

opdrachtgever:

Technische Adviescommissie voor de  
Waterkeringen; Werkgroep C

effect langtransportgradienten op  
de mate van duinafslag

berekeningen met DUROSTA-model

**BIBLIOTHEEK**  
Dienst Weg- en Waterbouwkunde  
Postbus 5044, 2600 GA DELFT

deel V: verslag onderzoek

november 1990

g.5-249 DWW

24 JULI 1991

D I E L F T  
Dienst Weg- en Waterbouwkunde  
Postbus 5044, 2600 GA DELFT

## effect langtransportgradienten op de mate van duinafslag

berekeningen met DUROSTA-model

H.J. Steetzel



**waterloopkundig laboratorium | WL**

## SAMENVATTING

In het kader van het onderzoek naar de veiligheid van de Nederlandse kust is in opdracht van Werkgroep C van de Technische Adviescommissie voor de Waterkeringen (TAW-C) een onderzoek uitgevoerd naar het effect van langstransportgradiënten op de mate van duinafslag. Op basis van oriënterende berekeningen met het tijdsafhankelijke dwarstransportmodel DUROSTA-1.0 is de invloed van een kustkromming gekwantificeerd en zijn enige conclusies en aanbevelingen gegeven.

## ABSTRACT

As apart from the research programme concerning the safety of the Dutch coastline, investigations on the effect of alongshore transport gradients on the amount of dune erosion have been carried out on behalf of the Technical Advisory Committee for Sea Defence (TAW). Based on some computations with the time dependent cross-shore transport model DUROSTA-1.0 this effect has been quantified and some conclusions and recommendations are presented.



## INHOUD

SAMENVATTING

ABSTRACT

LIJST VAN FIGUREN

	blz.
1. <u>INLEIDING EN ACHTERGRONDEN</u> .....	1
2. <u>OORZAKEN LANGSTRANSPORTGRADIËNT</u> .....	2
3. <u>KUSTKROMMING</u> .....	4
4. <u>VERWERKING VAN DE GRADIËNT VOLGENS DE LEIDRAAD</u> .....	5
5. <u>PROBLEEMFORMULERING</u> .....	7
5.1 Algemeen.....	7
5.2 Sedimentbalans.....	7
6. <u>LANGSTRANSPORT: <math>S_y(x)</math></u> .....	9
6.1 Algemeen.....	9
6.2 Snelheidsverdeling: $\bar{v}(x)$ .....	9
6.3 Snelheidsprofiel: $v(z)$ .....	10
6.4 Concentratieprofiel: $C(Z)$ .....	13
6.5 Langstransport: $S_y$ .....	13
6.6 Voorbeeld langstransportberekening.....	15
7. <u>LANGSTRANSPORTGRADIËNT: <math>\partial S_y / \partial y</math></u> .....	17
7.1 Algemeen.....	17
7.2 Langsstroomgradiënt: $\partial \bar{v} / \partial y$ .....	17
7.3 Langstransportgradiënt: $\partial S_y / \partial y$ .....	19
8. <u>TESTBEREKENINGEN GEKROMDE KUST</u> .....	20
8.1 Inleiding.....	20
8.2 Kwalitatieve effecten.....	20
8.3 Kwantitatieve effecten.....	21
9. <u>VOORLOPIGE CONCLUSIES</u> .....	24

LITERATUUR

FIGUREN



## LIJST VAN FIGUREN

- 1.1 Effect kustkromming
- 3.1 Definitie kustkromming
- 4.1 Sedimentverlies door langstransportgradiënten
- 4.2 Effect langstransportgradiënt op duinafslag volgens Leidraad
- 5.1 Definitie assenstelsel
- 6.1 Voorbeeld langssnelheidsverdeling  $v(z)$
- 7.1 Verwerking kustkromming
- 8.1 Referentieprofiel
- 8.2 Vergelijking afslagprofielen
- 8.3 Invloed kustkromming; constante condities ( $R = 5730$  m)
- 8.4 Invloed kustkromming; variërende condities ( $R = 11480$  m)
- 8.5 Afslagprofielen bij verschillende kustkrommingen

## 1. INLEIDING EN ACHTERGRONDEN

Wanneer het langstransport van zand, bijvoorbeeld veroorzaakt door schuin invallende golven, varieert langs de kust (gradiënt in het langstransport), is de zandbalans in een bepaald kustvak in de dwarsdoorsnede niet meer sluitend.

Uit het oogpunt van veiligheid zijn hierbij met name die kustvakken van belang waarbij de zandbalans een negatieve uitkomst heeft (totale uitgaande langstransport groter dan het totale inkomende langstransport).

Dit treedt o.a. op bij een "bolle kust", waarbij als gevolg van de verschillen in de hoek van de golfaanval geldt  $S_{uit} > S_{in}$  (S is het totale langs-transport in  $m^3/s$ ). Een en ander is schetsmatig aangegeven in Figuur 1.1.

Met betrekking tot het effect van een gradiënt in het langstransport tijdens duinafslag bestaat er het sterke vermoeden dat deze resulteert in een significante extra achteruitgang van de duinvoet.

In het onderzoek naar de invloed van de gradiënt zijn er twee benaderingen te onderscheiden, te weten:

- de analyse van natuurmetingen;
- het gebruik van rekenmodellen.

In de onderhavige studie is de tweede lijn gevolgd.

In deze notitie wordt ingegaan op de wijze waarop het effect van langstransportgradiënten in de DUROSTA-berekening is ingebracht. Verder zijn op basis van enkele verkennende berekeningen met dit model (DUROSTA-1.0, dec. '89) een aantal voorlopige conclusies getrokken.

Wellicht ten overvloede kan nog worden opgemerkt dat de onbekendheid met het verlies door langstransportgradiënten de feitelijke aanleiding was tot het ontwikkelen van het tijdsafhankelijke dwarstransportmodel DUROSTA.

Een combinatie van langssnelheid en de in het tijdsafhankelijke model berekende sedimentconcentraties maakt immers een berekening van de langstransporten mogelijk.

## 2. OORZAKEN LANGSTRANSPORTGRADIËNT

Een gradiënt in het langstransport kan optreden onder verschillende omstandigheden, te weten:

- bij een gekromde kust onder golfaanval;
- bij een rechte (of gekromde) kust door langsvariatie in langsstroom (getijgradiënt; langsgradiënt in waterspiegelverhang);
- bij een rechte (of gekromde) kust door variatie in golfaanval;
- bij constructieovergang (tussen dijk en duin).

De laatstgenoemde heeft veelal betrekking op een vrij lokale herverdeling van materiaal in langsrichting.

Variaties in golfaanval bij een rechte kust kunnen bijvoorbeeld optreden als gevolg van een sterk in langsrichting variërende ligging van de vooroever. Een voorbeeld hiervan is het plaatselijk aanwezig zijn van een zandbank waardoor er naast een verschil in golfaanval ook een verschil in golfopzet zal optreden.

In deze notitie komen effecten van de in de eerste twee punten genoemde oorzaken van een variatie van de langsstroom aan de orde.

Een positieve snelheidsgradiënt is dan respectievelijk het gevolg van:

- een toenemende hoek van de golfaanval als gevolg van een kustkromming waardoor de grootte van de golfgedreven langsstroom toeneemt;
- een toename van het langsverhang waardoor de grootte van de getijgedreven langsstroom toeneemt.

Het is duidelijk dat een toenemende langsstroom ook een toename van het langstransport tot gevolg heeft.

Omdat de golfgedreven langsstroom sterk geconcentreerd is in een smalle zone bij de waterlijn (gemakshalve boven het afslagprofiel) en de te verwachten transporten daar relatief groot zijn (vanwege de grote sedimentconcentratie) blijft de aandacht in eerste instantie beperkt tot de gradiënten in de golfgedreven langsstroom zoals deze optreden bij een gekromde kustlijn.



Daartoe zal in eerste instantie het begrip kustkromming worden toegelicht. Vervolgens wordt ook de in de huidige leidraad gepresenteerde aanpak voor de verwerking van de effecten van de kustkromming gegeven (hoofdstuk 4). In de daarop volgende hoofdstukken wordt de berekening van het effect van een langstransportgradiënt nader uitgewerkt waarna, voor het geval van een gekromde kust, enkele oriënterende berekeningen zijn uitgevoerd.

### 3. KUSTKROMMING

De mate van kustkromming wordt uitgedrukt in een hoekverdraaiing van de kustlijn per strekkende kilometer:  $\alpha$  in  $^{\circ}$  per km (zie Figuur 3.1).

De bijbehorende kromtestraal is gerelateerd aan  $\alpha$  en de kustbooglengte  $s$  volgens:

$$s = \frac{\alpha}{360} \cdot 2\pi \cdot R$$

zodat:

$$R = \frac{360 \cdot s}{2\pi \cdot \alpha} = \frac{180 \cdot s}{\pi \alpha}$$

De grootte van  $\alpha$  moet volgens de Leidraad [3] worden bepaald uit de hoekverdraaiing van de kustlijn over enkele honderden meters.

Afhankelijk van de mate van kustkromming is er sprake van meer of minder invloed op de hoeveelheid kustafslag.

In de Leidraad [3] is een klasseverdeling gegeven als vermeld in Tabel 3.1. In deze tabel zijn tevens de kromtestralen opgegeven als behorende bij deze klassegrenzen (zie ook Figuur 3.1).

klasse	hoekverdraaiing $\alpha$ in $^{\circ}$ /km	kromtestraal R in m
1	< 6	> 9550
2	6 - 12	4775 - 9550
3	12 - 18	3185 - 4775
4	18 - 24	2390 - 3185
5	> 24	< 2390

Tabel 3.1 Klasse-indeling gekromde kust [3]

Kustvakken vallend in klasse 1 worden beschouwd als een rechte kust (o.a. Hoek van Holland tot Den Helder).

Voor klasse 2 t/m 4 is er in de Leidraad een richtlijn gegeven waarmee de extra landwaartse verschuiving van de afslaglijn kan worden bepaald.

Voor klasse 5 zijn vooralsnog geen richtlijnen gegeven, dit door gebrek aan voldoende inzicht.

#### 4. VERWERKING VAN DE GRADIËNT VOLGENS DE LEIDRAAD

De in de huidige Leidraad [3] aangegeven methode voor het in rekening brengen van de gradiënt gaat uit van het totale sedimentverlies door langs-transportgradiënten per strekkende meter kustlijn ( $G$ ).

Deze waarde is gegeven als functie van:

- de afslaghoeveelheid  $A^*$ ;
- de golfhoogte  $H_{os}$ ;
- de valsnelheid van het sediment  $w$ ;
- een referentie waarde  $G_o$ .

Het verband luidt:

$$G = \frac{A^*}{300} \cdot \left(\frac{H_{os}}{7,6}\right)^{0,72} \left(\frac{w}{0,0268}\right)^{0,56} \cdot G_o \quad [m^3/m^1] \quad (4.1)$$

De eerste drie termen in deze relatie zijn gebaseerd op schaalrelaties [2]. De grootte van het sedimentverlies  $G_o$  is hierbij vastgesteld op basis van berekeningen waarbij voor scheve golfaanval de langstransporten over het afslagprofiel zijn bepaald door vermenigvuldiging van berekende snelheden en in de Deltagoot gemeten concentraties. Voor een stormduur van 5 uur resulteerde dit, afhankelijk van de grootte van de bodemruwheid, in 36 à 72  $m^3/m^1$  verlies voor een kustkromming van  $10^\circ/km$  ( $R = 5730$  m) [4].

Op basis van verwachte ruwheidswaarden is voor deze kustkromming  $G_o = 45$   $m^3/m^1$  gekozen als uitgangspunt.

Het sedimentverlies voor andere krommingen is vervolgens vastgesteld op basis van:

$$G_o = \frac{\alpha}{10} \cdot 45 \quad [m^3/m^1] \quad (4.2)$$

waarbij voor de verschillende klassen een (afgeronde) bovengrens is aangehouden (zie Figuur 4.1).

De grootte van  $G_o$  is voor de verschillende klassen van kustkromming gegeven in Tabel 4.1.



klasse	$G_o [m^3/m^1]$
1	0
2	50
3	75
4	100
5	-

Tabel 4.1 Referentiewaarde voor het langstransportverschil  
voor verschillende klassen van kustkromming

De grootte van  $G_o$  voor klasse 5 ( $G_o \gg 100 m^3/m^1$ ?) is vooralsnog niet bekend.

De onderhavige studie heeft tot doel ook voor deze klasse van kustkromming een uitspraak te doen over de extra zandverliezen.

Uitgaande van de veronderstelling dat het evenwichtsprofiel bij aanwezigheid van langstransportgradiënten niet significant afwijkt van de situatie zonder gradiënt, kan de extra achteruitgang van de duinvoet worden vastgesteld door middel van een landwaartse verschuiving van het afslagprofiel.

Uitgaande van een totale waarde voor het transportverschil per strekkende meter kustlijn,  $G$  in  $m^3/m$ , volgt de extra achteruitgang  $g$  van de duinvoet uit de sedimentbalans volgens:

$$g = G/z \quad [m] \quad (4.3)$$

Hierin is  $z$  de hoogte van de actieve zone.

Een en ander is toegelicht in Figuur 4.2.

Berekeningen met een tijdsafhankelijk dwarstransportmodel maken dat de grootte van  $G_o$  als functie van de kustkromming kan worden gecontroleerd, waarbij er bovendien uitspraken kunnen worden gedaan over situaties met klasse 5.

Ook de aanname dat het evenwichtsprofiel voor situaties met en zonder gradiënt identiek is kan worden getoetst.

## 5. PROBLEEMFORMULERING

### 5.1 Algemeen

Het doel van deze studie is te komen tot een bepaling van het effect van een langstransportgradiënt op de mate van duinafslag.

De langstransportgradiënt uit zich als een verliesterm in de sedimentbalans welke in de volgende paragraaf nader is uitgewerkt.

Figuur 5.1 geeft een overzicht van het gehanteerde assenstelsel.

De x-as is hierbij oplopend en loodrecht op de in langsrichting uniform (gekromde) kust. Het rekengebied strekt zich uit van de zeerland  $x_0$  tot voorbij de kustlijn  $x_k$  ( $x_1 > x_k$ ). De y-as is positief noordwaarts en geeft toenemende y-waarden bij positieve golfinvalshoek  $\theta_0$ .

### 5.2 Sedimentbalans

Bij de berekening van de bodemverandering vormt de continuïteitsvoorwaarde het uitgangspunt. Uitwerking van de bijdragen aan de sedimentbalans levert de volgende relatie:

$$\frac{\partial z(x)}{\partial t} = - \left[ \frac{\partial S_x(x)}{\partial x} + \frac{S_x(x)}{R \left[ \frac{x-x_k}{R} - 1 \right]} + \frac{\partial S_y(x)}{\partial y} \right] \cdot \frac{1}{(1-p)} \quad [\text{m/s}] \quad (5.1)$$

waarin:

$z(x)$	het bodemniveau	[m tov. ref. niv.]
$S_x(x)$	het dwarstransport (vaste stof)	[m <sup>3</sup> /m/s]
$S_y(x)$	het langstransport (vaste stof)	[m <sup>3</sup> /m/s]
$R$	de kustkromming	[m]
$x_k$	de positie van de kustlijn	[m]
$p$	het poriëngehalte	[-]

De tweede term van het rechterlid is hierbij een extra bergingsterm welke het zogenaamde "taartpunt effect" in rekening brengt. In principe levert deze bijdrage extra kusterosie: het zeewaartse dwarstransport wordt immers afgezet op een relatief grotere breedte. In de praktijk is deze extra term echter verwaarloosbaar.

Als sedimentbalansvergelijking blijft dus over:

$$\frac{\partial z(x)}{\partial t} = - \left[ \frac{\partial S_x(x)}{\partial x} + \frac{\partial S_y(x)}{\partial y} \right] \cdot \frac{1}{(1-p)} \quad [m/s] \quad (5.2)$$

In de volgende hoofdstukken zal worden ingegaan op de kwantificering van de tweede term in het rechterlid.



## 6. LANGSTRANSPOORT: $S_Y(x)$

### 6.1 Algemeen

De voor het langstransport gebruikte formuleringen zijn voor een groot deel gebaseerd op de in het hoofdrapport [8] gepresenteerde overwegingen. Dit geldt met name voor de concentratieverticaal  $C(z)$  en de verticale verdeling van de langssnelheid  $v(z)$ .

Het hier gehanteerde uitgangspunt is de aanname dat zowel de grootte als de vorm van de concentratieverticaal wordt bepaald door het dwarstransportproces. De langsstroom vormt het transporterende medium: met andere woorden de intensief brekende golven zorgen voor de opwoeling, de langsstroom voor het transport.

### 6.2 Snelheidsverdeling: $\bar{v}(x)$

Er zijn twee bijdragen aan de langsstroom, namelijk:

- de getijgedreven langsstroom  $v_c$  (current)
- de golfgedreven stroom  $v_w$  (wave)

De totale langsstroom  $\bar{v}$  voldoet aan:

$$\bar{v} = \sqrt{v_c^2 + v_w^2} \quad (6.2.1)$$

De verdeling van de getijgedreven langsstroom over het dwarsprofiel wordt bepaald uitgaande van een constant waterspiegelverhang in langsrichting.

De grootte van de totale langsstroom volgt uit de impulsbalans in langsrichting.

$$\frac{\partial}{\partial x} (S_{yx}) + \rho g d \cdot \frac{\partial \zeta}{\partial y} + \bar{\tau}_{by} = 0 \quad (6.2.2)$$

De bijdrage van de golfspanning  $S_{yx}$  komt voort uit de scheve golfaanval, de verhangterm is gerelateerd aan de getijstroom.

Gegeven een (op te geven) langssnelheid op de diepwaterstrand kan uitgaande van een situatie zonder golfgedreven stroom (met  $\frac{\partial}{\partial x} (S_{yx}) = 0$ ) de grootte van het daarvoor benodigde langsverhang ( $\partial \zeta / \partial y$ ) worden bepaald.

Gegeven een relatie voor de schuifspanning volgt uit de te berekenen  $\frac{\partial}{\partial x} (S_{yx})$ -term nu de grootte van de netto langsstroom.

Voor de bodemschuifspanning  $\bar{\tau}_{by}$  geldt:

$$\bar{\tau}_{by} = \rho \cdot \frac{g}{C^2} \cdot \bar{v} \cdot |\bar{v}| \quad (6.2.3)$$

waarin:

$$C = 18 \log \left( \frac{12d}{k} \right) \quad (6.2.4)$$

Hierin is  $k$  een maat voor de bodemruwheid.

Deze aanpak levert dus de verdeling van de gemiddelde snelheid als functie van de positie:  $\bar{v}(x)$ . In de volgende paragraaf komt de verticale verdeling van deze snelheid  $\bar{v}(z|x)$  aan de orde.

### 6.3 Snelheidsprofiel: $v(z)$

Gegeven de grootte van de dieptegemiddelde snelheid  $\bar{v}$  is de verdeling over de verticaal van belang voor de grootte van het transport. Het normale logaritmische snelheidsprofiel zal bij situaties met brekende golven niet van toepassing zijn. Door de intensieve menging zullen, bij eenzelfde waarde van de gemiddelde snelheid, met name de snelheden onderin de verticaal aanmerkelijk groter zijn.

Analoog aan de beschrijving van de tijdsgemiddelde snelheidsverticaal in dwarsrichting (onderstroom) lijkt ook hier een beschrijving uitgaande van de mengingsverdeling  $\varepsilon(z)$  voor de hand liggend [8].

Analoog aan de uitgangspunten en aanpak als gegeven bij de onderstroom geldt ook hier een lineair verlopende schuifspanning:

$$\frac{1}{\rho} \cdot \frac{\partial \bar{\tau}}{\partial z} = \frac{\partial}{\partial z} (\varepsilon(z) \cdot \frac{\partial v}{\partial z}) = \alpha \quad (6.3.1)$$

Aan het wateroppervlak  $z = d$  geldt:

$$\bar{\tau}_d = 0 \quad [N/m^2]$$

zodat:

$$\alpha = \frac{-\bar{\tau}_b}{\rho \cdot d} \quad [m/s^2] \quad (6.3.2)$$

Voor het snelheidsprofiel  $v(z)$  valt vervolgens af te leiden:

$$v(z) = v_b + K_{lin} \cdot z + K_{log} \cdot \ln(1 + \frac{\mu z}{\epsilon_o}) \quad (6.3.3)$$

waarin de profielbeschrijvende constanten:

$$K_{lin} = \frac{-\bar{\tau}_b}{\rho \mu} \cdot \frac{1}{d} \quad [1/s] \quad (6.3.4)$$

$$K_{log} = \frac{\bar{\tau}_b}{\rho \mu} (1 + \frac{\epsilon_o}{\mu d}) \quad [m/s] \quad (6.3.5)$$

Het snelheidsprofiel is opgebouwd uit een drietal bijdragen [8], te weten:

- een uniforme bijdrage :  $v_1(z) = v_b$  met  $v_b > 0$ ;
- een lineaire bijdrage :  $v_2(z) = \frac{-\bar{\tau}_b}{\rho \mu} \cdot \frac{z}{d} < 0$ ;
- een logaritmische bijdrage:  $v_3(z) = \frac{\bar{\tau}_b}{\rho \mu} (1 + \frac{\epsilon_o}{\mu d}) \cdot \ln(1 + \frac{\mu z}{\epsilon_o}) > 0$ .

Voor  $z = d$  geldt  $\frac{\partial u}{\partial z} = 0$  en is de snelheid maximaal.

Uit de langsstroomberekening, als gegeven in hoofdstuk 6.2, volgt een dieptegemiddelde snelheid  $\bar{v}$ , waarvoor geldt:

$$\bar{v} = \frac{1}{d} \int_0^d v(z) dz$$

ofwel

$$\int_0^d v(z) dz = d \cdot \bar{v} \quad (6.3.6)$$



Analoog aan eerdere beschrijvingen (zie [8]) geldt dan:

$$v_b \cdot d + \frac{1}{2} K_{lin} \cdot d^2 + K_{log} \cdot I_o = d \cdot \bar{v} \quad (6.3.7)$$

waarin:

$$I_o = \frac{\epsilon_o}{\mu} \left[ \left(1 + \frac{\mu d}{\epsilon_o}\right) (\ln(1 + \frac{\mu d}{\epsilon_o}) - 1) + 1 \right] \quad [m] \quad (6.3.8)$$

Substitutie van de relaties voor  $K_{lin}$  en  $K_{log}$  levert tenslotte:

$$v_b \cdot d + \frac{\bar{\tau}_b}{\rho \mu} \cdot \left( \frac{-d}{2} + \left(1 + \frac{\epsilon_o}{\mu d}\right) \cdot I_o \right) = d \cdot \bar{v}$$

ofwel:

$$v_b + \frac{\bar{\tau}_b}{\rho \mu} \cdot K_o = \bar{v} \quad (6.3.9)$$

$$K_o = \left[ \left(1 + \frac{\epsilon_o}{\mu d}\right) \cdot \frac{I_o}{d} - \frac{1}{2} \right] \quad [-] \quad (6.3.10)$$

Uitgaande van een schuifspanningsrelatie volgens:

$$\bar{\tau}_b = \rho \cdot c_f \cdot v_b^2 \quad (6.3.11)$$

geldt:

$$v_b + \frac{c_f}{\mu} \cdot K_o \cdot v_b^2 = \bar{v}$$

ofwel:

$$v_b = \frac{\mu}{2c_f \cdot K} \left[ \sqrt{\left(1 + 4 c_f \cdot K_o \cdot \frac{\bar{v}}{\mu}\right)} - 1 \right] \quad (6.3.12)$$

Samenvattend verloopt de berekening van de verticale verdeling van de langs-snelheid  $v(z)$  dus als volgt:

- 1) Bereken uitgaande van  $\epsilon_o$ ,  $\mu$  en  $d$  de constante  $I_o$  (Vgl. 6.3.8)
- 2) Berekening  $K_o$  (Vgl. 6.3.10)
- 3) Vaststelling  $c_f$

- 4) Berekening  $v_b$  volgens Vgl. (6.3.12)
- 5) Berekening  $\bar{v}_b$  volgens Vgl. (6.3.11)
- 6) Berekening  $K_{lin}$  en  $K_{log}$   
 $\rightarrow v(z) = v_b + K_{lin} \cdot z + K_{log} \cdot (1 + \frac{\mu z}{\epsilon_o})$

#### 6.4 Concentratieprofiel: $C(z)$

Uitgangspunt is de aanname dat het concentratieprofiel tijdens extreme condities met intensief brekende golven volledig wordt bepaald door het dwars-transportproces. Het concentratieprofiel voldoet dan aan (zie [8]):

$$C(z) = C_o \cdot (1 + \frac{\mu z}{\epsilon_o})^{-w_s/\mu} \quad [m^3/m^3] \quad (6.4.1)$$

waarin:

$C_o$	de referentieconcentratie op $z=0$	$[m^3/m^3]$
$\epsilon_o$	de mengingscoëfficiënt op het referentieniveau $z=0$	$[m^2/s]$
$\mu$	de verticale gradiënt van de mengingsverdeling ( $= d\epsilon/dz$ )	$[m/s]$
$w_s$	de valsnelheid van het sediment	$[m/s]$

De grootte van de hoeveelheid gesuspendeerd sediment is  $L$  gelijk aan:

$$L = \int_0^d C(z) dz$$

$$= C_o \cdot \frac{\epsilon_o}{\mu} \cdot \frac{1}{K_1} [K_2^{K_1} - 1] \quad [m^3/m^2] \quad (6.4.2)$$

waarin:

$$K_1 = 1 - w_s/\mu \quad [-] \quad (6.4.3)$$

$$K_2 = 1 + \frac{\mu}{\epsilon_o} \cdot d \quad [-] \quad (6.4.4)$$

#### 6.5 Langstransport: $S_y$

De grootte van het langstransport volgt uit:

$$S_y = \int_d v(z) \cdot C(z) dz \quad [m^3/m/s] \quad (6.5.1)$$

Als eerste benadering kan uitgaande van een verticaal uniforme snelheidsverdeling met  $v(z) = \bar{v}$  voor de grootte van langstransport worden afgeleid:

$$\begin{aligned} S_y &= \bar{v} \cdot \int_0^d C(z) \cdot dz \\ &= \bar{v} \cdot L \end{aligned} \quad (6.5.2)$$

waarin L de sedimentlast (zie Vgl. 6.4.2).

Een theoretisch betere benadering volgt uit nadere uitwerking van de eerstgegeven relatie waarbij de verticale verdeling van zowel  $v(z)$  als  $C(z)$  wordt meegenomen.

Uitwerking, analoog aan de kwantificering van het dwarstransport (zie [8]), levert als eindresultaat:

$$S_y = C_o [v_b \cdot I_1 + K_{lin} \cdot I_2 + K_{log} \cdot I_3] \quad [m^3/m/s] \quad (6.5.3)$$

waarin:

$$I_1 = \frac{\epsilon_o}{\mu} \cdot \frac{1}{K_1} \cdot [K_2^{K_1-1}] \quad [m] \quad (6.5.4)$$

$$I_2 = \frac{\epsilon_o}{\mu} \cdot \frac{1}{K_1} \cdot [K_2^{K_1} (d - \frac{\epsilon_o}{\mu} \cdot \frac{K_2}{K_1+1}) + \frac{\epsilon_o}{\mu} \cdot \frac{1}{K_1+1}] \quad [m^2] \quad (6.5.5)$$

$$I_3 = \frac{\epsilon_o}{\mu} \cdot \frac{1}{K_1^2} \cdot [K_2^{K_1} (K_1 \ln K_2 - 1) + 1] \quad [m] \quad (6.5.6)$$

met  $K_1$  en  $K_2$  volgens Vgl. (6.4.3/4)

en  $K_{lin}$  en  $K_{log}$  volgens Vgl. (6.3.4/5).

Hierin is de eerste bijdrage aan het langstransport afkomstig van het uniforme deel van het snelheidsprofiel.

Voor  $v_b = \bar{v}$  geldt:

$$\begin{aligned} S_y &= C_o \cdot \bar{v} \cdot I_1 \\ &= \bar{v} \cdot C_o \cdot I_1 \\ &= \bar{v} \cdot L \end{aligned}$$

hetgeen overeenkomt met de eerstgegeven benadering (Vgl. 6.5.2).

## 6.6 Voorbeeld langstransportberekening

Een kwantitatief voorbeeld van de vorm van het snelheidsprofiel en de invloed hiervan op de grootte van het transport is gegeven voor de volgende situatie:

$$\begin{aligned}d &= 1 \text{ m} \\ \varepsilon_o &= 0,003 \text{ m}^2/\text{s} \\ \mu &= 0,04 \text{ m} \\ \bar{v} &= 0,5 \text{ m/s} \\ w_s &= 0,02 \text{ m/s}\end{aligned}$$

Substitutie levert  $I_o = 1,862 \text{ m}$  en  $K_o = 1,502$  zodat:

$$v_b + \frac{\bar{\tau}_b}{\rho\mu} \cdot 1,502 = \bar{v}$$

Verschillende combinaties van  $v_b$  en  $\bar{\tau}_b$  zijn nu nog mogelijk. De uiterste waarden zijn:

$$\begin{aligned}\ast \text{ "no slip"} &\rightarrow v_b = 0 \rightarrow \bar{\tau}_b = \frac{\bar{v} \cdot \rho \cdot \mu}{K_o} = 13,316 \text{ N/m}^2 \\ \ast \text{ "free slip"} &\rightarrow \bar{\tau}_b = 0 \rightarrow v_b = \bar{v} = 0,5 \text{ m/s}\end{aligned}$$

De werkelijkheid ligt er ergens tussen in en volgt uit:

$$\ast \text{ "partial slip"} \rightarrow \bar{\tau}_b = f(v_b) = \rho \cdot c_g \cdot v_b^2$$

De transportconstanten  $I_1$ ,  $I_2$  en  $I_3$  zijn respectievelijk:

$$\begin{aligned}I_1 &= 0,418 \text{ m} \\ I_2 &= 0,169 \text{ m}^2 \\ I_3 &= 0,676 \text{ m}\end{aligned}$$

Het transport  $S_y$  volgt uit vgl. 6.5.3.

De (tussen-)resultaten van de berekening zijn gegeven in Tabel 6.1.



Situatie	$v_b$ [m/s]	$\bar{\tau}_b$ [N/m <sup>2</sup> ]	$K_{lin}$ [1/s]	$K_{log}$ [m/s]	$S_y/C_o$ [m <sup>3</sup> /m/s]
no slip	0	13,32	-0,333	0,358	0,186
partial slip	0,43	1,85	-0,046	0,050	0,206
free slip	0,50	0	0	0	0,209

Table 6.1 Resultaten voorbeeld

De bijbehorende snelheidsprofielen  $V(z)$  zijn gegeven in Figuur 6.1. Hierin is tevens de concentratieverticaal  $C(z)$  gegeven.

In het laatste geval ("free slip") is het transport maximaal.

Voor een situatie met  $v_b = 0$  m/s ("no slip") is het snelheidsprofiel sterk afwijkend, waarbij de snelheden op de lagere niveau's (zeg  $z < 0,35$  m) beduidend lager zijn. Het effect op het netto transport is echter niet zo groot dit vanwege de relatief steile concentratieverticaal.

Het transport in de onderlaag is relatief kleiner. Dit wordt echter grotendeels gecompenseerd door een toename van transport in de bovenlaag (a.g.v. grotere snelheden).

Voor de situatie met  $\tau_b = f(v_b)$  gelden tussenliggende waarden.

Duidelijk is wel dat het verschil tussen "no slip" en "free slip" voor situaties met minder steile concentratieverticalen veel groter zal zijn.

## 7. LANGSTRANSFORTGRADIËNT: $\partial S_y / \partial y$

### 7.1 Algemeen

De grootte van de langstransportgradiënt, uitgaande van de eenvoudige benadering  $S_y = \bar{v} \cdot L$ , is afhankelijk van zowel de langsgradiënt in de langssnelheid als de langsgradiënt in de sedimentlast.

$$\begin{aligned} \frac{\partial S_y}{\partial y} &= \frac{\partial}{\partial y} (\bar{v} \cdot L) \\ &= \frac{\partial \bar{v}}{\partial y} \cdot L + \bar{v} \cdot \frac{\partial L}{\partial y} \quad [\text{m}^3/\text{m}/\text{s}/\text{m}] \end{aligned} \quad (7.1)$$

Voor het geval dat de grootte van de sedimentlast niet beïnvloed wordt door de langsstroom geldt als goede benadering:

$$\frac{\partial S_y}{\partial y} = \frac{\partial \bar{v}}{\partial y} \cdot L \quad [\text{m}/\text{s}] \quad (7.2)$$

waarmee de langsstroomgradiënt  $\partial \bar{v} / \partial y$  dus bepalend is voor de langstransportgradiënt.

### 7.2 Langsstroomgradiënt: $\partial \bar{v} / \partial y$

Een langsstroomgradiënt treedt op bij aanwezigheid van een (op te geven) getijstroomgradiënt  $dV_0/dy$  en/of een (op te geven) kustkromming  $R$  (zie [9]).

De grootte van de langsstroomgradiënt wordt bepaald door het uitvoeren van een tweede berekening met het golfhoogteafnamemodel ENDEC voor een nevenraai.

De grootte van de snelheidsgradiënt op positie  $x$  volgt uit:

$$\frac{\partial \bar{v}}{\partial y} = \frac{\bar{v}' - \bar{v}}{\Delta y} \quad (7.3)$$

waarin:

$\bar{v}$	de langssnelheid in de hoofdraai	[m/s]
$\bar{v}'$	idem voor de nevenraai	[m/s]
$\Delta y$	de lokale afstand tussen de beide raaien	[m]

De grootte van de langsstroom  $\bar{v}(x)$  is beschreven door:

$$\bar{v}(x) = F(\bar{v}_0, \theta_0, \dots) \quad (7.4)$$

waarin:

$v_0$  de grootte van de getijgedreven langsstroom  
in het eerste rekenpunt [m/s]  
 $\theta_0$  de grootte van de golfinvalshoek in het eerste rekenpunt [°]

Voor de nevenraai geldt echter:

$$\bar{v}'(x) = F(\bar{v}'_0, \theta'_0, \dots) \quad (7.5)$$

Bij aanwezigheid van een (op te geven) getijstroomgradiënt  $dV_0/dy \neq 0$  geldt:

$$\bar{v}'_0 = \bar{v}_0 + \left(\frac{dV_0}{dy}\right) \cdot \Delta y_0 \quad (7.6)$$

In geval van een gekromde kust wordt de tweede berekening uitgevoerd voor een afwijkende hoek van golfaanval waarvoor geldt:

$$\theta'_0 = \theta_0 + \Delta\theta \quad (7.7)$$

met

$$\Delta\theta = \frac{180 \cdot \Delta y_k}{\pi \cdot R} \quad (7.8)$$

waarmee (met  $\Delta y_k = 100$  m) de verschilhoek  $\Delta\theta$  gelijk is aan de hoekverdraaiing van de kustlijn over 100 m. Een en ander is nader toegelicht in Figuur 7.1.

Voor de lokale raaiafstand  $\Delta y(x)$  valt af te leiden:

$$\Delta y(x) = \Delta y_k \cdot \left(1 + \frac{x_k - x}{R}\right) \quad (7.9)$$

Substitutie van de relaties van  $\bar{v}(x)$ ,  $\bar{v}'(x)$  en  $\Delta y(x)$  in Vgl. (7.3) levert de langssnelheidsgradiënt  $\partial \bar{v}(x)/\partial y$ .

### 7.3 Langstransportgradiënt: $\partial S_y / \partial y$

Gebruikmakend van de in hoofdstuk 7.3 gegeven benadering van de langsstroomgradiënt volgt eerste benadering voor de langstransportgradiënt:

$$\frac{\partial S_y}{\partial y} = \left[ \frac{\partial \bar{v}}{\partial y} \right] \cdot L$$

Dit is de meest simpele aanpak.

Een tweede betere benadering, welke ook rekening houdt met de invloed van de grootte van  $\bar{v}$  op de verticale verdeling  $v(z)$  ( $v_b$  is niet lineair afhankelijk van  $\bar{v}$ !) en daarmee op de transporten  $S_y$ , is:

$$\frac{\partial S_y}{\partial y} = \frac{S'_y - S_y}{\Delta y}$$

Hierbij worden de transporten volgens de hoofdstuk 6.5 gegeven formulering voor zowel  $\bar{v}$  en  $\bar{v}'$  berekend.

Deze laatste benadering is ook in het rekenmodel gebruikt.



## 8. TESTBEREKENINGEN GEKROMDE KUST

### 8.1 Inleiding

Er zijn twee aspecten onderzocht, te weten:

- a) het kwalitatieve effect van een gradiënt in het langstransport;
- b) het kwantitatieve effect bij verschillende kustkrommingen.

Als eerste wordt ingegaan op de Leidraad gegeven verwerkingsmethode van een sedimentverlies zoals is toegelicht in Figuur 4.2:  $g = G/z$ .

Vervolgens zijn enkele berekeningen uitgevoerd voor verschillende kustkrommingen teneinde iets te zeggen over  $G(R)$ .

Voor beide toepassingen is uitgegaan van het basis referentieprofiel als gegeven in Figuur 8.1.

### 8.2 Kwalitatieve effecten

Voor deze berekening is een kustkromming  $R = 5730$  m ( $\alpha = 10^\circ/\text{km}$ , analoog aan [4]) en een ruwheid  $k = 0,01$  m gekozen als uitgangspunt.

Met betrekking tot de hydraulische condities is een onderscheid gemaakt tussen een situatie met 5 uur maximale condities en een standaard superstorm ( $h_{\text{max}} = \text{NAP} + 5$  m,  $H_{\text{smax}} = 7,0$  m op NAP -20 m dieptelijn).

In Figuur 8.2 zijn de resultaten van een DUROSTA-berekening voor constante (maximale) hydraulische condities gegeven voor de rechte kust ( $R = \infty$ ) [8].

Tevens is in deze figuur het normale DUROS-afslagprofiel opgenomen.

Figuur 8.3 geeft de resultaten voor een gekromde kust.

Het zijdelings verlies als gevolg van de langstransportgradiënt bedraagt ca.  $140 \text{ m}^3/\text{m}^1$  (landwaarts van NAP -3 m dieptelijn).

Uit een vergelijking van de profielen voor  $R = \infty$  en  $R = 5730$  m blijkt dat de veronderstelling van een algehele landwaartse verschuiving van het afslagprofiel nog niet zo gek is. De optredende verschuiving op stormvloedpeil bedraagt hier 5 m, terwijl voor een actieve hoogte van  $z \approx 17$  m een gemiddelde landwaartse verplaatsing van  $g = G/z = 140/17 = 8$  m zou moeten gelden.

Dit verschil is voornamelijk te wijten aan het relatief gezien iets steilere en iets kortere afslagprofiel. Met name bij de kop van het afslagprofiel verdwijnt relatief veel materiaal (relatief hoge langsnelheden bij hoge concentraties).

In Figuur 8.4 zijn de resultaten gegeven voor een rechte en een gekromde kustlijn in geval van een geheel waterstandsverloop. Uit vergelijking van de profielen na 16 (hoogtepunt storm) en 32 uur (na afloop) blijkt dat ook hier sprake is van een relatief forse extra erosie aan de zeezijde van het afslagprofiel.

Het zijdelings verlies als gevolg van de langstransportgradiënt is bij stormcondities (32 uur!) dan ook veel groter dan als berekend voor 5 uur constante condities. Dit lijkt voor een groot deel te verklaren uit ook de tijdens de rest van de storm optredende grote concentraties (en dwars-transporten). Deze hebben immers geen effect op de netto duinafslag maar leveren wel de mogelijkheid tot extra erosie in langsrichting.

### 8.3 Kwantitatieve effecten

Het mag duidelijk zijn dat de resultaten van de uitgevoerde berekeningen sterk afhankelijk zijn van gedane aannamen met betrekking tot de modellering [8]. Ook de grootte van bijvoorbeeld de ruwheidswaarde, welke wordt gebruikt bij de berekening van de langsstroomsnelheden, heeft direct effect op het berekende verlies.

Vergelijking van het berekende verlies met de resultaten van eerdere studies [4], laat zien dat de grootte van het verlies (respectievelijk 36 à 72 m<sup>3</sup>/m' en 140 m<sup>3</sup>/m') redelijk overeenkomen. Dit zeker gezien de sterk geschematiseerde aanpak welke is gevolgd bij de eerdere studie.

In de onderstaande tabel zijn de verliezen door langstransport gegeven als berekend voor een aantal kustkrommingen.

$\alpha$ [°/km]	R [m]	klasse	Zijdelings verlies		afslag [m³/m]	g [m]
			Leidraad [m³/m¹]	DUROSTA [m³/m¹]		
0	~		0	1	192	0
5	11460	1	-	93	222	3
10	5730	2	45	140	243	5
20	2865	4	90	323	306	11
30	1910	5	?	446	476	28

Tabel 8.1 Overzicht resultaten kustkromming (constante condities)

In de tabel zijn tevens de hoeveelheden afslag boven stormvloedpeil alsmede de extra achteruitgang van het afslagprofiel t.o.v. de rechte kust gegeven.

De extreem grote waarden welke optreden bij zowel de sterke kustkrommingen als bij het doorrekenen van een complete storm lijken niet aan te sluiten bij extrapolatie van waargenomen verliezen.

In Tabel 8.2 zijn de resultaten van de berekeningen voor de variërende condities samengebracht.

Het zijdelings verlies overtreft de waarden als gegeven voor de constante condities (factor 2). De extra teruggang van het duinfront is echter niet veel groter.

$\alpha$ [°/km]	R [m]	klasse	16 uur			32 uur		
			afslag [m³/m]	g [m]	verlies [m³/m]	afslag [m³/m]	g [m]	verlies [m³/m]
0	~		161	0	2	192	0	5
5	11460	1	174	1	71	229	4	156
20	2865	4	247	9	276	357	16	575
30	1910	5	301	14	406	452	28	813

Tabel 8.2 Overzicht resultaten kustkromming (storm)

De grootte van het verlies is sterk afhankelijk van de vorm van het onderzochte profiel. Een steiler voorland levert een groter verlies op in vergelijking tot een minder steil voorland (golven draaien relatief minder bij en vallen derhalve schever in). Dit effect is nog sterker bij het al dan niet aanwezig zijn van banken op het voorland.

Verder is niet alleen de kustkromming zelf van belang voor het zijdelings verlies van sediment maar ook de hoek van golfinval op de hoofdraai.



## 9. CONCLUSIES EN AANBEVELINGEN

Een eerste zogenaamde review-versie van het DUROSTA-model waarmee de effecten van langstransportgradiënten in het algemeen en kustkrommingen in het bijzonder kunnen worden afgeschat, is thans operationeel.

Na uitvoering van enkele oriënterende berekeningen kunnen de volgende opmerkingen worden gemaakt.

- \* De grootte van het zijdelings verlies is in grote mate afhankelijk van de keuze van de bodemruwheid, dit conform eerdere studies [4].
- \* Dit geldt eveneens voor de onderlinge afstand tussen hoofdraai en nevenraai vanwege de niet-lineaire relatie tussen golfinvalshoek en golfgedreven langsstroom. Bij een kustkromming van  $10^\circ/\text{km}$  en een raaiafstand  $\Delta y_k = 1 \text{ km}$  wordt de over deze afstand gemiddelde waarde van de extra erosie berekend. Voor een kleinere waarde  $\Delta y_k = 100 \text{ m}$  is de snelheidsgradiënt echter groter zodat er ook een grotere extra erosie aanwezig zal zijn. Deze laatste aanpak levert de achteruitgang op de kop van een eiland.

Let op: bij de vaststelling van de  $G_o$ -waarden in de leidraad is gebruik gemaakt van een middelingsafstand van 1 km.

- \* De zijdelingse verliezen zijn niet alleen gerelateerd aan de kustkromming maar ook aan de golfinvalshoek (i.v.m. niet-lineaire relatie tussen golfinvalshoek en langsstroomsnelheid). Loodrecht invallende golven resulteren in een groter verlies dan bij scheve inval.
- \* Het uitgangspunt als gehanteerd in de leidraad namelijk de landwaartse verschuiving van het afslagprofiel als aangegeven in Figuur 4.2 lijkt in geval van constante hydraulische condities niet aanvechtbaar al is er wel sprake van een zekere versteiling van het afslagprofiel.
- \* Er bestaat een indicatie dat dit echter onder stormcondities met variërende waterstand niet zo is vanwege de grote extra verliezen tijdens de rest van de storm.

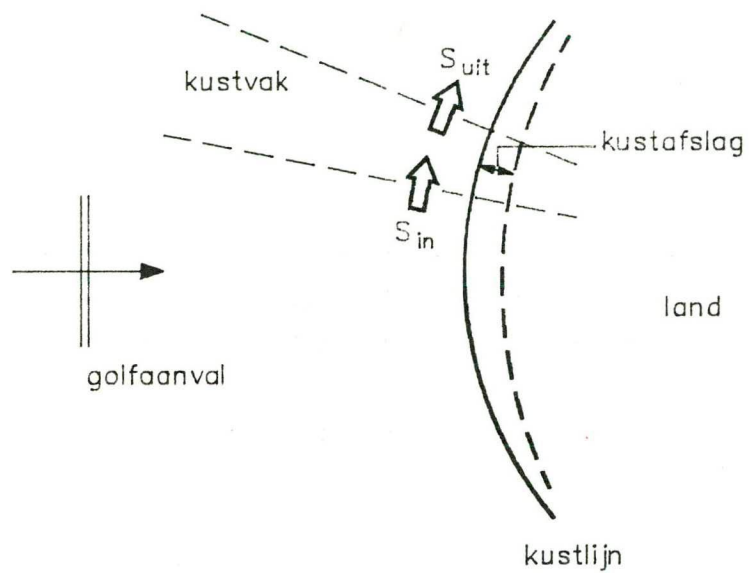
- \* Het effect van gradiënten in de getijstroom a.g.v. een gradiënt in het getijaandrijvende waterspiegelverhang is wel gemodelleerd maar nog niet onderzocht.
- \* De invloed van langstransportgradiënten in combinatie met verdedigde constructies (duinvoetverdedigingen) is in principe gemodelleerd maar nog niet onderzocht.

Verder kan nog worden opgemerkt dat de grootte van de verliezen zeer afhankelijk is van de betreffende situatie (oriëntatie, voorland) en het dus de vraag is of er een algemene richtlijn moet komen voor het in rekening brengen van deze effecten of dat voor elk problematisch kustvak berekeningen moeten worden uitgevoerd. Eventueel kan ook gedacht worden aan het indelen van de kust in een beperkt aantal referentieprofielen (analoog aan Kustnota-aanpak) waarvoor dan ontwerplijnen worden gemaakt.

Een en ander staat of valt echter met de betrouwbaarheid van de hier beschreven methode om de effecten van gradiënten in het langstransport te berekenen. Mede gelet op de grote verliezen verdient een toetsing aan beschikbare (?) prototype- en/of modeldata sterke aanbeveling.

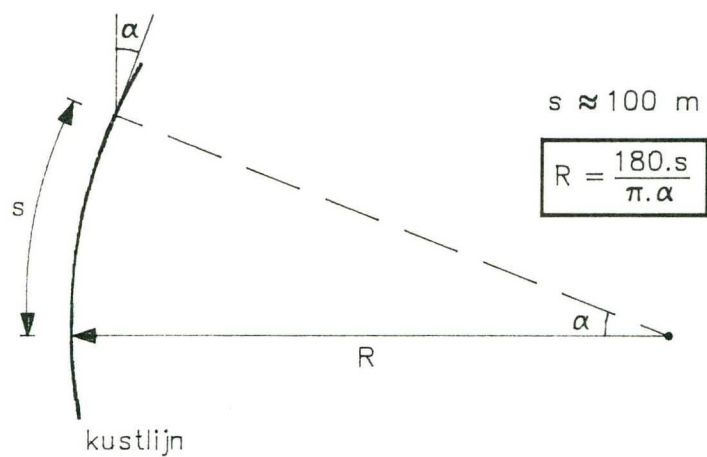
## LITERATUUR

- [1] Rijkswaterstaat, Centrum voor Onderzoek Waterkeringen (COW): Invloed gradiënt, rapport nr. DW82-18, 1982
- [2] Rijkswaterstaat: Rekenmodel voor extra duinafslag ten gevolge van een gradiënt in het langstransport als gevolg van een kromming van de kustlijn (Dillingh/Visser), rapport nr. S-81.040 (DW85-3), april 1984
- [3] Technische Adviescommissie voor de Waterkeringen (TAW): Leidraad voor de beoordeling van de veiligheid van duinen als waterkering. Staatsuitgeverij, 's-Gravenhage, 1984
- [4] Waterloopkundig Laboratorium: Duinafslag bij gebogen kusten. Orde-grootte-bepaling van de gradiënt in het langstransport tijdens duinafslag aan een gebogen kust. Verslag onderzoek M1263 deel V, januari 1983
- [5] Rijkswaterstaat: Langstransportgradiënt bij stormvloeden langs de zuidwestkust van Texel (v.d. Goes). Notitie WWKZ-79.H232, juni 1979
- [6] Rijkswaterstaat: Zuidwestkust van Texel. Langstransportgradiënt bij stormvloed, deel II (v.d. Goes en Brolsma). Notitie WWKZ-80.H213, februari 1980
- [7] Waterloopkundig Laboratorium: Notitie met tussenresultaten t.b.v. TAW-C-16/9/88. Voortgangsverslag onderzoek H298 deel V, september 1988
- [8] Waterloopkundig Laboratorium: DUROSTA: tijdsafhankelijk dwarstransportmodel voor extreme condities.  
Verslag onderzoek H298-deel III, december 1989
- [9] Waterloopkundig Laboratorium: DUROSTA: tijdsafhankelijk dwarstransportmodel voor extreme condities.  
Gebruikershandleiding PC-model (review-versie 1.0), december 1989

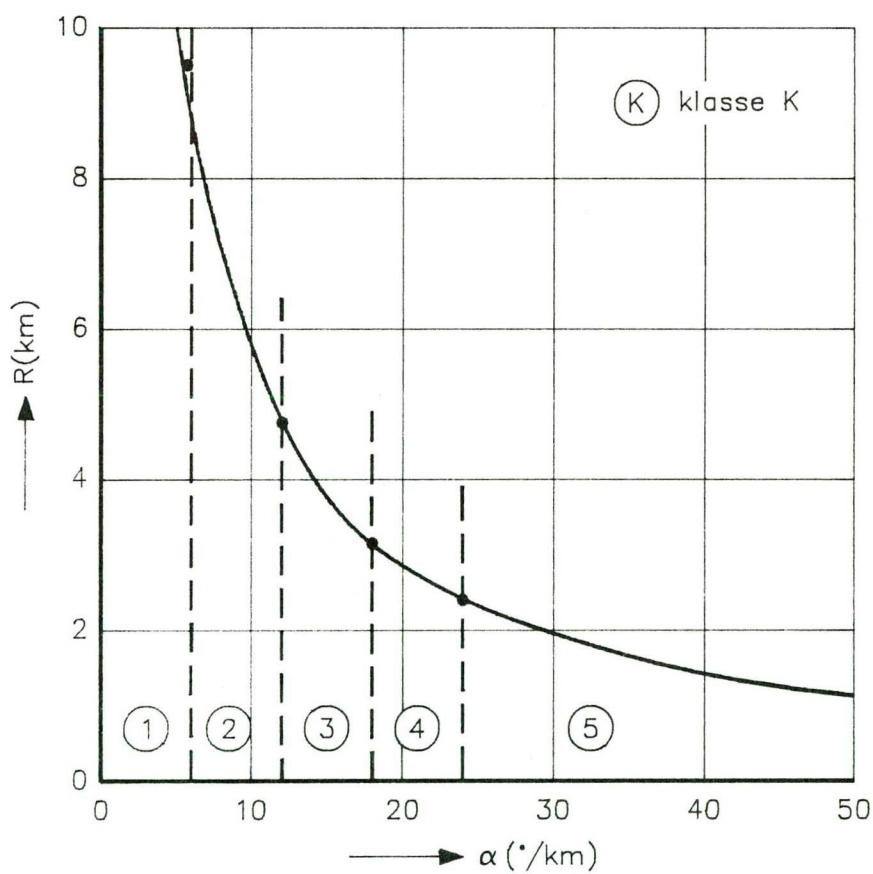


EFFECT KUSTKROMMING



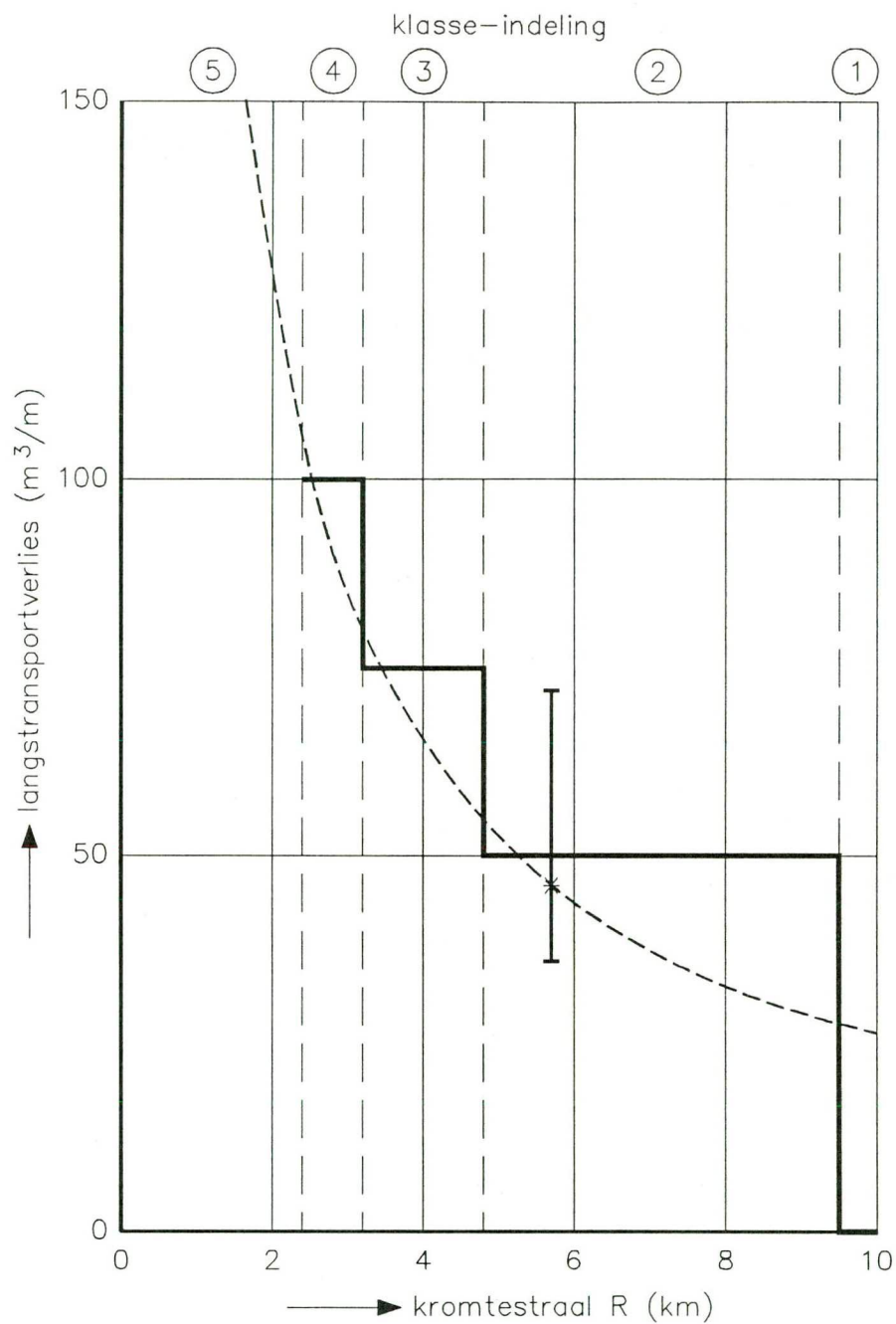


a. Definitie kustkromming



b. Relatie kustkromming—hoekverdraaiing

DEFINITIE KUSTKROMMING



— leidraad ( $R > 2390 \text{ m}$ ) (= bovengrens ----)

I resultaat M 1263-V

\* uitgangspunt  $45 \text{ m}^3/\text{m}'$  voor  $\alpha = 10^\circ/\text{km}$

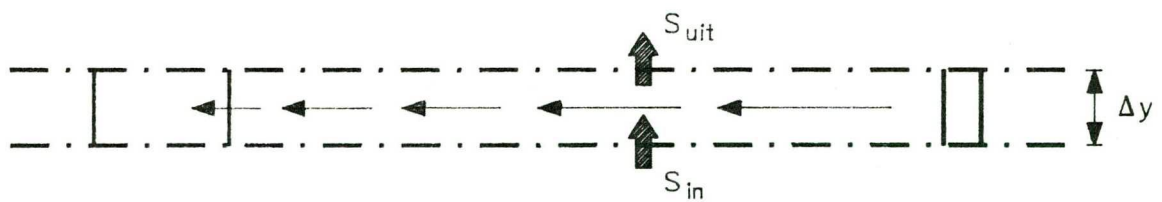
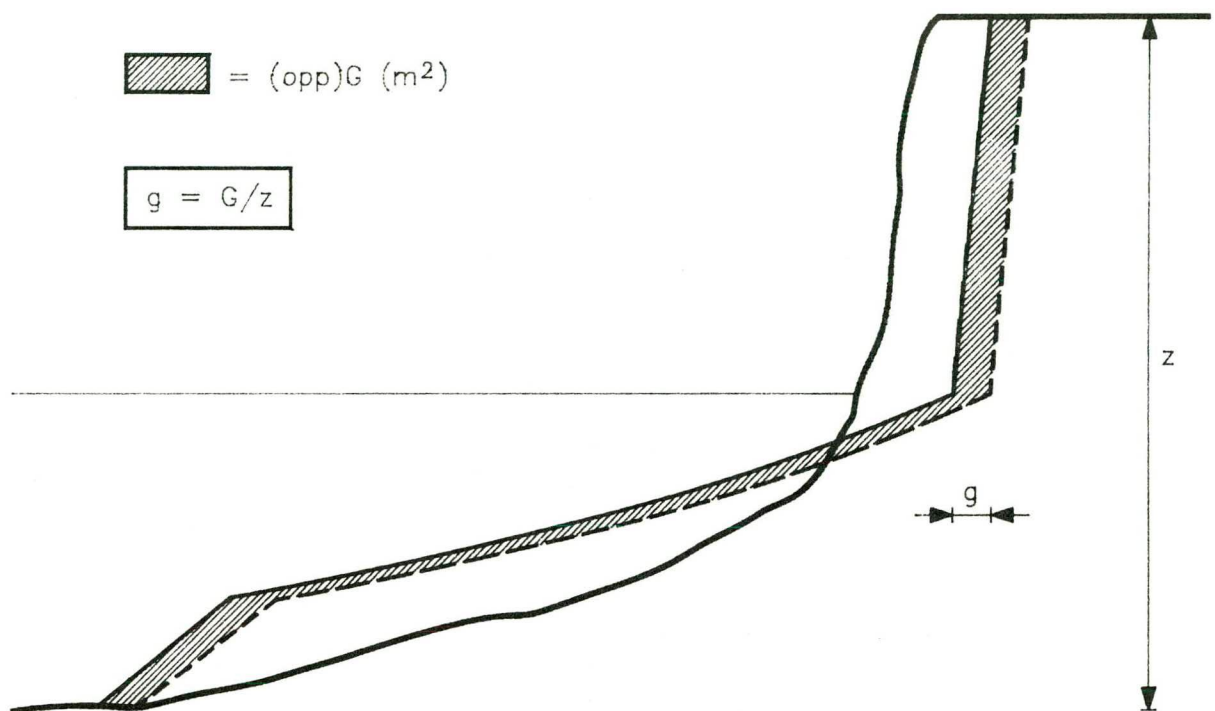
----  $G_0 = \frac{\alpha}{10} \cdot 45 \text{ (m}^3/\text{m}'\text{)}$

SEDIMENTVERLIES DOOR LANGSTRANSFORTGRADIËNTEN

WATERLOOPKUNDIG LABORATORIUM

H 298

FIG. 4.1



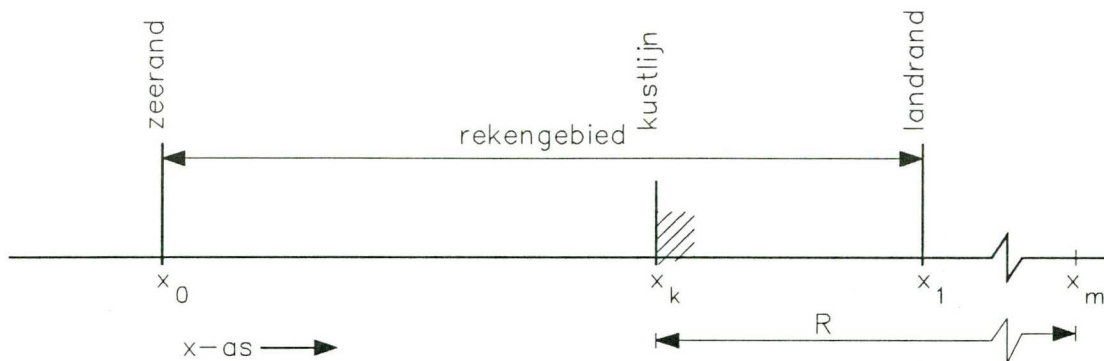
$$G \cdot \Delta y = (S_{uit} - S_{in}) \cdot \Delta t$$

EFFECT LANGSTRANSPOORTGRADIENT OP  
DUINAFSLAG VOLGENS LEIDRAAD

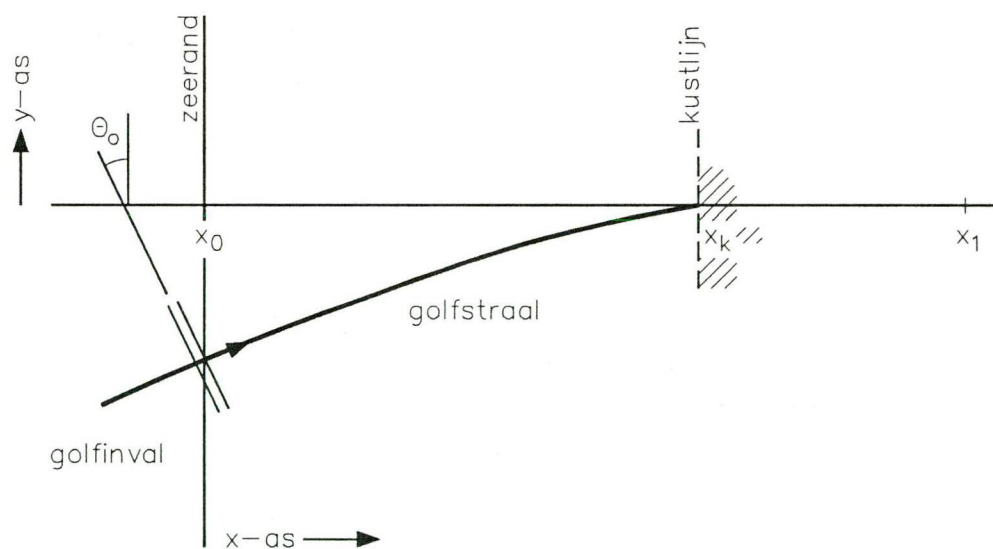
WATERLOOPKUNDIG LABORATORIUM

H 298

FIG. 4.2

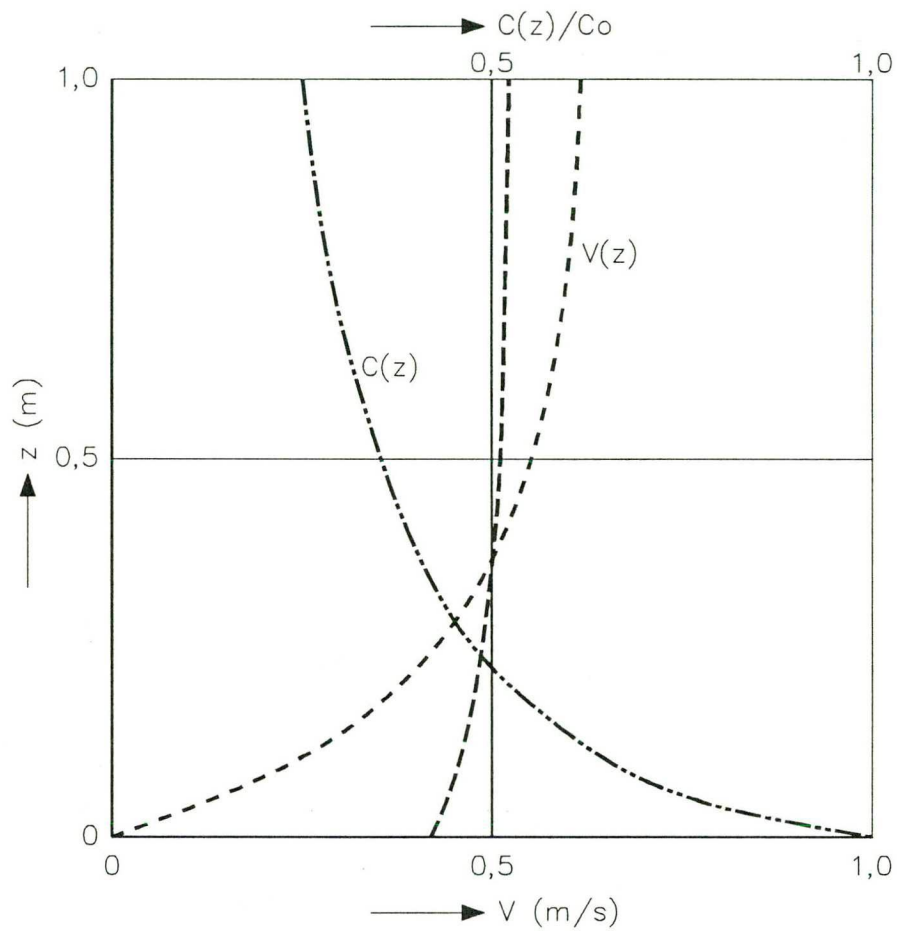


a. Assenstelsel en rekengebied



b. Horizontaal assenstelsel bij scheve aanval

DEFINITIE ASSENSTELSEL

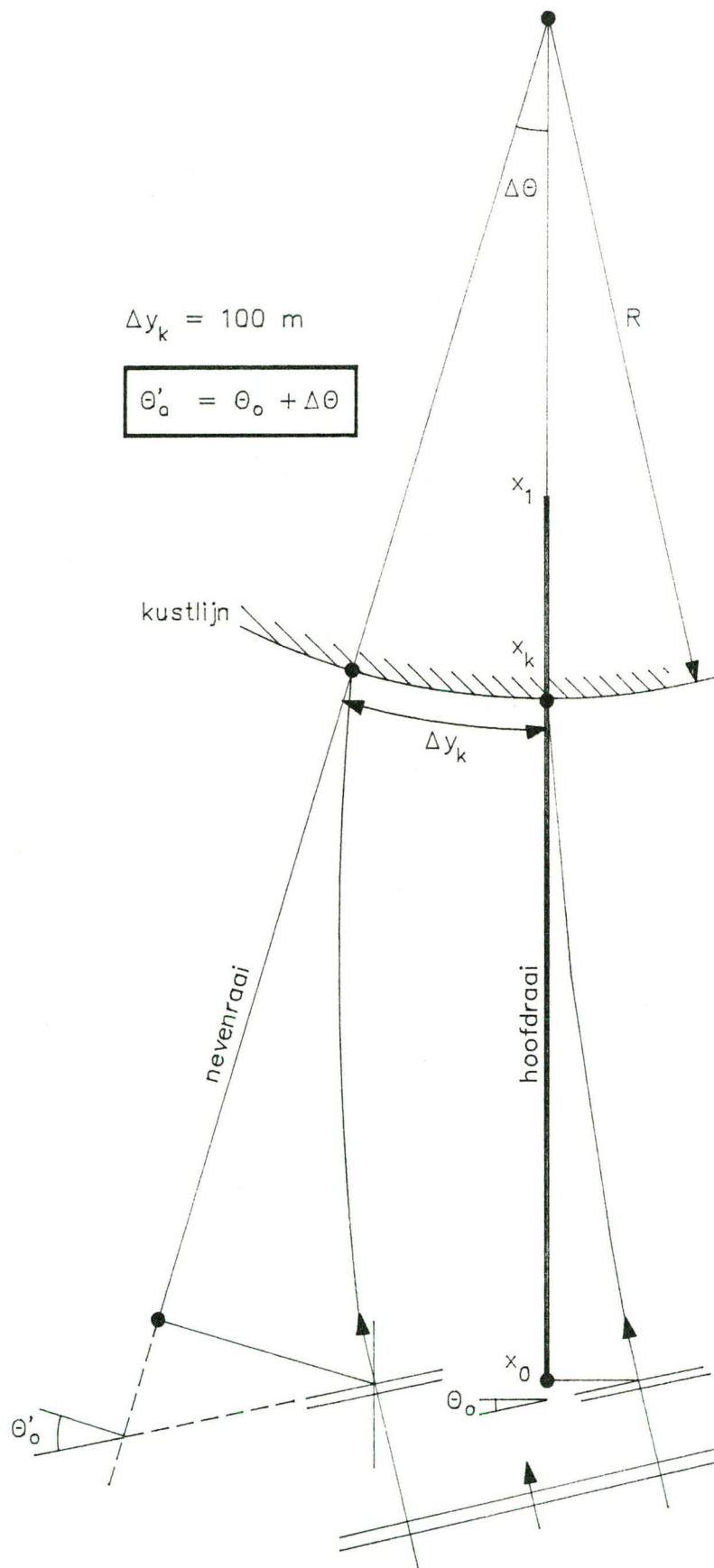


$$\bar{V} = 0,5 \text{ m/s}$$

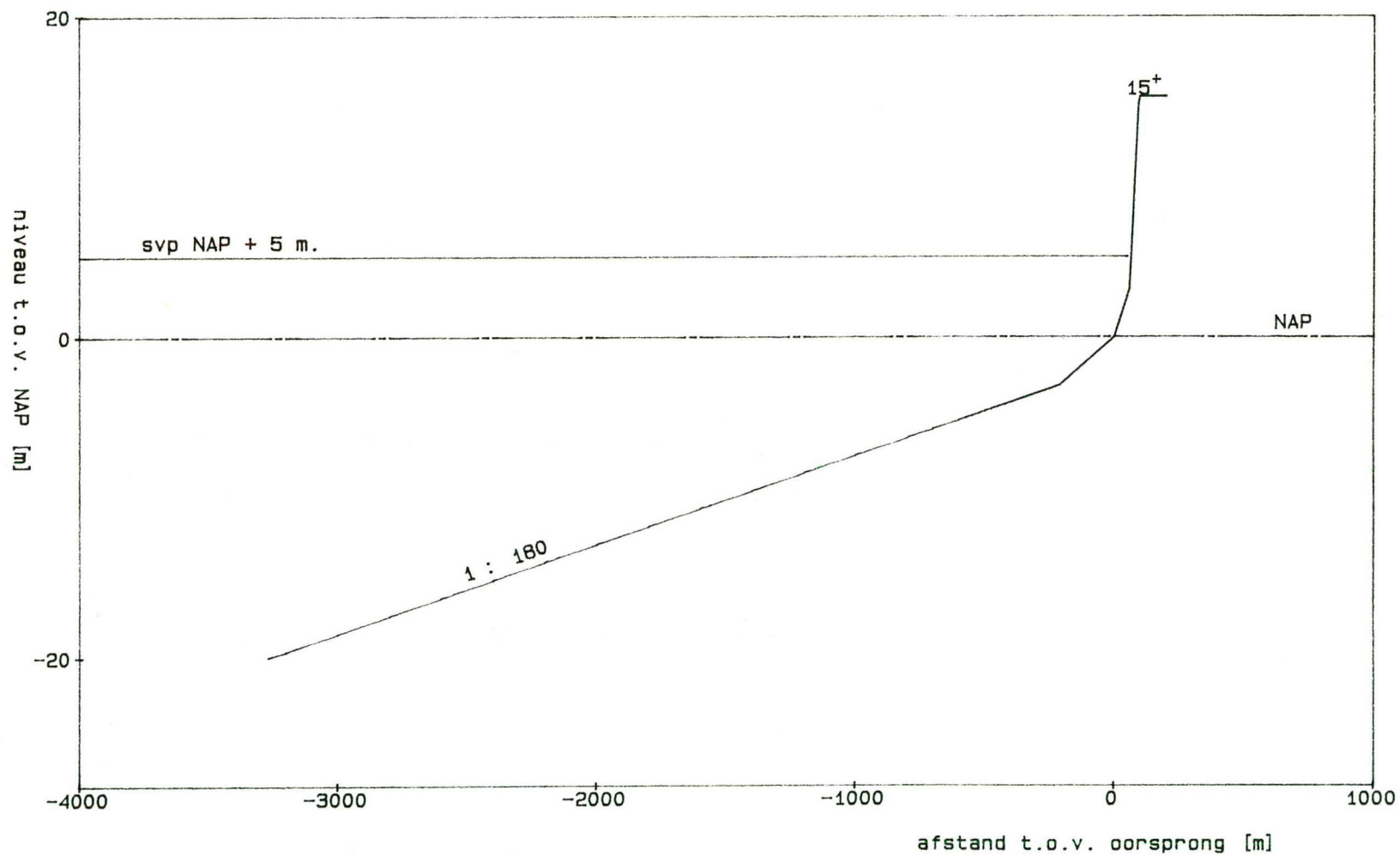
- $V(z)$  voor  $c_f = 0$
- - -  $V(z)$  voor  $c_f = \infty$
- · -  $V(z)$  voor  $c_f = 0,01$
- · -  $C(z)$

VOORBEELD LANGSSNELHEIDSVERDELING  $V(z)$  VOOR  
VERSCHILLENDE  $c_f$ -WAARDEN





VERWERKING KUSTKROMMING

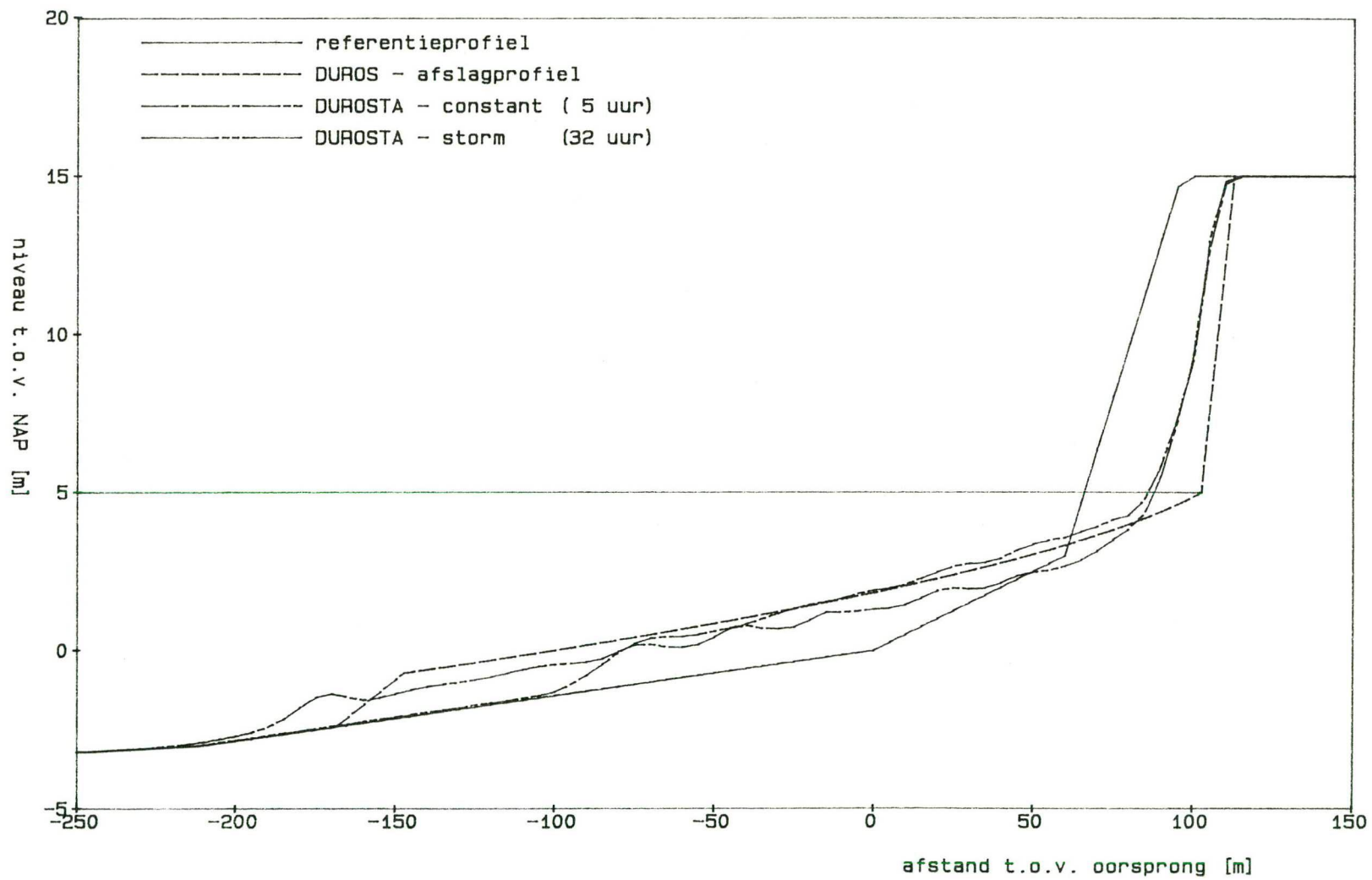


STANDAARD REFERENTIEPROFIEL

WATERLOOPKUNDIG LABORATORIUM

H298-05

FIG. 8.1

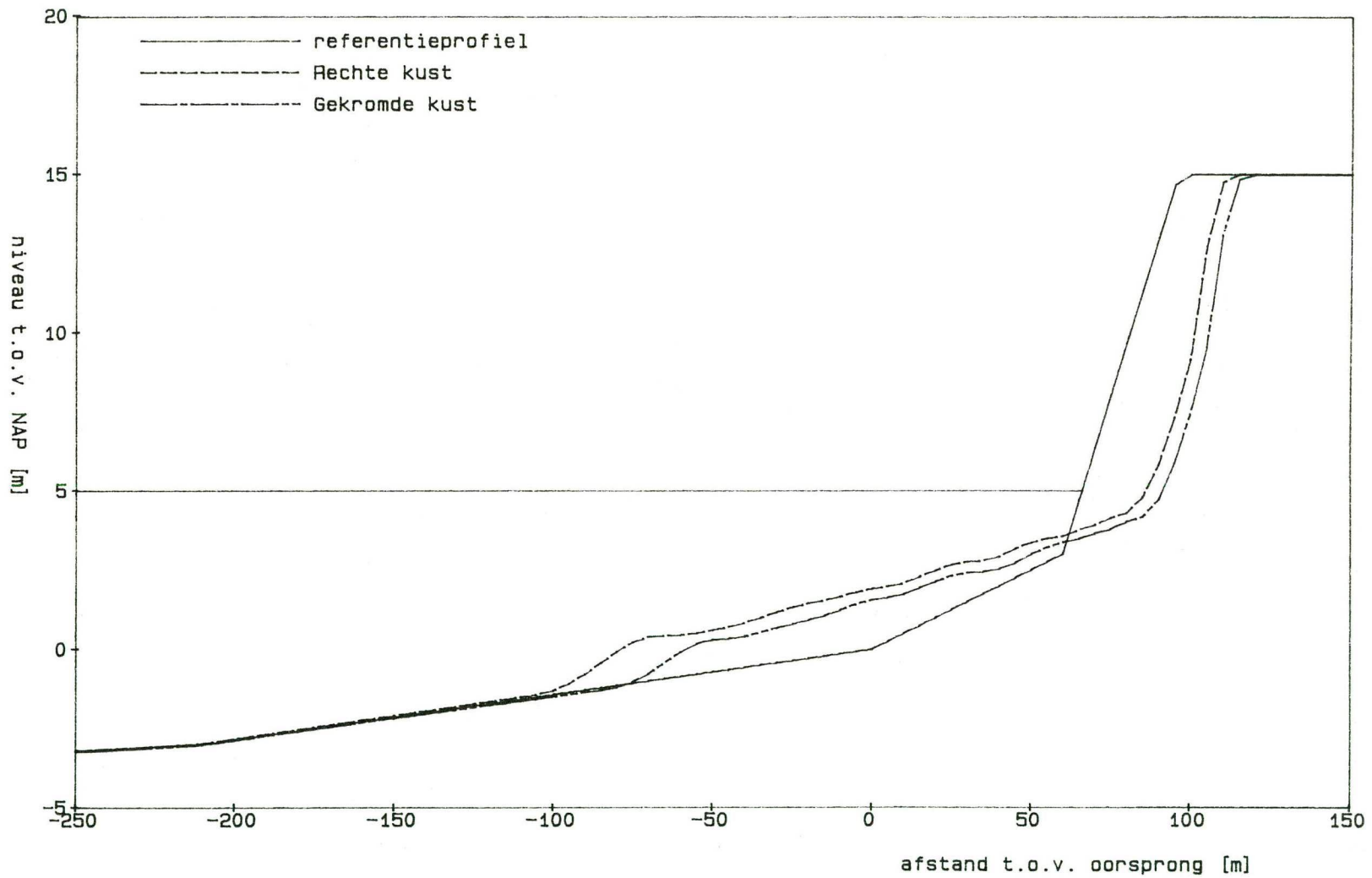


VERGELIJKING PROFIELLEN

WATERLOOPKUNDIG LABORATORIUM

H298-05

FIG. 8.2



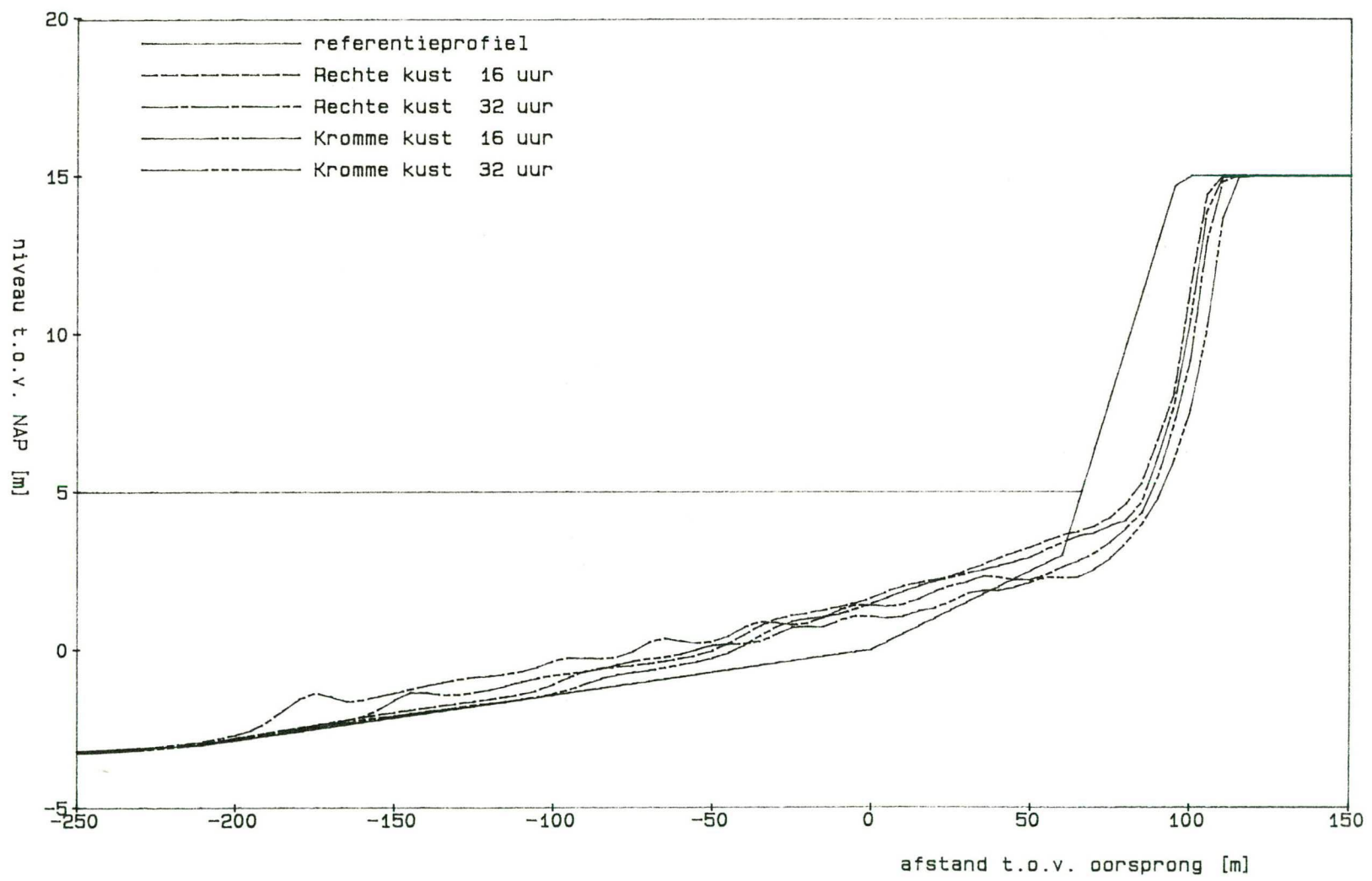
INVLOED KUSTKROMMING BIJ CONSTATE CONDITIES

WATERLOOPKUNDIG LABORATORIUM

R = 5730 m

H298-05

FIG. 8.3



INVLOED KUSTKROMMING BIJ VARIERENDE CONDITIES

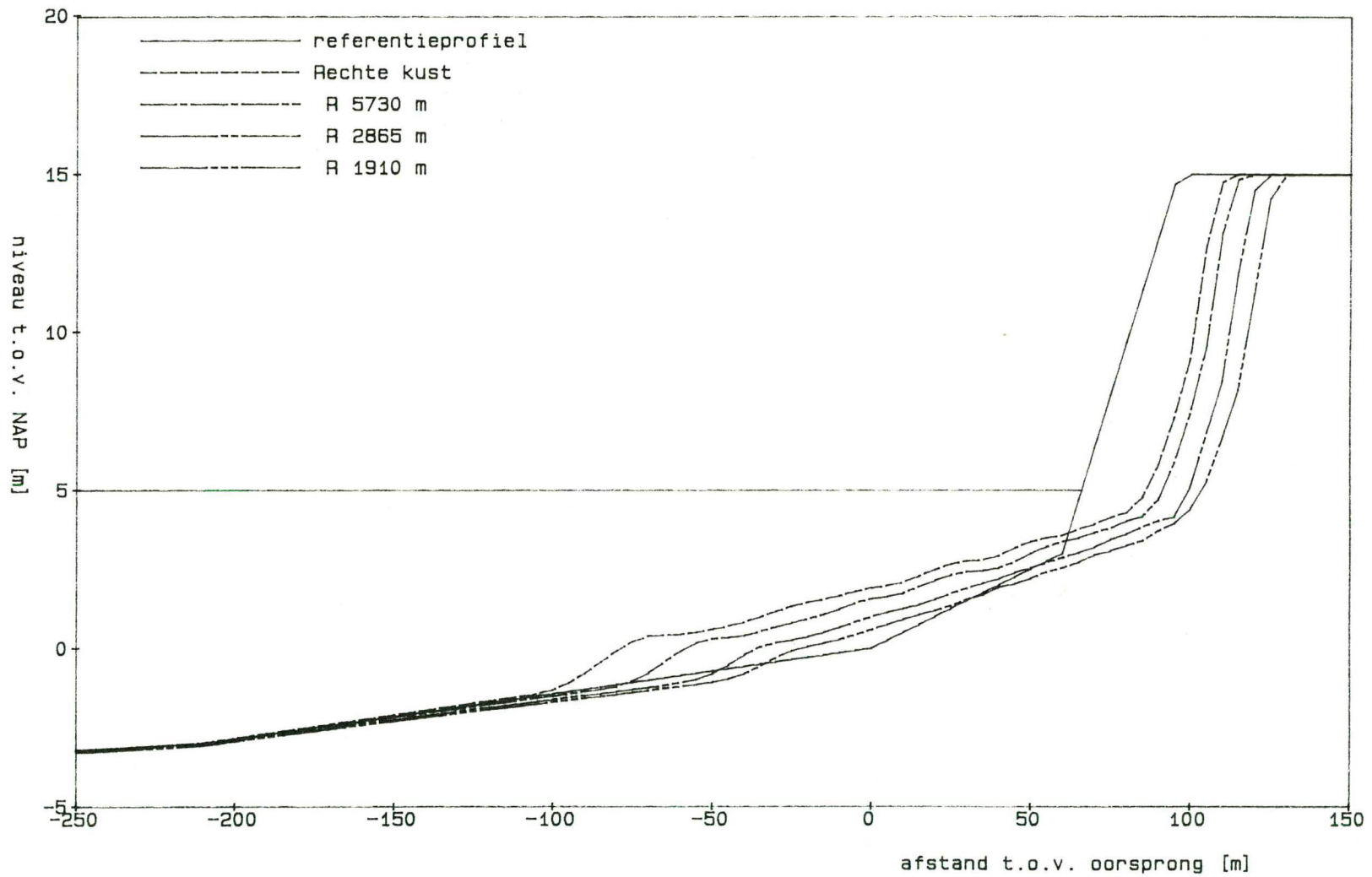
R = 11460 m

WATERLOOPKUNDIG LABORATORIUM

H298-05

FIG. 8.4





AFSLAGPROFIELEN BIJ VASTE CONDITIES  
VOOR VERSCHILLENDE KROMMINGEN

WATERLOOPKUNDIG LABORATORIUM

H298-05

FIG. 8.5