



waterloopkundig laboratorium
delft hydraulics laboratory

Aanzanding in vaargeul Slijkgat nabij
Goeree; bestaande situatie

AFGEHANDELD

verslag onderzoek

R 2052 deel I

juni 1984

INHOUD

blz.

1.	<u>Inleiding</u>	1
2.	<u>Berekeningsmethode</u>	2
3.	<u>Aanzandingsberekeningen</u>	3
3.1	Randvoorwaarden.....	3
3.1.1	Geometrie van de bestaande vaargeul.....	3
3.1.2	Getij-omstandigheden.....	3
3.1.3	Golven.....	4
3.1.4	Sedimenttransportgegevens.....	5
3.2	Berekeningen.....	5
3.3	Resultaten.....	7
3.4	Slotbeschouwing.....	7

TABELLEN

- 1 Hydraulische randvoorwaarden raai 1
- 2 Hydraulische randvoorwaarden raai 2
- 3 Samenstelling bodensediment
- 4 Samenstelling gesuspendeerd sediment

FIGUREN

- 1 Bestaande situatie vaargeul Slijkgat
- 2 Overschrijdingspercentage van spuioopening en significante golfhoogte
- 3 Randvoorwaarden waterstanden en stroomsnelheden raai 1
- 4 Randvoorwaarden waterstanden en stroomsnelheden raai 2
- 5 Zandconcentraties op 21 februari 1984 in meetpunt 1B (vloed)
- 6 Slibconcentraties op 21 februari 1984 in meetpunt 1B (vloed)
- 7 Randvoorwaarden zandconcentratieverdeling raai 1
- 8 Randvoorwaarden zandconcentratieverdeling raai 2
- 9 Berekende bodemligging in raai 1 en 2 voor bestaande situatie

APPENDIX

SUTRENCH-model

AANZANDING IN VAARGEUL SLIJKGAT NABIJ GOEREE

1. Inleiding

Bij brief nr. 3099 d.d. 13 maart 1984 heeft de afdeling Hellevoetsluis van de direktie Waterhuishouding en waterbeweging van Distrikt Kust en Zee van Rijkswaterstaat aan het Waterloopkundig Laboratorium opdracht gegeven om de aanzanding van de vaargeul Slijkgat in de Noordzee (zie figuur 1) te voorspellen. Het onderzoek werd uitgevoerd en gerapporteerd door Ir. L.C. van Rijn, projekt ingenieur van het Waterloopkundig Laboratorium.

2. Berekeningsmethode

Bij het Waterloopkundig Laboratorium is het mathematisch model "SUTRENCH" ontwikkeld waarmee de aanzanding in gebaggerde geulen kan worden berekend. Dit model is gebaseerd op de longitudinale en verticale beweging van de gesuspendeerde sedimentdeeltjes veroorzaakt door konvektie, menging en bezinking bij stroming en golven. Tevens wordt het bodemtransport via een eenvoudige formule in rekening gebracht.

Het stromingsveld wordt beschreven door een logaritmische snelheidsverdeling, waarbij het debiet konstant wordt verondersteld in een stroombuis. De golfhoogte wordt konstant verondersteld in het gehele gebied.

Bodemveranderingen worden bepaald op basis van de continuïteitsvergelijking voor het totaal-transport (= suspensietransport en bodemtransport).

In het geval van getijstroming wordt de getijcyclus (eb en vloed) geschematiseerd tot een aantal quasi-permanente stromingstoestanden.

De basisvergelijkingen, vereenvoudigingen, randvoorwaarden en de numerieke oplossingstechniek zijn beschreven in Appendix 1.

Een van de belangrijkste randvoorwaarden is de grootte van het sedimenttransport op de bovenstroomse rand. De nauwkeurigheid van de berekende bodemligging wordt voornamelijk bepaald door de nauwkeurigheid van het sedimenttransport op de randen.

3. Aanzandingsberekeningen

3.1 Randvoorwaarden

3.1.1 Geometrie van de bestaande vaargeul

In de nazomer van 1983 is er een vaargeul gebaggerd ten noordwesten van het schiereiland Goeree (zie figuur 1). De vaargeul heeft een breedte van ca. 200 m en een gemiddelde bodemligging van ca. -4.5 m NAP. De berekeningen zijn uitgevoerd voor de geulraaien 1 en 2, zoals aangegeven in figuur 1. Beide raaien worden verondersteld een gemiddelde stroomrichting voor de vloed- en eb fase weer te geven. De stroomrichtingen tijdens vloed en eb zijn bepaald op basis van drijfvermetingen uitgevoerd op 18 en 20 februari 1984 door de adviesdienst Hellevoetsluis. De beginbodemliggingsprofielen van raai 1 en 2 volgens peilingen van september-oktober 1983 ($t = 0$) zijn aangegeven in figuur 9. De maximale verdieping bedraagt ca. 1 m in raai 1 en ca. 0.8 m in raai 2.

3.1.2 Getij-omstandigheden

De springtij-doodty cyclus is weergegeven door het gemiddelde getij (waterstandsverschil = 2.10 m). Het verloop van het (gemiddelde) horizontaal getij is bepaald op basis van stroomsnelheidsmetingen op 14 en 21 februari 1984 uitgevoerd door de Adviesdienst Hellevoetsluis. Om de relatief grotere bijdrage van de stroomsnelheden tijdens springtij op het sedimenttransport in rekening te brengen, moeten de stroomsnelheden van het gemiddelde getij enigszins worden verhoogd (met ca. 5%). Gegeven de beperkte nauwkeurigheid van de beschikbare sedimenttransportgegevens, is dit effect (verwaarloosbaar) gering verondersteld.

De vloedfase van het gemiddelde getij is geschematiseerd tot een quasipermanente stroming van 2 uur met stroomsnelheden van 0.65 m/s op de vloedrand van raai 1 en 0.55 m/s op de vloedrand van raai 2. De bijbehorende waterstanden ten opzichte van NAP zijn 0.4 m (zie figuren 3,4 en tabellen 1,2). De eb fase van het gemiddelde getij is geschematiseerd tot een quasi-permanente stromingstoestand van 2 of 4 uur, afhankelijk van de grootte van de spuiopening in de Haringvlietsluizen. Er zijn 2 representatieve spuiopeningen in rekening gebracht: 500 m² (0-1000 m², 75% van het totaal aantal spuiperiodes

aanwezig en 1500 m² (1000-2000 m², 20% van het totaal aantal spuiperioden aanwezig), zoals aangegeven in figuur 2. De spuiopening van 1500 m² is verondersteld aanwezig te zijn in het najaar en in het voorjaar. Voor de winterperiode is een spuiopening van 500 m² aangenomen. De toegepaste jaarverdeling is gegeven in de tabellen 1 en 2. De waterstanden tijdens de ebfase zijn gegeven in de tabellen 1,2 en de figuren 3,4.

3.1.3 Golven

Er zijn 4 klassen van significante golfhoogten (H_s) onderscheiden (zie figuur 2):

$$\begin{aligned} H_s &= 0 - 0,75 \text{ m gedurende } 75\% \text{ van de tijd,} \\ H_s &= 0,75 - 1,25 \text{ m gedurende } 20\% \text{ van de tijd,} \\ H_s &= 1,25 - 1,75 \text{ m gedurende } 4\% \text{ van de tijd,} \\ H_s &\geq 1,75 \text{ m gedurende } 1\% \text{ van de tijd.} \end{aligned}$$

Deze gegevens zijn gebaseerd op registraties ter plaatse van meetpaal G gedurende de periode 1977-1982 voor alle waterstanden (Nota nr. ww kz-83 S 003 van Rijkswaterstaat). De hogere golven zijn verondersteld aanwezig te zijn in de periode van december tot maart (zie tabellen 1 en 2).

De significante golfperiode (T_s) is berekend met behulp van de formule:

$$T_s = 1,35 (10 H_s)^{0.5}$$

3.1.4 Sedimenttransportgegevens

Op 14 en 21 februari 1984 zijn er stroomsnelheids- en sedimentconcentratie-metingen uitgevoerd in de meetpunten 1A, 1B, 1C, 2A, 2B en 2C (zie figuur 1). De stroomsnelheden werden gemeten met een Ott-molen. De zand- en slibconcentraties zijn bepaald op basis van water-sedimentmonsters genomen met een waterhapper ("muizenval"-type). De figuren 5 en 6 geven een voorbeeld van de zand- en slibconcentraties op 21 februari 1984 in meetpunt 1B tijdens vloed bij stroomsnelheden van 0.1 - 1.0 m/s. De fluktuaties in de sedimentconcentraties zijn relatief groot, waarschijnlijk als gevolg van de gebruikte meet-apparatuur ("muizenval") die momentane waarden van de concentraties oplevert.

Tijdens de metingen op 21 februari zijn er een aantal bodemmonsters genomen. De samenstelling van het bodemmateriaal en enkele karakteristieke korreldiameters zijn vermeld in tabel 3. De d_{50} varieert van 20-170 μm . Op basis van deze metingen kan worden gesteld dat er lokaal kleine gebieden met zeer fijn materiaal (slib) aanwezig zijn. De gemiddelde d_{50} van het zandige bodemmateriaal is gesteld op ca. 150 μm . Om inzicht te krijgen in de grootte van de gesuspendeerde zandkorrels, zijn er een aantal zandmonsters afkomstig van de watermonsters bijelkaar gevoegd en gezeefd. De resultaten, vermeld in tabel 4, geven een gemiddelde waarde voor alle vloed- en ebmonsters in de diverse meetpunten. De d_{50} van het gesuspendeerde zandmateriaal varieert van 110 tot 150 μm . Er zijn bij het Waterloopkundig Laboratorium proeven uitgevoerd ter bepaling van de bezinksnelheid van het gesuspendeerde zandmateriaal bij een temperatuur van ca 18°C. De bezinksnelheid ($w_{s,50}$) varieert van ca 9 tot 17 mm/s (tabel 4).

3.2 Berekeningen

Bij de sedimentatie berekeningen is aangenomen dat alleen de zandfractie blijvend tot bezinking komt in de (relatief ondiepe) geul. Er is dus geen rekening gehouden met sedimentatie door slibdeeltjes.

Op de vloed- en ebrand van het rekengebied is er voor elke stroom- en golftoestand (tabellen 1 en 2) een zandconcentratieverdeling volgens evenwicht aangenomen. Deze verdelingen zijn berekend met het SUTRENCH-model met standaardkoëfficiënten.

De resultaten van deze berekeningen (randvoorwaarden) zijn gegeven in de figuren 7 en 8. Hierin is tevens het spreidingsgebied van de zandconcentratie-metingen van 21 februari 1984 aangegeven. Opgemerkt moet worden dat dit een meting bij springtij betreft, terwijl de berekeningen zijn gebaseerd op gemiddeld getij-omstandigheden. De golfhogten op 21 februari varieerden van 0-0.75 m. Op de vloedrand (meetpunt 1A an 2A) zijn de berekende zandconcentraties enigszins te laag, terwijl op de ebrand (meetpunt 1C en 2C) de berekende zandconcentraties juist enigszins te hoog zijn.

De representatieve bezinksnelheid is geschat op $w_s = 9$ mm/s. De effectieve bodemruwheid is geschat op ca 0.05 m (echolood peilingen).

De beginbodempligging ($t = 0$) is aangenomen op 1 oktober 1983. De berekeningen strekken zich uit over een periode van 12 maanden van 1 oktober 1983 tot 1 oktober 1984.

De invoergegevens zijn:

stroomsnelheden, waterstanden, golfhoogten	: tabel 1 en 2
korreldiameter van het bodemmateriaal	, $d_{50} = 150 \mu\text{m}$
, $d_{90} = 230 \mu\text{m}$	
bezinksnelheid van het gesuspendeerde zand	, $w_s = 0.009 \text{ m/s}$
effektieve bodemruwheid	, $k_s = 0.05 \text{ m}$
dichtheid sediment	, $\rho_s = 2650 \text{ kg/m}^3$
dichtheid water	, $\rho = 1000 \text{ kg/m}^3$
verhouding menging van sediment en water	, $\beta = 1$
konstante van Von Karman	, $\kappa = 0.4$
hoek van natuurlijk talud van bodem materiaal	, $\phi = 35^\circ$
porositeit van bodemmateriaal	, $p = 0.4$
longitudinal plaatsstap	, $\Delta x = 50 \text{ m}$
vertikale plaatsstap	, $\Delta z = \text{variabel (10 punten)}$
referentie-nivo voor bodemconcentratie	, $a = 0.05 \text{ m}$
tijdstap	, $\Delta t = 7200 \text{ s}$
"smoothings"-faktor voor bodemliggingsberekening, γ	= 0.1

3.3 Resultaten

Bestaande vaargeul

De aanzanding in raai 1 is berekend over een periode van 6 maanden van 1 oktober 1983 tot 1 april 1984. De aanzanding in raai 2 is berekend over 12 maanden. De berekende bodemliggingen op 1 december, 1 januari en 1 april zijn gegeven in figuur 9. In het middengedeelte van de geul treedt een aanzienlijke aanzanding op, terwijl er aan de randen van de geul enige erosie optreedt (vooral in raai 1). De grootste aanzanding treedt op in raai 2. Na 6 maanden (winterperiode) bedraagt de aanzanding over de vaargeulbreedte ca. 500 m². Na 12 maanden is dit ca. 600 m². De aanzanding in de zomerperiode is relatief gering.

3.4 Slotbeschouwing

De berekende aanzanding in het middengedeelte van de geul kan enigszins te hoog zijn omdat geen rekening is gehouden met stroomrefractie in de geul. Dit leidt tot kontraktie van de stroombanen in de geul en als gevolg daarvan enigszins hogere stroomsnelheden in de geul en dus minder aanzanding. Voor een relatief ondiepe geul is dit effect echter gering. Ook moet worden opgemerkt dat de aanzanding in raai 2 vrij sterk afhankelijk is van de schematisatie van de spuidebieten door de Haringvlietafsluitingsdam.

Gezien de beperkte nauwkeurigheid van de beschikbare sedimenttransportgegevens, moet de berekende aanzanding worden beschouwd als een orde van grootte. De werkelijke aanzanding kan een faktor 2 groter of kleiner zijn.

Uit vaartechnische overwegingen verdient een relatief brede vaargeul de voorkeur, omdat de vaardiepte in het midden van de geul relatief langzaam afneemt in de tijd. Bij de keuze van de geulafmetingen zullen echter ook economische overwegingen in beschouwing moeten worden genomen betreffende de initiële en onderhoudsbaggerkosten.

tijds- periode	vloedrand				ebrand				
	stroom- snelheid (m/s)	water- diepte (m)	golf- hoogte (m)	duur (uren)	stroom- snelheid (m/s)	water- diepte (m)	spui- opening (m ²)	golf- hoogte (m)	duur (uren)
1 okt '83 - 1 dec '83	0,65	4,5	0,35	2	0,6	3,1	1500	0,35	4
1 dec '83 - 1 jan '84	0,65	4,5	1,0	2	0,5	3,1	500	0,75	2
1 jan '84 - 15 jan '84	0,65	4,5	1,5	2	0,5	3,1	500	1,25	2
15 jan '84 - 1 mrt '84	0,65	4,5	1,0	2	0,5	3,1	500	0,75	2
1 mrt '84 - 1 apr '84	0,65	4,5	0,35	2	0,6	3,1	1500	0,35	4
1 apr '84 - 1 okt '84	0,65	4,5	0,35	2	0,5	3,1	250	0,35	2

Tabel 1 Hydraulische randvoorwaarden; Raai 1

tijds- periode	vloedrand				ebrand				
	stroom- snelheid (m/s)	water- diepte (m)	golf- hoogte (m)	duur (uren)	stroom- snelheid (m/s)	water- diepte (m)	spui- opening (m ²)	golf- hoogte (m)	duur (uren)
1 okt '83 - 1 dec '83	0,55	4,3	0,35	2	0,65	3,1	1500	0,35	4
1 dec '83 - 1 jan '84	0,55	4,3	1,0	2	0,4	3,1	500	0,75	2
1 jan '84 - 15 jan '84	0,55	4,3	1,5	2	0,4	3,1	500	1,25	2
15 jan '84 - 1 mrt '84	0,55	4,3	1,0	2	0,4	3,1	500	0,75	2
1 mrt '84 - 1 apr '84	0,55	4,3	0,35	2	0,65	3,1	1500	0,35	4
1 apr '84 - 1 okt '84	0,55	4,3	0,35	2	0,35	3,1	250	0,35	2

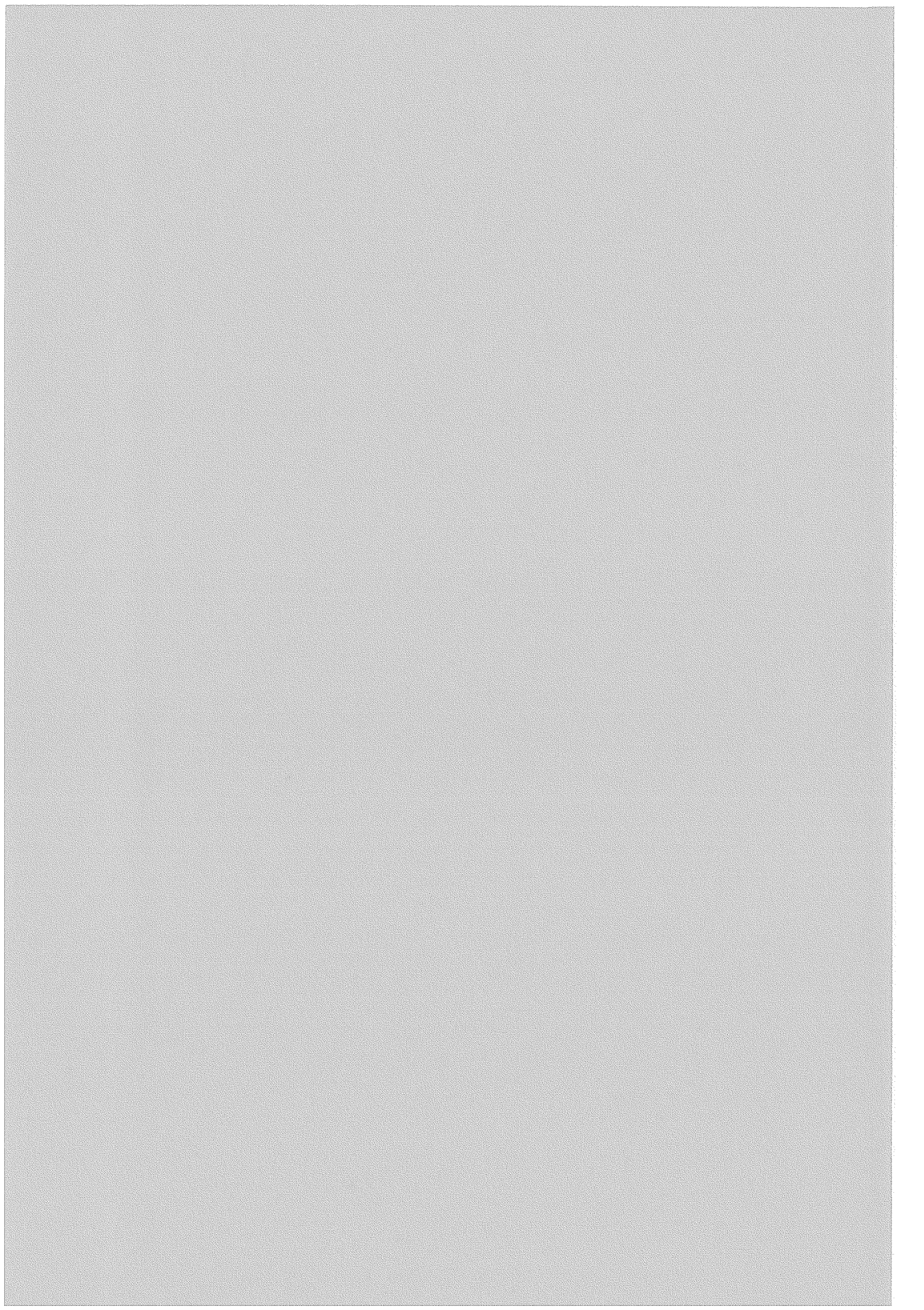
Tabel 2 Hydraulische randvoorwaarden; Raai 2

meetpunt	% kalk en	% slib	% zand	d_{10}	d_{50}	d_{90}
	organ. stof			(μm)	(μm)	(μm)
1A (tijdens vloed)	9	3	88	105	170	230
1B (tijdens vloed)	10	7	83	90	140	230
1B (tijdens eb)	28	41	31	-	20	170
1C (tijdens eb)	14	12	74	20	120	190
2A (tijdens vloed)	23	28	49	-	100	140
2B (tijdens vloed)	22	27	51	-	80	130
2B (tijdens eb)	7	1	92	120	170	230
2C (tijdens eb)	17	17	66	-	110	140

Tabel 3 Samenstelling bodemsediment

meetpunt	korrelverdeling			bezinksnelheidsverdeling		
	d_{10} (μm)	d_{50} (μm)	d_{90} (μm)	$w_{s,10}$ (mm/s)	$w_{s,50}$ (mm/s)	$w_{s,90}$ (mm/s)
1A (tijdens vloed)	110	150	240	10,5	17	34
1B (tijdens vloed)	70	130	170	7	11,5	17,5
2A+2B (tijdens vloed)	70	120	180	6	10	16
1B+1C+2B+2C (tijdens eb)	50	110	190	5,5	9,5	17

Tabel 4 Samenstelling gesuspendeerd sediment (zand)



Appendix A SUTRENCH-modelA.1 Introduction

The SUTRENCH-model is a two-dimensional vertical mathematical model for sedimentation and erosion predictions in trenches, navigation channels and settling basins (Kerssens et al, 1979, van Rijn, 1981).

The model is based on the width-integrated equation for suspended sediment transport which represents the sediment transport by convection, current-induced turbulent mixing, wave-induced (orbital) mixing and gravity (settling).

Bed level changes are computed using the equation of continuity for the depth-integrated total sediment transport.

A.2 Basic equationSediment transport

Neglecting the longitudinal mixing process by currents and waves, the basic equation for the sediment transport can be expressed as:

sediment continuity

$$\frac{\delta(buc)}{\delta x} + \frac{\delta bc(w-w_s)}{\delta z} - \frac{\delta}{\delta z} (b \epsilon_{s,cw} \frac{\delta c}{\delta z}) = 0 \quad (1)$$

Bed level changes can be described by:

$$b \frac{\delta(bz_b)}{\delta t} + \frac{1}{(1-p)\rho_s} \frac{\delta b S_t}{\delta x} = 0 \quad (2)$$

$$S_t = S_b + \int_0^h u c dz \quad (3)$$

in which:

b	= mean flow width	(m)
u	= mean longitudinal (x) flow velocity	(m/s)
w	= mean vertical (z) flow velocity	(m/s)
c	= mean sediment concentration	(kg/m ³)

w_s	= particle fall velocity	(m/s)
$\epsilon_{s,cw}$	= sediment mixing coefficient (current and waves)	(m ² /s)
p	= porosity factor	(-)
ρ_s	= sediment density	(kg/m ³)
h	= mean flow depth	(m)
S_t	= total sediment transport	(kg/sm)
S_b	= bed-load transport	(kg/sm)
z_b	= bed level above datum	(m)
t	= time	(s)

To solve Equation (1), the longitudinal flow velocity (u), the vertical flow velocity (w), the particle fall velocity (w_s) and the sediment mixing coefficient ($\epsilon_{s,cw}$) must be known, while also appropriate boundary conditions must be specified. The width (b) may be constant or vary in longitudinal (x) direction. The particle fall velocity (w_s) is assumed to be constant in longitudinal and vertical direction.

A.3 Flow velocity

Assuming a gradually varying flow and neglecting the influence of the waves on the velocity profile, the flow velocity is assumed to be represented sufficiently accurately by a simple logarithmic function:

$$u_z = a u_h \ln\left(\frac{z}{z_o}\right) \quad (4)$$

$$a = \frac{1}{\ln\left(\frac{h}{z_o}\right)} \quad (5)$$

$$u_h = \frac{\ln\left(\frac{h}{z_o}\right)}{[-1 + \ln\left(\frac{h}{z_o}\right)]} \frac{Q}{bh} \quad (6)$$

in which

u_z	= longitudinal flow velocity at height z above bed	(m/s)
u_h	= longitudinal flow velocity at water surface	(m/s)
z_o	= zero-velocity level (= 0.033 k_s)	(m)
Q	= discharge	(m ³ /s)

b	= mean width	(m)
h	= mean depth	(m)
a	= coefficient	(-)
k_s	= equivalent roughness of Nikuradse	(m)

The vertical flow velocity (w) is computed from the continuity equation resulting in:

$$w_z = - \int_{z_b + z_o}^z \frac{\delta u}{\delta x} dz - \frac{1}{b} \frac{db}{dx} \int_{z_b + z_o}^z u dz \quad (7)$$

A.4 Sediment mixing coefficient

Current and waves

The mixing coefficient is described by:

$$\epsilon_{s,cw} = \epsilon_{s,c} + \epsilon_{s,w} \quad (8)$$

in which:

$$\epsilon_{s,c} = \text{sediment mixing coefficient for currents} \quad (\text{m}^2/\text{s})$$

$$\epsilon_{s,w} = \text{sediment mixing coefficient for waves} \quad (\text{m}^2/\text{s})$$

Currents

The mixing coefficient for currents is described by:

$$\epsilon_{s,c} = \epsilon_{s,c,\max} - \epsilon_{s,c,\max} \left(1 - \frac{2z}{h}\right)^{\alpha_1} \quad \text{for } \frac{z}{h} < 0.5$$

$$\epsilon_{s,c,\max} = 0.25 \beta \kappa u_* h \quad \text{for } \frac{z}{h} \geq 0.5 \quad (9)$$

in which:

$$\epsilon_{s,c,\max} = \text{sediment mixing coefficient in upper half of the flow depth} \quad (\text{m}^2/\text{s})$$

$$\beta = \text{ratio of sediment and fluid mixing coefficient} \quad (-)$$

$$\kappa = \text{constant of Von Karman} \quad (-)$$

$$u_* = \text{bed-shear velocity for currents} \quad (\text{m}/\text{s})$$

$$h = \text{mean flow depth} \quad (\text{m})$$

α_1	= $f(\hat{u}_b/u)$ = empirical coefficient representing the influence of waves on the mixing by currents	(-)
\hat{u}_b	= maximum value of orbital velocity at bed	(m/s)
u	= mean current velocity	(m/s)

Waves

The mixing coefficient for waves is described by:

$$\begin{aligned} \varepsilon_{s,w} &= \varepsilon_{s,w,bed} && \text{for } \frac{z}{h} \leq \delta \\ \varepsilon_{s,w} &= \varepsilon_{s,w,max} && \text{for } \frac{z}{h} > 0,5 \\ \varepsilon_{s,w} &= \varepsilon_{s,w,bed} + (\varepsilon_{s,w,max} - \varepsilon_{s,w,bed}) \left(\frac{z - \delta}{0,5h - \delta} \right) && \text{for } \delta < \frac{z}{h} < 0,5 \end{aligned} \quad (10)$$

$$\varepsilon_{s,w,bed} = \alpha_2 \beta \hat{u}_b \delta = \text{mixing coefficient near the bed} \quad (\text{m}^2/\text{s})$$

$$\varepsilon_{s,w,max} = \alpha_3 \beta \frac{H_s h}{T_s} = \text{mixing coefficient in upper half of the flow depth} \quad (\text{m}^2/\text{s})$$

$$\delta = \text{thickness of near-bed layer} (\approx 0.05 \text{ m}) \quad (\text{m})$$

$$H_s = \text{significant wave height} \quad (\text{m})$$

$$T_s = \text{significant wave period} \quad (\text{s})$$

$$\alpha_2 = f(D_{50}) = \text{empirical coefficient} \quad (-)$$

$$\alpha_3 = f(\text{breaker type}) = \text{empirical coefficient} \quad (-)$$

A.5 Boundary conditions

Inlet (x = 0)

The flow discharge (Q), the flow depth (h) and the concentration profile (c_z) must be specified:

$$\begin{aligned} Q &= Q_0 \\ h &= h_0 \\ c &= c_{0,z} \end{aligned} \quad (11)$$

Water surface (z = h)

It is assumed that the sediment particles cannot pass the surface:

$$(w_s c + \epsilon_{s,cw} \frac{\partial c}{\partial z})_{z=h} = 0 \quad (12)$$

Sediment bed (z = a)

It is assumed that the sediment concentration (c_a) at a small height (a) above the bed is equal to that for equilibrium conditions ($c_{a,E}$), the latter being related to local sediment (D_{50}) and shear stress ($\bar{\tau}'_{b,cw}$) parameters:

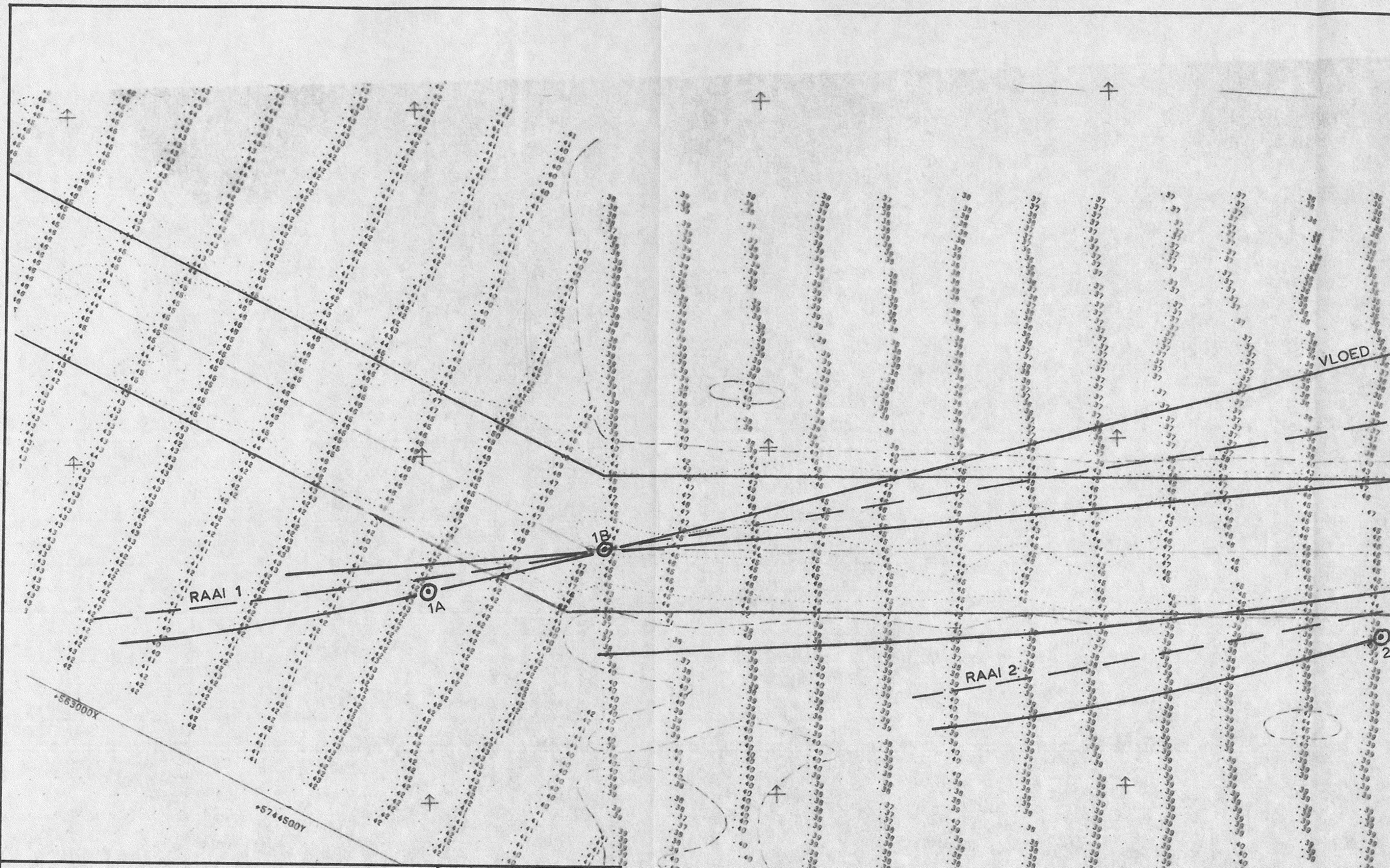
$$c_a = c_{a,E} = f(D_{50}, \bar{\tau}'_{b,cw}) \quad (13)$$

Flow domain

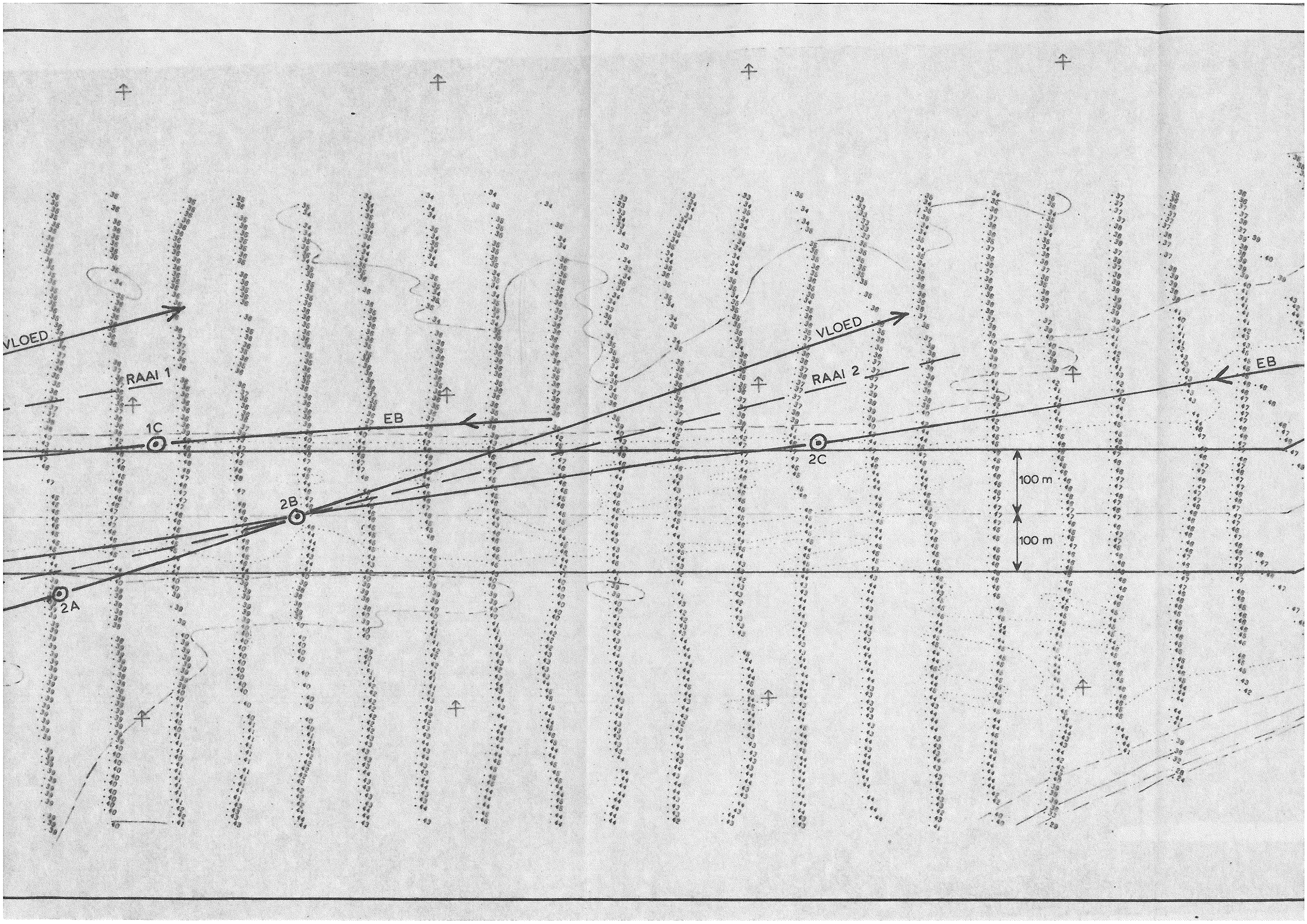
The width and depth of the flow (streamtube) must be specified as a function of longitudinal distance.

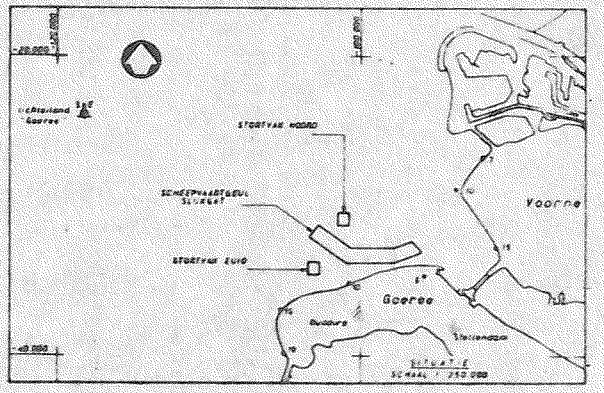
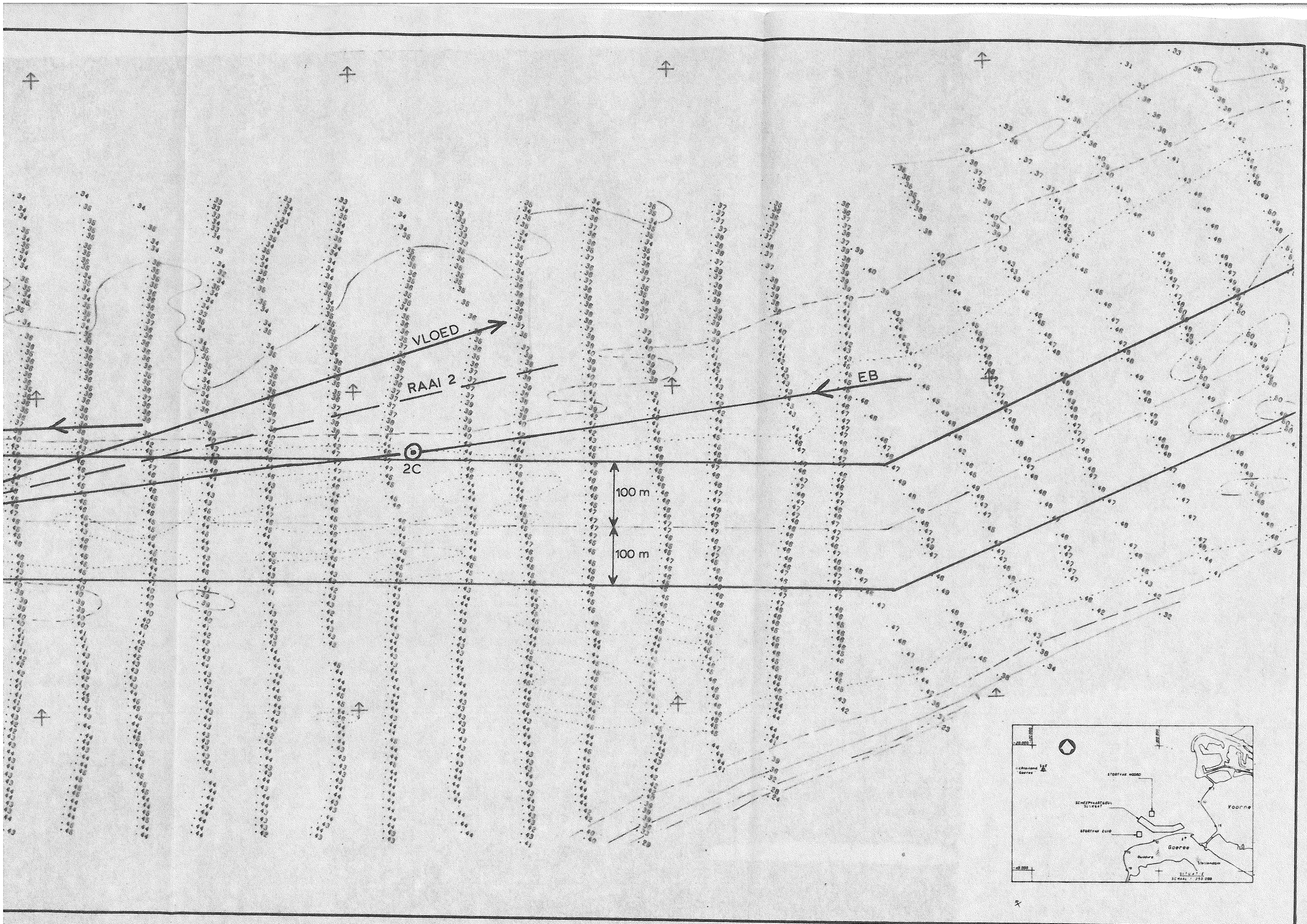
A.6 Solution method

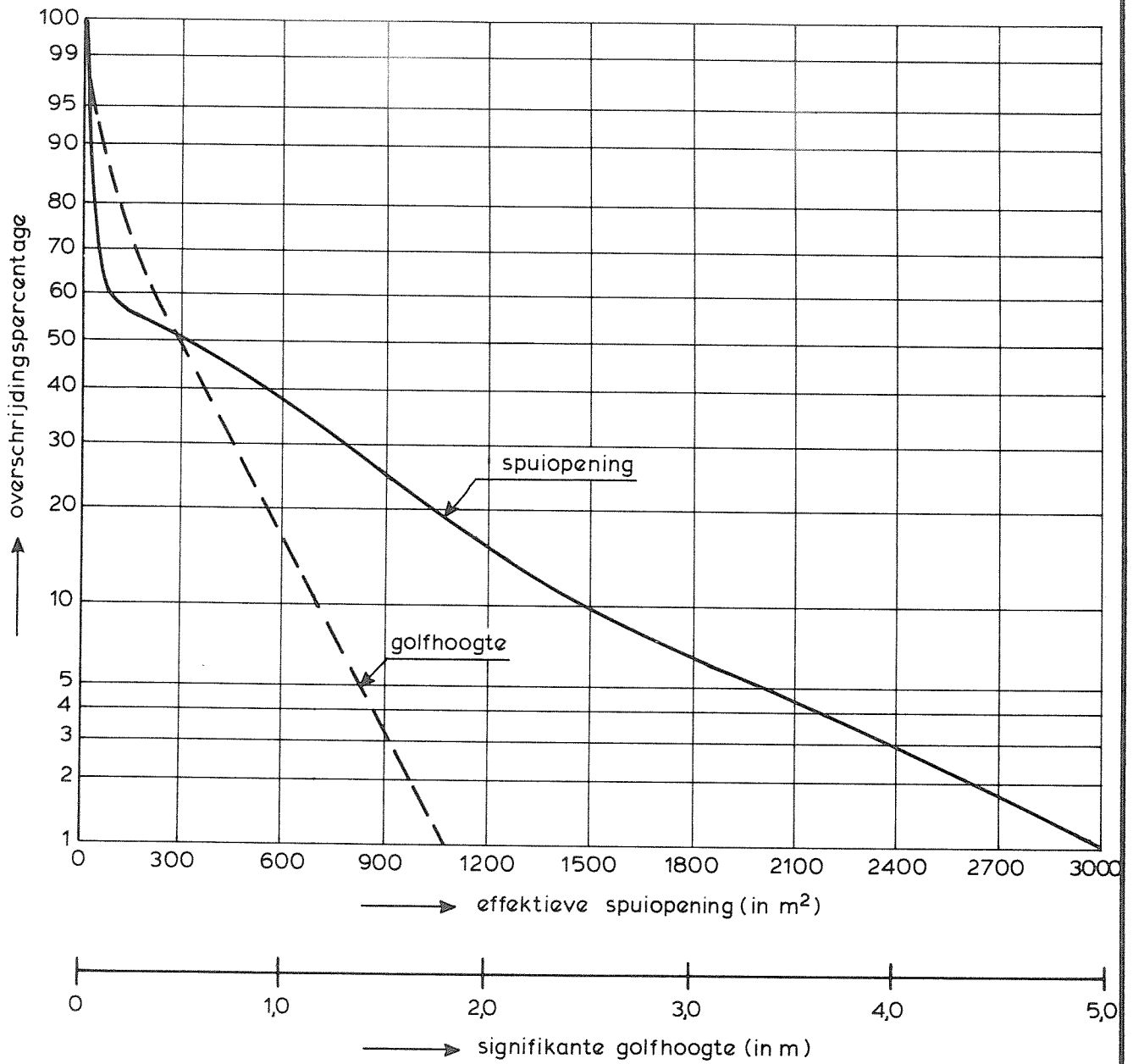
To solve Equation (1), a finite element method based on weighted residuals according to the Galerkin method is used. The two-dimensional domain is divided into quadrangular elements. The vertical dimensions of the elements decrease towards the bed to obtain a greater resolution in the near-bed zone where large gradients occur. Between the nodes of the elements the unknown variable is represented by linear interpolation functions.



BESTAANDE SITUATIE VAARGEUL SL'JKGAT		
	SCHAAL 1:5000	
WATERLOOPKUNDIG LABORATORIUM	R 2052 I	FIG. 1



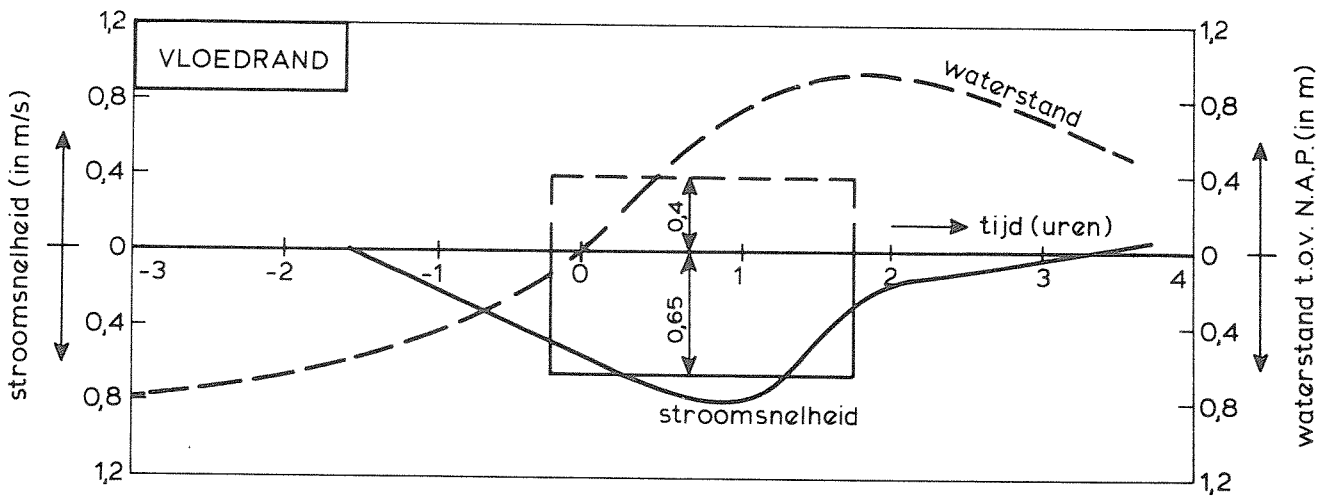
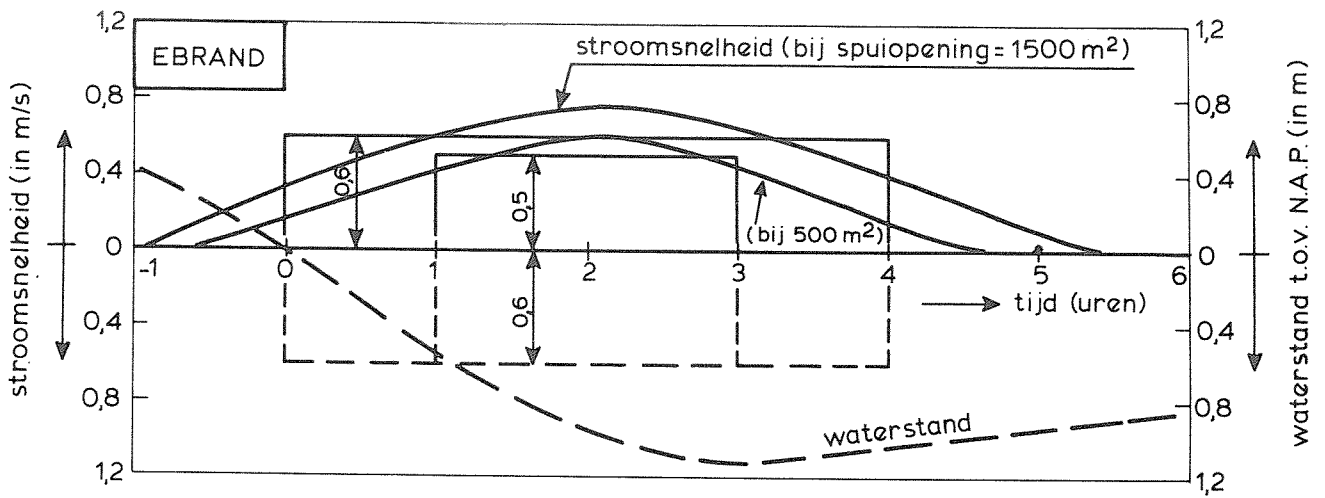




OVERSCHRJDINGSPERCENTAGE VAN SPUIOPENING
EN SIGNIFIKANTE GOLFHOOGTE

WATERLOOPKUNDIG LABORATORIUM

R 2052 I FIG. 2

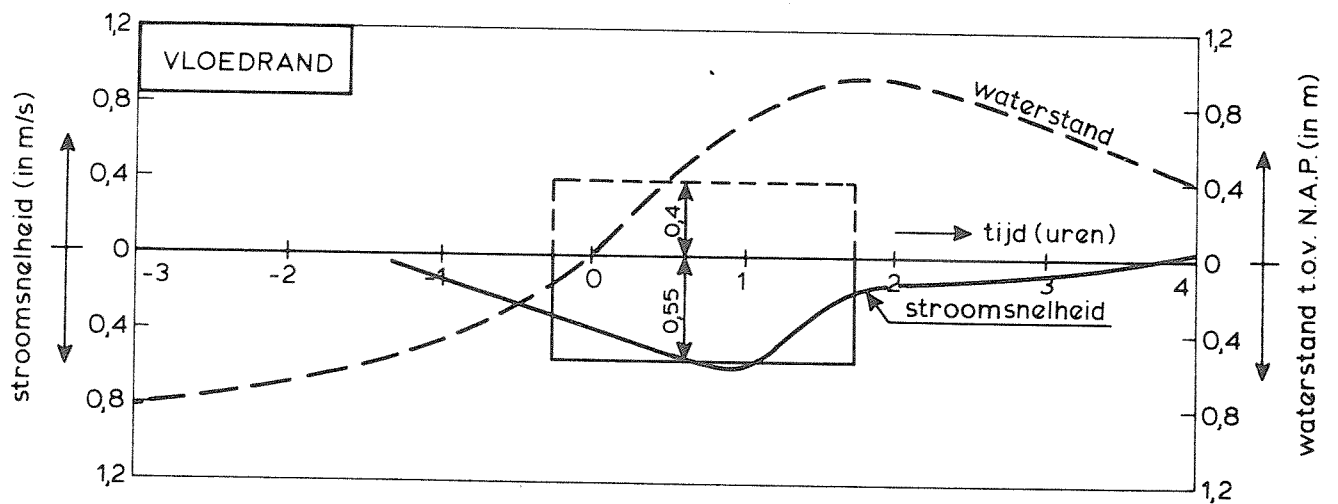
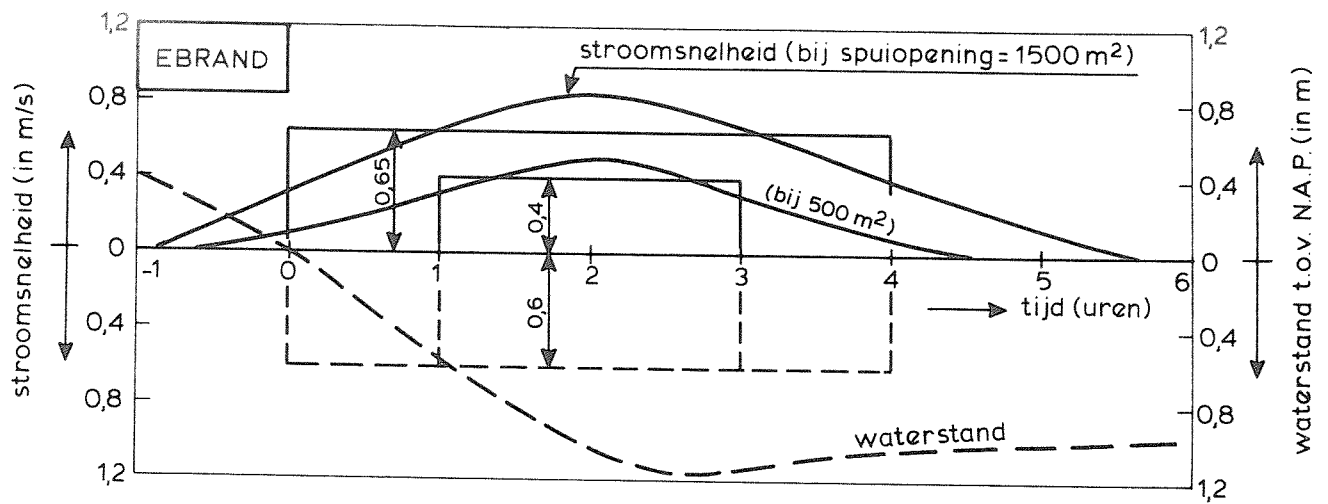


RANDVOORWAARDEN WATERSTANDEN EN
STROOMSNELHEDEN IN RAAI 1

WATERLOOPKUNDIG LABORATORIUM

R 2052 I

FIG. 3

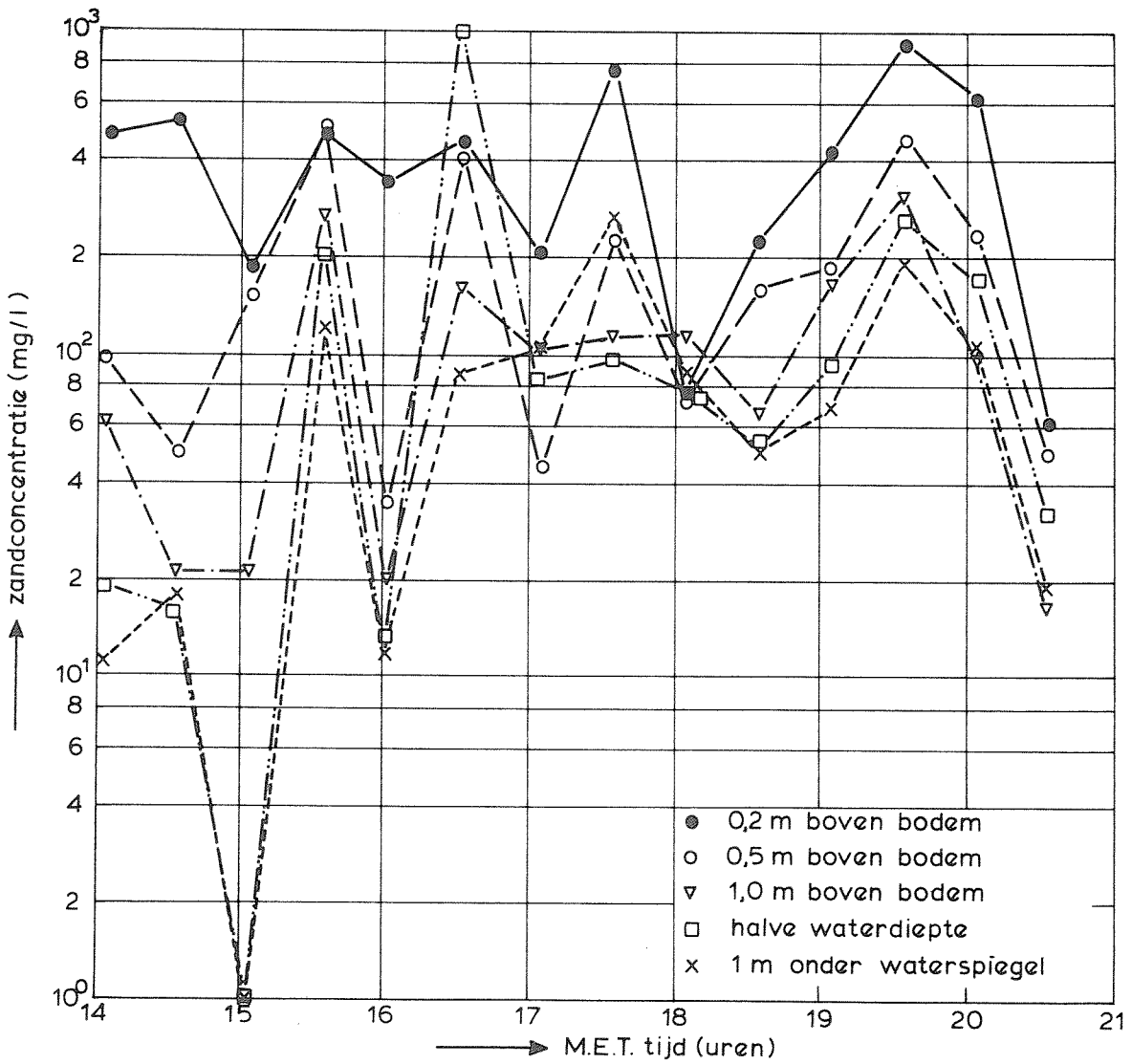
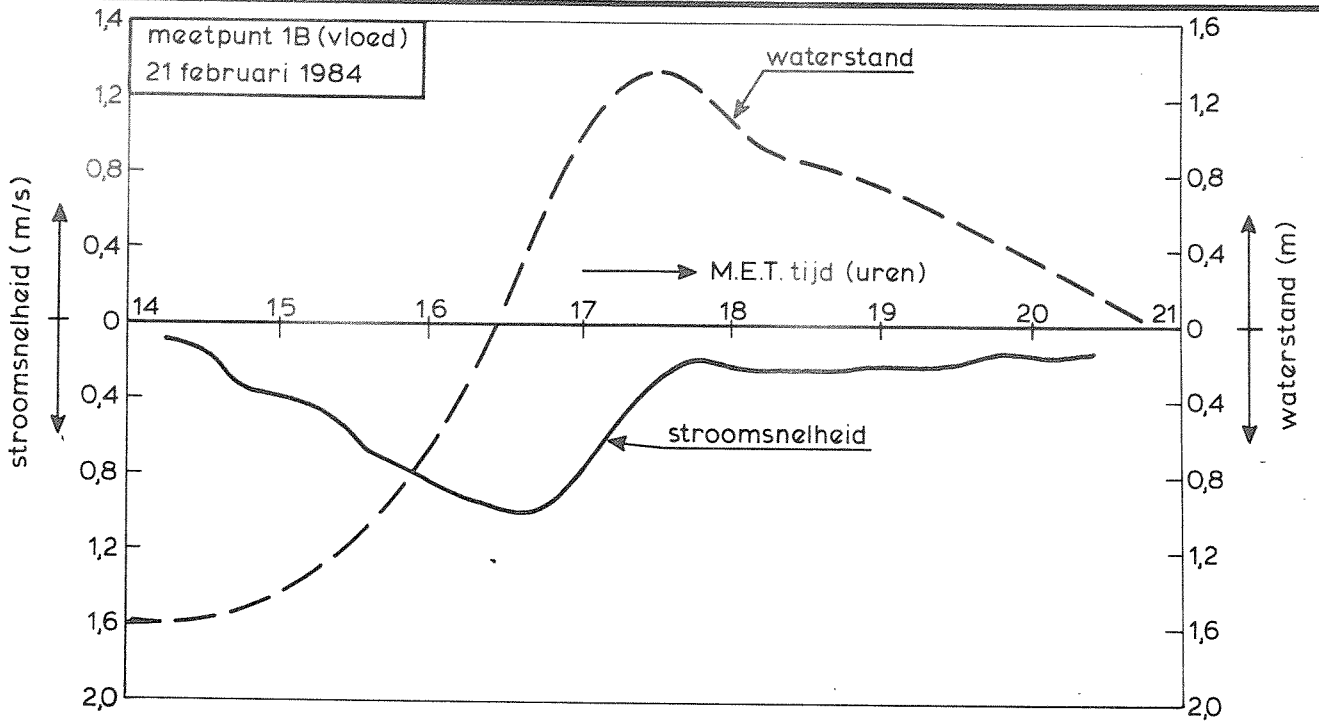


RANDVOORWAARDEN WATERSTANDEN EN
STROOMSNELHEDEN IN RAAI 2

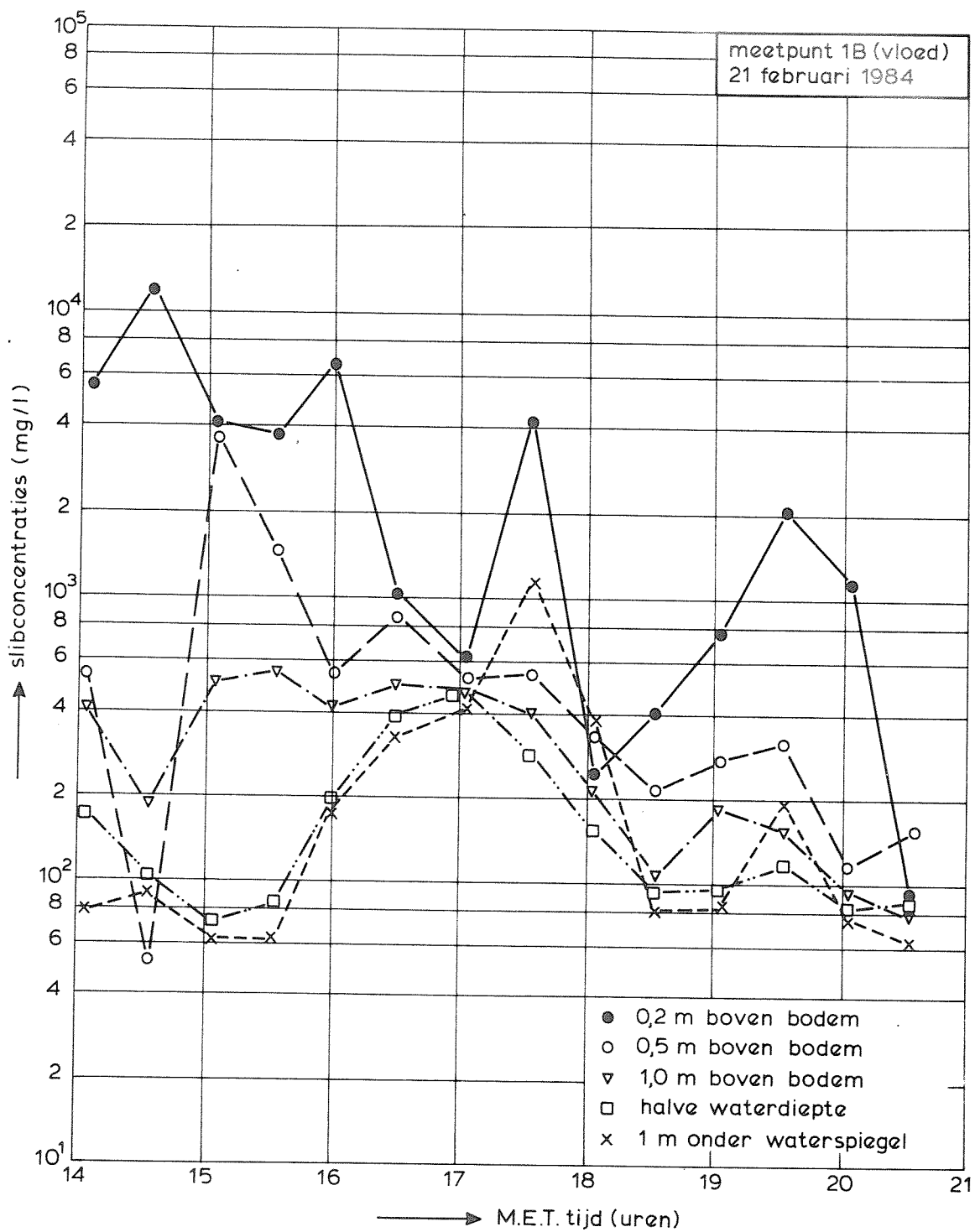
WATERLOOPKUNDIG LABORATORIUM

R 2052 I

FIG. 4



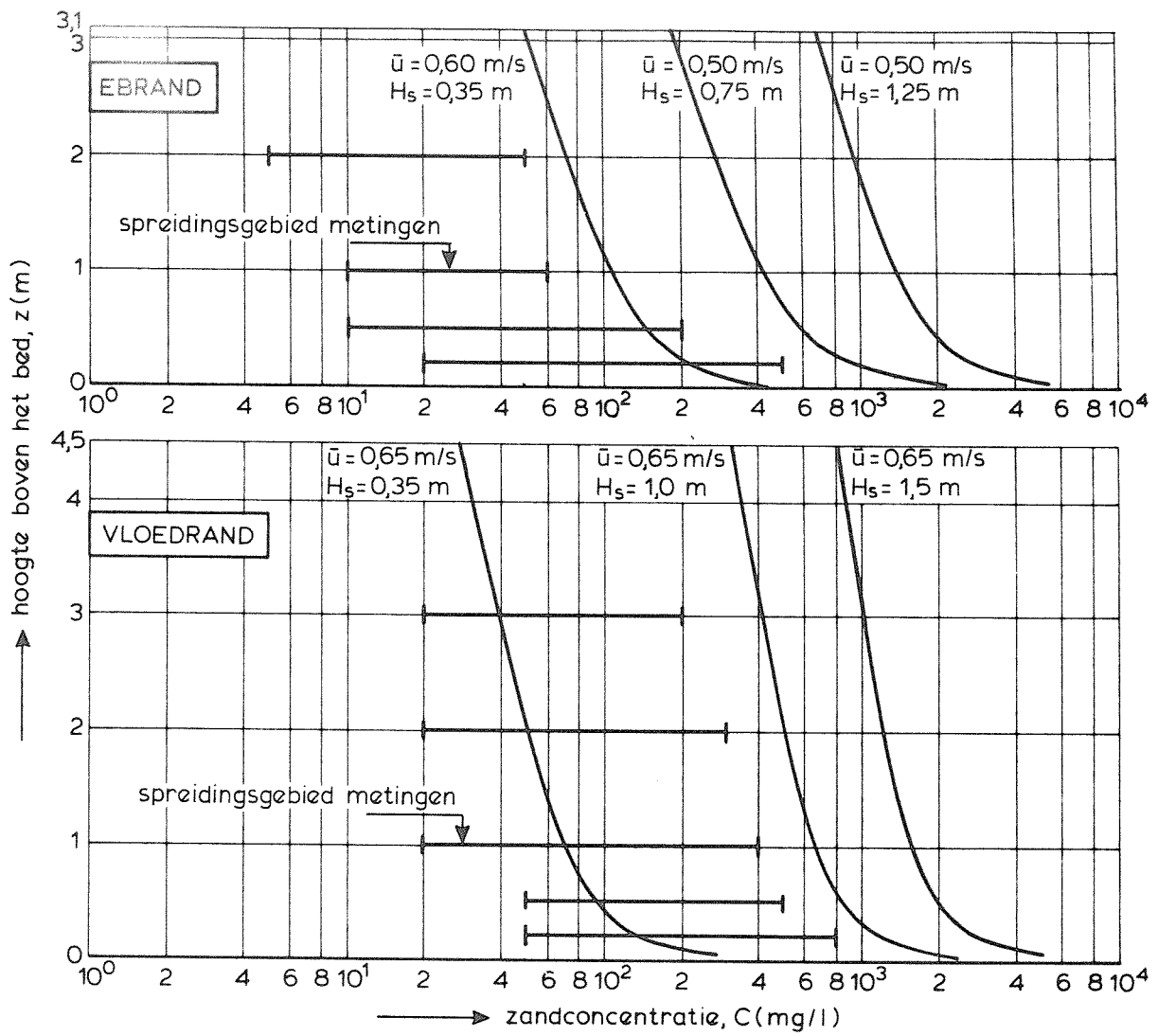
ZANDCONCENTRATIES OP 21 FEBRUARI 1984 IN
MEETPUNT 1B (VLOED)



SLIBCONCENTRATIES OP 21 FEBRUARI 1984 IN
IN MEETPUNT 1B (VLOED)

WATERLOOPKUNDIG LABORATORIUM

R 2052 I FIG. 6



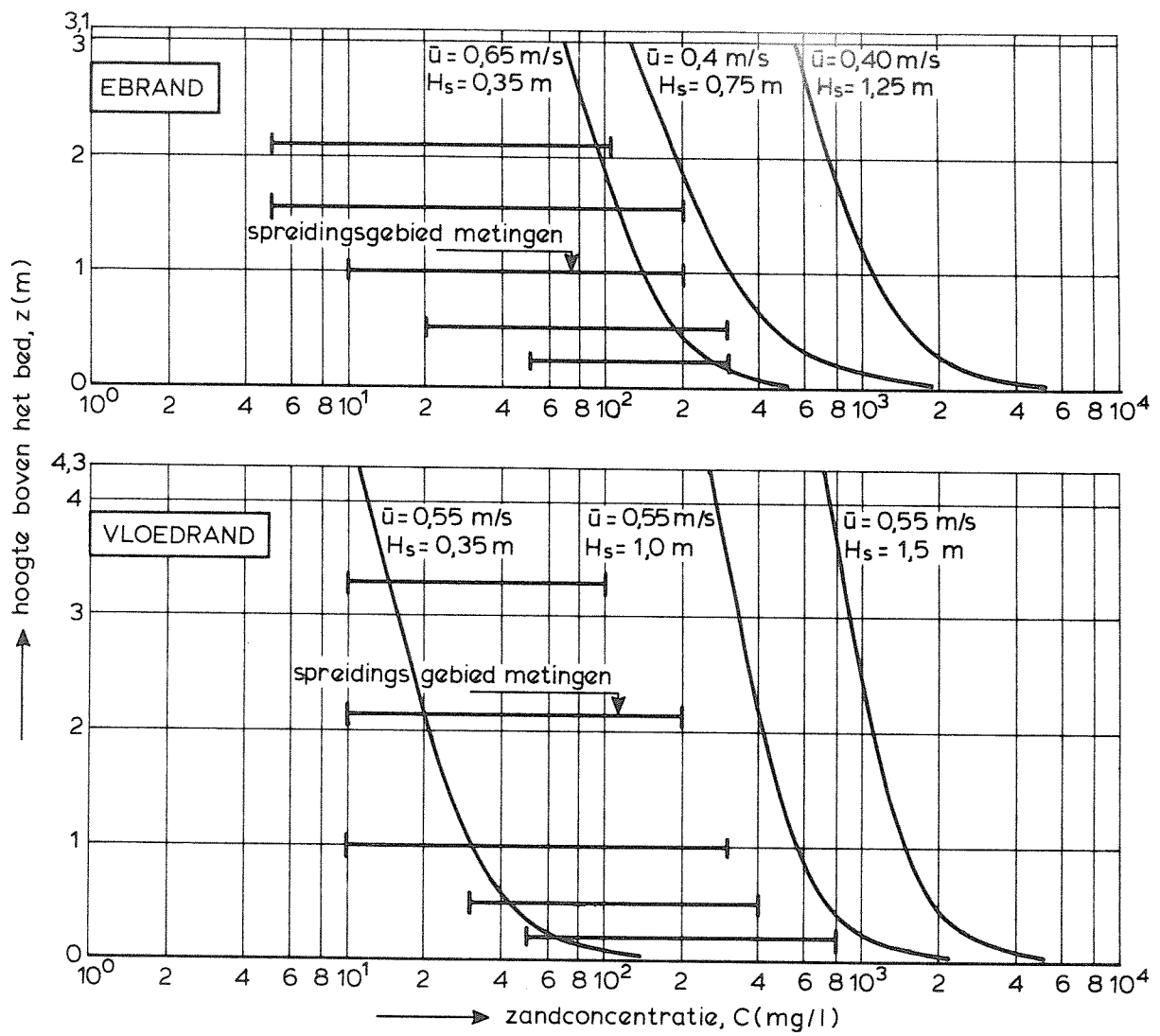
RANDVOORWAARDEN ZANDCONCENTRATIEVERDELING

RAAI 1

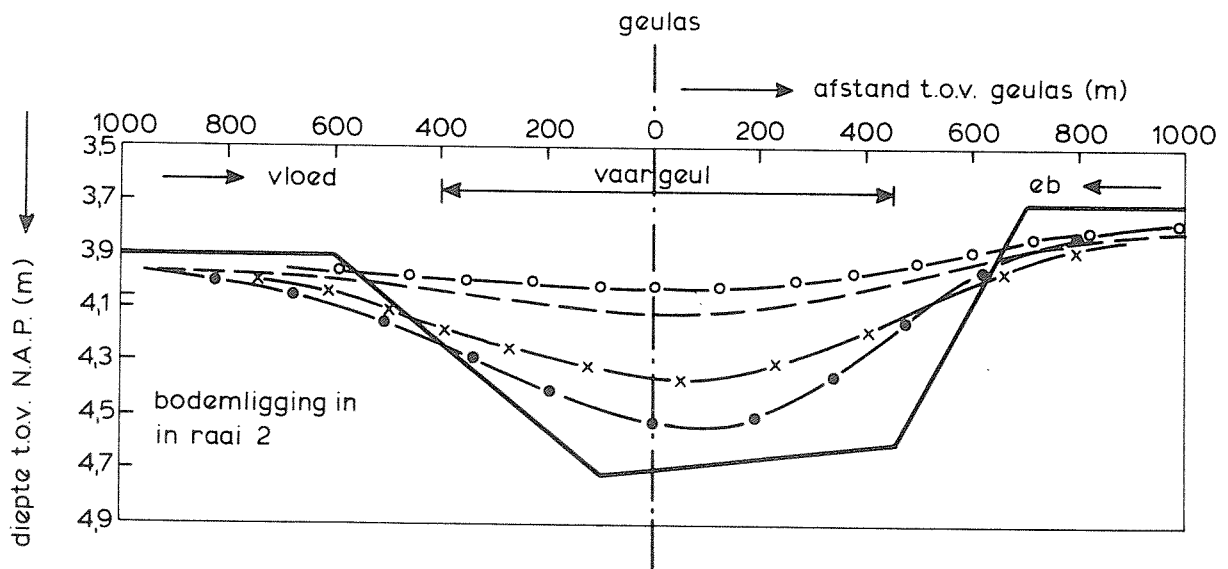
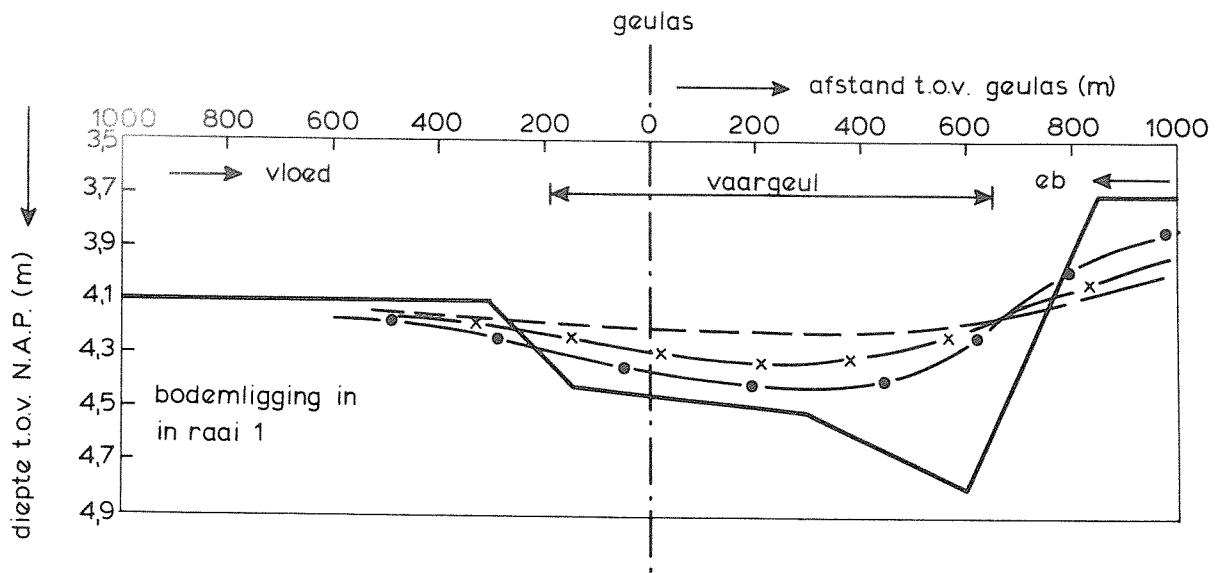
WATERLOOPKUNDIG LABORATORIUM

R 2052 I

FIG. 7



RANDVOORWAARDEN ZANDCONCENTRATIEVERDELING
RAAI 2



- 1 okt 1984
- — — 1 april 1984
- x— 1 jan 1984
- 1 dec 1983
- — — 1 okt 1983

BEREKENDE BODEMLIGGING IN RAAI 1 EN
RAAI 2 VOOR BESTAANDE SITUATIE

WATERLOOPKUNDIG LABORATORIUM

R 2052 I FIG. 9

