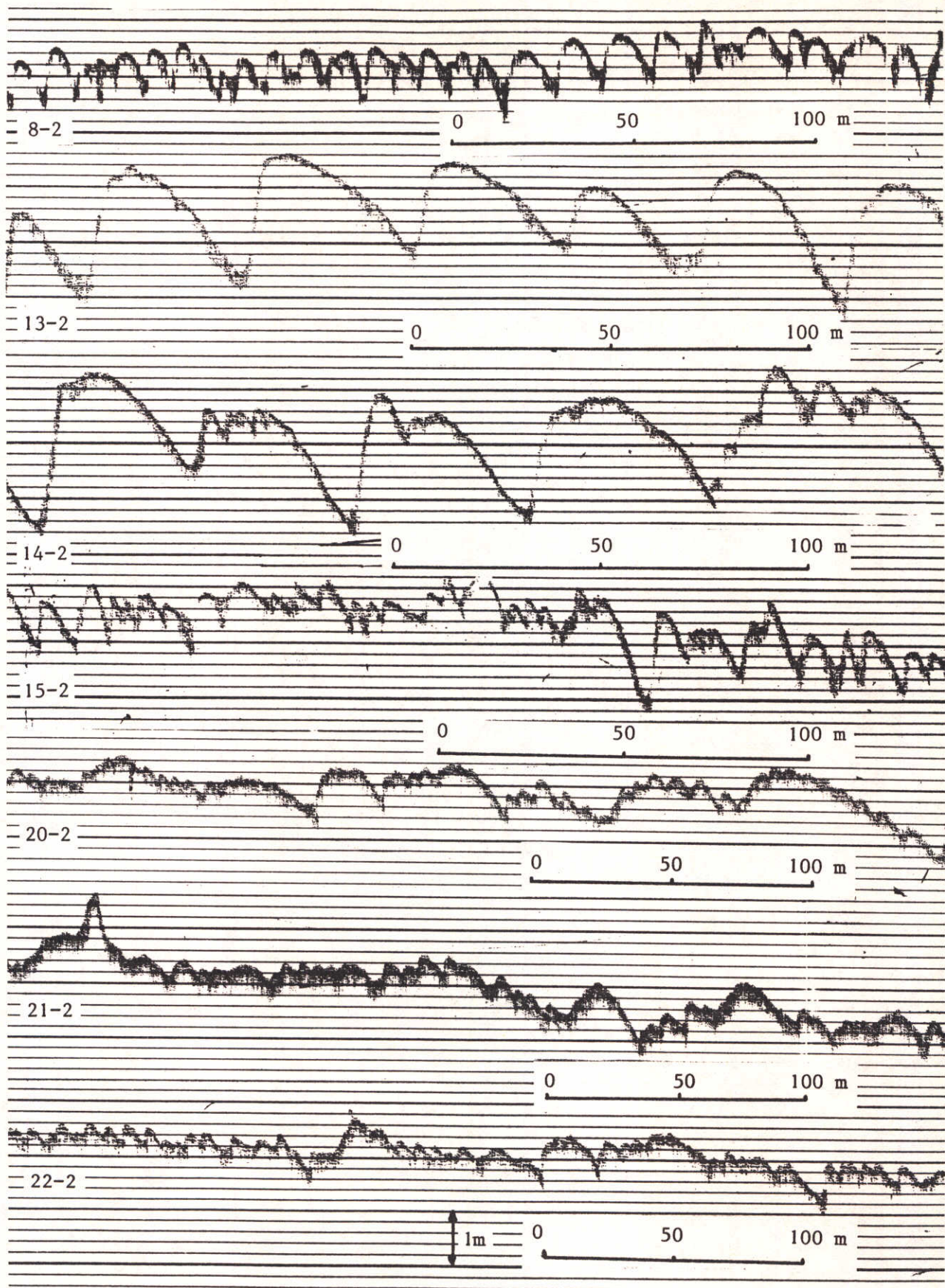


BODEMREGISTRATIES BERGSCHÉ MAAS
 HOOGWATER FEBR. 1984, SEKTIE 81

WATERLOOPKUNDIG LABORATORIUM

R 2393

FIG. 24

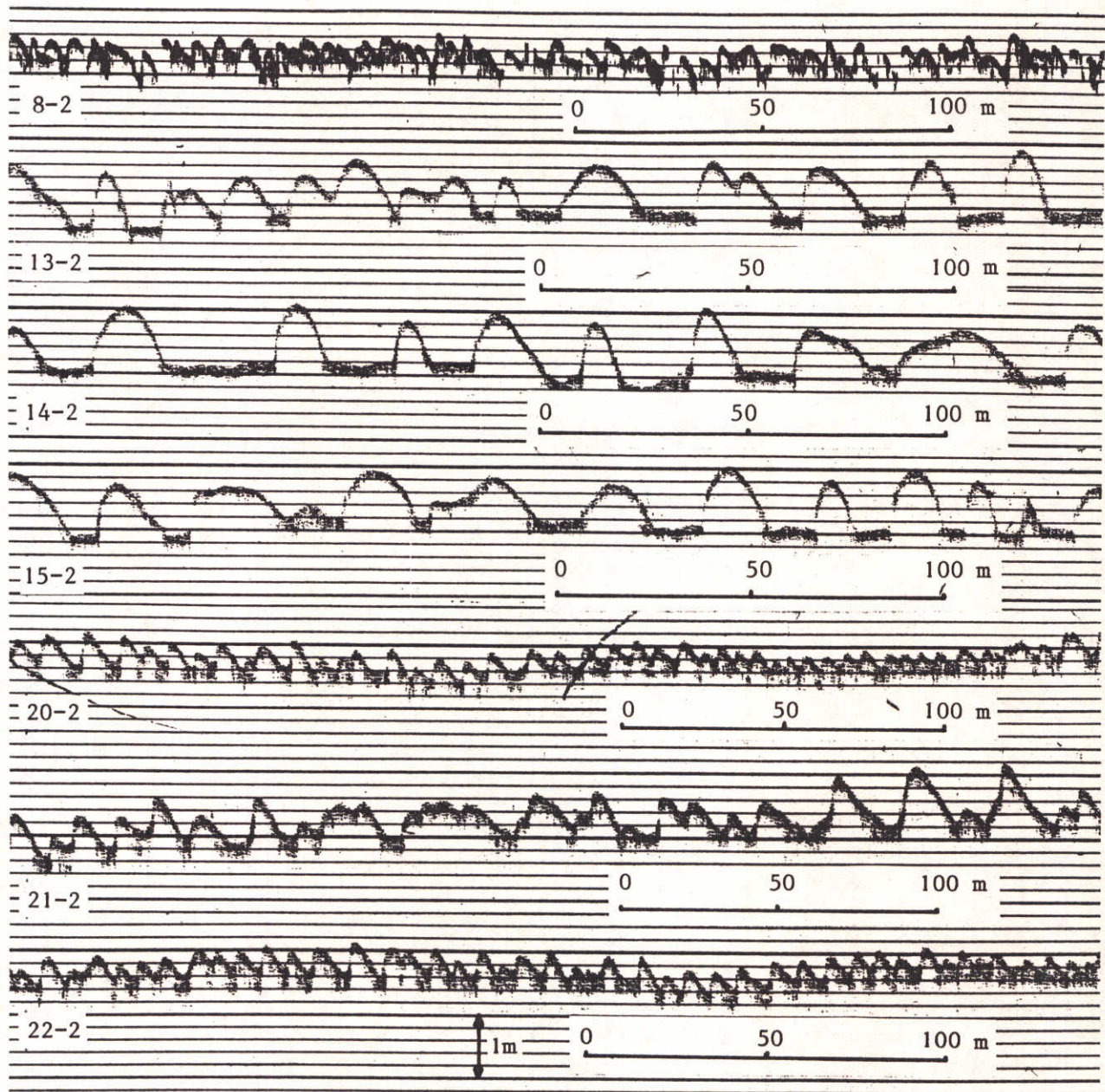


BODEMREGISTRATIES BERGSCHÉ MAAS
 HOOGWATER FEBR. 1984, SEKTIES 79 EN 80

WATERLOOPKUNDIG LABORATORIUM

R 2393

FIG. 25

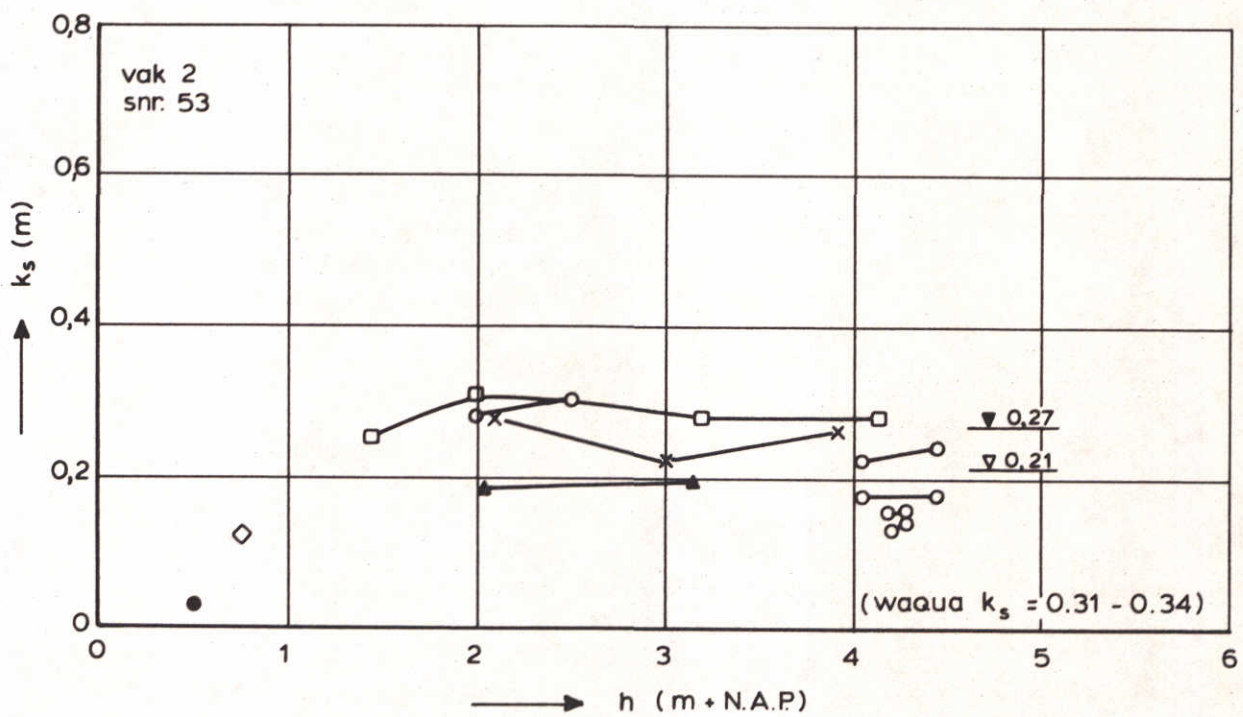
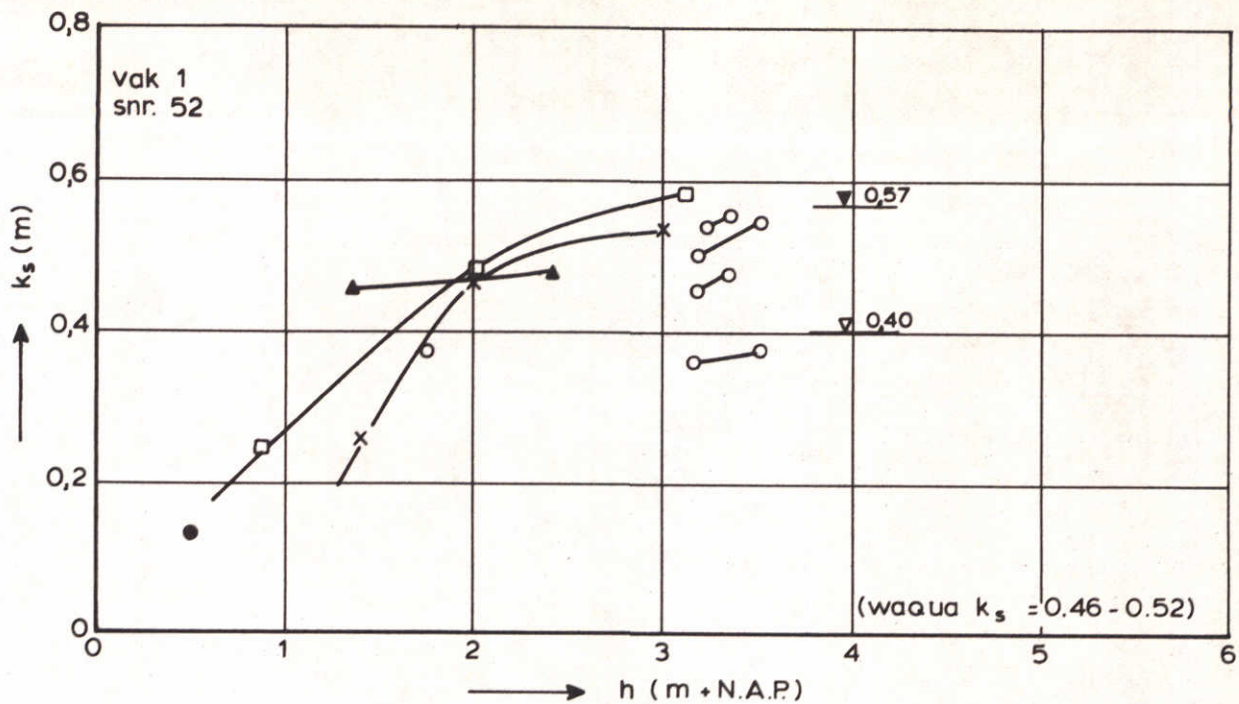


BODEMREGISTRATIES BERGSCHÉ MAAS
 HOOGWATER FEBR. 1984, SEKTIES 77 EN 78

WATERLOOPKUNDIG LABORATORIUM

R 2393

FIG. 26

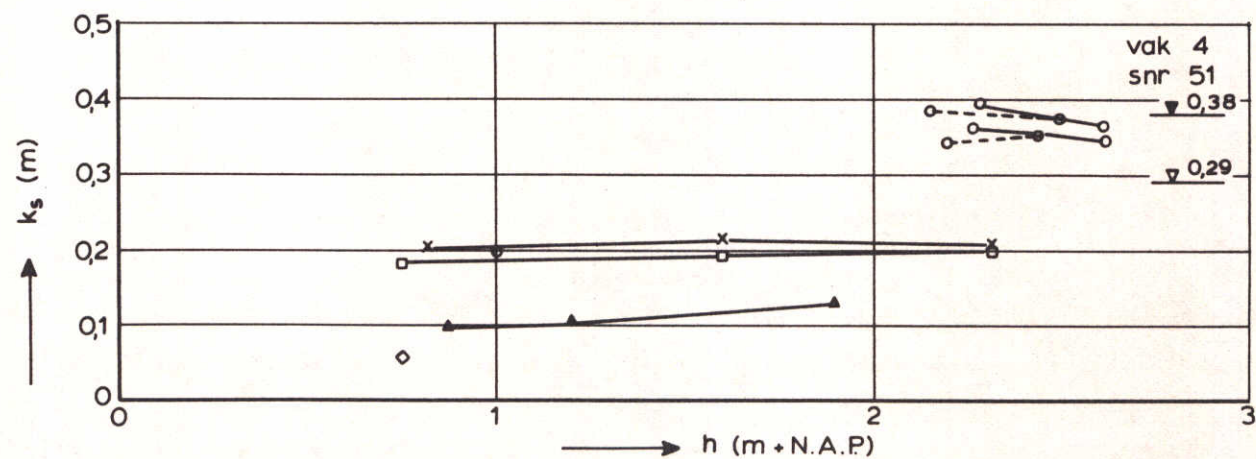
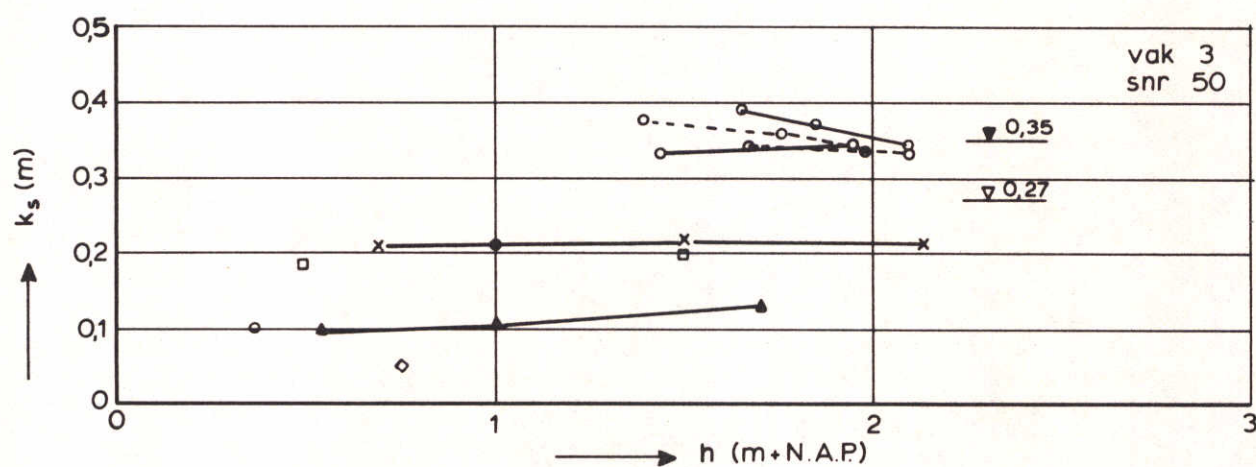
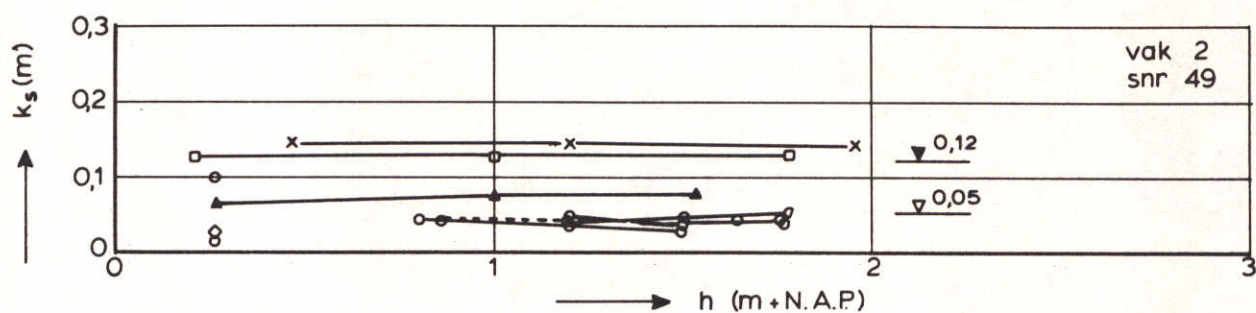
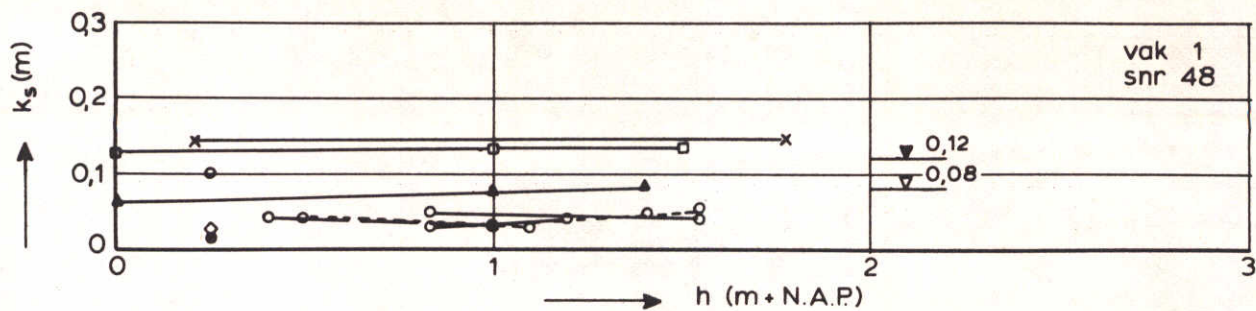


- = 1976
- ▲ = 1977
- ◇ = 1979

- = 1980
- x = 1982
- o = 1983

- ▼ k_{sz} (MHW) konservatief
- ▽ k_{sz} (MHW) optimistisch

RUWHEIDSLENGTE k_{sz} OP BOVEN MERWEDE



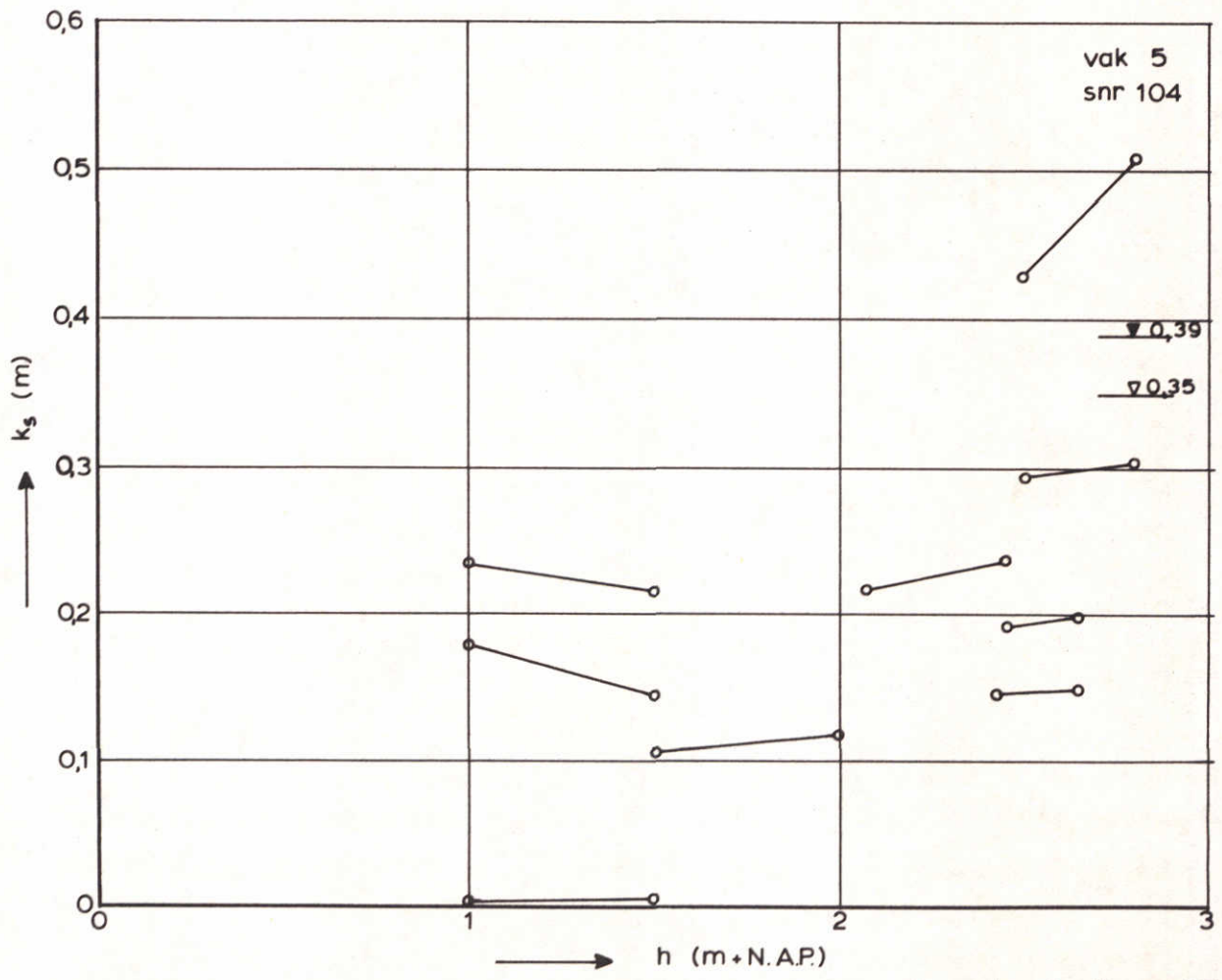
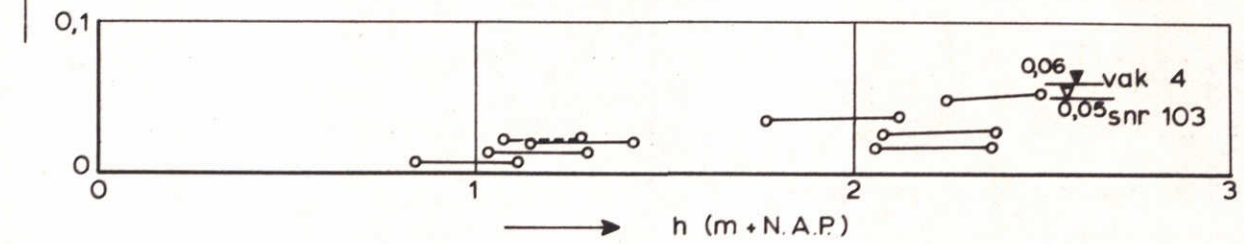
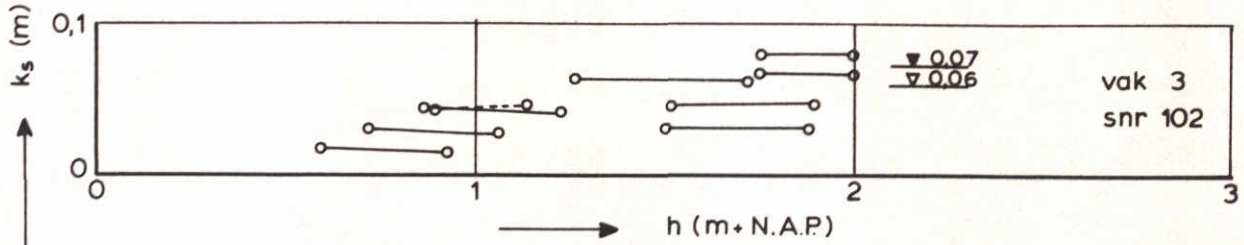
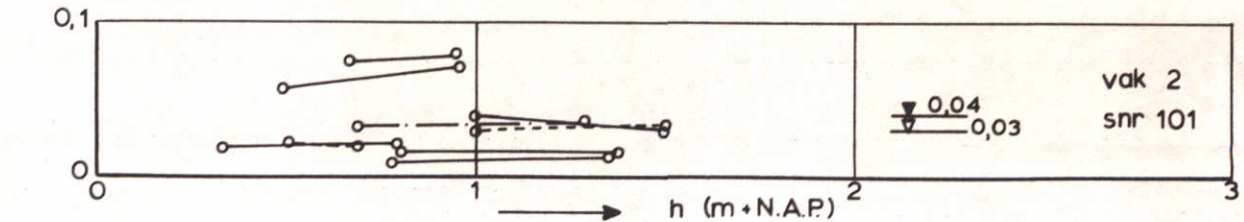
legenda zie figuur 27

RUWHEIDSLENGTE k_{sz} OP BENEDEN MERWEDE

WATERLOOPKUNDIG LABORATORIUM

R 2393

FIG. 28



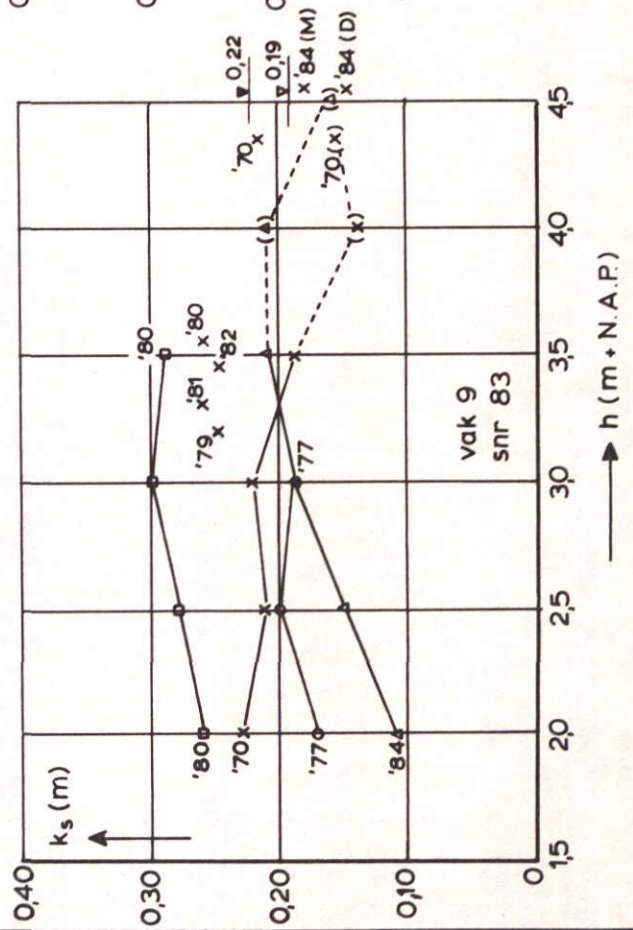
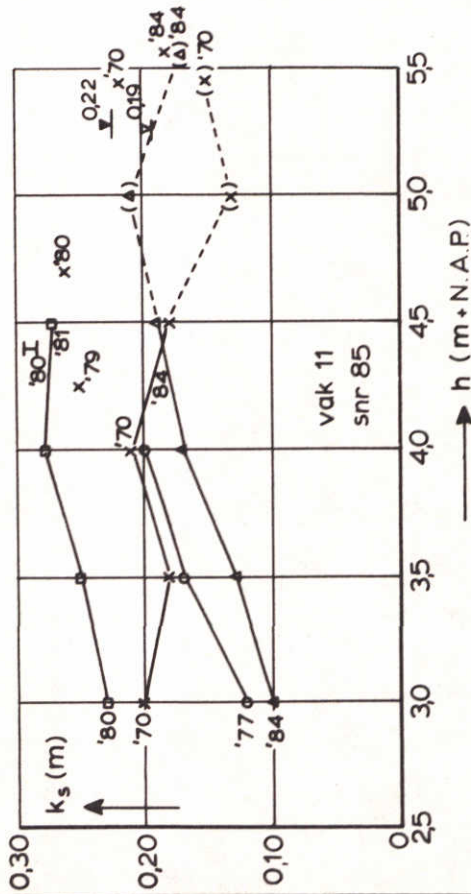
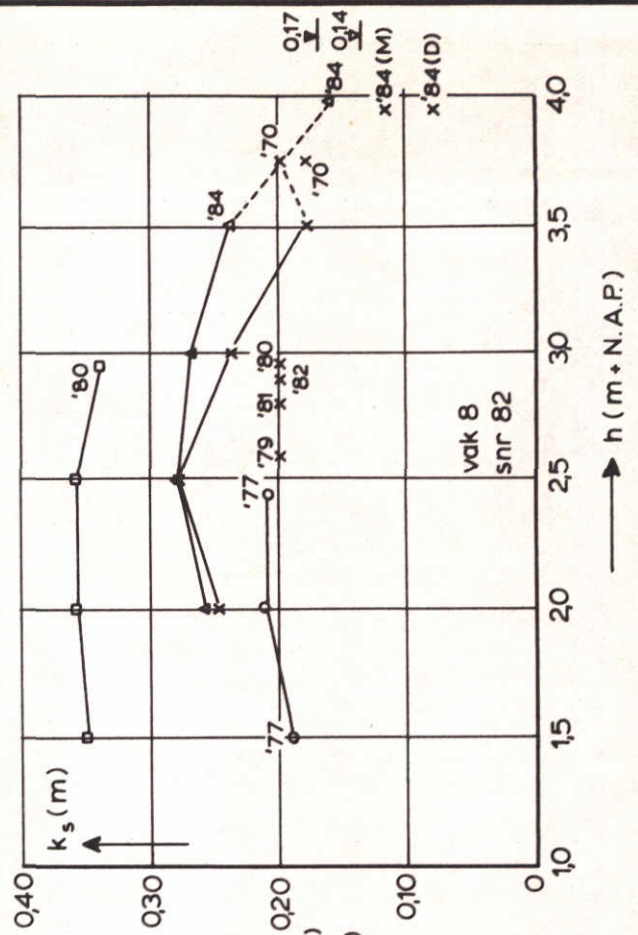
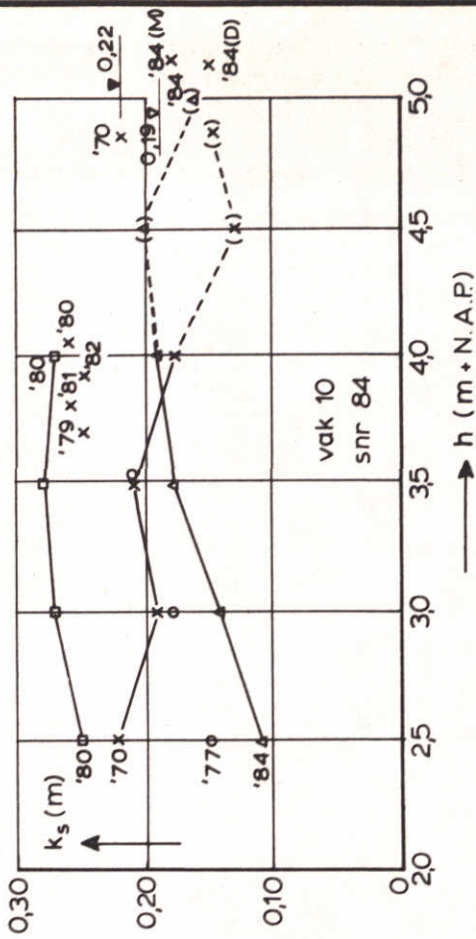
legenda zie figuur 27

RUWHEIDSLENGTE k_{sz} OP NIEUWE MERWEDE

WATERLOOPKUNDIG LABORATORIUM

R 2393

FIG. 29



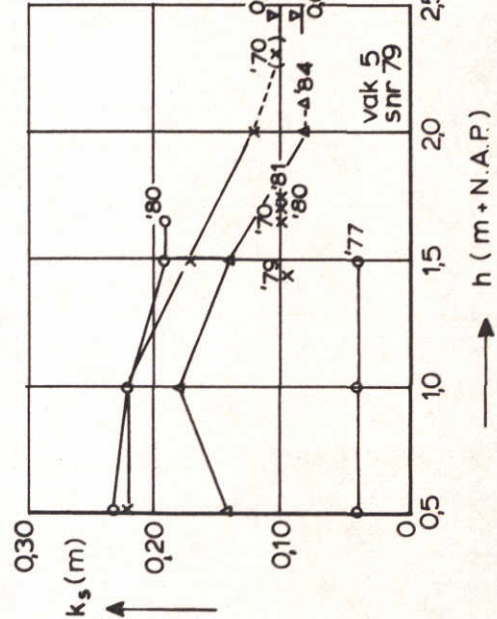
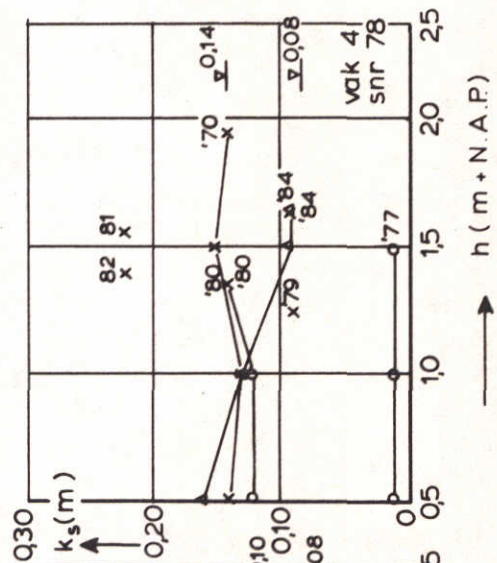
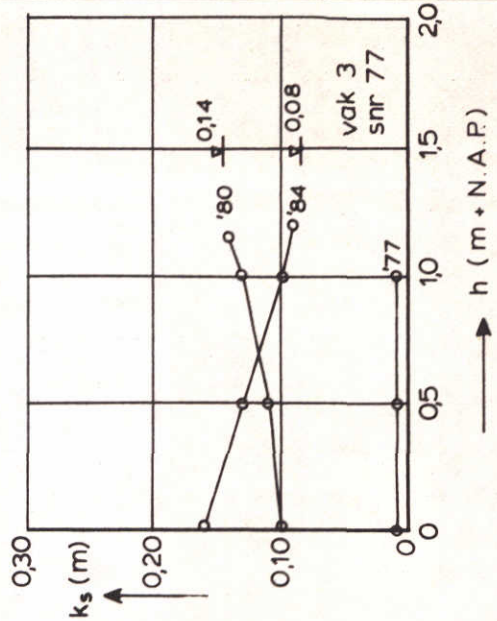
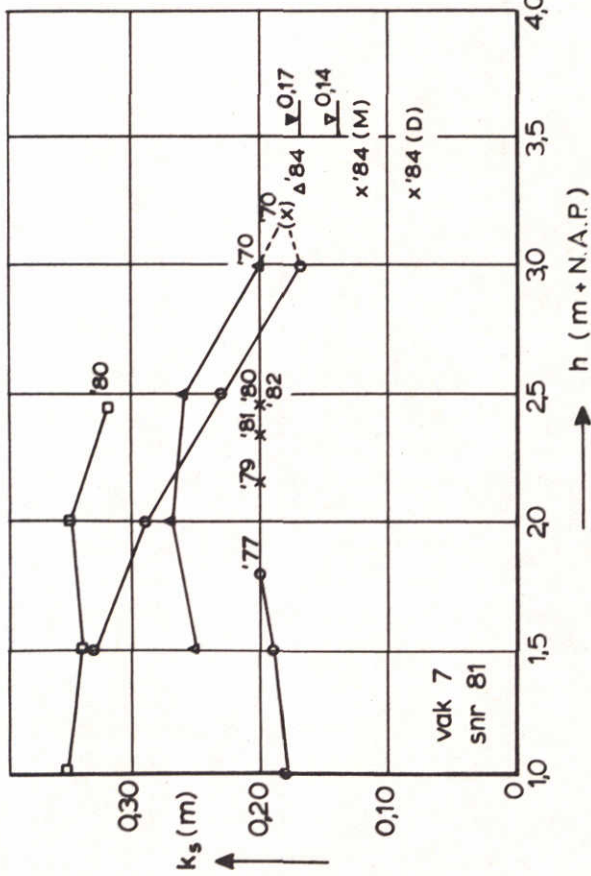
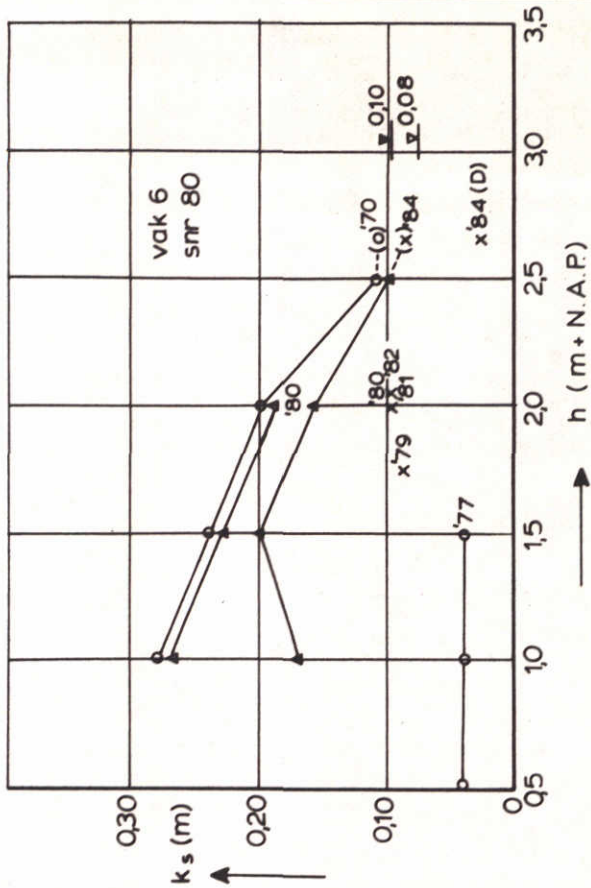
legenda zie figuur 27

RUWHEIDSLENGTE k_{s2} OP DE MAAS

WATERLOOPKUNDIG LABORATORIUM

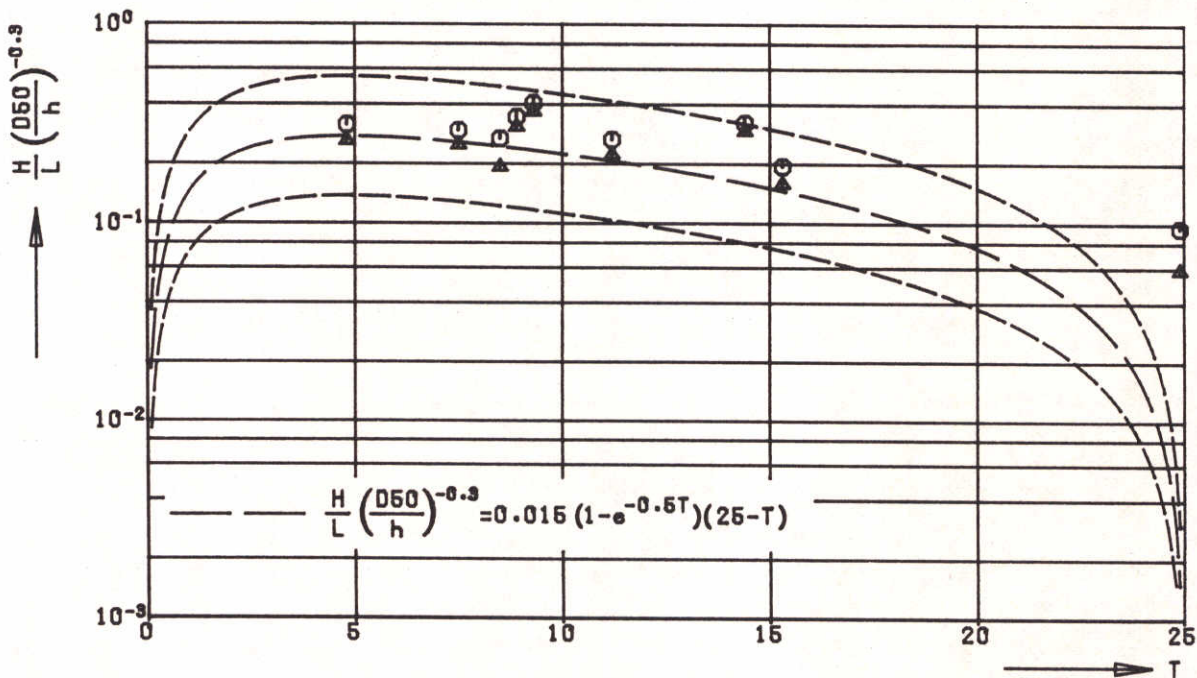
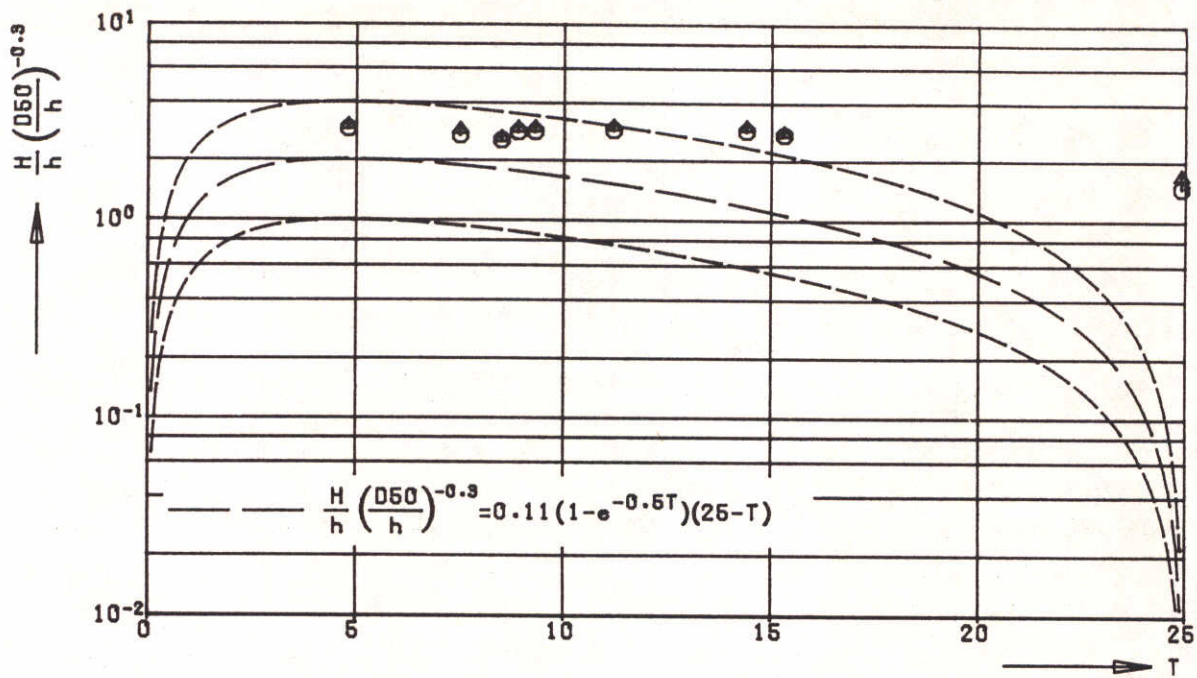
R 2393

FIG. 30



RUWHEIDSLENGTE k_{sz} OP DE BERGSCH E MAAS

legenda zie figuur 27



- H.L
- ▲ $H_{dom} \cdot L_{dom}$

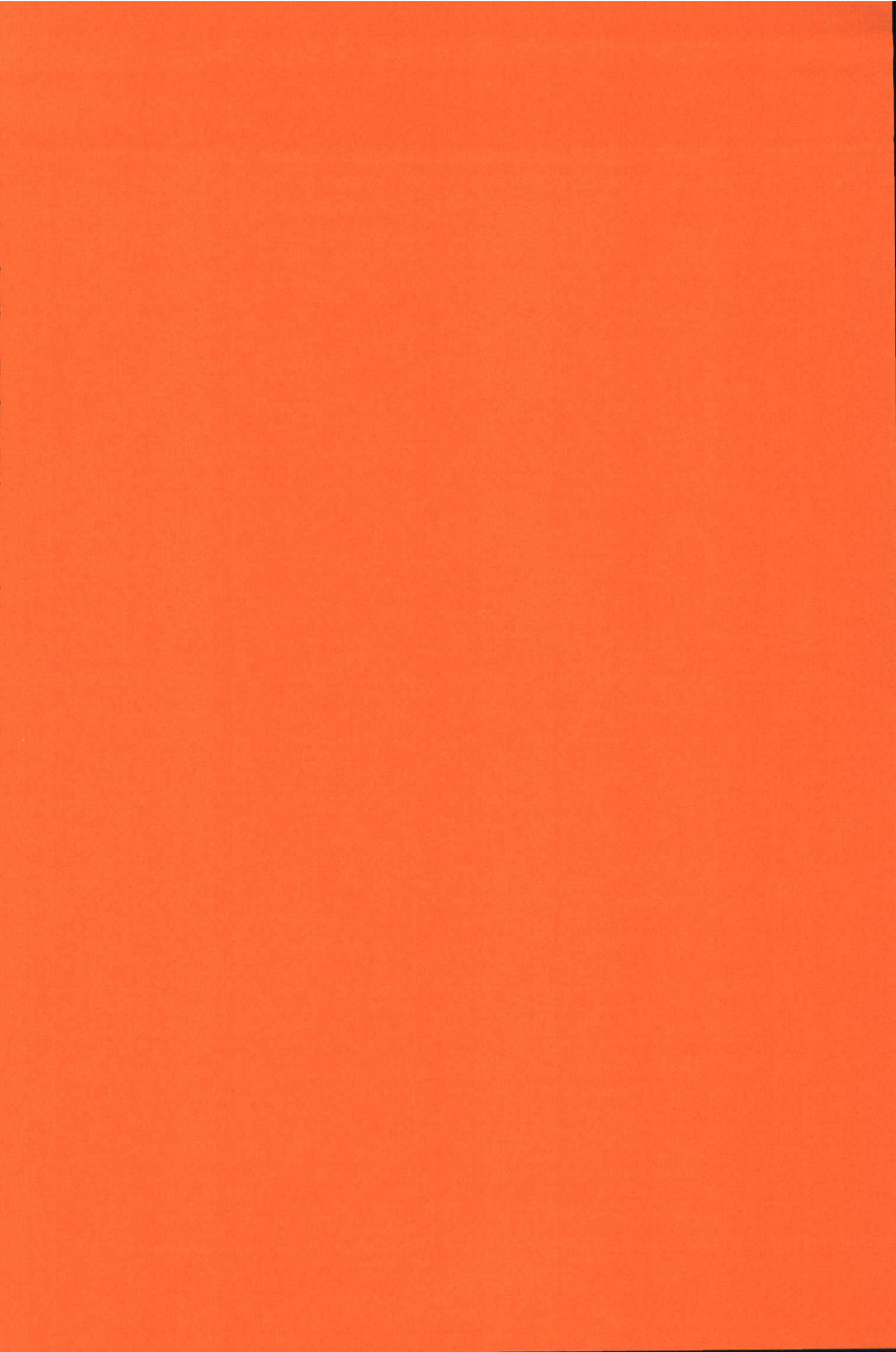
bron : Termes (1986)

BEDDINGVORMHOOGTE EN - STEILHEID
VOLGENS VAN R'JN (1984)

WATERLOOPKUNDIG LABORATORIUM

R 2393

FIG. 32



Uit: "Inventarisatie onderzoeksmiddelen voor het Noordelijk Deltabekken"
M 1775-II, WWZW 11.004.02, juni 1983

Het 1D-model ZWENDL

1 Inleiding

ZWENDL beschrijft ééndimensionaal de water- en zoutbeweging in een netwerk van open waterlopen.

ZWENDL is op basis van het ééndimensionaal model IMPLIC ontwikkeld, Rijkswaterstaat, (1980 a). IMPLIC berekent alleen de waterbeweging; ZWENDL daarnaast ook de zoutbeweging, terwijl in de drukterm in de bewegingsvergelijking voor water ook de invloed van dichtheidsverschillen wordt meegenomen.

ZWENDL wordt vooral gebruikt voor berekeningen ter ondersteuning van onderzoek op het Noordelijk Deltabekken, terwijl daarnaast ook een versie van ZWENDL in gebruik is voor toepassing op meren met doorspoeling en zoutbezwaar.

2 Vergelijkingen

De continuïteitsvergelijking

$$B \frac{\partial h}{\partial t} + \frac{\partial Q}{\partial x} - q_q = 0 \quad (1)$$

De impulsvergelijking

$$\frac{\partial Q}{\partial t} + \frac{\partial}{\partial x} Q^2/A_s + g A_s \frac{\partial h_s}{\partial x} + \frac{1}{2} \frac{g}{\rho} A_s H_w \frac{\partial \rho}{\partial x} + g \frac{Q|Q|}{C^2 A_s R} - \frac{A_s f_w W^2 \cos \delta}{H_w} = 0 \quad (2)$$

De convectie/diffusievergelijking

$$\frac{\partial Ac}{\partial t} + \frac{\partial cQ}{\partial x} - \frac{\partial}{\partial x} \left\{ A E_{x_1} \frac{\partial c}{\partial x} \right\} + c q_q = 0 \quad (3)$$

Het verband tussen ρ en c wordt voor zout gelegd via de empirische toestandsvergelijking

voor zoutgehalte

$$\rho = 0,75 c + 1000 \quad (4)$$

voor chloriniteit

$$\rho = 1,32 c + 1000 \quad (5)$$

waarin:

H_w	= gemiddelde diepte	[m]
f_w	= windkonversiecoëfficiënt	[-]
W	= windsnelheid	[m/s]
δ	= windrichting t.o.v. geulas	[m/s]

Bij de afleiding van de waterbewegingsvergelijkingen zijn dezelfde aannamen gedaan als bij de afleiding van de vergelijkingen voor NETFLOW, SALIN plus de aannamen:

- Ai De snelheidsverdeling is uniform over de hoogte en breedte.
- Aj De gemiddelde halve waterdiepte is als schatter gebruikt voor het zwaartepunt van het dwarsprofiel.

En voor de convectie-diffusievergelijking

Af Alleen conservatieve stoffen.

3 Weerstand- en dispersieformulering

ZWENDL wordt geijkt met behulp van Chézy-koëfficiënten en dispersiecoëfficiënten. Chézy-koëfficiënten kunnen altijd per stromingsrichting gegeven worden.

Voorts bestaan de volgende alternatieve mogelijkheden:

- konstante Chézy-koëfficiënt per vak
- konstante Manning-koëfficiënt per vak.
- Chézy-koëfficiënten per interval niveaustijging.

ZWENDL hanteert een dispersieformulering voor gewone vakken op basis van het Thatcher/Harleman concept, Rijkswaterstaat (1980 b).

Voor prismatische vakken geldt dat de bijdrage van het dispersieve transport aan de knooppuntsvergelijkingen van de zeerand nul is.

In een vervalvak is de dispersiecoëfficiënt konstant.

4 Knooppunten

De behandeling van knooppunten is gelijk aan die van NETFLOW (Ad) en SALIN (Ag).

5 Rand- en beginvoorwaarden

De gewenste combinaties van waterstand en debieten kunnen als randvoorwaarden worden opgelegd alsmede chloridegehalten. Aan de zeerand is in een tweetal extra mogelijkheden voorzien om het chloridegehalte aan de rand te bepalen.

- Een variant op het zeerandconcept volgens Thatcher-Harleman, volgens welke bij overgang van uitstroming naar instroming, het gehalte binnen een te kiezen periode via een cosinus-vormig verloop in overeenstemming wordt gebracht met het opgegeven gehalte.
- Het vat-koncept.
Het concentratiegehalte in de mond van het estuarium wordt in een aan de zeerand gekoppeld "vat", waarin geen berging kan plaatsvinden en onder aanname dat volledige menging plaatsvindt, berekend afhankelijk van de uitstroming in zee en een stationaire langsstroming met konstant zeekoncentratie.

In het eindvak van doodlopende takken geldt de "niet indringingsvoorwaarde"

$$Q = Q_{\text{lozing}} \text{ of } Q = Q_{\text{onttrekking}}$$

Alle termen, die het dispersie-transport beschrijven zijn nul.

De beginvoorwaarden kunnen willekeurig gekozen worden. Om het inspelen te bekorten ZWENDL een doorstartfaciliteit.

6 Numerieke methode

Elke rekenstap in de tijd wordt in twee fasen uitgevoerd:

In de eerste fase worden de bewegings- en continuïteitsvergelijkingen voor een vierpunts moduul opgesteld (impliciete methode).

Op tijdstip n zijn stroomvoerend oppervlak bergende breedte en hydraulische straal op tijdstip $n+\frac{1}{2}$ onbekend. Deze waarden worden geschat door de berekening voor tijdstip $n+1$ tweemaal uit te voeren, waarbij de eerste berekening

dient om de geometriegrootheden op tijdstip $n+\frac{1}{2}$ iteratief te bepalen. Deze iteratie kan ook achterwege gelaten worden. In dat geval worden de geometriegrootheden van het oude tijdstip in de berekening meegenomen.

In de tweede fase worden de convectie/diffusievergelijkingen voor het zes-puntsmoduul van Stone en Brian opgesteld (impliciet schema).

De linearisatie en diskretisatie van bewegingsvergelijking en continuïteitsvergelijking zijn beschreven in Dronkers (1969) en Thatcher en Harleman (1972). Die van de convectie/diffusievergelijking in Langerak et al (1978). Voor de eindvakken van dode takken van netwerken is een alternatieve diskretisatie ingevoerd, die overigens wel gebaseerd is op de diskretisatie beschreven in Daily en Harleman (1972). Voor een beschrijving van de nauwkeurigheid van de gehanteerde rekenschema's wordt verwezen naar Rijkswaterstaat (1980 a) en Waterloopkundig Laboratorium (1979). De nauwkeurigheid wordt beïnvloedt door de keuze van lengte- en tijdstap. Overigens mogen de vaklengten qua grootte verschillen in ZWENDL.

7 Schematisatie

Waterlopen of delen van waterlopen worden in ZWENDL tot vakken geschematiseerd, die door de vaklengte en een karakteristiek profiel vastgelegd zijn. Dit profiel kan op twee manieren vastgelegd worden namelijk door een profiel halverwege het vak te definiëren en door profielen in de knooppunten ter weerszijde van het vak op te geven.

In dit laatste geval berekent ZWENDL het profiel van het vak. Van een profiel zijn vanaf een zeker niveau alle geometriegegevens met variabele intervallen vastgelegd tot een niveau, dat hoger ligt, dan de hoogste nog waarschijnlijke waterstand.

In ZWENDL kunnen de volgende bijzondere vakken ingevoerd worden.

- Vervalsekties.
- Interne rand.
- Diepe put.

De vervalsektie simuleert onder meer spuisluizen. De klepstanden dienen als randvoorwaarden opgegeven te worden. ZWENDL herkent de stroomrichting en de verschillende stromingssituaties zoals schuifstroming, onderstroming, volkomen en onvolkomen stroming. Ten behoeve van voorspellingsberekeningen bepaalt

ZWENDL het tijdstip van openen en sluiten van schuiven.

De interne rand simuleert het schutsluisproces. De schematisatie wordt door een interne rand in twee delen gesplitst. Het door het schutproces veroorzaakte debiet wordt met het bijbehorende berekende chloridegehalte als een samenstel van lozingen en onttrekkingen weergegeven op de interne rand.

Het mengproces, dat veroorzaakt wordt door entrainment in vakken met diepe putten wordt in ZWENDL weergegeven. Onder invloed van stroomsnelheid en wind wordt zout vanuit de zoute laag opgenomen, dan wel afgestaan.

8 Aannamen

- Aa Debiet toe- en afvoer vindt via het "wateroppervlak" plaats. De impuls van toe- en afgevoerde debieten wordt verwaarloosd.
- Ab De schuifspanning tussen stroomvoerend en kombergend gedeelte wordt gelijkgesteld aan de bodemschuifspanning.
- Ac De bodemschuifspanning wordt gelijkgesteld aan $\tau = \rho(g/C^2)Q |Q|/A_s^2$.
C kan hierbij een funktie zijn van de grootheden die in het programma berekend worden.
- Ad Waterstanden in alle takken die op een knooppunt uitkomen worden aan elkaar gelijkgesteld.
- Ae De windschuifspanning kan worden beschreven middels $\tau_s = f_w W^2 \cos \delta$.
- Af Alleen conservatieve stoffen.
- Ag,Ah Volledige of onvolledige koppeling in het knooppunt.
- Ai De snelheidsverdeling is uniform over de hoogte en breedte.
- Aj De gemiddelde halve waterdiepte is als schatter gebruikt voor het zwaartepunt van het dwarsprofiel.

LITERATUUR

Rijkswaterstaat (1980)

Systeemdokumentatie IMPLIC 40

Dienst Informatieverwerking

Rijkswaterstaat (1980 b)

Eéndimensionaal model voor het dynamisch en simultaan oplossen van de water-
bewegings- en convectie/diffusievergelijking in een netwerk

WWZW nota 11.004.07

Dronkers, J.J. (1969)

Tidal computations for rivers, coastal areas and seas

ASCE Journal of Hydraulics Division

Thatcher, M.L. en Harleman, D.R.F. (1972)

A mathematical model for the prediction of unsteady salinity intrusion in
estuaries

Report No. 149 R.M. Parsons Laboratory MIT

Langerak, A., Ras, M.A.N. de, en Leendertse, J.J., (1978)

Adjustement and verification of the Rand Delta II model

16th Int. Conf. Coastal Engineering, Hamburg

Daily, J.E. en Harleman, D.R.F. (1972)

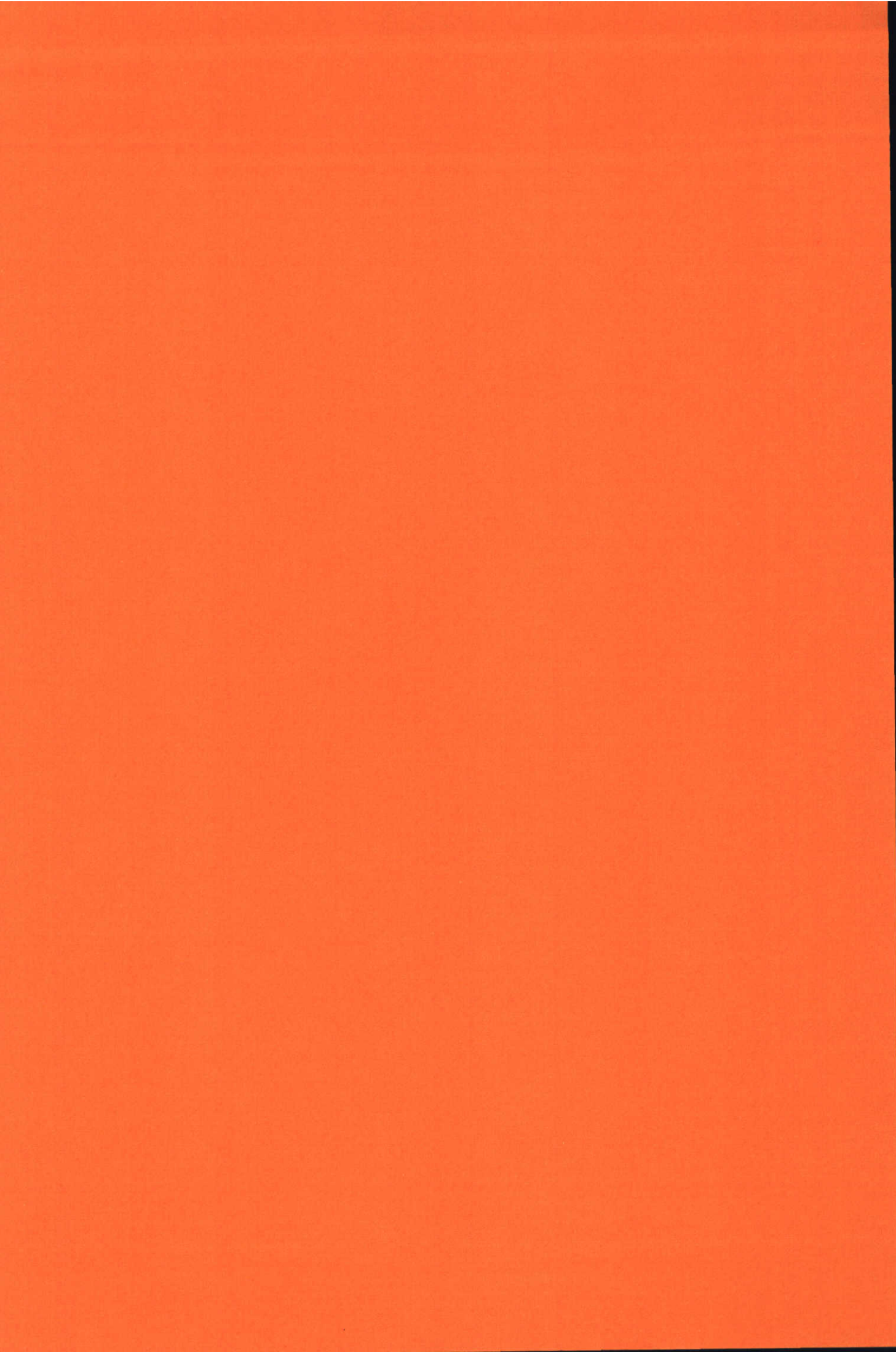
"Numerical model for the prediction of transient water quality in estuary
networks"

Report No. 158, R.M. Parsons Laboratory, MIT

Waterloopkundig Laboratorium (1979)

Nauwkeurighedsaspecten IMPLIC

Verslag R 1484-1, 1979



Bemonstering: jan-feb 1974

rivier kmr	D ₅₀ (µm)			slib- fraktie	rivier kmr	D ₅₀ (µm)			slib- fraktie
	rechts	links	gemiddeld			rechts	links	gemiddeld	
Waal					Maas				
951	1120	720	920	0	200	-	-	-	-
2	720	480	600	0	1	-	-	-	-
Bo Merw					2	500	520	510	0
953	610	370	490	0	3	410	550	480	0
4	750	370	560	0	4	318	420	369	0
5	520	430	475	0	5	540	370	455	1
6	600	370	485	0	6	435	242	338	0
7	670	490	580	0	7	410	310	360	0
8	670	415	542	0	8	440	300	370	0
9	570	320	445	0	9	375	340	358	0
960	470	305	388	0	210	390	315	352	0
1	525	305/<16	282	24	1	385	238	312	7
Be Merw					2	455	275	365	0
962	-	-	-	-	3	460	355	408	0
3	-	-	-	-	4	370	530	450	1
4	-	-	-	-	5	375	500	438	0
5	-	-	-	-	6	365	420	392	0
6	-	-	-	-	7	380	390	385	0
7	-	-	-	-	8	390	4800*	390	0
8	-	-	-	-	9	390	370	380	3
9	-	-	-	-	220	340	365	352	2
970	-	-	-	-	1	420	165	292	10
1	-	-	-	-	2	210	105	158	20
2	-	-	-	-	3	355	390	372	0
3	-	-	-	-	4	470	345	408	0
4	-	-	-	-	5	565	260	412	4
5	-	-	-	-	6	415	420	418	0
6	-	-	-	-	Bergsche M.				
Ni Merw					227	465	430	448	1
962	100	385	242	11	8	144	225	184	24
3	385	550	468	1	9	<16	150	83	45
4	390	270	330	6	230	125	92	108	35
5	370	370	370	0	1	185	225	205	9
6	375	410	392	0	2	480	300	390	1
7	345	335	340	0	3	168	180	174	27
8	260	117	188	19	4	98	37	68	42
9	164	174	169	6	5	88	26	57	45
970	150	335	242	9	6	29	290	160	30
1	1500*	<16*	-	35	7	34	490	262	28
2	365	330	348	1	8	310	18	164	43
3	285	305	295	10	9	230	195	212	22
4	23	<16	<20	51	240	254	26	140	44
5	<16	<16	<16	59	1	370	360	365	4
6	37	34	36	40	2	390	345	368	3
7	29	24	26	46	3	340	16	178	36
8	<16	<16	<16	47	4	370	270	320	14
9	<16	<16	<16	58	5	405	330	368	5
980	<16	<16	<16	63	6	360	238	299	10
					7	328	20	174	48
					8	17	238	128	50
					9	380	18	199	40
					250	340	305	322	2

Bemonstering: jan 1975

rivier kmr	D ₅₀ (µm)			slib- fraktie	rivier kmr	D ₅₀ (µm)			slib- fraktie
	rechts	links	gemiddeld			rechts	links	gemiddeld	
Waal					Maas				
951	590	500	545	0	202	405	590	498	0
2	750	480	615	0	3	<16*	2350*	-	37
Bo Merw					4	230	560	395	1
953	600	430	515	0	5	880	390	635	3
4	1000	370	685	0	6	460	227	344	0
5	585	480	532	0	7	435	330	382	0
6	595	422	508	0	8	390	300	345	0
7	590	390	490	0	9	385	300	342	0
8	567	435	501	0	210	390	313	352	1
9	535	370	452	0	1	385	335	360	0
960	600	355	477	0	2	430	270	350	0
1	600	430/315	448	3	3	475	367	421	0
Be Merw					4	286	460	373	0
962	-	-	-	-	5	432	595	514	0
3	-	-	-	-	6	370	420	395	1
4	-	-	-	-	7	410	365	388	0
5	-	-	-	-	8	320	490	405	0
6	-	-	-	-	9	275	595	435	0
7	-	-	-	-	220	470	360	415	0
8	-	-	-	-	1	355	286	320	1
9	-	-	-	-	2	280	38	159	25
970	-	-	-	-	3	360	380	370	0
1	-	-	-	-	4	480	335	408	0
2	-	-	-	-	5	480	292	386	0
3	-	-	-	-	6	405	470	438	0
4	-	-	-	-	Bergsche M.				
5	-	-	-	-	227	460	395	428	0
6	-	-	-	-	8	590	420	505	0
Ni Merw					9	360	260	310	2
962	312	274	293	0	230	290	280	285	0
3	320	335	328	0	1	290	112	201	13
4	382	382	382	0	2	470	260	365	0
5	445	365	405	0	3	355	282	318	0
6	320	328	324	3	4	445	166	306	4
7	350	400	375	0	5	390	280	335	2
8	328	380	354	0	6	25	330	178	36
9	316	375	346	0	7	122	300	211	8
970	<16	350	<183	28	8	290	355	322	1
1	430	<16	<223	4	9	30	335	182	29
2	330	242	286	7	240	356	262	314	1
3	325	280	302	3	1	375	442	408	0
4	345	19	182	26	2	410	38	224	25
5	365	<16	<190	32	3	375	362	368	4
6	39	<16	<28	54	4	390	30	210	34
7	<16	<16	<16	64	5	370	175	272	12
8	<16	<16	<16	64	6	290	240	265	17
9	<16	23	<20	54	7	465	20	242	34
980	64	<16	<40	49	8	225	335	280	5
					9	340	18	179	32
					250	350	23	186	32

Bemonstering: april 1983

rivier kmr	korreldiameters as rivier		
	D ₁₀ (µm)	D ₅₀ (µm)	D ₉₀ (µm)
Waal			
951	410	680	>1060
2	350	525	960
Boven Merwede			
953	320	470	630
4	310	475	640
5	300	485	680
6	350	500	850
7	320	450	610
8	330	450	600
9	380	520	1000
960	330	490	>1200
1	305	420	625
Beneden Merwede			
962	420	575	1040
3	385	510	780
4	400	500	820
5	360	485	>1200
6	400	530	1200
7	380	510	870
8	325	500	900
9	310	470	990
970	340	450	750
1	260	370	630
2	240	340	530
3	250	400	1300
4	300	420	950
5	285	410	690
6	230	330	535
Nieuwe Merwede			
962	265	365	570
3	250	330	440
4	240	300	400
5	250	320	400
6	250	315	400
7	240	330	440
8	245	320	430
9	230	280	360
970	230	280	420
1	230	310	790
2	230	310	460
3	240	315	500
4	225	310	430
5	215	285	390
6	215	290	390
7	-	-	-
8	-	-	-
9	-	-	-
980	-	-	-

Bemonstering: 8 + 13 feb 1984

rivier kmr	D ₅₀ (µm)			D ₉₀ (µm)		
	rechts	as	links	rechts	as	links
Maas						
200	-	-	-	-	-	-
1	-	-	-	-	-	-
2	-	-	-	-	-	-
3	-	-	-	-	-	-
4	-	-	-	-	-	-
5	-	-	-	-	-	-
6	-	-	-	-	-	-
7	-	-	-	-	-	-
8	-	-	-	-	-	-
9	-	-	-	-	-	-
210	-	-	-	-	-	-
1	-	-	-	-	-	-
2	-	-	-	-	-	-
3	-	-	-	-	-	-
4	-	-	-	-	-	-
5	-	-	-	-	-	-
6	-	-	-	-	-	-
7	-	-	-	-	-	-
8	-	-	-	-	-	-
9	-	-	-	-	-	-
220	-	-	-	-	-	-
1	-	-	-	-	-	-
2	-	390	-	-	600	-
3	-	450	480	-	910	925
4	-	350	410	-	590	620
5	-	315	305	-	510	395
6	405	410	500	640	960	920
Bergsche Maas						
227	480	385	525	800	1000	960
8	575	400	380	1300	1000	630
9	460	460	305	895	850	530
230	445	370	255	605	595	365
1	400	275	265	600	400	390
2	265	300	235	515	465	315
3	475	315	240	815	550	385
4	465	320	240	675	540	380
5	470	360	220	770	570	300
6	390	365	375	610	605	660
7	305	300	335	545	890	795
8	290	320	485	485	565	2000
9	305	430	350	720	1250	700
240	240	420	420	375	1050	910
1	285	330	410	600	605	770
2	340	315	400	560	810	620
3	360	315	270	595	480	375
4	410	290	220	630	470	270
5	470	315	215	850	500	250
6	430	275	210	825	400	250
7	380	290	180	600	395	240
8	-	-	400	-	-	700
9	-	-	-	-	-	-
250	-	-	-	-	-	-

Bemonstering: 21 + 23 feb 1984

rivier kvr	korreldiameters as rivier		
	D ₁₀ (µm)	D ₅₀ (µm)	D ₉₀ (µm)
Maas			
200	-	-	-
1	260	412	675
2	255	375	650
3	265	387	730
4	225	315	540
5	250	425	615
6	375	525	>1200
7	295	425	850
8	315	413	600
9	275	450	900
210	265	375	600
1	240	355	850
2	270	375	1100
3	250	400	1100
4	225	315	575
5	230	350	625
6	250	380	1050
7	260	425	925
8	255	435	>1200
9	225	350	>1200
220	265	490	>1200
1	230	345	600
2	225	325	575
3	230	340	520
4	225	325	575
5	220	340	600
6	240	350	800
Bergsche Maas			
227	240	385	900
8	225	340	600
9	250	400	800
230	220	320	600
1	215	305	600
2	210	265	380
3	215	380	690
4	200	350	580
5	240	385	810
6	210	300	475
7	205	315	525
8	205	300	>1200
9	205	315	625
240	215	325	625
1	180	275	800
2	215	350	755
3	215	325	510
4	200	275	500
5	290	265	445
6	310	315	510
7	315	310	500
8	150	195	245
9	170	225	340
250	200	350	600

Bemonstering: 26 april 1984

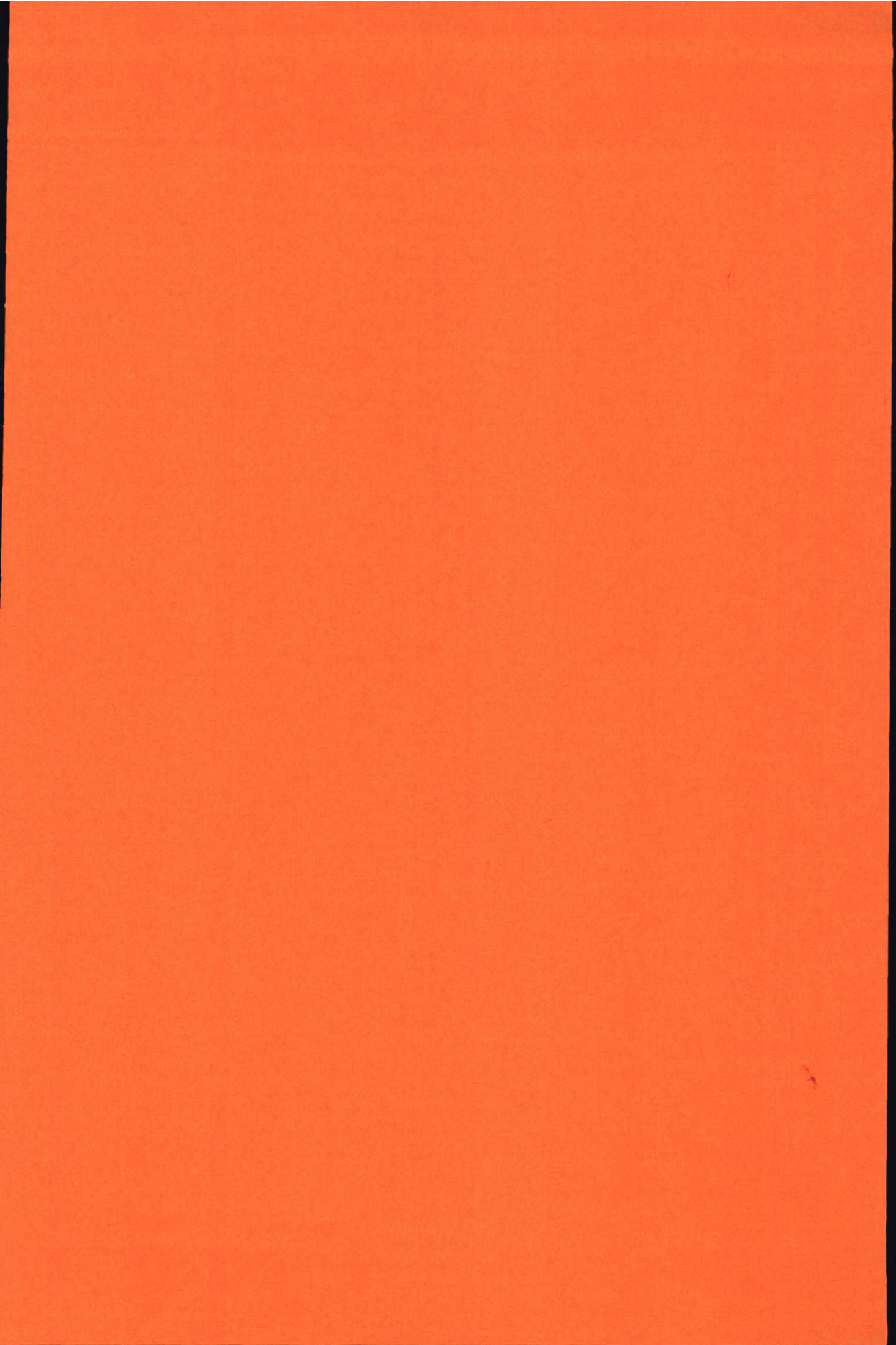
rivier	korreldiameters as rivier			
	kmr	D ₁₀ (µm)	D ₅₀ (µm)	D ₉₀ (µm)
Maas				
200		-	-	-
1		250	390	600
2		285	480	>1200
3		300	500	>1200
4		220	305	465
5		295	580	895
6		320	475	740
7		320	440	800
8		320	450	600
9		320	485	760
210		265	385	630
1		255	355	560
2		260	360	565
3		265	415	875
4		225	315	525
5		250	380	700
6		265	435	1050
7		250	410	>1200
8		275	455	950
9		225	340	525
220		255	455	900
1		255	395	630
2		225	350	600
3		250	385	600
4		220	315	540
5		220	325	595
6		240	385	>1200
Bergsche Maas				
227		260	450	1100
8		225	340	725
9		250	440	850
230		215	300	400
1		210	300	455
2		245	320	520
3		215	400	>1200
4		215	360	600
5		220	355	590
6		210	315	520
7		205	315	740
8		205	300	625
9		200	310	1100
240		210	325	560
1		205	315	555
2		205	305	520
3		205	315	530
4		210	320	630
5		210	320	565
6		175	265	450
7		210	295	450
8		<125	<155	<125
9		170	215	265
250		170	215	350

Bemonstering: 5 mrt 1985

rivier kms	D ₁₀ (m)			D ₅₀ (m)			D ₉₀ (m)		
	rechts	as	links	rechts	as	links	rechts	as	links
Maas									
200	-	-	-	-	-	-	-	-	-
1	-	-	-	-	-	-	-	-	-
2	-	-	-	-	-	-	-	-	-
3	-	-	-	-	-	-	-	-	-
4	-	-	-	-	-	-	-	-	-
5	-	-	-	-	-	-	-	-	-
6	-	-	-	-	-	-	-	-	-
7	-	-	-	-	-	-	-	-	-
8	-	-	-	-	-	-	-	-	-
9	-	-	-	-	-	-	-	-	-
210	-	-	-	-	-	-	-	-	-
1	-	-	-	-	-	-	-	-	-
2	-	-	-	-	-	-	-	-	-
3	-	-	-	-	-	-	-	-	-
4	-	-	-	-	-	-	-	-	-
5	-	-	-	-	-	-	-	-	-
6	-	-	-	-	-	-	-	-	-
7	-	-	-	-	-	-	-	-	-
8	-	-	-	-	-	-	-	-	-
9	-	-	-	-	-	-	-	-	-
220	320	330	-	550	520	-	1200	1000	-
1	350	255	225	500	360	315	775	555	530
2	270	275	340	390	390	500	580	600	840
3	250	275	310	355	450	480	600	905	925
4	315	250	290	500	350	400	1075	590	630
5	350	225	220	540	315	300	1100	510	395
6	260	260	335	410	410	500	645	965	920
Bergsche Maas									
227	315	255	330	480	385	525	800	1000	955
8	350	255	260	575	400	380	1300	1000	630
9	285	275	215	460	460	305	900	850	525
230	315	250	200	445	365	280	605	600	365
1	295	210	205	400	275	265	600	400	385
2	65	210	180	265	300	235	515	470	320
3	255	210	175	475	315	240	820	550	385
4	320	210	175	465	320	240	670	545	380
5	315	230	165	470	360	220	770	575	300
6	250	235	250	390	265	380	605	605	665
7	210	200	210	300	300	340	545	890	800
8	210	220	220	290	320	475	485	565	2000
9	200	215	215	305	430	350	720	250	700
240	180	220	220	240	420	415	375	1050	900
1	200	205	220	285	330	405	600	600	770
2	210	190	210	345	315	400	560	810	605
3	210	210	200	385	315	270	595	480	375
4	230	205	170	410	295	220	630	470	270
5	265	215	160	470	315	215	850	500	250
6	215	200	165	435	275	210	825	400	250
7	250	205	130	375	290	180	600	395	240
8	180	160	220	275	205	395	450	245	700
9	270	175	175	450	225	250	945	300	335
250	260	180	95	270	245	215	545	385	295

Bemonstering: apr/mei 1985

rivier	D ₁₀ (µm)			D ₅₀ (µm)			D ₉₀ (µm)		
	rechts	as	links	rechts	as	links	rechts	as	links
Waal									
951	620	480	365	1195	910	660	2525	4475	2775
2	565	315	300	1060	508	465	4050	1050	3425
Boven Merw									
953	460	328	310	775	518	468	1650	1400	1100
4	480	375	295	895	562	445	6550	>1850	862
5	445	258	252	745	422	388	1525	925	610
6	415	302	278	600	492	440	1450	875	890
7	435	278	312	660	450	465	1400	685	920
8	405	310	288	550	470	458	1135	805	1312
9	410	315	238	558	453	378	1100	708	592
960	425	295	268	615	422	410	2075	610	685
Beneden Merw									
961	-	-	-	-	-	-	-	-	-
2	-	-	-	-	-	-	-	-	-
3	-	-	-	-	-	-	-	-	-
4	-	-	-	-	-	-	-	-	-
5	-	-	-	-	-	-	-	-	-
6	-	-	-	-	-	-	-	-	-
7	-	-	-	-	-	-	-	-	-
8	-	-	-	-	-	-	-	-	-
9	-	-	-	-	-	-	-	-	-
970	-	-	-	-	-	-	-	-	-
2	-	-	-	-	-	-	-	-	-
3	-	-	-	-	-	-	-	-	-
4	-	-	-	-	-	-	-	-	-
5	-	-	-	-	-	-	-	-	-
6	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Nieuwe Merw									
961	322	288	270	502	420	400	865	615	615
2	270	265	250	440	388	370	615	585	575
3	270	260	220	402	378	325	698	572	480
4	265	240	205	368	328	305	552	465	402
5	238	238	225	338	325	315	487	437	395
6	258	228	248	368	320	320	550	398	420
7	240	228	238	330	308	322	492	402	402
8	228	222	230	320	315	308	448	398	390
9	198	235	240	290	312	330	502	390	470
970	slib	230	slib	slib	303	slib	slib	618	slib
1	slib	208	230	slib	290	315	slib	485	400
2	-	-	-	-	-	-	-	-	-
3	-	-	-	-	-	-	-	-	-
4	-	-	-	-	-	-	-	-	-
5	-	-	-	-	-	-	-	-	-
6	-	-	-	-	-	-	-	-	-
7	-	-	-	-	-	-	-	-	-
8	-	-	-	-	-	-	-	-	-
9	-	-	-	-	-	-	-	-	-
980	-	-	-	-	-	-	-	-	-



Definitie van enkele parameters

specifieke dichtheid Δ :

$$\Delta = \frac{\rho_s - \rho}{\rho} \quad (1)$$

met ρ_s = dichtheid van het korrelmateriaal

ρ = dichtheid van het water

korrelgrootte parameter D_* :

$$D_* = \left(\frac{\Delta g}{\nu^2} \right)^{1/3} \cdot D \quad (2)$$

met g = versnelling van de zwaartekracht

ν = kinematische viscositeit

D = diameter van het bodemmateriaal, waarbij in de literatuur zowel D_m (gemiddelde korreldiameter) als D_{90} (mediane korreldiameter) wordt gebruikt !

korrel Reynoldsgetal Re_* :

$$Re_* = \frac{u_* D}{\nu} \quad (3)$$

met u_* = bodemschuifspaningssnelheid

dimensieloze bodemschuifspanning θ :

$$\theta = \frac{\tau_b}{\rho g \Delta D_{50}} = \frac{u_*^2}{g \Delta D_{50}} \quad (4)$$

met τ_b = bodemschuifspanning

dimensieloze korrelschuifspanning θ'

$$\theta' = \frac{\tau'_b}{\rho g \Delta D_{50}} = \frac{u_*'^2}{g \Delta D_{50}} \quad (5)$$

met τ'_b = korrelschuifspanning

u_*' = effectieve korrelschuifspanningsnelheid betrokken op de korrels

kritieke dimensieloze bodemschuifspanning θ_{cr} volgens Shields

De Shieldskromme voor begin van beweging wordt gegeven door:

$$\begin{aligned}
 \theta_{cr} &= 0.24 D_*^{-1} && \text{voor } D_* \leq 4 \\
 \theta_{cr} &= 0.14 D_*^{-0.64} && 4 < D_* \leq 10 \\
 \theta_{cr} &= 0.04 D_*^{-0.10} && 10 < D_* \leq 20 \\
 \theta_{cr} &= 0.013 D_*^{0.29} && 20 < D_* \leq 150 \\
 \theta_{cr} &= 0.055 && D_* > 150
 \end{aligned} \tag{7}$$

Hierin is D_* gerelateerd aan D_{50} .

transport parameter ϕ

$$\phi = \frac{s}{D \sqrt{g \Delta D}} \tag{8}$$

met s = transport per eenheid van breedte

Van Rijn's transport stage parameter T :

$$T = \frac{u_*'^2 - u_{*,cr}^2}{u_{*,cr}^2} = \frac{\theta' - \theta_{cr}}{\theta_{cr}} \tag{9}$$

$$\text{met } u_*' = \frac{\sqrt{g} \cdot u}{C'_b}$$

u = diepte gemiddelde stroomsnelheid

$$C'_b = 18 \log \left(\frac{12R_b}{3D_{90}} \right) = \text{Chézykoefficiënt voor korrelruwheid}$$

R_b = hydraulische straal van de bodem gekorrigeerd voor wandinvloeden

D_{90} = korreldiameter van het bodemmateriaal

p.o. box 177

2600 mh delft

the netherlands