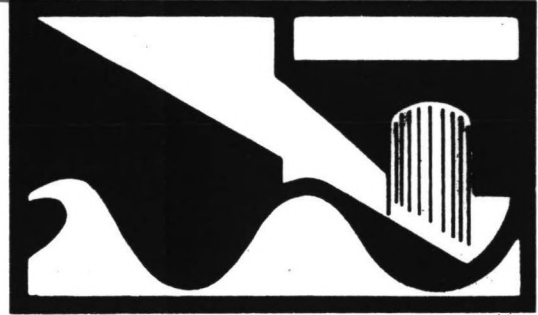


722A

VAARWEGVERDIEPING van de WIELINGEN:
morfologische en stroomtechnische aspecten



TH Delft

Technische Hogeschool Delft

Afdeling der Civiele Techniek
Vakgroep Waterbouwkunde
Sectie Kustwaterbouw

Afstudeerverslag van

A.P. de Looff

augustus 1987



Standbeeld van Admiraal M.A. de Ruyter
Westelijke havendam Vlissingen.

VOORWOORD

Nauwlettend houdt admiraal Michiel Azn. de Ruyter vanaf zijn sokkel het scheepvaartverkeer voor Vlissingen in de gaten. In de tijd dat hij vanuit deze plaats het zeegat Koos en door de Wielingen voer op weg naar nieuwe triomfen kon hij waarschijnlijk niet vermoeden dat deze vaargeul eens kunstmatig verdiept zou worden.

Recentelijk echter is door een Nederlands/Belgische commissie een studie verricht naar de verdieping van de Westerschelde. Ook de voor de Zeeuwsch-Vlaamse en Belgische kust gelegen vaargeul "Wielingen" maakt hiervan deel uit.

In dit rapport wordt deze voorgestelde verdieping van de Wielingen o.a. op morfologische aspecten beschouwd. Dit met name met het oog op het te verwachten onderhoudsbaggerwerk.

Deze studie is uitgevoerd als afstudeerwerk aan de Technische Universiteit Delft. Voor de begeleiding vanuit deze instelling heeft zorggedragen de heer ir. R. Reinalda, waarvoor ik hem bij deze hartelijk dank zeg.

Tevens ben ik erkentelijkheid verschuldigd aan: P. Bollebakker en ir. H.J. Verhagen van Rijkswaterstaat Dienst Getijdewateren en aan ing. D. de Looff en J.P. Swart van Rijkswaterstaat Directie Zeeland voor de geboden hulp bij het opsporen van de benodigde meetgegevens en de gesprekken over de in het studiegebied op gang zijnde processen.

Harry de Looff

Delft, augustus 1987

INHOUDSOPGAVE

	blz.
1 INLEIDING	1
2 SAMENVATTING	3
3 PROBLEEMBESCHRIJVING	4
4 HET STUDIEGEBIED EN DE VOORGESTELDE VAARWEGVERDIEPING	6
5 DE LOKALE AANZANDINGSBENADERING	9
5.1 Aanzandingsprocessen	9
5.2 Overzicht van de meest gehanteerde berekeningsmethoden ter bepaling van de aanzanding van een gebaggerde sleuf	12
5.3 Selectiecriteria en keuze	17
5.4 Theorie van de gekozen berekeningsmethoden	18
5.4.1 De gravity-infillmethode van J. Fredsøe	18
5.4.2 De methode Bijker	21
5.4.3 Aanzandingsbenadering volgens Eysink en Vermaas	24
5.4 Berekeningsresultaten	25
6 EEN ANALYSE VAN DE ZANDTRANSPORTEN IN EN ROND DE WIELINGEN; DE INVLOED HIEROP VAN DE VOORGESTELDE VERDIEPING	
6.1 Inleiding	26
6.2 Een historische beschouwing van de ontwikkelingen van het Westerschelde-estuarium en m.n. de Wielingen.	26
6.3 Gebiedsschematisatie van de Wielingen en definitie van de gebiedsgrenzen	28
6.4 Kwalitatieve en kwantitatieve beschouwing van de (resulterende) zandtransporten door de gebiedsgrenzen.	30

6.4.1	Zandtransporten door gebiedsgrens A	30
6.4.2	Zandtransporten door gebiedsgrens B	31
6.4.3	Zandtransporten door gebiedsgrens C	32
6.4.4	Zandtransporten door gebiedsgrens D	34
6.5	Systeem van resulterende zandtransporten; invloed hierop van een geulverdieping	35
6.6	Invloed van de uitgevoerde en nog uit te voeren baggerwerkzaamheden in Scheur en Wielingen op de morfologie en bodemligging in deze gebieden.	36
6.7	Conclusies	39
7	NABESCHOUWING, CONCLUSIES, AANBEVELINGEN	40

Lijst van gebruikte afkortingen en uitdrukkingen

Lijst van geraadpleegde literatuur

APPENDICES:

Appendix A:	Schematisatie van de voorgestelde verdieping; veranderingen hierin t.g.v. de voorgestelde vaarwegverdieping.	1
Appendix B:	Berekeningsbijlage behorend bij \$5.	16
Appendix C:	Berekeningsbijlage behorend bij \$6.	29

Lijst van bijlagen

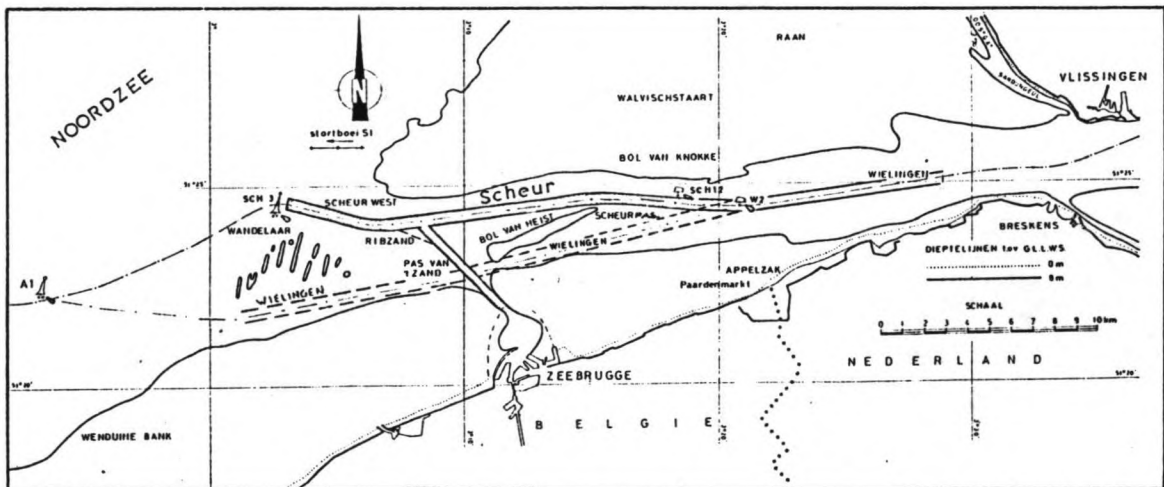
BIJLAGEN

1 INLEIDING

De vaarroute door de Wielingen heeft van oudsher een belangrijke rol gespeeld in de scheepvaart van en naar Antwerpen. Tot ca. 1960 werd de Wielingen over de gehele lengte als hoofdvaargeul gebruikt. Vanaf dit tijdstip is door de kunstmatige verdieping van het Scheur en de Scheurpas, de vaarroute Scheur/Wielingen als hoofdvaarwater langs de Zeeuws-Vlaamse kust in gebruik. (fig 1.1)

Samen met het minder diepe Oostgat vormt de Scheur/Wielingen-vaarweg de verbindingsroute voor het vrachtverkeer tussen de Noordzee en de Westerschelde (fig 1.1). Als zodanig heeft de Wielingen in het recente verleden nooit grote problemen opgeleverd wat betreft de minst beschikbare vaardiepte. (Dit in verhouding tot de vaardieptes op de Westerschelde zelf). In de geschiedenis van onderhouds- en verdiepingswerkzaamheden van de maritieme toegangsweg tot de haven van Antwerpen is de Wielingen dan ook niet of nauwelijks terug te vinden.

In deze situatie komt hoogstwaarschijnlijk binnen afzienbare tijd verandering. Dit als enige politieke hangijzers tussen Nederland en België zijn opgelost omtrent de verdiepingsvoorstellen voor de gehele Westerschelde-vaarweg. De bedoeling is de haven van Antwerpen toegankelijk te maken voor schepen met een grotere diepgang dan nu het geval is. Dit als gevolg van ontwikkelingen in de internationale handelsvloot en een capaciteitsvergroting van de Antwerpse haven. Eén en ander is door de Technische Scheldec commissie nader uitgewerkt [1].



Figuur 1.1: Het mondingsgebied van de Westerschelde met de Scheur/Wielingen scheepvaartroute

Een onderdeel van de verbetering van de toegangsroute tot de Antwerpse haven is ook een verdieping van de Scheur/Wielingenroute. Omdat het Scheur deel uitmaakt van de Belgische territoriale wateren, zijn hier reeds in de periode 1978 - 1984 aanzienlijke baggeroperaties uitgevoerd in opdracht van de Belgische overheid. In het van oudsher tussen België en Nederland betwiste gebied van de Wielingen heeft tot op heden nog geen verdieping plaatsgevonden.

Deze verdieping dient volgens de Technische Scheldecommissie [1] plaats te vinden in de vorm van een op de geulbodem te baggeren sleuf van ca. 500 m. breed en ca. 2.5 m. diep. In de gebiedsbeschouwing (§4) wordt hier nader op ingegaan. Deze afmetingen zijn gebaseerd op voorschriften zoals die door de PIANC (*) zijn opgesteld.

Een ingreep zoals deze in een door de natuur gevormde geulbedding die bovendien in de periode 1964 - 1982 een redelijk stabiele bodemligging te zien gaf [2], zal waarschijnlijk een reactie van de natuur tot gevolg hebben.

De vraag in welke vorm en in welke grootte zich deze natuurlijke reactie zal aandienen is onderwerp geweest van de in dit rapport gepresenteerde studie.

De eerste opzet is geweest een lokale, op de sleuf gerichte, aanzandingsberekening uit te voeren. De basis hiervoor zijn specialistische berekeningsmethodes voor sedimentatie van gebaggerde sleuven, die vereenvoudigd zijn tot handberekeningsmethodes.

Tijdens de uitvoering van bovengenoemde berekeningen diende zich een nieuwe ontwikkeling aan. Deze bestond uit een zich vrij sterk verdiepen van de Wielingen over de periode 1982 - 1986, een periode die niet meer in de voorstudie [2] verwerkt is. Deze verdieping is hoogstwaarschijnlijk het gevolg van de al eerder vermelde baggeractiviteiten in het Scheur. Op basis hiervan is een aanvullend onderzoek uitgevoerd.

Dit onderzoek heeft een sterk beschouwend karakter en beziet de ontwikkelingen in de Wielingen in een groter verband, namelijk in relatie tot de optredende resulterende zandbeweging in de gehele Westerscheldemonde en de invloed hierop van baggeractiviteiten in het Scheur.

Ter ondersteuning van bovengenoemde berekeningen en beschouwingen deed zich de mogelijkheid voor gebruik te maken van het WAQUA-RandDeltall computer-getijmodel van Rijkswaterstaat. Hiermee is een vergelijkingsrun uitgevoerd voor de oorspronkelijke (onverdiepte) en de verdiepte situatie.

(*) Permanent International Association of Navigation Congresses

2 SAMENVATTING

Centraal in de hier gepresenteerde studie staat de voorgestelde vaarwegverdieping van de vaargeul "Wielingen".

Na een uiteenzetting van het in dit rapport behandelde probleem in §3, wordt in §4 het studiegebied en de voorgestelde vaarwegverdieping behandeld.

In §5 wordt het sedimentatiegedrag van de geul uitgewerkt met methoden, die lokaal op de geul toepasbaar zijn. Eerst worden in een systematisch overzicht de gangbare berekeningsmethoden gepresenteerd, waarna een keuzebepaling en enkele op het studiegebied gerichte berekeningen aan de orde komen.

§6 beschouwt de verdiepingsproblematiek in een groter kader, namelijk De Wielingen en de haar omringende gebieden. Een systeem van resulterende zandtransporten is kwalitatief en, waar dat mogelijk is, kwantitatief nader uitgewerkt.

In Appendix A wordt de in de voorstudie [2] geanalyseerde stromingstoestand geschematiseerd. Dit onder meer ter ondersteuning van de beschouwingen in § 5 en 6. Tevens wordt de stroom-verandering t.g.v. de verdieping lokaal en in een groter kader nader geanalyseerd (Dit laatste m.b.v. een WAQUA-getijmodel).

De Appendices B en C zijn berekeningsbijlagen behorend bij de paragrafen 5 en 6.

Een nabeschuiving en conclusies van de hier gepresenteerde studie zijn opgenomen in §7, tevens zijn hierin enige aanbevelingen opgenomen.

3 PROBLEEMBESCHRIJVING

Omdat tijdens de uitvoering van deze studie de probleembeschrijving gewijzigd is, worden achtereenvolgens behandeld:

1. De oorspronkelijke probleembeschrijving
2. De reden tot wijziging
3. De gewijzigde probleembeschrijving

• De oorspronkelijke probleembeschrijving

Probleemafbakening:

De voorgestelde verdieping van de Wielingen wordt, zoals in de gebiedsbeschrijving te zien is, gerealiseerd door een sleuf in de (brede) geulbodem te baggeren. Er dient een gegronde uitspraak gedaan te worden over de ten gevolge van deze ingreep optredende veranderingen in de bodemligging van de te baggeren sleuf.

Probleemoplossing:

Uit het vooronderzoek [2] is gebleken dat de oorspronkelijke geulbodem over de periode 1964 - 1982 in een zeker evenwicht verkeerde. Daarom is in eerste instantie gemeend het aanzandingsgedrag van de sleuf te bepalen met berekeningsmethodieken voor aanzanding van gebaggerde sleuven. Een literatuurstudie dient uitgevoerd te worden ter bepaling van die methodes die het meest geschikt zijn om in het studiegebied met de daar optredende omstandigheden toe te passen. De gebiedsparameters zoals die in het vooronderzoek bepaald zijn kunnen gebruikt worden bij een dergelijke keuzebepaling.

Een bijkomende beperking is, als uitgangspunt van deze studie, dat de gebruikte methodes eenvoudig als handberekening uitgevoerd moeten kunnen worden. Met de op grond van bovenstaande overwegingen geselecteerde berekeningsmethode(n) dienen enige exercities uitgevoerd te worden om de optredende morfologische processen in de sleuf te bepalen.

• De reden tot wijziging:

Deze is voornamelijk gelegen in het feit dat tijdens de uitvoering van de studie nieuwe informatie ter beschikking kwam. Deze bestond uit een relatief snelle verdieping van de Wielingen over de periode 1982 - 1986 van 0.5 tot 1.5 meter over een groot deel van de geul [3]. Een waarschijnlijke oorzaak hiervan vormen de baggeractiviteiten in de aangrenzende Scheurpas. Hierdoor kan de voor de bovenbeschreven berekeningsmethoden noodzakelijke "evenwichtsligging" in twijfel worden getrokken.

Samen met het feit dat de voorlopige resultaten van de studie een zeer geringe verondieping van de sleuf te zien gaven, is dit de reden geweest een aanvullende studie uit te voeren, die hierna beschreven wordt.

• Gewijzigde probleembeschrijving

Probleemafbakening:

Deze is een aanvulling op de oorspronkelijke probleemafbakening. Naast het gedrag van de sleuf dient nu ook beschouwd te worden het gedrag van de gehele geulbodem van de Wielingen. Dit zowel t.g.v. de ter plekke te baggeren sleuf, als ook t.g.v. de veranderingen in aangrenzende gebieden (m.n. het Scheur).

Probleemoplossing:

Voor wat betreft de sleuf blijft de oorspronkelijke probleemoplossing van kracht, zij het met wat minder nadruk. Het gedrag van de gehele (Wielingen)geul dient gezien te worden in het licht van de optredende zandtransporten in de gehele Westerscheldemonding.

Door van deze transporten een schematisatie op te stellen kan bestudeerd worden:

- de "evenwichtstoestand" 1964 - 1980
- de toestand met een verdiept Scheur (vanaf ca. 1980)
- de toestand met zowel een verdiept Scheur als een verdiepte Wielingen

M.b.v. baggergegevens van het Scheur en peilbladen van het Scheur en de Wielingen kan wellicht een zekere relatie gevonden worden tussen baggerwerkzaamheden in het Scheur en de (natuurlijke) verdieping van de Wielingen.

Door deze relatie te combineren met de opgestelde schematisatie van de optredende zandtransporten kan bekeken worden welke veranderingen in deze zandtransporten op zullen treden.

Dit resultaat kan als basis dienen voor een prognose omtrent de bodemontwikkeling van de Wielingen na (kunstmatige) verdieping van de geul.

4 HET STUDIEGEBIED EN DE VOORGESTELDE VAARWEGVERDIEPING

Het mondingsgebied van de Westerschelde

Van belang voor deze studie is het mondingsgebied van de Westerschelde, zoals dat is weergegeven in figuur 4.1, zich globaal uitstrekkend van Zeebrugge tot Westkapelle, met als oostelijke begrenzing de raai Vlissingen-Breskens. De Zeeuws-Vlaamse kust vormt de zuidelijke begrenzing; de Walcherse Kust vormt de noord-oostelijke begrenzing.

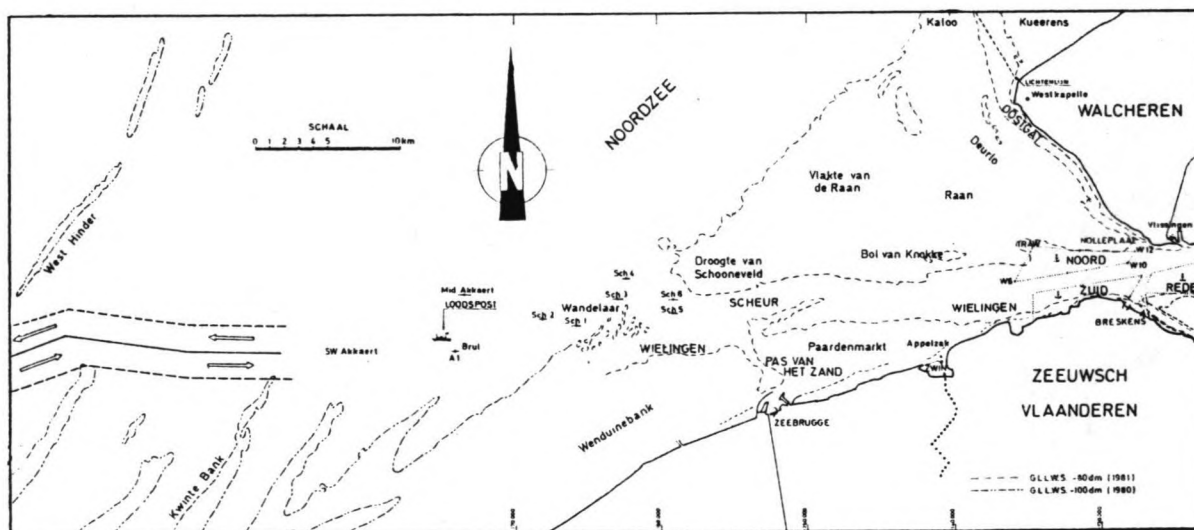
In het vooronderzoek [2] zijn een aantal belangrijke gebiedskenmerken nader beschouwd, te weten:

- stroombeeld
- golfklimaat
- bodemligging en recente ontwikkelingen hierin
- geologie

Hieruit volgt o.a. dat het mondingsgebied als volgt is te schematiseren (figuur 4.1):

- één hoofdgeul: Wielingen/Scheur
- één nevengeul: Oostgat
- een groot bankengebied: Raan/Vlakte van de Raan

De Scheur/Wielingen-verbinding fungeert als getijdgeul, die in hoofdzaak ($\pm 70\%$) verantwoordelijk is voor het vullen en het ledigen van het Westerscheldebekken. De resterende 30% is ongeveer gelijk te verdelen over het bankengebied en de kortsluitgeul.



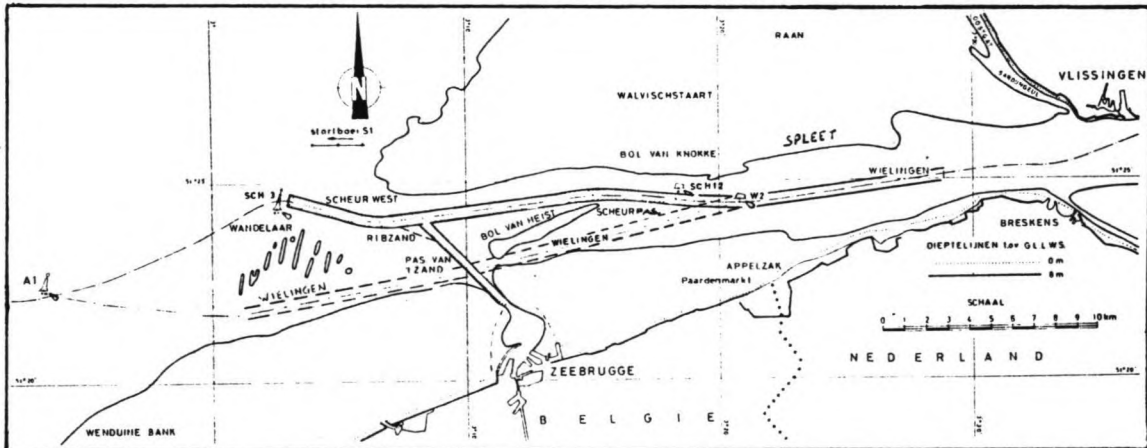
Figuur 4.1: Het mondingsgebied van de Westerschelde

De ontwikkeling van de Scheur/Wielingen scheepvaartroute

Tot aan het begin van de zestiger jaren was de Wielingen, lopend vanaf Vlissingen tot voorbij Zeebrugge (figuur 4.2) de hoofdvaartroute voor grote schepen van en op Antwerpen. Vanaf \pm 1962 is de Scheur/Wielingen-verbinding als scheepvaartroute ontwikkeld door een kunstmatige verdieping van het Scheur en de Scheurpas (de verbinding tussen Scheur en Wielingen(*)).

Vooraf tijdens de recente baggerpiek in Scheur en Scheurpas (1974 - 1984) heeft de Scheur/Wielingen-verbinding definitief de functie van hoofdvaartroute verkregen: het "ondiepe" Wielingen-gedeelte wordt heden nog slechts door kleine schepen bevaren.

In tegenstelling tot Scheur en Scheurpas is de Wielingen in het verleden nooit in de verdieplingsplannen opgenomen geweest omdat het in verhouding tot naastgelegen gebieden geen drempelwerking had. Door bovengenoemde baggerwerkzaamheden is hierin verandering gekomen en zijn serieuze verdieplingsplannen opgesteld.



Figuur 4.2: De Scheur/ Wielingen scheepvaartroute

Verdiepingsproblematiek:

De voorgestelde verdieping heeft als doel zowel de getijongebonden vaart als de vaart die gebruik maakt van een getijvenster een passage te garanderen voor schepen met een diepgang die 1 à 1.5 meter groter is dan voorheen.

Als zodanig is voor de Wielingen, met een gemiddelde bodemligging van ca. NAP - 15m door de Technische Scheldec commissie [1] de volgende verandering voorgesteld:

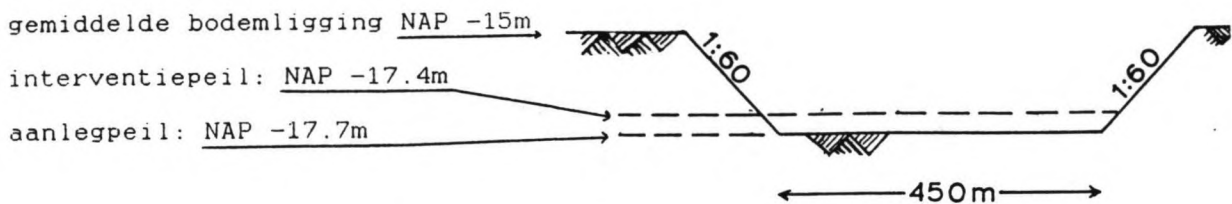
(*) Met de term "Wielingen" wordt in het vervolg bedoeld: Het te verdiepen Wielingen-gedeelte, globaal gelegen tussen 3°20' en 3°28' OL, tenzij anders vermeld

a. Verdieping

De verdieping is weer te geven aan de hand van figuur 4.3. Getekend is een interventiepeil van GLLWS -14,9m (= NAP -17.4m). Als overdiepte (aanlegdiepte - interventiepeil) is 10 % van de totale verdieping genomen [$(17.4 - 15)/10 = 0.24$ m] Hiervoor is door de Technische Scheldec commissie aangehouden 0.30m, zodat de uiteindelijke aanlegdiepte is vastgesteld op NAP -17.7m. Deze maten zijn bepaald aan de hand van PIANC - conventies.

b. Breedte van de verdieping

Zowel in de oostelijke Scheurpas als in de Wielingen is de breedte van de verdieping ter plekke van de geulbodem vastgesteld op 450 meter; tussen de boeien dient de vaargeulbreedte 570 meter te bedragen.



Figuur 4.3: Dimensies van de voorgestelde verdieping

De geulbodem van de Wielingen, waarin bovenbeschreven verdieping plaats dient te vinden, varieert in breedte van 1500 tot 2000 meter, zodat slechts 1/3 à 1/4 van de bodem door de sleuf in beslag genomen wordt.

De lengte waarover de sleuf gebaggerd wordt bedraagt ongeveer 8 km. Het totale te baggeren volume specie wordt geraamd op (in situ):

- 10 mln m³ zand
- 2,5 mln m³ klei, hoofdzakelijk tertiaire (zgn. Boomse) klei

Als stortlokatie is naast de stortboei S1 ook de ten noorden van de Wielingen gelegen ondiepe geul Spleet aangewezen (fig. 4.2).

De uitvoering van de verdieping kan in principe elk moment in gang worden gezet; het enige beletsel vormen enkele struikelblokken op het politieke vlak tussen Nederland en België.

(*) Interventiepeil: Als de geulbodem door aanzanding dit peil overschrijdt dient middels baggeren ingegrepen te worden.

5 DE LOKALE AANZANDINGSBENADERING

5.1 Aanzandingsprocessen

Sedimentatie in een gebaggerde sleuf kan optreden ten gevolge van de volgende factoren:

- * invloed van grootschalige geologische processen op lange termijn
- * het zich verleggen van geulen in getijdegebieden op middel- lange termijn
- * verstoring van het natuurlijke evenwicht tussen bodemprofiel en lokale stromingsomstandigheden, bijvoorbeeld door baggeren

De eerste twee factoren spelen op langere termijn, bv. langer dan 25 jaar, de laatste factor kan binnen bijvoorbeeld één jaar al aanzienlijke veranderingen tot gevolg hebben. In het vervolg van deze beschouwing zal de korte-termijn aanzandingsbenadering als uitgangspunt genomen worden.

De belangrijkste voorwaarde voor een dergelijke benadering is het aanwezig zijn van een natuurlijk (dynamisch) evenwicht, dat verstoord wordt door een verdieping. De resultaten van het vooronderzoek [2] tonen een geulbodem van circa 2 km. breed, die beschouwd over de periode 1964 - 1982 een redelijk stabiel beeld te zien gaf. Er heeft zich in de beschouwde periode wel een zekere verdieping voorgedaan van enkele dm. tot 0.5 m., maar mijns inziens mag dit geen grote hindernis vormen om een aanzandingsberekening van de te baggeren sleuf uit te voeren. Wel dient deze ontwikkeling steeds in gedachten te blijven om de resultaten van de aanzandingsberekening hieraan te kunnen relateren.

De belangrijkste oorzaken van de aanzanding van een gebaggerde sleuf zijn:

- * sedimentatie van materiaal dat zich over de bodem voortbeweegt en/of
- * sedimentatie van gesuspendeerd materiaal

Ten gevolge van de gewijzigde hydraulische omstandigheden in de verdiepte geul treedt in het algemeen een reductie van de sedimenttransportcapaciteit op. Dit heeft meestal een aanzanding tot gevolg in de gebaggerde sleuf.

Het merendeel van de gangbare methoden om de aanzanding van een gebaggerde sleuf te bepalen heeft bovengenoemde factoren als basis. In het navolgende wordt deze basis nader toegelicht, waarbij als uitgangspunt een stroomrichting genomen wordt, die loodrecht op de geulas is georiënteerd; de meeste berekeningsmethoden hebben deze beschouwing ook als uitgangspunt.

Bodemtransport

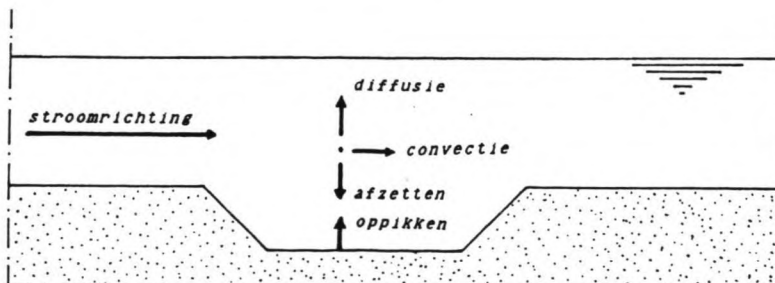
Bodemtransport vindt plaats in een dunne waterlaag direct boven de bodem. De grootte van het bodemtransport past zich nagenoeg gelijk aan aan optredende veranderingen in de hydraulische omstandigheden. Vooral in gebieden met fijne tot middelfijne korreldiameter wordt het bodemtransport in grootte vele malen overheerst door het gesuspendeerde transport, zeker bij een grote waterdiepte (bv. een scheepvaartgeul).

Omdat door het ontbreken van betrouwbare meetapparatuur het optredende bodemtransport in getijdegebieden moeilijk te meten is, dient deze transportvorm benaderd te worden met bodemtransportformules. Hiervoor staan ter beschikking formules die het transport bepalen o.i.v. stroom alleen, maar ook t.g.v. stroom en golven. Deze formules dienen zowel ter bepaling van de transporten in de oorspronkelijke (evenwichts) toestand, als in de gewijzigde toestand met de gebaggerde sleuf. Door de optredende verschillen op de juiste manier te verwerken kan een indruk verkregen worden over de aanzanding t.g.v. een verandering in het bodemtransport.

Gesuspendeerd transport

Ten gevolge van de eerder genoemde afname van de transportcapaciteit boven de sleuf zullen sedimentdeeltjes van het gesuspendeerde transport afgezet worden in de sleuf. De belangrijkste processen die hieraan ten grondslag liggen zijn [5]:

- * convectie van de deeltjes t.g.v. horizontale en verticale watersnelheden
- * diffusie van de deeltjes t.g.v. de stroom- en golfgerelateerde mengprocessen
- * afzetting van de deeltjes t.g.v. de zwaartekracht
- * oppikken van de deeltjes van de bodem door de stroom



Figuur 5.1: Processen, van belang bij suspensief transport

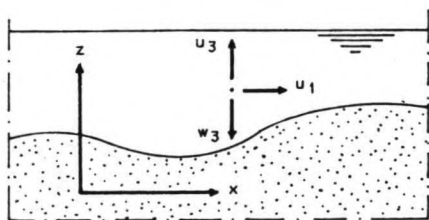
Een beschrijving van deze processen in formulevorm wordt o.a. gegeven door De Vries [6]. De basis voor de afleiding is een twee-dimensionale benadering met als uitgangspunt de massabalans van een volume-elementje water plus sediment met vaste coördinaten in een turbulente niet-uniforme en niet-stationaire stroming. Een aanname hierbij is o.a. dat de snelheid van het sediment gelijk is aan die van het water (in horizontale richting).

De zo opgestelde convectie-diffusievergelijking luidt als volgt:

$$\frac{\partial c}{\partial t} + \frac{\partial}{\partial x}(u_1 c) + \frac{\partial}{\partial z}(u_3 c) - \frac{\partial}{\partial z}(w_s c) - \frac{\partial}{\partial x} \left[\epsilon_1 \frac{\partial c}{\partial x} \right] - \frac{\partial}{\partial z} \left[\epsilon_3 \frac{\partial c}{\partial z} \right] = 0 \quad (5.1)$$

waarin: c = concentratie; u_1 = stroomsnelheid in horizontale (x) richting; u_3 = stroomsnelheid in verticale (z) richting; w_s = valsnelheid van een sedimentdeeltje in water; ϵ_1 = sediment diffusie coëfficiënt in horizontale (x) richting; ϵ_3 = sediment diffusie coëfficiënt in verticale (z) richting; x en z zijn coördinaten; t = tijd.

Onderstaand plaatje geeft een verduidelijking van de gebruikte symbolen en coördinaten:



Figuur 5.2: Definities

De convectie-diffusie-vergelijking dient als uitgangspunt van de meeste berekeningsmethoden voor aanzanding van gebaggerde sleuven. Om deze vergelijking wat beter hanteerbaar voor berekening te maken, zijn verdere vereenvoudigingen uitgevoerd. De mate waarin dit gebeurt is vormt een belangrijk onderscheid tussen de verschillende aanzandingsberekeningsmethoden.

Het vervolg van deze paragraaf bestaat uit een inventarisatie van de gangbare methoden ter bepaling van aanzanding van gebaggerde sleuven. De voor- en nadelen hiervan worden in relatie gebracht tot de karakteristieke gebiedskenmerken en op grond daarvan zal een selectie uitgevoerd worden welke methoden het meest in aanmerking komen voor enkele aanzandingsberekeningen.

5.2 Overzicht van de meest gehanteerde berekeningsmethoden ter bepaling van de aanzanding van een gebaggerde sleuf.

In principe zijn hierin drie categorieën te onderscheiden:

- I. Een mathematische benadering van de convectie-diffusievergelijking. Hierin worden slechts kleine vereenvoudigingen aangebracht om tot een zo nauwkeurig mogelijk tweedimensionaal numeriek model te komen.
- II. Een dussdanige vereenvoudiging van de convectie-diffusievergelijking en van de optredende gebiedsparameters, dat een eenvoudig uit te voeren handberekening resteert.
- III. Methoden die niet direct de convectie-diffusievergelijking als basis nemen, maar een andere invalshoek gebruiken.

ad. I.

Als voorbeeld van deze methode is genomen het SUTRENCH model van het Waterloopkundig Laboratorium [7]. Dit tweedimensionale numerieke model wordt gebruikt op grote computersystemen. De convectie-diffusievergelijking (5.1) is hierbij vereenvoudigd voor toepassing op een stationaire stromingstoestand (tijdsafgeleiden $\rightarrow 0$) met verwaarlozing van de longitudinale diffusiecoëfficiënt (ϵ_1 -term $\ll \epsilon_3$ -term).

Vergelijking (5.1) reduceert dan tot:

$$\frac{\delta}{\delta x}(u_1 c) + \frac{\delta}{\delta z} \left[(u_3 - w_s) c \right] - \frac{\delta}{\delta z} \left[\epsilon_3 \frac{\delta c}{\delta z} \right] = 0 \quad (5.2)$$

Bij een dergelijke aanpak van het probleem hoort bij toepassing een uitgebreide set meetgegevens van het te beschouwen gebied. Zowel de kwantiteit als de kwaliteit ervan zijn belangrijk. Dit in verband met een goede invulling van parameters zoals bv. de valsnelheid van een sedimentdeeltje, het optredende stroombeeld en de snelheidsverdeling over de vertikaal. Ook is het van belang voor de invulling van de randvoorwaarden een betrouwbaar beeld te krijgen van de concentratievertikaal.

Deze vereiste aanwezigheid van uitgebreide meetgegevens houdt meestal een intensieve meetcampagne in om alle parameters goed te bepalen. Zodra op deze manier van alle relevante parameters betrouwbare meetgegevens bekend zijn, zijn de voorspellingen van aanzanding redelijk betrouwbaar gebleken, getuige bijvoorbeeld ijkingen m.b.v. gebaggerde proefgeulen [7].

Concluderend kan gesteld worden voor categorie I:

Voordelen: * Redelijke tot goede voorspelling van de aanzanding bij aanwezigheid van betrouwbare meetgegevens (qua kwaliteit als kwantiteit)
* Verschillende geulverdiepingen zijn eenvoudig door te rekenen door enkele randvoorwaarden te veranderen

Nadelen: * Er is meestal een intensieve meetcampagne vereist om alle relevante parameters afdoende te bepalen
* Er is een grote computer nodig om de berekening uit te voeren. Het is denkbeeldig dat deze in sommige gevallen niet aanwezig is of niet gebruikt kan worden

ad. II.

Een van de uitgangspunten van de meeste handberekeningsmethoden is een sterke vereenvoudiging van de convectie-diffusie-vergelijking (5.1). Bijker [8],[9] bijvoorbeeld gebruikt onderstaande formule:

$$w_s c + \epsilon \frac{dc}{dz} = 0 \quad (5.3)$$

Deze vergelijking is van toepassing op stationaire, uniforme stroming. Ter bevordering van de eenvoud van toepassing zijn, naast bovenstaande vergelijking, ook randvoorwaarden en andere invoergegevens meestal geschematiseerd tot een eenvoudiger voorstelling. Een voorbeeld hiervan is bv. het constant veronderstellen van de diffusiecoëfficiënt over de hoogte. Vereenvoudigende aannames kunnen ook toegepast worden op het snelheids- en concentratieprofiel en de stroomafbuiging bij aanstroming onder een hoek.

Een opsomming van alle op dit gebied gepresenteerde theorieën is hier niet uitgevoerd. Volstaan is enkele methoden te beschouwen, nl. Mayor, Mortensen, Fredsøe [10], Lean [11] en Bijker [8],[9]. Al deze methoden zijn oorspronkelijk ontwikkeld voor aanstroming loodrecht op de geul. De beschouwde formules tonen redelijke tot goede resultaten voor aanstroming onder hoeken $60^\circ < \alpha < 90^\circ$; de stroomsnelheid voldoet dan redelijk tot goed aan onderstaande continuïteitsvergelijking: (definities: figuur 5.3)

$$u_1 = u_0 (h_0/h_1) \quad (5.4)$$

waarin: u_1 = stroomsnelheid boven de sleuf
 u_0 = stroomsnelheid boven de ongestoorde bodem, bovenstrooms van de sleuf
 h_0 = ongestoorde waterdiepte
 h_1 = waterdiepte in de gebaggerde sleuf

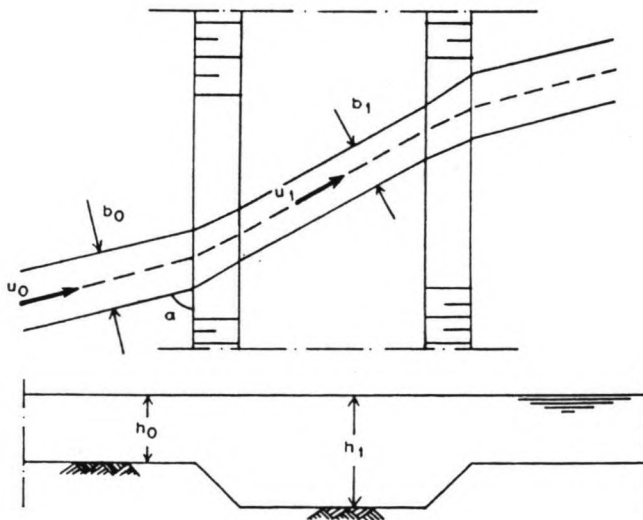
Voor deze situatie geldt altijd: $u_1 < u_0$.

Bij aanstroming onder een kleine hoek, dus bijna evenwijdig aan de geulas is dit echter niet altijd het geval. Dit wordt veroorzaakt door het ter plaatse van de geulsectie vergrote doorstroomprofiel en doordat de stroming boven de geul door de toegenomen waterdiepte minder bodemwrijving ondervindt. De stroomsnelheid in de sleuf is daardoor gelijk aan de snelheid aan weerszijden van de sleuf, of kan zelfs groter zijn: $u_1 \geq u_0$

De beschouwde methoden voeren bij aanstroming onder een kleine hoek een aanpassing in. Dit is gebeurd d.m.v. een factor b_0/b_1 , voorstellende de verhouding: breedte van een stroombaan voor afbuiging/breedte van een stroombaan na afbuiging boven de sleuf. Zie figuur 5.3. Uit het onderzoek van het studiegebied [2] is gebleken dat de aanstroming hoofdzakelijk plaatsvindt onder een hoek van 0 tot 20 graden t.o.v. de geulas.

Alle de genoemde methoden voorspellen in dit geval erosie.

Omdat aan deze methoden als uitgangspunt een oorspronkelijke evenwichtssituatie ten grondslag ligt en omdat onderhoudsbaggerwerk in gelijksoortige situaties het tegendeel van erosie bewijzen moeten bij de betrouwbaarheid van de formules in een aanstromingsgebied $0^\circ < \alpha < 30^\circ$ enige vraagtekens geplaatst worden.



Figuur 5.3: Bovenaanzicht en dwarsdoorsnede van de sleuf;
Definities

In het algemeen gelden voor de methoden van categorie II:

Voordelen: * Eenvoudig uit te voeren berekening, bv. op een zakrekenmachine
* Er zijn geen al te uitgebreide meetgegevens nodig
* In het algemeen geven de methoden bij aanstroombuigen $60^\circ < \alpha < 90^\circ$ redelijk goede voorspellingen van de aanzanding.

Nadelen: * I.v.m. de toegepaste vereenvoudigingen moet bij de nauwkeurigheid van de voorspelde aanzanding enig voorbehoud gemaakt worden.
* Bij aanstroombuigen $< 30^\circ$ bestaat grote onzekerheid over de juistheid van de resultaten

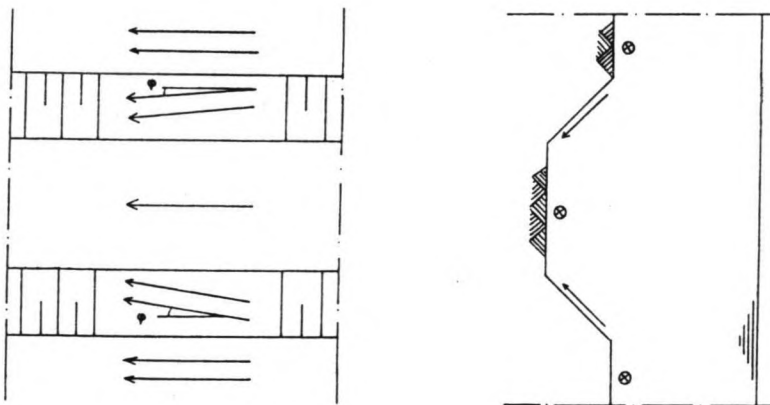
Voor een meer uitgebreide beschrijving van de door Bijker ontwikkelde berekeningsmethode wordt verwezen naar de literatuur [8] en [9] en § 5.4.2.

ad. III.

Twee methoden worden hier onderscheiden die niet eenduidig onder categorie I of II geplaatst kunnen worden. In beide gevallen betreft het hier een handberekeningsmethode.

a. De gravity-infill methode van J. Fredsøe [12]

Het doelgebied van deze methode is een alluviale rivier met non-cohesief sediment. De orientatie van de geul is parallel of bijna parallel aan de stroomrichting. Deze methode beschouwt alleen het bodemtransport als bron van aanzanding. Door de taludorientatie loodrecht op de stroomrichting zal een deeltje behorend tot het bodemtransport ter plekke van dit talud een kleine hoek ϕ afbuigen t.g.v. de zwaartekracht.



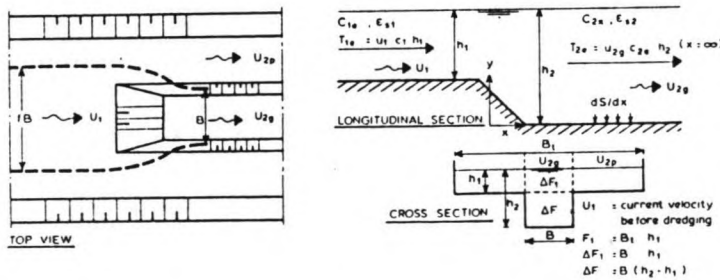
Figuur 5.4: Afbuiging van het bodemtransport op de taludhelling

Fredsøe geeft een presentatie van de relevante theoretische achtergronden en een presentatie van een handberekeningsmethode ter voorspelling van de aanzanding naar plaats en tijd. Toepassing van deze methode heeft alleen zin als de aanstroomhoek voldoende klein is; in andere gevallen is aanzanding t.g.v. een gradient in het gesuspendeerde transport dominant boven de aanzanding t.g.v. afbuiging van het bodemtransport. Voor een beschrijving van de theorie wordt verwezen naar de literatuur [14] en naar § 5.4.1.

b. De methode van Eysink en Vermaas [13]

De gepresenteerde methode is hoofdzakelijk gericht op stromingsomstandigheden waarbij de aanstroomhoek ten opzichte van de geul-as kleiner is dan circa 30°. Bij de onder II besproken methoden blijkt dit een probleemgebied te zijn voor wat betreft het uitvoeren van een aanzandingsberekening met betrouwbare resultaten.

In principe is de methode een parametrisatie van de computerresultaten van het onder I vermelde SUTRENCH-model, en als zodanig ligt de daarbij behorende theorie ook bij deze beschouwing ten grondslag. Deze methode wordt hier onder sub III behandeld, omdat ze zowel facetten van de onder I als II behandelde methoden bevat. Ook wordt hier een eigen benaderingswijze van de sleuf-schematisatie gegeven, namelijk in longitudinale richting, zie navolgende figuur:



Figuur 5.5: Sleuf-schematisatie en definities

De nadruk van de methode ligt op de vergelijking van de totale sediment-influx met de sediment-outflux-capaciteit. Deze vergelijking geeft volgens de auteurs een passend antwoord op de vraag of er bij aanstroming onder hoeken kleiner dan 30° erosie danwel aanzanding optreedt.

Voor een presentatie van de theorie wordt verwezen naar de literatuur [13] en par.5.4.3.

5.3 Selectiecriteria en keuze

Op grond van het hiervoor gegeven overzicht kunnen de volgende selectiecriteria opgesteld worden:

- * De te verwachten nauwkeurigheid van de berekening
- * De gewenste nauwkeurigheid van de berekening
- * De aanwezigheid van meetgegevens (kwalitatief en kwantitatief)
- * Ter beschikking staande rekenfaciliteiten.
- * Geschiktheid voor toepassing op het studiegebied (m.n. stroombeeld)

Een in dit geval ook voor de keuze bepalend selectie criterium is genoemd in de probleembeschrijving: Om een goed inzicht in het aanzandingsproces te verkrijgen is als uitgangspunt een handberekeningsmethode gekozen. Vandaar dat het numerieke model, zoals dat hiervoor besproken is, in de keuzebepaling niet verder behandeld zal worden. Hoogstwaarschijnlijk was deze methode toch niet in aanmerking gekomen vanwege de geringe hoeveelheid betrouwbare concentratiemetingen in het studiegebied (zie ook hierna).

Bij de onder II gepresenteerde handberekeningsmethoden is het criterium "toepasbaarheid in het studiegebied" van belang. Zoals uit het vooronderzoek [2] en appendix A blijkt vindt in circa 90% van de tijd de aanstroming plaats onder een hoek kleiner dan 20 graden ten opzichte van de geulas. Gebleken is dat de onder II gepresenteerde methoden voor deze omstandigheden minder goed toepasbaar zijn.

Een grote belemmering voor een betrouwbare benadering van de aanzanding is het ontbreken van concentratiemetingen in de geul. Wel zijn er concentratiemetingen bekend langs de kust en op de toekomstige stortplaats van baggerspecie Spleet (zie gebiedsbeschrijving). Deze meetlocaties liggen te ver van de geul af om een goede indruk van de optredende situatie in de geul te krijgen. Er zal hier een benadering uitgevoerd moeten worden voor de concentratieverdeling in de geul.

Ondanks het feit dat de overige van belang zijnde parameters redelijk bekend zijn zal hierdoor de nauwkeurigheid van de voorspellingen te wensen overlaten.

Op grond van bovenstaande overwegingen is gemeend de berekening uit te voeren als een combinatie van:

- a. De methode Bijker gedurende de circa 10% van de getijperiode dat er een dwarsstroming staat
- b. De methode Fredsøe voor de dwarscomponent van het bodemtransport
- c. De methode Eysink/Vermaas voor de gehele getijperiode.

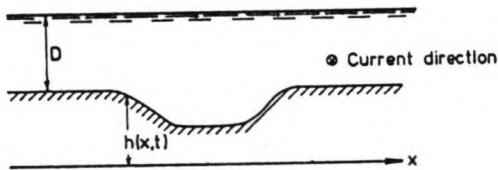
5.4 Theorie van de gekozen berekeningsmethoden

In deze paragraaf wordt ter ondersteuning van de uitgevoerde berekeningen in Appendix B een korte theoretische beschrijving van de toegepaste berekeningsmethoden gepresenteerd.

5.4.1 De gravity-infillmethode van J. Fredsøe [12]

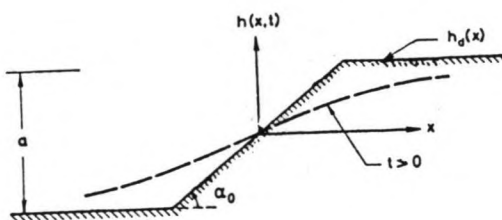
Fredsøe heeft deze methode ontwikkeld voor een situatie waarin de sleuf wordt aangestroomd evenwijdig of bijna evenwijdig aan de geulas. De invloed van gesuspendeerd sediment dat de geul passeert wordt dan ook geacht klein te zijn, en wordt niet meegenomen in de beschouwing. De nadruk komt te liggen op het bodemtransport. Figuur 5.6 toont een dwarsdoorsnede van de geul waaruit volgt dat de hellingshoek van het talud te definiëren is als:

$$\tan \alpha = - \frac{\delta h}{\delta x} \quad (5.5)$$



Figuur 5.6: Geuldefinities volgens Fredsøe

Vanwege deze hellingshoek zal een deeltje van het bodemtransport op het talud een kleine hoek ϕ van de stroomrichting afwijken ten gevolge van de invloed van de zwaartekracht. Deze afwijking veroorzaakt met de tijd een verandering van de taludligging als is weergegeven in figuur 5.7:



- α_0 = oorspronkelijke taludhellingshoek
- $h_d(x)$ = oorspronkelijke bodemligging
- $h(x,t)$ = optredende bodemligging
- a = diepte van de sleuf

N.B.
De oorsprong is gekozen op het midden van de helling

Fig.5.7: Ligging van het talud; veranderingen en tekenafspraken

Aangenomen wordt dat de bodemligging ter plaatse van de oorsprong gelijk blijft; materiaal van de bovenste taludhelft wordt hierbij verplaatst naar de sleuf. Dit kan als volgt beschreven worden:

$$h(x, t) = \frac{1}{2\sqrt{\pi\nu t}} \int_{-\infty}^{\infty} h_d(x') \exp\left[-\frac{(x-x')^2}{4\nu t}\right] dx' \quad (5.6)$$

$$\text{met: } \nu = \frac{q_b}{(1-n)\tan\phi} \quad (5.7)$$

waarin: q_b = het optredende longitudinale bodemtransport
 n = porositeit van het sediment
 ϕ = dynamische wrijvingshoek van het sediment
 x' = dummy variabele

De exacte oplossing van vgl 5.6 is ten behoeve van de eenvoud van verwerking enigszins vereenvoudigd door onder meer $h_d(x)$ aan te passen. Resultierend presenteert Fredsøe een vergelijking die het taludverloop als volgt weergeeft:

$$h(x, t) = \frac{a}{2} F\left[\frac{x}{2\sqrt{\nu(t+t_0)}}\right] \quad (5.8)$$

$$\text{waarin } F(u) = \frac{2}{\sqrt{\pi}} \int_0^u \exp(-s^2) ds \quad (\text{errorfunctie; } u \text{ en } s \text{ zijn dummyvariabelen}) \quad (5.9)$$

$$t_0 = \frac{\pi a^2}{64 \nu (\tan\alpha_0)^2} \quad (5.10)$$

Ook presenteert Fredsøe een vergelijking die het oppervlak van aanzanding als volgt weergeeft:

$$A(t) = a \frac{\sqrt{\nu}}{\sqrt{\pi}} (\sqrt{t+t_0} - \sqrt{t_0}) \quad (5.11)$$

met: ν = (5.7)
 t_0 = (5.10)
 a = diepte van de sleuf t.o.v. de ongestoorde bodem
 α_0 = hellingshoek op $t = 0$
 $A(t)$ = hoeveelheid sediment van het bodemtransport dat per eenheid van sleuflengte getransporteerd is van het gebied $x > 0$ naar het gebied waar geldt $x < 0$.
 De dimensie is $[L^3/L] = [L^2]$. Deze oppervlaktemaat heeft betrekking op één talud.

Berekening

Voor de berekening zijn onderstaande invoerparameters gebruikt:

- a = 2.5m
- $\alpha_0 = 0.95^\circ$ (tan $\alpha_0 = 1/60$)
- n = 0.40 } realistische aannames voor zand
- $\phi = 27^\circ$ }
- q_b = bodemtransport

Het bodemtransport is in dit geval benaderd met de door Bijker aangepaste Kalinske/Frijlink formule [18] blz.112, voor golven en stroom:

$$q_b = \frac{B D v \sqrt{g}}{C} \exp \left[\frac{-0.27 \Delta D C^2}{\mu v^2 \beta} \right] \quad (5.12)$$

- met: B = constante
 D = D₅₀ = korreldiameter v.h. sediment welke door 50 % van de korrels wordt onderschreden
 v = gemiddelde snelheid over de vertikaal
 g = versnelling van de zwaartekracht = 9.81 m/s²
 C = Chézy-coëfficiënt = 18 log (12h/r)
 h = waterdiepte
 r = ruwheidswaarde
 $\Delta = (\rho_s - \rho_w) / \rho_w$ = relatieve dichtheid
 met: ρ_s = soortelijke dichtheid van het sediment
 ρ_w = soortelijke dichtheid van het water
 $\mu = (C / C_{d90})$
 C_{d90} = 18 log (12h / D₉₀) ; D₉₀ = korreldiameter van het sediment welke door 90 % van de korrels wordt onderschreden
 β = golffactor

In gebieden waar sprake is van getijinvloeden, zoals het hier beschouwde gebied, is volgens Fredsøe de gepresenteerde methode nog steeds bij benadering geldig, als het bodemtransport per getijperiode als volgt bepaald wordt:

$$q_{bm} = \int_0^T |q_b| dt \quad (5.13)$$

- met q_{bm} = getijgemiddeld bruto bodemtransport (onafhankelijk van de richting)
 T = getijperiode

Voor een verdere beschrijving van de berekening en de hierin toegepaste parameters wordt verwezen naar appendix B, par.B.1.

5.4.2 De methode Bijker [8],[9]

In Appendix A is beschreven de schematisatie van de getijstrooming in de Wielingen. Hieruit blijkt dat gedurende circa 10% van de getijperiode een aanstroming plaatsvindt bijna dwars op de geul (getijfase I). Over dit tijdsinterval wordt hier de methode Bijker toegepast. Deze methode is ontwikkeld om met behulp van een handberekening snel een inzicht te krijgen in de mate van aanzanding van een gebaggerde sleuf. Naast de invloed van de (getij)strooming wordt ook de golfinvloed in rekening gebracht.

De basis voor de bepaling van de aanzanding is aan de hand van onderstaande figuren te verduidelijken:

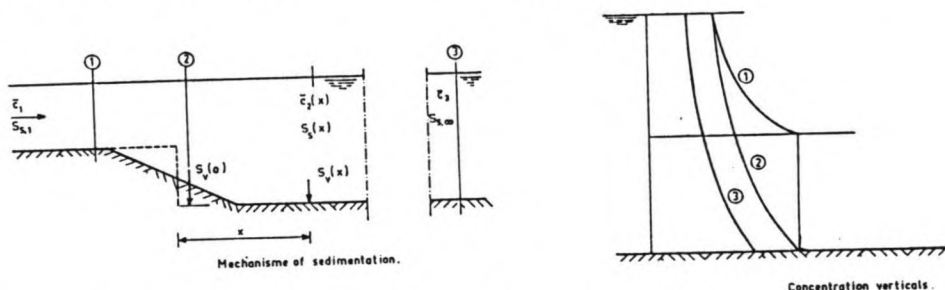


fig 5.8: Definities en geulschematisaties volgens methode Bijker

Het talud wordt geschematiseerd als is weergegeven. Aangenomen wordt dat in de bovenstroomse doorsnede 1 zowel het bodem- als het gesuspendeerde transport in een evenwichtstoestand verkeert. In doorsnede 2 past het bodemtransport zich direct aan de gewijzigde hydraulische omstandigheden aan: De concentratievertikaal wordt hier als het ware "uitgerekt" en komt pas benedenstrooms in de sleuf weer in een evenwichtstoestand. In de benedenstroomse doorsnede 3 in de sleuf verkeren zowel bodem- als gesuspendeerd transport weer in een evenwichtstoestand

De concentratievertikaal wordt beschreven met onderstaande diffusievergelijking:

$$w c + \epsilon_z \frac{\delta c}{\delta z} = S_v \tag{5.14}$$

De term $w c$ geeft het transport aan naar beneden, door het vallen van de sedimentdeeltjes; De term $\epsilon_z (\delta c / \delta z)$ geeft het verticale transport door turbulente uitwisseling weer, omhoog-gericht wanneer $(\delta c / \delta z)$ negatief is. S_v is het resulterende verticale transport.

In de evenwichtssituatie (doorsnedes 1 en 3) wordt aangenomen dat er geen netto vertikaal transport plaatsvindt, oftewel dat S_v gelijk is aan nul:

$$w c + \epsilon_z \frac{\delta c}{\delta z} = 0 \tag{5.15}$$

Tussen de doorsnedes 2 en 3 is S_v niet gelijk aan nul:
Sedimentatie of erosie zal in deze zone optreden.

De door Bijker gepresenteerde methode benadert deze sedimentatie
c.q. erosie als functie van de horizontale afstand x , gemeten
vanaf de geschematiseerde taludrand.
In formulevorm:

$$S_v(x) = S_v(0) \left[\frac{\bar{c}(x) - \bar{c}_3}{\bar{c}_1 - \bar{c}_3} \right] \quad (5.16)$$

met: $S_v(x)$ = het verticale transport t.p.v. $x = x$ [m^2/s]^(*)
 $S_v(0)$ = het verticale transport t.p.v. $x = 0$ [m^2/s]^(*)
 ($x = 0$ is de geschematiseerde taludrand)
 \bar{c} = de over de diepte gemiddelde concentratie [-]^(*)
 (volume sediment / volume water)

In eerste instantie is in de berekening (Appendix B, par.B.2)
beschouwd het totale volume van aanzanding per tijdseenheid van
een zeer brede sleuf tussen de geulrand ($x = 0$) en de nieuwe
evenwichtstoestand. Met de raainummering uit figuur 5.8 is de
aanzanding als volgt te beschrijven door een vergelijking van de
transporten in de evenwichtsdoorsnedes 1 en 3 :

$$S_{v,tot} = (S_{1,tot} - S_{3,tot}) = (S_{s,1} + S_{b,1}) - (S_{s,3} + S_{b,3}) \quad (5.17)$$

met: $S_{v,tot}$ = het totale verticale transport [m^2/s]^(*)
 S_s = het gesuspendeerde transport [m^2/s]^(*)
 S_b = het bodemtransport [m^2/s]^(*)

Het gesuspendeerde transport kan gerelateerd worden aan het
bodemtransport via de zogenaamde methode Bijker - Einstein: Ter
bepaling van het bodemtransport wordt de door Bijker voor
golfinvloeden aangepaste Kalinske - Frijlink formule gehanteerd.
(Deze is ook gebruikt in de vorige berekening in par.B.1)

$$S_b = \frac{B D v \sqrt{g}}{C} \exp \left[\frac{-0.27 \Delta D C^2}{\mu v^2 \beta} \right] \quad (5.12)$$

Onder de aanname dat het bodemtransport plaatsvindt over een
laagdikte r (ruwheidswaarde) kan voor de bodemconcentratie
geschreven worden:

$$c_b = \frac{S_b C}{6.34 v r \sqrt{g}} \quad (5.18)$$

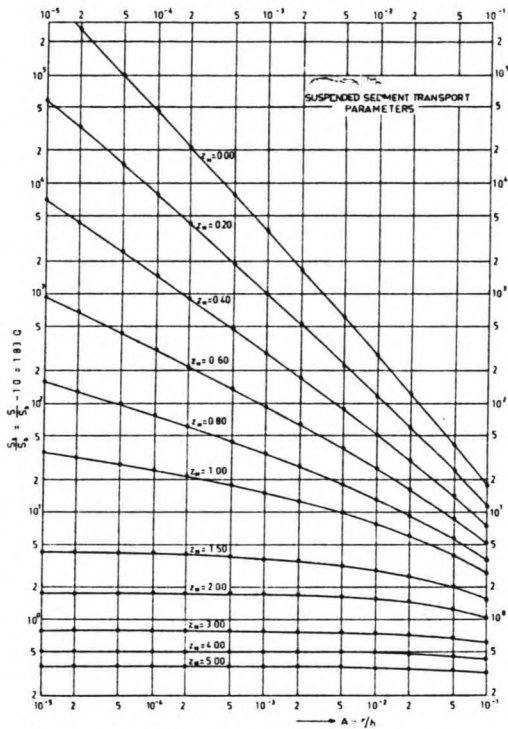
Als in de door Einstein opgestelde relatie voor gesuspendeerd
transport:

$$S_s = \int_a^h c(z') v(z') dz' \quad (5.19)$$

a gelijkgesteld wordt aan r , wordt een relatie gelegd tussen S_b
en S_s . Deze relatie is uit onderstaande figuur 5.9 te bepalen.

(*)

[m^2/s] = [m^3/ms] waarbij de inhoudsmaat m^3 betrekking heeft op het volume van afgezet sediment,
dus met inbegrip van de poriën.



Values of Einstein integral factors (all items are dimensionless)

r/h	z _k = 0			z _k = 0.20			z _k = 0.40			z _k = 0.60			z _k = 0.80		
	Q	S _s /S _b	S _t /S _b	Q	S _s /S _b	S _t /S _b	Q	S _s /S _b	S _t /S _b	Q	S _s /S _b	S _t /S _b	Q	S _s /S _b	S _t /S _b
1x10 ⁻⁵	3.03x10 ⁵	5.54x10 ⁵	5.54x10 ⁵	3.28x10 ⁴	6.00x10 ⁴	6.00x10 ⁴	3.88x10 ³	7.10x10 ³	7.10x10 ³	527.	964.	965.	88.0	161.	162.
2x10 ⁻⁵	1.44x10 ⁵	2.63x10 ⁵	2.63x10 ⁵	1.79x10 ⁴	3.27x10 ⁴	3.27x10 ⁴	2.43x10 ³	4.44x10 ³	4.44x10 ³	377.	689.	690.	71.6	131.	132.
5x10 ⁻⁵	5.36x10 ⁴	9.80x10 ⁴	9.80x10 ⁴	7.90x10 ³	1.46x10 ⁴	1.46x10 ⁴	1.30x10 ³	2.37x10 ³	2.37x10 ³	239.	438.	439.	53.6	98.0	99.0
1x10 ⁻⁴	2.53x10 ⁴	4.63x10 ⁴	4.63x10 ⁴	4.32x10 ³	7.90x10 ³	7.90x10 ³	803.	1.47x10 ³	1.47x10 ³	169.	310.	311.	42.7	78.2	79.2
2x10 ⁻⁴	1.19x10 ⁴	2.18x10 ⁴	2.18x10 ⁴	2.33x10 ³	4.26x10 ³	4.26x10 ³	496.	907.	908.	119.	218.	219.	33.9	62.0	63.0
5x10 ⁻⁴	4.36x10 ³	7.94x10 ³	7.94x10 ³	1.02x10 ³	1.87x10 ³	1.87x10 ³	260.	475.	476.	74.3	136.	137.	24.6	45.0	46.0
1x10 ⁻³	2.03x10 ³	3.72x10 ³	3.72x10 ³	545.	998.	999.	158.	290.	291.	51.2	93.7	94.7	19.1	34.9	35.9
2x10 ⁻³	940.	1.72x10 ³	1.72x10 ³	289.	529.	530.	95.6	175.	176.	35.1	64.2	65.2	14.6	26.7	27.7
5x10 ⁻³	336.	615.	616.	123.	226.	227.	48.5	88.7	89.7	20.8	38.1	39.1	10.0	18.3	19.3
0.01	153.	280.	281.	63.9	117.	118.	28.6	52.3	53.3	13.8	25.2	26.2	7.32	13.4	14.4
0.02	68.9	126.	127.	32.8	60.0	61.0	16.5	30.2	31.2	8.91	16.3	17.3	5.21	9.54	10.5
0.05	23.2	42.4	43.4	13.1	24.0	25.0	7.70	14.1	15.1	4.78	8.74	9.74	3.13	5.73	6.73
0.10	9.84	18.0	19.0	6.28	11.5	12.5	4.12	7.54	8.54	2.81	5.14	6.14	1.99	3.64	4.64
0.20	3.90	7.13	8.13	2.80	5.13	6.13	2.04	3.73	4.73	1.51	2.77	3.77	1.15	2.10	3.10
0.50	0.836	1.53	2.53	0.716	1.31	2.31	0.601	1.10	2.10	0.492	0.900	1.90	0.396	0.724	1.72
1.00	0.00	0.00	1.00	0.00	0.00	1.00	0.00	0.00	1.00	0.00	0.00	1.00	0.00	0.00	1.00

r/h	z _k = 1.00			z _k = 1.50			z _k = 2.00			z _k = 3.0			z _k = 4.0			z _k = 5.0			
	Q	S _s /S _b	S _t /S _b	Q	S _s /S _b	S _t /S _b	Q	S _s /S _b	S _t /S _b	Q	S _s /S _b	S _t /S _b	Q	S _s /S _b	S _t /S _b	Q	S _s /S _b	S _t /S _b	
1x10 ⁻⁵	20.0	36.6	37.6	2.33	4.26	5.26	0.973	1.78	2.78	0.432	0.790	1.79	0.276	0.505	1.50	0.202	0.370	1.37	
2x10 ⁻⁵	17.9	32.8	33.8	2.31	4.23	5.23	0.973	1.78	2.77										
5x10 ⁻⁵	15.4	28.2	29.2	2.28	4.17	5.17	0.967	1.77	2.77										
1x10 ⁻⁴	13.6	24.9	25.9	2.25	4.11	5.11				0.432	0.790		0.276	0.505					
2x10 ⁻⁴	11.9	21.8	22.8	2.21	4.04	5.04	0.967	1.77	2.77	0.431	0.789		0.275	0.504					
5x10 ⁻⁴	9.78	17.9	18.9	2.13	3.90	4.90	0.962	1.76	2.76	0.431	0.788		0.275	0.504					
1x10 ⁻³	8.36	15.3	16.3	2.05	3.76	4.76	0.951	1.74	2.74	0.430	0.787	1.79	0.275	0.503					
2x10 ⁻³	6.99	12.8	13.8	1.96	3.58	4.58	0.940	1.72	2.72	0.428	0.784	1.78	0.274	0.502		0.202	0.369		
5x10 ⁻³	5.38	9.84	10.8	1.78	3.26	4.26	0.907	1.66	2.66	0.424	0.776	1.78	0.273	0.499	1.50	0.201	0.367	1.37	
0.01	4.28	7.84	8.84	1.62	2.96	3.96	0.869	1.59	2.59	0.417	0.763	1.76	0.270	0.494	1.49	0.199	0.364	1.36	
0.02	3.30	6.04	7.04	1.42	2.59	3.59	0.809	1.48	2.48	0.404	0.740	1.74	0.264	0.483	1.48	0.195	0.357	1.36	
0.05	2.18	3.99	4.99	1.10	2.02	3.02	0.694	1.27	2.27	0.374	0.684	1.68	0.249	0.456	1.46	0.186	0.341	1.34	
0.10	1.48	2.70	3.70	0.836	1.53	2.53	0.568	1.04	2.04	0.339	0.620	1.62	0.236	0.432	1.43	0.181	0.332	1.33	
0.20	0.896	1.64	2.64	0.552	1.01	2.01	0.414	0.758	1.76	0.317	0.580	1.58							
0.50	0.312	0.571	1.57	0.174	0.319	1.32	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--
1.00	0.00	0.00	1.00	0.00	0.00	1.00	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--

Figuur 5.9: grafiek en tabel ter bepaling van de verhouding Ss/Sb met de methode Bijker - Einstein

De belangrijke parameters hierin zijn:

- A = r/h; r = ruwheidswaarde, h = waterdiepte
- z_k =
$$\frac{w}{k v_* \sqrt{\beta}} \tag{5.20}$$

w = valsnelheid v.h. gesuspendeerde materiaal
 k = konstante van Von Kármán = 0.4

v_{*} = schuifspanningsnelheid = $v \sqrt{g/C}$ (5.21)

β = golffactor

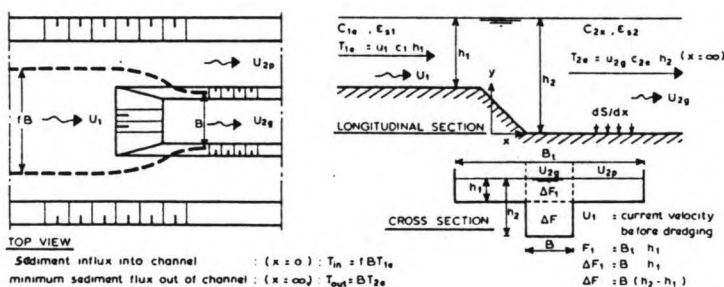
De toepassing van deze berekeningsmethode op het studiegebied wordt gepresenteerd in bijlage B.2.

5.4.3 Aanzandingsbenadering volgens Eysink en Vermaas [13]

Deze methode is speciaal ontwikkeld voor aanstroming evenwijdig- of bijna evenwijdig aan de geul. Voor deze stromingstoestand geven de in par.5.2 ad.11 besproken handberekeningsmethoden vrijwel altijd erosie als resultaat.

Aangetoond wordt door Eysink en Vermaas dat in een gebied dat voorheen in een zeker (dynamisch) evenwicht verkeerde, de aanleg van een sleuf na verloop van tijd ook sedimentatie tot gevolg kan hebben. Deze theoretische afleiding wordt ook door praktijk-waarnemingen gestaafd: in veel van dergelijke gevallen is na verloop van tijd onderhoudsbaggerwerk nodig gebleken.

Het antwoord op de vraag of er erosie dan wel aanzanding optreedt kan volgens de methode Eysink-Vermaas alleen dan gegeven worden als voor de te baggeren sleuf vergeleken wordt de totale sediment influx in de geul met de sediment outflux capaciteit: Erosie treedt op als $T_{in} < T_{out}$. De aan [13] ontleende figuur 5.10 verduidelijkt dit:



Figuur 5.10: Tekenaafspraken en geuldefinities volgens de methode Eysink-Vermaas

$$T_{in} = f B T_{1e} \tag{5.22}$$

$$T_{out} = B T_{2e} \tag{5.23}$$

met: T_{1e} = evenwichtstransport bovenstrooms (x = 0)
 T_{2e} = evenwichtstransport benedenstrooms (x = ∞)

$$f = \frac{u_{2g} (\Delta F_1 + \Delta F)}{u_1 (\Delta F_1)} = \frac{u_{2g} h_2}{u_1 h_1} \tag{5.24}$$

De totale sedimentatie c.q. erosie in de sleuf kan als volgt uitgedrukt worden:

$$S_{tot} = (f T_{1e} - T_{2e}) \tag{m^2 / s} \tag{5.25}$$

Voor waarden $w/u_x < 0.3 \text{ à } 0.4$ kan voor het verloop van S als functie van x gebruikt worden:

$$S(x) = (f T_{1e} - T_{2e}) (1 - \exp(-A x/h_2)) \tag{5.26}$$

waarin $A = A (w/u_x, k/h)$ in [13] niet nader gespecificeerd wordt.

De toepassing van deze theorie op het studiegebied is gepresenteerd in bijlage B.3.

5.5 Berekeningsresultaten

* Methode Fredsøe (Appendix B, par. B.1):

Na 1 jaar is boven de binnenste geulrand (figuur 5.11, dsn.A) het interventiepeil bereikt.

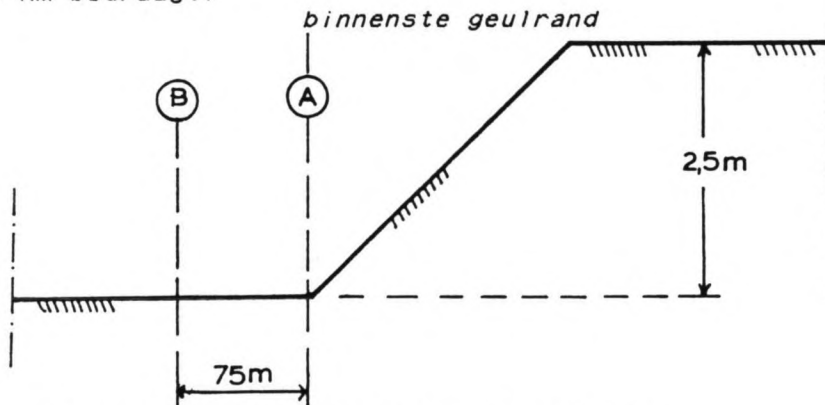
Na 10 jaar is op 75 meter vanaf de binnenste geulrand (dsn.B) het interventiepeil bereikt; boven de binnenste geulrand is de gemiddelde bodemligging dan gestegen tot 40 cm boven het interventiepeil.

* Methode Bijker (Appendix B, par. B.2):

Tijdens getijfase I (Appendix A; de getijfase waarin dwarsstroming optreedt) treedt een zeer geringe aanzanding op in de sleuf, die zeker te verwaarlozen is ten opzichte van de resultaten van de methode Fredsøe.

* Methode Eysink en Vermaas (Appendix B, par. B.3):

In het grensgebied: Wielingen - Scheurpas treedt in de Wielingen hoogstwaarschijnlijk erosie op. Een uit berekening verkregen indicatie is 3 cm per jaar over een geullengte van 1000 - 1500 meter in het grensgebied. Opgemerkt wordt dat de totale lengte van het te verdiepen Wielingen-gedeelte ongeveer 8 km bedraagt.



Figuur 5.11: Dwarsdoorsnede van de geulrand

Concluderend kan gesteld worden dat de aanzandingsberekeningen met de methoden Fredsøe en Bijker een (zeer) geringe aanzanding als resultaat geven. De berekeningen volgens de methode Eysink en Vermaas tonen in het grensgebied erosie, echter dit resultaat dient met de nodige voorzichtigheid gezien te worden wegens de grote schematisaties die noodzakelijk waren. Deze laatste berekening kan als raakpunt dienen voor het volgende hoofdstuk: Zandtransporten in de Wielingen en omliggende gebieden.

6 EEN ANALYSE VAN DE ZANDTRANSPORTEN IN EN ROND DE WIELINGEN EN DE INVLOED HIEROP VAN DE VOORGESTELDE VERDIEPING

6.1 Inleiding

Waar in hoofdstuk 5 alleen lokaal de geulbodem van de Wielingen is bekeken voor wat betreft de invloeden van een verdieping op de bodemligging, zijn in dit hoofdstuk ook de naastgelegen gebieden van de Wielingen beschouwd.

Het doel van deze beschouwing is een indruk te krijgen welke zandtransporten tussen de Wielingen en haar grensgebieden optreden; met name de resulterende zandtransporten zijn in dit verband van belang. Op grond van deze resultaten wordt een uitspraak gedaan over de mate waarin een geulverdieping van de Wielingen deze transporten beïnvloedt, en wat daarvan weer het gevolg kan zijn voor de verdiepte geul. De analyse van de zandtransporten is in hoofdzaak kwalitatief en waar mogelijk kwantitatief uitgevoerd. Dit onder andere vanwege het niet in voldoende mate aanwezig zijn van representatieve zandconcentratiemetingen.

Voordat de zandtransporten in en rond de Wielingen behandeld worden volgt eerst nog een historische beschouwing over de ontwikkeling van het Westerschelde-estuarium, in welk kader de voorgestelde verdieping van de Wielingen misschien een rol speelt.

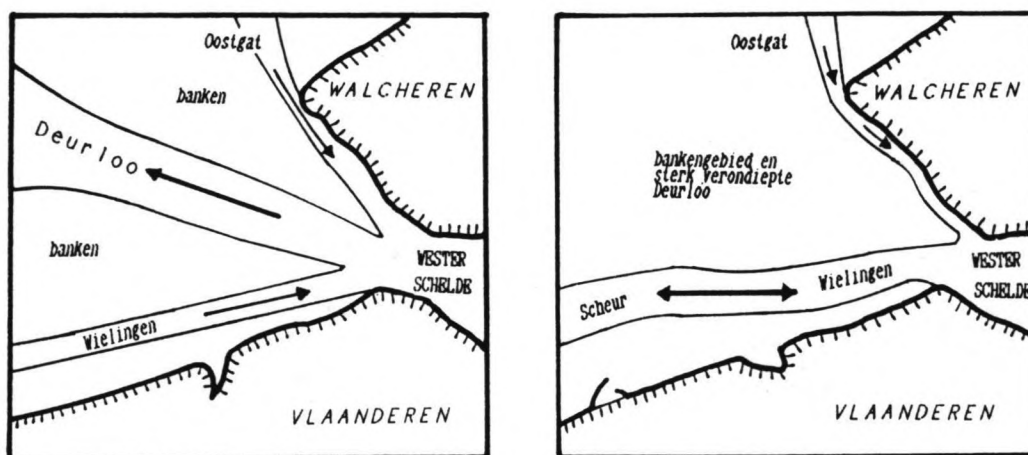
6.2 Een historische beschouwing van de ontwikkelingen van het Westerschelde-estuarium en met name de Wielingen. (aan de hand van lit. [22] en een gesprek met de auteur hiervan)

De Westerschelde is een estuarium dat nog jong is, dit met name in verhouding tot de Oosterschelde. In de Romeinse Tijd was ter plaatse van de huidige Westerscheldemond een moerasgebied aanwezig dat van de zee gescheiden werd door een strandwal. Bij de doorbraak van deze strandwal in de vroege Middeleeuwen werd de eerste aanzet gegeven voor het huidige Westerschelde-estuarium.

Uit bestudering van onder andere oude kaarten en literatuur heeft dr.v.d.Berg geconcludeerd dat het estuarium in eerste instantie gevuld en geleidigd werd via aparte eb- en vloedgeulen. Deze geulen waren, en zijn nog steeds gesitueerd in het mondingsgebied.

Als vloedgeulen waren aan te merken de onder de Zeeuws-Vlaamse kust gelegen Wielingen en het onder de Walcherse kust gelegen Oostgat. De ebgeul was centraal in het mondingsgebied gelegen, genaamd Deurloo. (figuur 6.1.a)

In de loop der eeuwen is in dit stelsel van eb- en vloedgeulen verandering gekomen: een tendens is waarneembaar van verondieping van de centrale ebgeul en een ontwikkeling van de Wielingen: de geul wordt zowel breder als dieper, met als gevolg dat de Wielingen zowel als ebgeul en als vloedgeul gaat functioneren (figuur 6.1.b). Een onderdeel van dit ontwikkelingsproces is ook dat het bankengebied van de Raan een verondieping gaat vertonen.



a: symmetrische estuariummond

b: asymmetrische estuariummond

Figuur 6.1: Ontwikkeling van het mondingsgebied van de Westerschelde

Concluderend kan gesteld worden dat in de loop der eeuwen een ontwikkeling heeft plaatsgevonden van een symmetrische- naar een asymmetrische estuariummond.

Deze ontwikkeling is in een vergevorderd stadium, maar het is zeker niet uitgesloten dat de recente kunstmatige verdiepingen het laatste stukje van het ontwikkelingsproces zullen versnellen. Als zodanig dient deze beschouwing zeker in gedachten te worden gehouden naast de morfologische ontwikkelingen op korte termijn.

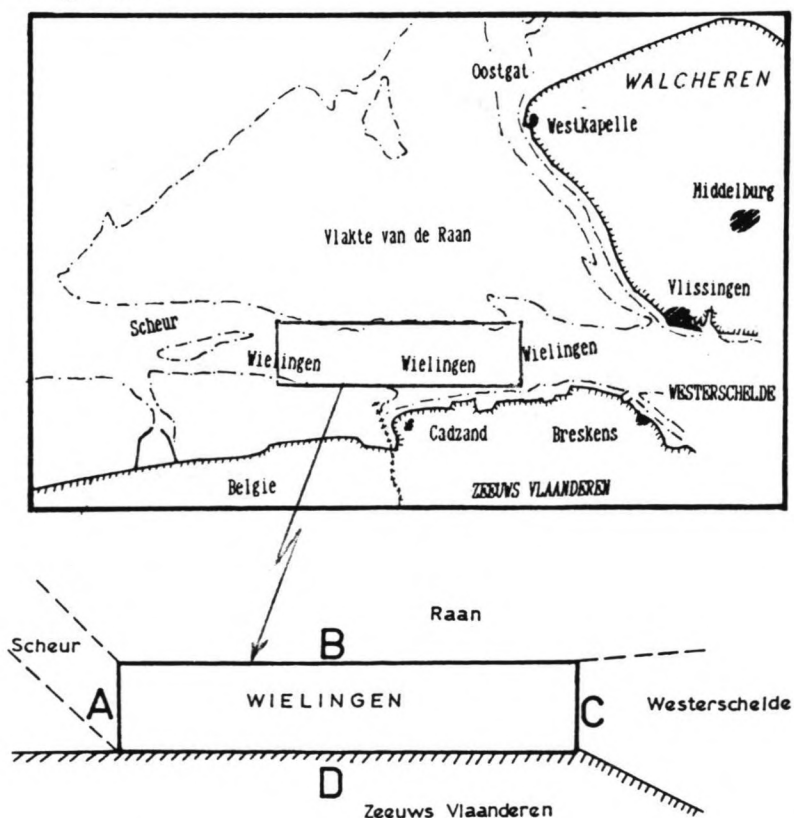
6.3 Gebiedsschematisatie van de Wielingen en definitie van de gebiedsgrenzen

De gebiedsschematisatie en -afbakening is uitgevoerd op grond van:

- gebiedsgeometrie
- stroombeeld
- reststroming
- zandconcentratiemetingen

Gebiedsschematisatie

In figuur 6.2 is de gehanteerde gebiedsschematisatie getekend. De Wielingen wordt hier geschematiseerd tot een rechthoekig gebied; deze vorm wordt in feite opgelegd door de lange, brede geul zelf en door de getijstroomrichting die in hoofdzaak evenwijdig aan de geul is gericht.



Figuur 6.2: gebiedsschematisatie en gebiedsgrenzen in bovenaanzicht

De breedte van de schematisatie is bij benadering 2000 meter; dit is ongeveer de breedte van het geulgedeelte beneden het niveau NAP - 12.5m. De lengte van de schematisatie is bij benadering 10 kilometer; dit is ongeveer de lengte over welke de verdieping uitgevoerd dient te worden.

Gebiedsgrenzen (figuur 6.2)

- Grens A: Deze grens is genomen op de splitsing Wielingen/Scheurpas, daar in de Scheurpas recentelijk veel gebaggerd is en in de Wielingen (nog) niet.
- Grens B: De ligging van grenslijn B is genomen ter hoogte van het Spleet (par.4) als scheiding tussen het bankengebied van de Raan (NAP -5m) en de Wielingen (NAP -15m). Er is een geringe reststroming aanwezig van het bankengebied richting Wielingen [2].
- Grens C: Deze grens ligt op de overgang van het minder diepe (NAP -15m) naar het diepe (NAP -20 à -30m) Wielingen-gedeelte. Dit diepe gedeelte vormt de verbinding met de Westerschelde.
- Grens D: De ligging van grens D is genomen langs de Zeeuws-Vlaamse kust, waarbij in feite de vooroever en het bankje Paardenmarkt bij de kust gevoegd zijn. Deze grens is ingegeven door de vrijwel parallelle ligging van de geul aan de kust.

6.4 Kwalitatieve en kwantitatieve beschouwing van de (resulterende) zandtransporten door de gebiedsgrenzen.

6.4.1 Zandtransporten door gebiedsgrens A

Het zandtransport dat resulterend per getijperiode door gebiedsgrens A optreedt is het verschil van het zeewaarts gerichte ebtransport en het Westerscheldewaarts gerichte vloedtransport.

Uit stroomgegevens en (schaars aanwezige) zandconcentratie-metingen is gebleken dat dit resulterende zandtransport zeewaarts gericht is. Deze richting stemt overeen met de in de Wielingen optredende reststroomrichting [2].

De optredende zandtransporten worden in hoofdzaak veroorzaakt door de getijstrooming. Uit de berekeningen uitgevoerd in Appendix B blijkt de golfinvloed op het opwoelen van sediment in de geul zeer gering te zijn (de golffactor β in de Bijker-formule benadert de waarde 1). Op grond van het bovenstaande kan verondersteld worden dat zowel het eb- als het vloedtransport onafhankelijk van seizoensinvloeden een vrijwel constante waarde hebben die alleen afhangt van het astronomische getij.

Het resulterende zandtransport per getijperiode door gebiedsgrens A zal op grond van genoemde overwegingen een zekere constante waarde vertonen die slechts licht fluctueert afhankelijk van het astronomische getij.

In appendix C, par.C.1, is getracht een kwantitatieve afschatting te maken van het resulterende zandtransport.

Deze schatting is uitgevoerd op twee manieren:

- interpretatie van ter beschikking staande zandconcentratie-metingen
- berekening met transportformules (bij geschematiseerd getij en gebied)

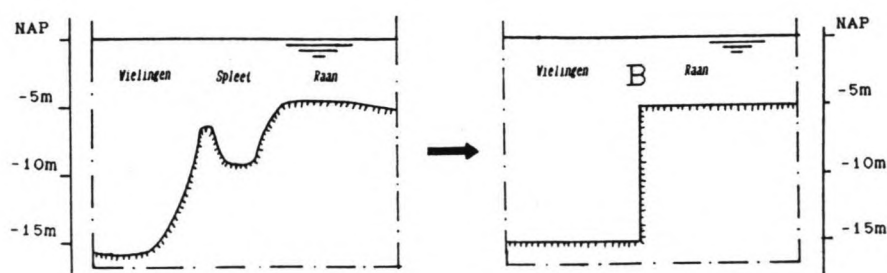
De meetgegevens vertonen een resulterend ebtransport, echter met een onderling verschil van een factor 15:
(0.6 mln m^3/jr - 8.8 mln m^3/jr).

De berekening geeft als resultaat een dusdanig klein resulterend ebtransport dat, gezien de toegepaste schematisaties, dit ook een resulterend vloedtransport had kunnen zijn.

De enige voorzichtige conclusie die op grond van bovenstaande over transport A getrokken kan worden is dat wellicht een resulterend ebtransport door deze gebiedsgrens optreedt.

6.4.2 Zandtransporten door gebiedsgrens B

De grens B vormt het overgangsgebied tussen het bankengebied van de Raan (gemiddelde bodemligging NAP -5m) en de Wielingen (gemiddelde bodemligging NAP -15m). De lengte ervan bedraagt ongeveer 10 km en in dwarsdoorsnede is het gebied te schematiseren als in figuur 6.3 is getekend:



Figuur 6.3: Schematisatie van gebiedsgrens B in dwarsdoorsnede

De getijstrooming blijkt over het aan de Wielingen grenzende gedeelte van de Raan vrijwel evenwijdig te lopen aan de Wielingen [2]. Alleen tijdens circa 1,5 uur van de getijperiode (rond laagwater) treedt een dwarsstrooming op, gericht van de Raan naar de Wielingen. Dit is ook de richting van de optredende reststrooming in dit gebied.

Gezien deze dwarsstrooming en de geometrie van het gebied kan gesteld worden dat er vrijwel geen sediment van de Wielingen naar de Raan getransporteerd wordt, maar dat dit slechts in omgekeerde richting plaatsvindt en in hoofdzaak tijdens de dwarsstroomingsperiode.

Wegens de relatief geringe diepte boven het bankengebied zal de golfinvloed op het optredende sedimenttransport groot zijn. Wegens de optredende variatie in golfcondities zal de grootte van het sedimenttransport ook aan een zekere variatie onderhevig zijn zodat per getijperiode niet gerekend kan worden met een nagenoeg constante waarde zoals in grensgebied A.

Een kwantitatieve afschatting van het resulterende zandtransport kan als volgt gebeuren:

Uitgangspunten: * De getijstrooming is drager van het transport.

* Strooming en golven woelen het sediment op.

* Duur van de dwarsstroomperiode: 1,5 uur

- * Stroomsnelheid: doottij: $\bar{v} = 0.4$ m/s
 springtij: $\bar{v} = 0.6$ m/s
 gem. getij: $\bar{v} = 0.5$ m/s
- * Gemiddelde waterdiepte $\bar{h} = 5 - 1.5 = 3,5$ m
 (tijdens laagwater ligt de waterspiegel circa 1,5 meter onder de gemiddelde waterstand)
- * Jaargemiddelde golfregistraties voor de waterstands-klasse ($< \text{NAP} - 0.5\text{m}$). Zie bijlage 2.

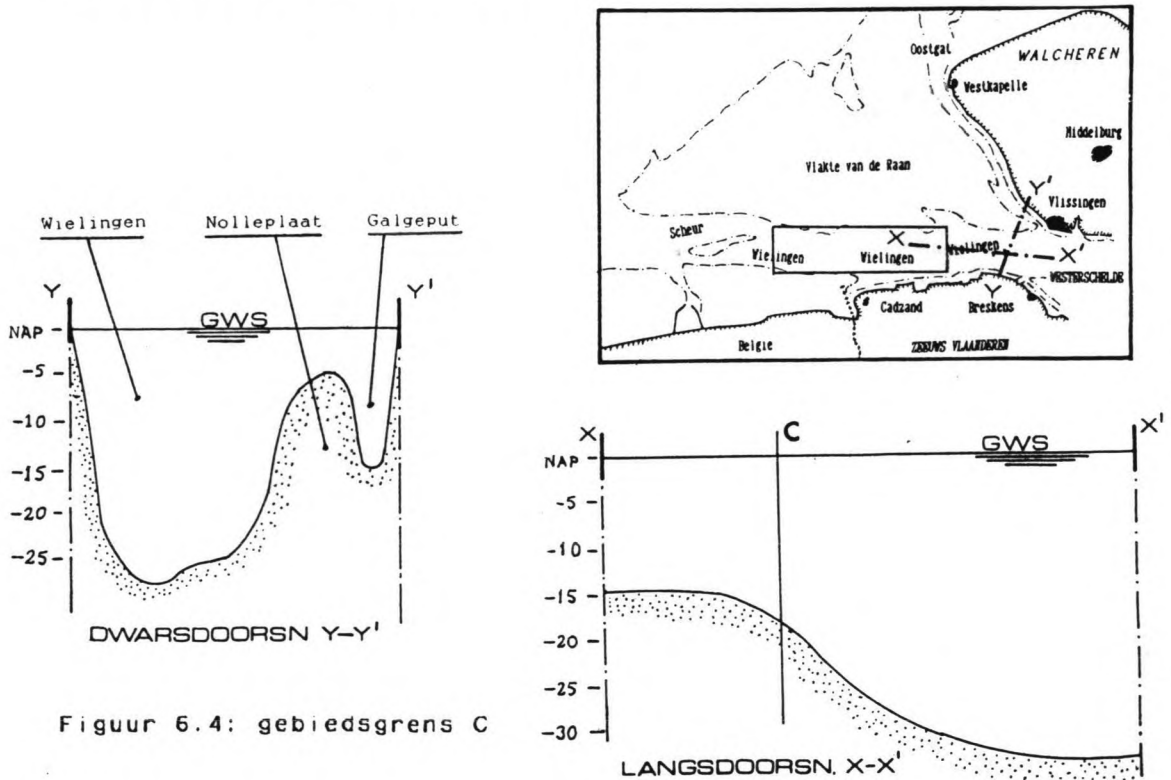
methode van berekening:

Bij afwezigheid van concentratiemetingen wordt het zandtransport berekend met de methode Bijker - Einstein, analoog als in Appendix B, par.B.2 is beschreven. Deze berekening en de afschatting van het zandtransport door gebiedsgrens B staat beschreven in Appendix C, par.C.2. Voor de berekening is als uitgangspunt een gemiddeld getij genomen en een bodemruweheidswaarde van 0,1m. De golffactor β is per combinatie [Hs;Ts] afzonderlijk bepaald. De berekening is uitgevoerd op grond van de frequentie van optreden van de combinatie [Hs;Ts] op jaarbasis.

Als resultaat wordt voor de grootte van het resulterende transport via gebiedsgrens B dat over de Raan naar de Wielingen optreedt, gevonden: 14 miljoen m³ per jaar.

6.4.3 Zandtransporten door gebiedsgrens C

In het grensgebied C vindt een overgang plaats in het bodemniveau van de Wielingen. Het westelijke gedeelte heeft een bodemligging van ongeveer NAP -15 meter; het oostelijke gedeelte heeft een bodemligging variërend van NAP -20 meter tot NAP -33 meter. Dit oostelijke gedeelte vormt de aansluiting met het Westerscheldebekken (ten oosten van de raai Vlissingen - Breskens).

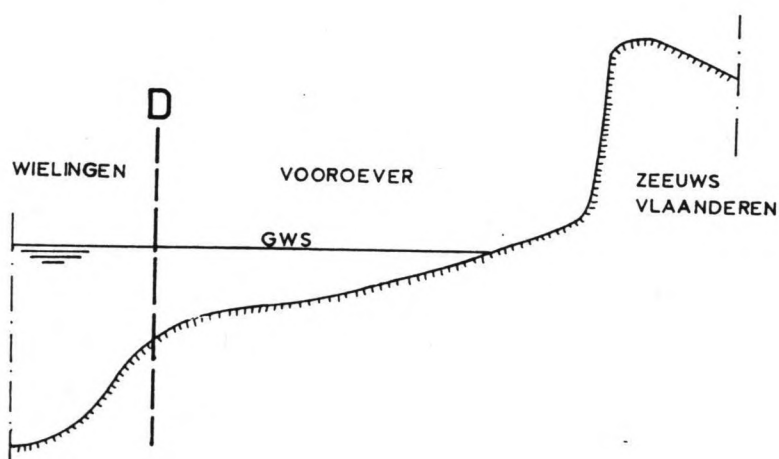


Figuur 6.4: gebiedsgrens C

DPM: blz 33 en 34 zijn verwisseld

6.4.4 Zandtransporten door gebiedsgrens D

Via de modelrand D vindt uitwisseling van sediment plaats tussen de Wielingen en de Zeeuws-Vlaamse kust. Getuige de gestage achteruitgang van de Zeeuws-Vlaamse zandkust, welke al jaren een probleem voor de kustbeheerder vormt, is het resulterende zandtransport door de begrenzing D gericht naar de Wielingen toe.



Figuur 6.5: Gebiedsgrens D in dwarsdoorsnede

Het dwarstransport, verantwoordelijk voor het zandtransport via begrenzing D treedt hoogstwaarschijnlijk alleen op bij duinafslag t.g.v. stormvloed. Het grootste gedeelte van het afgeslagen duinvolume komt hierbij op de vooroever terecht en slechts een klein gedeelte in de geul.

De gradient in het langstransport heeft waarschijnlijk het hoofdaandeel in de kusterosie, maar deze vorm is niet van belang voor het transport via gebiedsgrens D.

Zonder hier verder op de grootte van het transport in te gaan wordt verondersteld dat het transport via modelrand D klein is, zeker in verhouding tot de resulterende transporten via A en B.

Over het resulterend zandtransport door raai C kan een kwantitatieve indruk verkregen worden door een zandbalansstudie van het Westerscheldebekken.

Zandbalansstudies Westerschelde

Lit. [4] geeft een inventarisatie van zandbalansstudies die in de loop der jaren voor de Westerschelde zijn uitgevoerd. Vijf zandbalansstudies worden hierin vermeld; de meest recente omvatten de periodes:

1. 1955 - 1971/'72
2. 1971/'72 - 1980
3. 1980 - 1984/'85

Van belang is het zogenaamde "natuurlijk effect". Dit is gedefinieerd als de totale inhoudsverandering verminderd of vermeerderd met speciéstortingen of -onttrekkingen in het Westerscheldebekken.

Als aangenomen wordt dat de Schelde nauwelijks sediment aanvoert en dat ook andere lozingen geen sediment inbrengen, kan dit natuurlijke effect alleen maar passeren via de raai Vlissingen - Breskens. Als zodanig kan de grootte van het natuurlijke effect misschien informatie opleveren voor het in grensgebied C optredende resulterende zandtransport.

Bij de beschouwing van de zandbalansstudies wordt in het algemeen gewerkt met een gemiddelde waarde, een onder- en een bovengrens. Dit vanwege het feit dat onnauwkeurigheden voorkomen in bodemopnemingen en baggergegevens. Tevens levert de methode van kuberen door de toe te passen middelingen een zekere onnauwkeurigheid op.

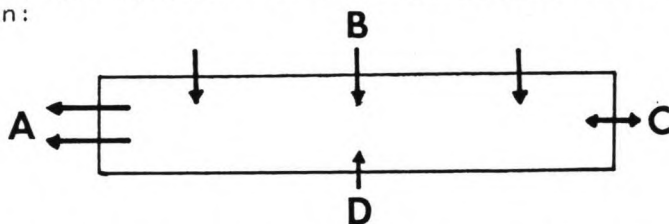
Periode	ondergrens	gemiddelde waarde	bovengrens
1: 1955 - 1971/'72		+ 2.0	
2: 1971/'72 - 1980		- 0.6	
3: 1980 - 1984/'85	+2.0	+ 0.6	-0.8
3a: 1971/'72 - 1984/'85		- 0.2	

Tabel 6.2: Aanzanding (+) en erosie (-) t.g.v. het "natuurlijk effect" in het Westerscheldebekken (in mln m³/jaar)

Vanwege de relatief korte periode 3 is een periode 3a ingevoerd, bestaande uit periode 2 en 3. Deze periode geeft een jaarlijkse erosie te zien van 0,2 miljoen m³.

6.5 Systeem van resulterende zandtransporten; invloed hierop van een geulverdieping

De op grond van voorgaande paragraaf getekende figuur 6.6 verduidelijkt het systeem van de resulterende zandtransporten in de Wielingen:



Figuur 6.6: Systeem van resulterende zandtransporten

De transporten B en D zijn gericht naar de Wielingen toe. Transport A is gericht van de Wielingen af; transport C vertoont een fluctuerend gedrag.

Transport B is, naar het zich door berekening en redenering laat aanzien, vele malen groter dan de transporten D en C. Over de grootte van transport A bestaat vooralsnog onzekerheid, maar waarschijnlijk is dit transport, samen met het transport B in grote mate bepalend voor de zandhuishouding in het definitiegebied van de Wielingen: Het merendeel van het zand, aangevoerd via B, wordt via modelrand A weer afgevoerd.

Invloed van een geulverdieping

- * transport B: Een geulverdieping zal de grootte van het resulterende transport via gebiedsgrens B niet beïnvloeden omdat dit transport uitsluitend bepaald wordt door hydraulische en geometrische condities die boven het bankengebied gelden. Het is niet waarschijnlijk dat hierin verandering komt gezien de zeer constante bodemligging van het gebied gedurende de laatste decennia.
- * transport C: Bij verdieping van het ten westen van C gelegen Wielingen-gedeelte blijft het grote verschil bestaan in geuldiepte tussen het oostelijke en het westelijke geulgedeelte ($> 10\text{m}$). Waarschijnlijk is dit verschil in bodemniveau mede verantwoordelijk voor de relatief kleine resulterende transporten via C. Een marginale verandering in dit verschil heeft waarschijnlijk nauwelijks invloed op het resulterende transport via C.
- * transport D: De aan transport D ten grondslag liggende kusterosie zal waarschijnlijk niet beïnvloed worden door een (marginale) geulverdieping van de Wielingen. Op grond hiervan kan verondersteld worden dat ook transport D hierdoor niet verandert.

- * transport A: Naar het zich laat aanzien is dit het enige resulterende zandtransport dat directe invloed ondervindt van een geulverdieping van de Wielingen. Een algemene redenatie is dat de hydraulische omstandigheden ter weerszijden van de gebiedsgrens bij geulverdieping van de Wielingen niet in dezelfde mate wijzigen en daardoor een verandering van het resulterende zandtransport op kan treden. In de volgende paragraaf wordt hier nader op ingegaan.

6.6 Invloed van de uitgevoerde en nog uit te voeren baggerwerkzaamheden in Scheur en Wielingen op de morfologie en bodemligging in deze gebieden.

Drie periodes worden hier beschouwd, te weten:

1. 1964 - 1978
2. 1978 - heden
3. recente toekomst

De eerste periode kenmerkt zich als een periode waarin de bodemligging van de Wielingen een relatief stabiele positie te zien geeft. De (geringe) baggeractiviteiten in het Scheur zijn hoofdzakelijk geconcentreerd voor Zeebrugge.

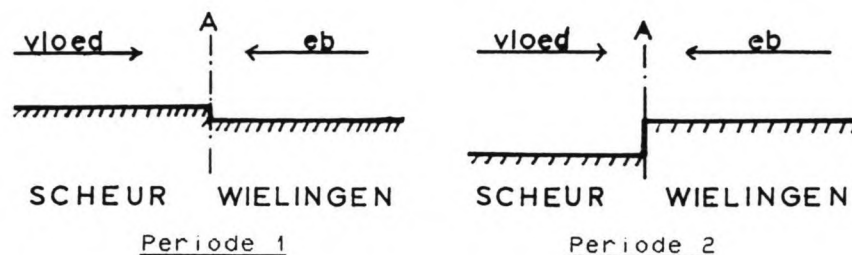
Tijdens de tweede periode worden deze baggeractiviteiten sterk opgevoerd: In totaal wordt circa 150 miljoen m³ specie uit het Scheur en de Scheurpas verwijderd. De Wielingen ondervindt hiervan invloed getuige een optredende verdieping door natuurlijke erosie.

De derde periode beschrijft de periode waarin de verdieping van de Wielingen wordt gerealiseerd; het Scheur wordt in deze periode door onderhoudsbaggerwerk op gelijke diepte verondersteld als de aanlegdiepte van de Wielingen.

Uit de voorgaande paragraaf is gebleken dat in het systeem van de resulterende transporten in feite alleen transport A van belang is voor de te verwachten veranderingen in de bodemligging van de Wielingen. Met deze overweging kan de morfologische situatie geanalyseerd worden:

Periode 1: Gegeven de relatief stabiele bodemligging kan aangenomen worden dat de resulterende transporten A,B,C,D een nagenoeg gesloten zandbalans te zien geven voor het in figuur 6.2 geschematiseerde gebied. Hieruit kan informatie geput worden over de grootte van transport A. Wegens de geringe grootte van de transporten C en D ten opzichte van transport B zou transport A een grootte hebben van circa 14 miljoen m³ op jaarbasis.

Periode 2: Schematisch kan de verdieping van het Scheur als volgt worden voorgesteld:



Figuur 6.7: Schematische voorstelling van de verdieping t.p.v. A in langsdorsnede

Als gevolg van de verdieping van het Scheur is een (aanzienlijke) erosie in het aangrenzende Wielingen-gedeelte opgetreden. De waarschijnlijke oorzaak hiervan is het toegenomen resulterende zandtransport via gebiedsgrens A.

Dit houdt in dat het verschil tussen het vloed(zand)transport via het Scheur en het eb(zand)transport via de Wielingen groter is geworden. Over de verandering van de twee componenten waarover dit verschil is opgebouwd kan moeilijk een uitspraak gedaan worden omdat:

- deze verandering wordt bepaald door een verandering in doorstroomprofiel en stroomsnelheid.
- de gecompliceerdheid van het gebied het onmogelijk maakt de continuïteitsvergelijking op het Scheur toe te passen: een vergroting van het doorstroomprofiel van het Scheur heeft niet noodzakelijk een verkleining van de stroomsnelheid tot gevolg (vanwege het "stroomtrekken" ten koste van andere - naastgelegen - gebieden).

Wegens deze complicatie is hier afgezien van een analyse van de verandering van de beide componenten.

De in het grensgebied van Scheur en Wielingen opgetreden erosie is bepaald uit de peilingen die in dit gebied in de periode 1978 - 1985 zijn uitgevoerd. Uit (ruwe) kuberingen is de jaarlijkse erosie afgeschat op 1 miljoen m³.

Bijlage 1 toont de opgetreden verdieping als functie van de tijd. Tevens zijn in deze grafiek de baggergegevens verwerkt van de in de periode 1976 - 1984 uitgevoerde baggerwerken in het Scheur. Enige correlatie tussen baggerwerken en natuurlijke erosie is aantoonbaar in de vorm van een piekwaarde in de verdieping van de Wielingen die optreedt 1 à 1,5 jaar na de piek in de baggerwerken

Periode 3:

Als naast het Scheur en de Scheurpas ook de Wielingen verdiept wordt, wordt in feite de erosie die in periode 2 in de Wielingen optreedt, op kunstmatige wijze versneld.

Wegens dezelfde redenen als vermeld onder periode 2 is geen ge-gronde uitspraak te doen over de veranderingen van de optredende zandtransporten. Wel kan voor deze situatie de volgende redenering opgesteld worden:

- Vanwege de marginale verdieping van de Wielingen veranderen de hydraulische omstandigheden in het Scheur nauwelijks.
 - De Wielingen is relatief breed en heeft geen stroomvoerende naastgelegen gebieden van betekenis. (Dit in tegenstelling tot het Scheur). Hierdoor is het mogelijk dat in dit gebied de continuïteitsvergelijking toegepast wordt met als gevolg een kleinere stroomsnelheid na verdieping wegens een vergroot doorstroomprofiel.
 - als gevolg van bovenstaande feiten blijft het vloed(zand)transport nagenoeg gelijk en neemt het eb(zand)transport in grootte af.
- Het resulterende transport via gebiedsgrens A wordt kleiner dan voorheen.
- De snelheid van de natuurlijke erosie wordt kleiner dan voorheen (periode 2) of kan zelfs omslaan in aanzanding.

Of de verdiepte situatie de evenwichtssituatie (transporten A,B,C en D vormen een gesloten zandbalans) benadert, is wegens de onzekerheden in de hydraulische omstandigheden niet te zeggen. Een feit is wel dat de "route" Wielingen-Scheur meer stroom voert dan in de evenwichtssituatie van periode 1, en als gevolg daarvan een ruimere doorstroomopening aan zal nemen. In periode 2 is hiervoor al de aanzet gegeven.

6.7 Conclusies

- * De resulterende transporten via gebiedsgrenzen A en B zijn in hoofdzaak bepalend voor de bodemligging van de Wielingen.
- * De hydraulische omstandigheden zijn in het directe omgevingsgebied van het Scheur t.g.v. de verdieping van het Scheur veranderd. Een gevolg hiervan is dat een gegronde analyse van de veranderingen van het resulterende transport door de gebiedsgrens A zeer moeilijk is uit te voeren.
- * Afgaande op het natuurlijk verloop (erosie in periode 2) en een natuurlijke verdieping (par. 6.2) kan voorzichtig geconcludeerd worden dat de verdieping van de Wielingen en het Scheur tot gevolg heeft:
 - aantrekken van stroom in de Scheur-Wielingen route
 - verdieping van de evenwichtsligging van de Wielingen (t.o.v. de "evenwichtsligging" in periode 1)
- * Met de ter beschikking staande gegevens is het niet mogelijk op grond van de in dit hoofdstuk gepresenteerde systeembeschouwing een gegronde uitspraak te doen voor het gedrag van een verdiepte Wielingen.

7 NABESCHOUWING, CONCLUSIES

Op grond van de in dit rapport gepresenteerde studie is over de te verwachten aanzanding van de in de Wielingen te baggeren sleuf geen gegronde kwantitatieve uitspraak te doen.

Twee belangrijke oorzaken hiervan zijn:

1. De geulbodem van de Wielingen verkeert waarschijnlijk niet in een (dynamische) evenwichtstoestand.
2. Goede zandconcentratiemetingen in de geul ontbreken.

Punt 1 wordt gestaafd door:

- a. Vanuit historisch oogpunt (§6.2) vertoont de Wielingen een ontwikkeling van verbreding en verdieping die, weliswaar vergevorderd, nog steeds in gang is.
- b. Recente bodemopnemingen tonen vrij plotselinge ontgroningen in het grensgebied Scheur/Wielingen, waarschijnlijk als gevolg van de baggerwerken in het Scheur.

Wel echter zijn de volgende constatering te doen:

- 1 Als de geulbodem in een evenwichtstoestand verondersteld wordt, blijkt als resultaat van uitgevoerde (hand)berekeningen
 - * Geringe tot zeer geringe aanzanding van de sleuf (enkele centimeters per jaar), hoofdzakelijk t.g.v. zwaartekrachtinvloeden.
 - * Geringe erosie in het overgangsgebied Scheur/Wielingen.
2. Uit: - De geconstateerde erosie in het overgangsgebied Scheur/Wielingen na verdieping van het Scheur.
 - Het berekende "stroomtrekken" in hetzelfde overgangsgebied na verdieping van de Scheur/Wielingen route.

Kan een evenwichtsligging verondersteld worden die dieper ligt dan de "evenwichtsligging 1964-1980". Dit is zeker het geval in het overgangsgebied; verder oostwaarts zal deze invloed kleiner worden.

Of deze te verwachten nieuwe evenwichtsligging hoger dan wel lager komt te liggen dan de aanlegdiepte van de sleuf is o.a. vanwege het gecompliceerde stroombeeld geen gegronde uitspraak te doen.

Wegens het feit dat de Wielingen in het verleden nooit een "probleemgebied" is geweest, zijn geen (zand)concentratiemetingen in de geul beschikbaar. Slechts summiere metingen in de buurt van de geul waren voorhanden.

Om met name een beter kwantitatief inzicht te krijgen in de optredende resulterende zandtransporten strekt het tot aanbeveling een uitgebreide meetcampagne in en om de Wielingen uit te voeren.

Lijst van gebruikte afkortingen en uitdrukkingen

GLLWS :	Gemiddeld Laag Laagwater Spring
GWS :	Gemiddelde Waterstand (gemiddeld zeeniveau)
mln :	miljoen
[n] :	Verwijzing naar literatuurlijst nummer n
NAP :	Nieuw Amsterdams Peil (Nederlands algemeen referentiepeil)
PIANC :	Permanent International Association of Navigation Congresses
RDII-model :	RandDelta II computer-getijmodel
TSC :	Technische Scheldecommissie
Wielingen:	In dit rapport wordt met de aanduiding Wielingen bedoeld dat Wielingen-gedeelte, gelegen tussen 3°20' en 3°28' OL, dat in de verdiepingsplannen is opgenomen.

LIJST VAN GERAADPLEEGDE LITERATUUR

- [1] Technische Scheldecommissie, Subcommissie Westerschelde
Verdieping Westerschelde, studierapport programma 48/43
juni 1984
- [2] de Looff, A.P.
**Mondingsgebied van de Westerschelde, een inventarisatie
naar stroombeeld, bodemligging en golfklimaat**
Nota GWWS 86-404
juni 1986
- [3] Antwerpse Zeediensten
**Verwerking van lodingen over de periode 1983 t/m 1985,
uitgevoerd in het te verdiepen gedeelte van Scheur en
Wielingen**
1986
- [4] de Looff, ing. D.
Inhoudsberekeningen en zandbalansen Westerschelde.
Nota NXL - 86.020
oktober 1986
- [5] Eysink, ir. W.D. en van Rijn, ir. L.C.
Prediction of sedimentation in dredged channels
PATO-cursus "Toegangsgeulen Havens" hoofdstuk SB 8
november 1985
- [6] de Vries, Prof.dr.ir.M.
Morphological computations
Technische Universiteit Delft, Collegedictaat f10A
1986
- [7] van Rijn, ir. L.C.
**Two dimensional vertical mathematical model for suspended
transport by currents and waves**
Waterloopkundig Laboratorium, Rapport S 488-IV
1985
- [8] Bijker, Prof.dr.ir. E.W.
Sedimentation in Channels and trenches
Proc. Int. Conf. Coastal Eng., Sydney pp 1709 -1718
1980
- [9] Bijker, Prof.dr.ir. E.W.
Siltation in dredged channels
Conf. Future Development of Roads and Rivers in Suriname
and Neighbouring Countries. pp 339 - 348
1982
- [10] Mayor-Mora, D., Mortensen, P. en Fredsøe, J.
Sedimentation studies on the Niger river delta
Proc. Int. Conf. Coastal Eng., Honolulu, pp 2151 - 2169
1976
- [11] Lean, G.H.
Estimation of maintenance dredging for navigation channels
H.R.S. Wallingford
1980

- [12] Fredsøe, J.
Sedimentation of river navigation channels
Journal of the Hydraulics Division ASCE, HY2,
febr. 1978
- [13] Eysink, ir.W.D. en Vermaas, ir.H.
**Computational method to estimate the sedimentation in
dredged channels and harbour basins in estuarine
environments**
Waterloopkundig Laboratorium, Publicatie 307
juni 1983
- [14] Boer, ir.S.
**The flow across trenches at oblique angle to the main
flow direction**
Waterloopkundig Laboratorium, Onderzoeksrapport S490
december 1985
- [15] U.S. Army Corps of Engineers
Shore Protection Manual, Volume I
Fourth edition, 1984
- [16] Korstanje, L.P.
Methode ter bepaling v.h. zandtransport in de Westerschelde
Afstudeerverslag Technische Hogeschool Delft
oktober 1984
- [17] Swart, D.H.
Offshore Sediment Transport and Equilibrium Beach Profiles
Waterloopkundig Laboratorium, Publicatie nr 131 Delft R.9.86
1974
- [18] Bijker, Prof.dr.ir.E.W. en Massie, W.W.msc. e.a.
Coastal Engineering Vol. II, Harbour and beach problems
Technische Hogeschool Delft, Collegedictaat f11B
1978
- [19] Dekker, ing. L.
**presentatie van het aangepaste en uitgebreide Randdelta II-
computer-getijmodel**
Nota AXH-86.257
november 1986
- [20] Beijl, P.R.
**bepaling van de nauwkeurigheid van zandtransportberekeningen
met de methode Bijker-Einstein in de Westerschelde**
Afstudeerverslag Technische Hogeschool Delft
1977
- [21] **Stormvloedkering Oosterschelde, Berekening aanzanding
Cunetten**
Interim Verslag R.1267-VIII Waterloopkundig
Laboratorium Delft
mei 1979
- [22] van den Berg, Dr. J.H.
Toelichting bij de isallopatenkaart Voordelta 1975 - 1984
Concept Nota Z1.87.00...
april 1987

APPENDICES:

APPENDIX A: Schematisatie van de getijstroming in de wielingen; veranderingen hierin t.g.v. de voorgestelde verdieping

A.1	Schematisatie van het getij	1
A.2	Veranderingen in de getijstroming t.g.v. de verdieping	3
A.2.1	Effecten op grote schaal: het gehele mondingsgebied	3
A.2.2	Stroomverandering t.p.v. de te baggeren sleuf	10

APPENDIX B: Berekeningsbijlage behorend bij de lokale aanzandingsbenadering (\$5)

B.1	De gravity-infillmethode van J. Fredsøe	16
B.2	Aanzanding bij dwarsstroming m.b.v. de methode Bijker	26
B.3	Aanzandingsberekening volgens de methode Eysink/Vermaas	33

APPENDIX C: Berekeningsbijlage behorend bij \$6

C.1	Resulterende zandtransporten door gebiedsgrens A	39
C.2	Resulterende zandtransporten door gebiedsgrens B	41

APPENDIX A

SCHEMATISATIE VAN DE GETIJSTROMING IN DE WIELINGEN; VERANDERINGEN HIERIN t.g.v. DE VOORGESTELDE VERDIEPING.

A.1 Schematisatie van het getij

Om een overzichtelijk beeld te verkrijgen van de stromings-toestand zoals die in de Wielingen optreedt is gemeend deze te schematiseren. Deze schematisatie is van toepassing op de gehele lengte van het te verdiepen gedeelte.

De getijperiode is hier opgedeeld in een aantal fasen. Per fase is een gemiddelde hoek van aanstroming bepaald ($\bar{\alpha}$). Ook is een gemiddelde waarde bepaald per getijfase van de vertikaal-gemiddelde stroomsnelheid (voor gemiddeld getij). De hier gepresenteerde schematisatie is behoorlijk ver doorgevoerd, dit met name om een goede toepassing mogelijk te maken voor de uit te voeren handberekening.

Aan de hand van het vooronderzoek [2], met name bijlage 3.1.3. is de stromingstoestand in de vaargeul bijvoorbeeld te schematiseren als is weergegeven in onderstaande tabel en getijdekromme.

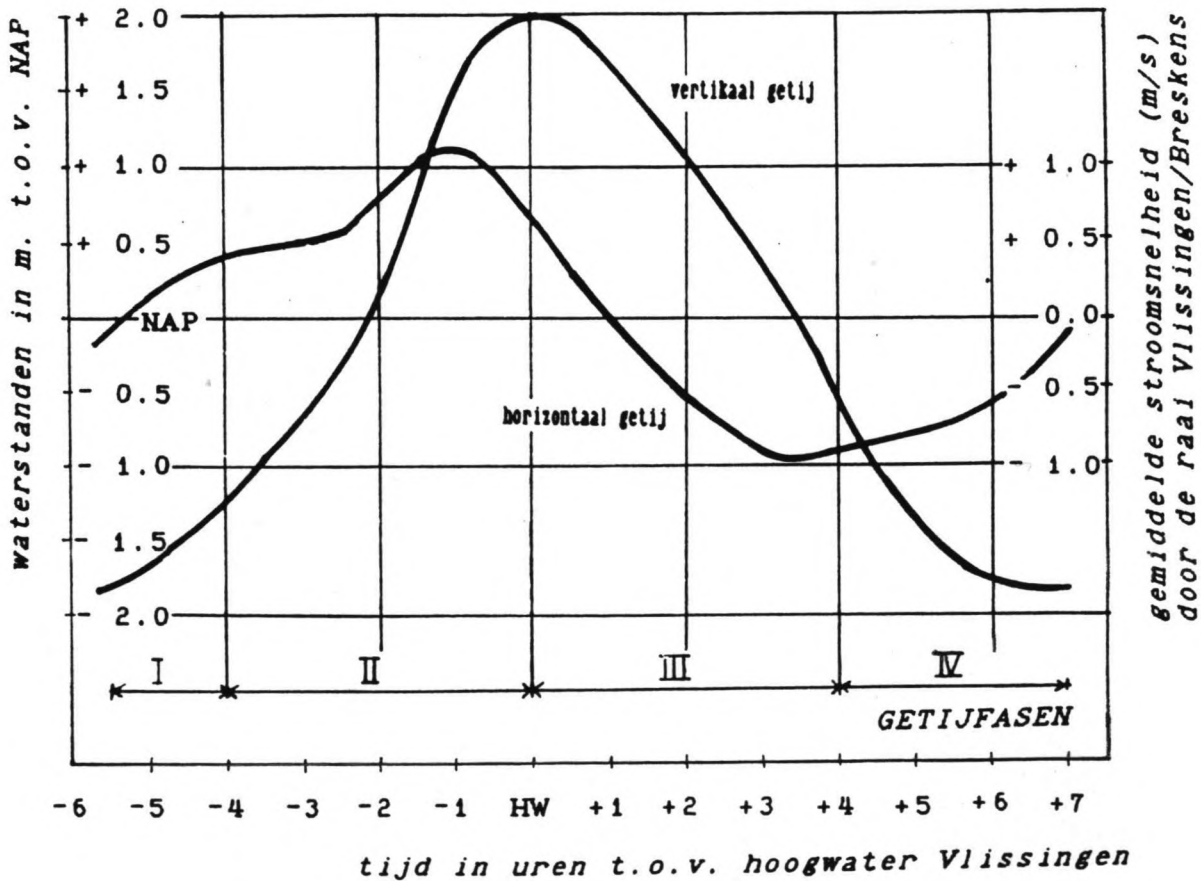
Getijfase (uren t.o.v. HW Vlissingen)	$\bar{\alpha}$ (graden)	\bar{v} (m/s)	\bar{h} (m NAP)
I 5,5 tot 4 voor	70	0,3	-1.50
II 4 voor tot HW	15	0,7	+0.30
III HW tot 4 na	10	0,6	+1.00
IV 4 tot 7 na	0	0,6	-1.50

Tabel A.1 : Schematisatie van de stromingstoestand

Toelichting: $\bar{\alpha}$ = De over de beschouwde getijfase gemiddelde hoek van aanstroming t.o.v. de geulas
 \bar{v} = De over de beschouwde getijfase gemiddeld optredende vertikaalgemiddelde stroomsnelheid voor omstandigheden van gemiddeld getij.
 \bar{h} = Het over de beschouwde getijfase gemiddelde waterstandsniveau (in meters t.o.v. NAP)

Opgemerkt wordt dat gedurende het grootste deel van de getijperiode een stroming evenwijdig of bijna evenwijdig aan de geulas optreedt. Echter gedurende circa 10 % van de getijperiode treedt er een stroming op die bijna loodrecht op de geulas aanstroomt.

De schematisatie is opgesteld met als belangrijkste schematisatieaspect de stroomrichting.



Figuur A.1 : Getijkromme Vlissingen met getijfases t.b.v. de stromingsschematisatie in de Wielingen

A.2 Veranderingen in de getijstroming t.g.v. de voorgestelde verdieping

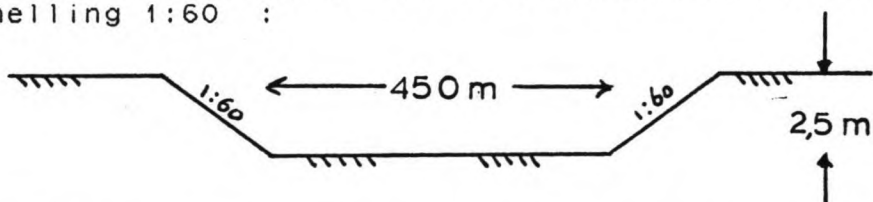
In het algemeen geldt voor de stroming in rivieren, estuaria en zeeën dat er een (dynamisch) evenwicht bestaat tussen de stromingscondities enerzijds en de bodemligging en de geulafmetingen anderzijds. Bijvoorbeeld het baggeren van een scheepvaartgeul of aanleg c.q. uitbreiding van havendammen kunnen veranderingen veroorzaken in de hydraulische en morfologische omstandigheden van het stromingsgebied.

Met betrekking tot de stroming kunnen effecten ten gevolge van geulaanleg of -verdieping beschouwd worden op grote schaal en in detail.

A.2.1 Effecten op grote schaal: het gehele mondingsgebied

Om de invloed van de voorgestelde verdieping op het stroombeeld in het mondingsgebied te bepalen is in eerste instantie bekeken welke profielverruiming de te baggeren sleuf tot gevolg heeft:

Er kan een benadering van de procentuele verandering van het doorstroomprofiel opgesteld worden. Uitgangspunt is hiervoor een verdieping van 2.5 meter over een breedte van 450 meter met taludhelling 1:60 :



Het doorstroomprofiel wordt dan vergroot met $(450 + 150) \times 2.5 = 1500 \text{ m}^2$. Uit het vooronderzoek [2] worden twee doorsnedes beschouwd, namelijk (bijlage 5.3.3) de gecombineerde doorsnedes A-A' - G-G' en E-E' - I-I'.

In ongestoorde toestand bedraagt de doorstroomopening van:

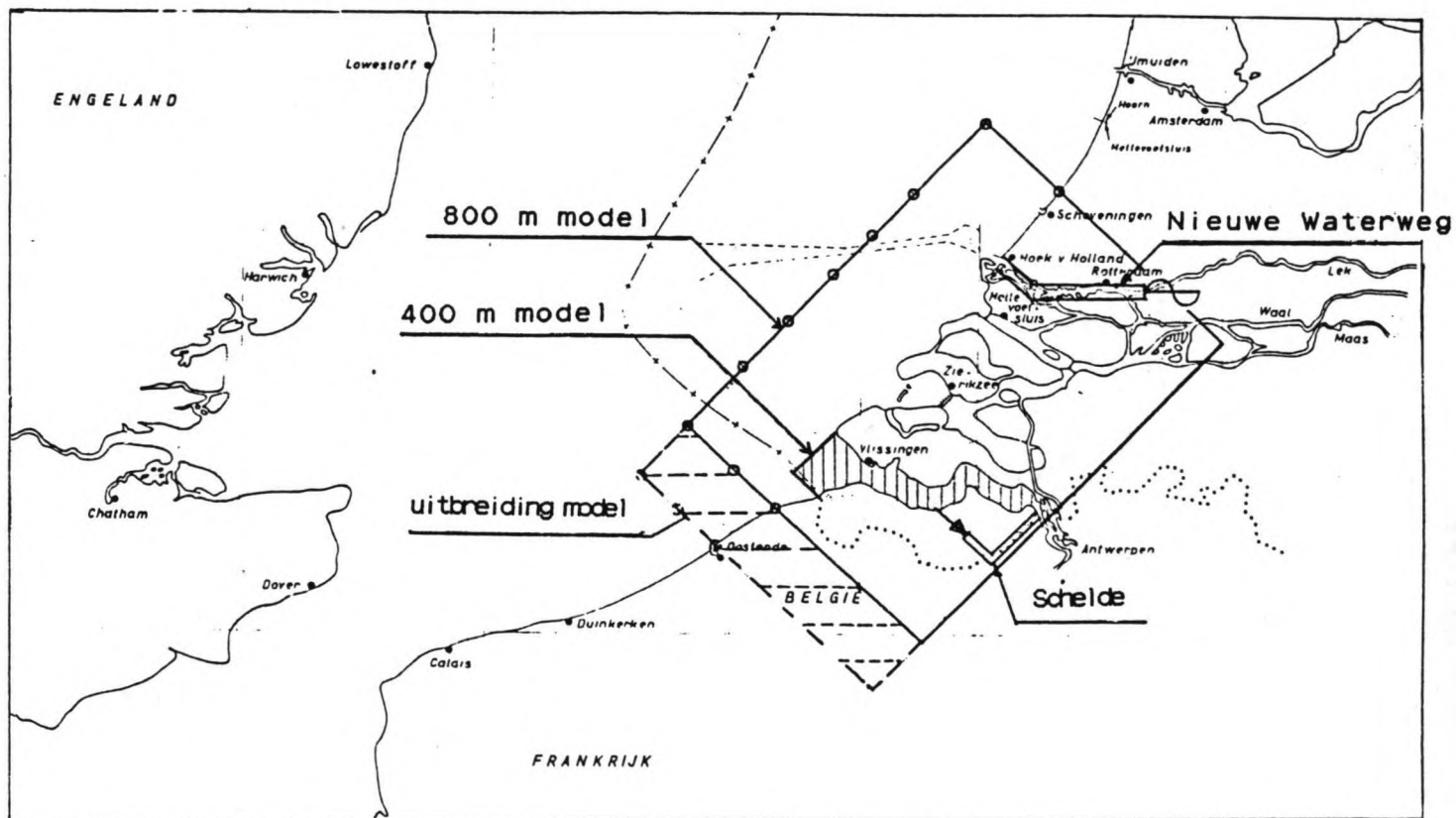
$$\left. \begin{array}{l} \text{A-G: } \pm 70000 \text{ m}^2 \\ \text{E-I: } \pm 65000 \text{ m}^2 \end{array} \right\} \text{ Ten opzichte van NAP (ongeveer gelijk } \\ \text{aan het gemiddelde zeeniveau)}$$

De aan te leggen sleuf geeft een vergroting van het doorstroomprofiel van 2.1 % resp. 2.3 % .

Als aanvulling hierop is een onderzoek uitgevoerd naar de optredende veranderingen in debieten en stroomsnelheden ten gevolge van een verdieping van de Wielingen. Beschouwd is hierbij het gehele mondingsgebied en de Wielingen en het Oostgat in het bijzonder.

Voor dit onderzoek is gebruik gemaakt van het RandDelta II - computer - getijmodel van Rijkswaterstaat. Om de verdieping van de Wielingen in een computermodelsimulatie uit te voeren stonden twee modellen ter beschikking, namelijk:

1. WAQUA 400 meter-grid-model voor de Westerschelde en een gedeelte van de Westerscheldemond.
2. WAQUA 800 meter-grid-model voor de zogenaamde Voordelta (Scheveningen - Zeebrugge); het Randdelta II model



figuur A.2: Gebiedsbegrenzings van het 400- en 800m WAQUA model

Bij de modelkeuze zijn twee punten belangrijk, te weten:

- a. De sleufbreedte die ingepast moet worden bedraagt 500 meter, hoe is dit in te passen in het model?
- b. Hoe is de ligging van de Wielingen ten opzichte van de randen van het model? Oftewel: wat zijn de te verwachten randeffecten?

Ten aanzien van punt a. is het 400-meternet te prefereren boven het 800-meternet, echter de zeewaartse begrenzing van het 400-meter model valt ongeveer op de grens Scheur/Wielingen, zodat niet de gehele verdieping uitgevoerd kan worden. Tevens kunnen onnauwkeurigheden in de uitkomsten optreden ten gevolge van randeffecten.

Vandaar dat gekozen is voor het 800 meter model, ondanks de wat moeilijker in te passen geulverdieping.

Achtergronden van het RandDelta II model [19]

Als basis voor het RandDelta II model dient het door de Rand Corporation ontwikkelde en door Rijkswaterstaat Dienst Informatie Verwerking aangepaste programmapakket Waqua. In het Waqua-programma wordt de waterbeweging en waterkwaliteit beschreven met de over de diepte geïntegreerde vergelijkingen voor lange golven en transport door middel van advectie-diffusie. Deze vergelijkingen worden numeriek opgelost met een differentiemethode.

Het model omvat het zeegebied tot 30 km uit de kust van Blankenberge tot Scheveningen, als ook de Nieuwe Waterweg, Ooster- en Westerschelde (figuur A.2). In onderstaande tabel zijn een aantal belangrijke parameters van het RandDelta II model vermeld:

Parameter	Waarde	Eenheid
ruimtestap	800	meter
tijdstap	75	sec.
orientatie	$RD_x = -97391.26 + 800(-\sqrt{2} M + \sqrt{2} N)$	meter
	$RD_y = 13891.08 + 800(-\sqrt{2} M - \sqrt{2} N)$	meter
dimensies	$M = 167, N = 108$	modelcoor- dinaten
basismanningwaarde	0.0262	$m^{1/2}/s$
diffusiecoëff.	10	m^2/s

Tabel A.2: Parameters van het RandDelta II model

In de meest recente versie van het RDII-model zijn aanpassingen aangebracht die in rekening brengen de uitbreiding van de havendammen van Zeebrugge, de Stormvloedkering in de Oosterschelde, de Philips- en Oesterdam en de Slufterlokatie. Voor verdere details omtrent het model wordt verwezen naar lit.[19].

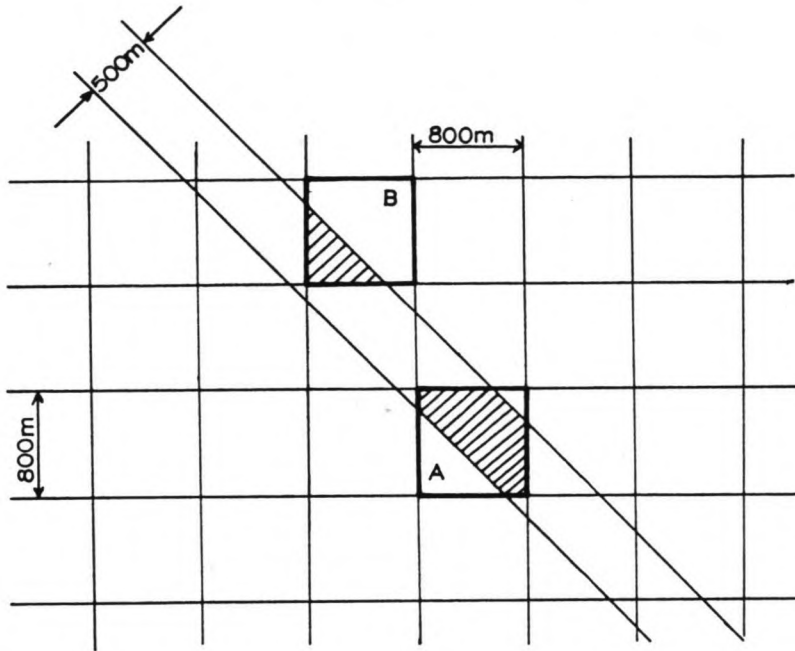
Werken met het RandDelta II (RDII) model; invoer en vergelijkingsresultaten

Het doel van deze modelsimulatie is het vergelijken van twee toestanden:

- * T0-situatie: Modelsimulatie van de getijwaterbeweging geldend in het RDII-definitiegebied, opgezet in 1975, met aanpassing van gewijzigde randvoorwaarden (o.a. bodemligging) tot 1986.
- * T1-situatie: Modelsimulatie gelijk aan de T0-situatie waarin de verdieping van de Scheur/Wielingen vaarroute tot NAP - 18m is opgenomen.

Voor het uitvoeren van een vergelijkingsrun is het noodzakelijk van beide situaties een invoerfile te maken. De invoerfile van de T0-situatie is standaard aanwezig in het bestand van de Dienst Getijdewateren. Met deze file als basis kan de T1-invoerfile gemaakt worden.

Bijlage 3 toont de invoerfile van de T0- en de T1-situatie voor wat betreft de gewijzigde dieptes.



Figuur A.3: Invoeren van de verdieping in het model-grid

Figuur A.3 geeft een voorbeeld op welke wijze de geulverdieping is ingebracht in het 800 x 800m grid. Het blijkt dat de geul de modelvakjes in het algemeen diagonaal doorkruist.

Als een roostervakje door de volledige "geulbaan" doorkruist wordt (bv vakje A), bedraagt de oppervlakte welke door de geul in beslag genomen wordt 50 - 70% van de totale oppervlakte van het vakje. In dit vakje wordt de verdieping verrekend door de bodemligging voor het gehele hokje op NAP - 18m te nemen. Als het percentage van geuldoorkruising 25 - 50% bedraagt (bv vakje B) is een halve verdieping in rekening gebracht: bodemligging op NAP - 16.5m.

Naast het te verdiepen Wielingengedeelte is op dergelijke wijze ook de bodemligging van het Scheur en de Scheurpas aangepast tot NAP - 18m.

Als de beide invoerfiles gereed gemaakt zijn, kan een vergelijkingsrun gemaakt worden, waarbij vooraf punten en raaien aangegeven worden waar gedetailleerde uitvoer gewenst is. Niet nader gespecificeerde punten leveren slechts uurwaarden op, terwijl in de vooraf aangegeven punten de parameterwaarden om de 10 minuten berekend worden.

Bij de vergelijking zoals die is toegepast kunnen een aantal kanttekeningen gezet worden:

- ** De resultaten van de vergelijking hebben betrekking op een vergelijking van twee modelsimulaties; lokale afwijkingen t.o.v. de werkelijke toestand kunnen aanwezig zijn.
- ** De in de T0-situatie ingebrachte geulverdieping geeft geen prismatische verdieping weer vanwege de relatief grote afmetingen van het modelrooster.
- ** Als gevolg van bovenstaand feit is waarschijnlijk een groter verdiepingsvolume in rekening gebracht dan in werkelijkheid op zal treden. Met name in het Scheur en de Scheurpas is dit het geval.
- ** De vooraf te specificeren raaien zijn alleen te nemen in de richting van de modelorientatie. Omdat de geul deze orientatie onder ongeveer 45 graden doorsnijdt (figuur A.3) zijn deze raaien niet loodrecht op de geulas te nemen.
- ** Tijdens de uitvoering van de "vergelijkingsrun" bleek op een gegeven moment de beschikbare rekentijd overschreden en werd de uitvoering gestopt. Daarom is er een beperking wat betreft de tijdsduur waarover de simulatie is uitgevoerd; er is namelijk 1.8 dag beschikbaar, waarvan de eerste dag nodig is om de begineffecten uit te dempen. Over de resterende periode is het soms moeilijk de uitkomsten goed te interpreteren.

Resultaten van de uitgevoerde vergelijking

Van een aantal in en om de vaargeul liggende roosterpunten is gedetailleerde uitvoer beschikbaar voor de T0 en de T1 situatie. De uitvoer bestaat uit stroomsnelheden naar vectorgrootte en naar de snelheidsontbondenen in u- en v- richting.

Tevens zijn enige raaien gedefinieerd (bijlage 4) die helaas alleen in u- en v richting genomen kunnen worden, en niet loodrecht op de geulas. Voor de beschouwde raaien is als uitvoer beschikbaar:

- Het momentaan optredende debiet door de raai (m^3/s)
- Het cumulatieve debiet (m^3):
De cumulatieve watermassa welke door de raai gestroomd is, waarbij de ebstroming een positieve- en de vloedstroming een negatieve bijdrage levert. Deze vorm van presentatie is handig bij een analyse van optredende reststromingen, maar is hier niet verder beschouwd.

Vervolgens worden nu de stroomsnelheden en debieten behandeld.

Stroomsnelheden:

De voor deze vergelijking gedefinieerde roosterpunten zijn:
(bijlage 5; de benaming van de roosterpunten komt uit de
vergelijkingsrun)

- * SCHEUR 6: gelegen in de Scheurpas
- * WIEL-SCHEUR 7: gelegen in het "ondiepe" wielingen-gedeelte
- * WIELINGEN M5: gelegen in het overgangsgebied Wielingen-Scheur
- * WIELINGEN 16: gelegen in de vaargeul ter hoogte 3° 23' OL
- * WIELINGEN 5: gelegen in de vaargeul ter hoogte 3° 26' OL

In bijlage 6.a t/m e zijn weergegeven de in deze punten optre-
dende snelheden in T0 en T1 situatie.

Hieruit valt af te lezen dat:

- * In de Scheurpas tijdens de ebstroming een grotere stroom-
snelheid optreedt (ca. 20% hoger bij de piekwaarde). Tij-
dens de vloedstroming treedt in de T1 situatie een lagere
piekwaarde op (ca. 10%)
- * In het ondiepe Wielingen-gedeelte zowel de ebstroming als
de vloedstroming in grootte afneemt (ca. 10%).
- * In het overgangsgebied Wielingen-Scheur er nauwelijks
sprake is van een verandering in de grootte van de stroom.
- * Ten oosten van $\pm 3^{\circ} 20'$ er geen verandering in de grootte
van de getijstroming optreedt bij vergelijking van de
T0 met de T1 - situatie.

Debieten:

Bijlage 4 toont de raaien waardoor de debieten berekend zijn. De raaien Ia, IV, VII en VIII bestrijken de Wielingen en de naastgelegen gebieden; de raai Ib bestrijkt het bankengebied en het Oostgat.

Zoals al eerder is opgemerkt zijn voor deze beschouwing in hoofdzaak van belang de momentane debieten; de cumulatieve debieten zijn van belang bij een vergelijking van de reststroming

De debieten zijn in de bijlages 7.a t/m e gepresenteerd in grafiekvorm. Hieruit kan afgelezen worden:

- * Dat de raaien die de Wielingen bestrijken een vergroting van de maximale debieten te zien geven van 1 tot 6% . Deze verschillen beperken zich echter in hoofdzaak tot de pieken in de grafiek. Als zodanig komen deze resultaten goed overeen met de in het begin van deze paragraaf afgeschatte profielverruiming van $\pm 2\%$.
- * De raai over het bankengebied en het Oostgat toont een afname in debiet van maximaal 3%. Deze afname is op grond van continuïteitsoverwegingen in overeenstemming met de debiettoename in de raaien waar de Wielingen doorheen loopt.

Een algemeen beeld dat te schetsen valt na deze vergelijking is een kleine toename van het debiet door de Scheur-Wielingen route.

Deze toename heeft voor de stroomsnelheid een direct gevolg in de Scheurpas en het ondiepe Wielingen-gedeelte: De stroomsnelheden in de Scheurpas nemen gemiddeld toe en de stroomsnelheden in de "ondiepe" Wielingen nemen gemiddeld af.

In de vaarroute van de Wielingen zelf komt de verdieping niet of nauwelijks tot uiting in een wijziging van de stroomsnelheid.

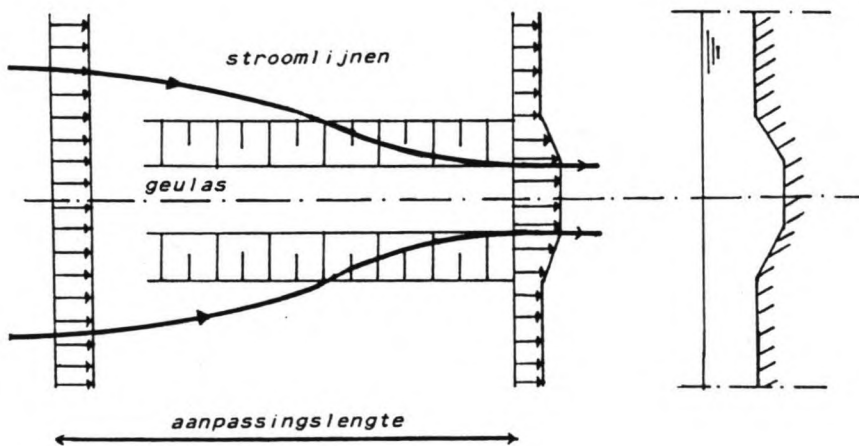
A.2.2 Stroomverandering ter plekke van de te baggeren sleuf

Voor het in detail bestuderen van de beïnvloeding van de stroming boven een geul wordt onderscheid gemaakt tussen evenwijdige, loodrechte en scheve aanstroming.

Uit de hiervoor gepresenteerde schematisatie van de stromings-toestand in de Wielingen volgt dat in het studiegebied sprake is van een evenwijdige en een scheve aanstroming.

1. Evenwijdige aanstroming

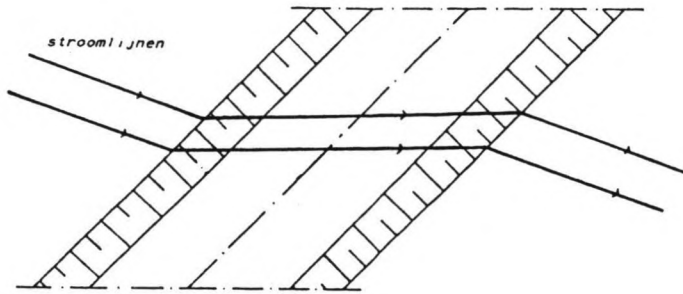
In dit geval wordt volstaan met een kwalitatieve beschouwing; Geulen waarvan de orientatie evenwijdig aan de stroomrichting is georiënteerd trekken stroom. Dit wordt veroorzaakt door het ter plaatse van de geulsectie vergrote doorstroomprofiel en doordat de stroming boven de geul door de toegenomen waterdiepte minder bodemwrijving ondervindt. De stroomsnelheid in de geul is daardoor groter of gelijk aan de stroomsnelheid ter weerszijden van de geul. De mate waarin de geul stroom trekt hangt onder meer af van de breedte en diepte van de geul en de bodemruwheid. Onderstaande figuur geeft het proces van stroomtrekken weer:



Figuur A.4: stroomlijnenpatroon bij evenwijdige aanstroming

2. Scheve aanstroming

Bij scheve aanstroming van een **geul** treden de verschijnselen die bij loodrechte- en bij evenwijdige aanstroming optreden, gecombineerd op. De component van de snelheid loodrecht op de geulas neemt evenredig met de toename van de diepte af (continuïteitsvergelijking) terwijl de snelheidscomponent evenwijdig aan de geulas groter wordt of tenminste gelijk blijft aan de oorspronkelijke waarde. Er zal nu een stroomlijnenpatroon optreden als is weergegeven in onderstaande figuur:

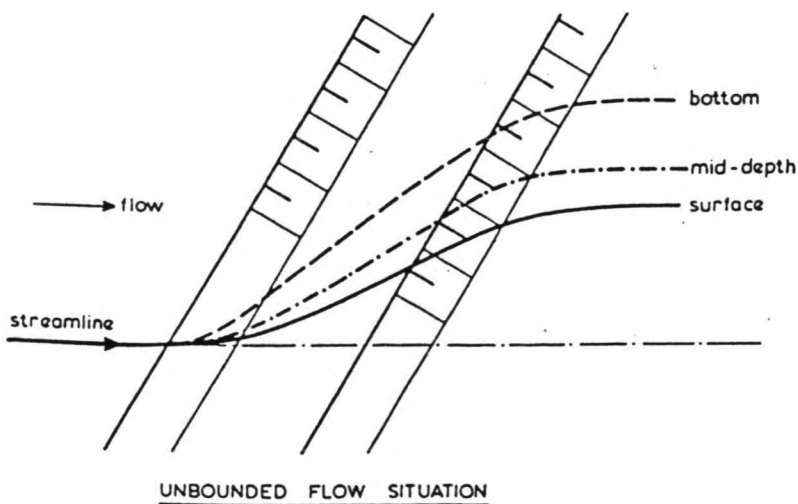


Figuur A.5: Stroomlijnenpatroon bij scheve aanstroming

Afhankelijk van welke van bovengenoemde processen overheerst kan de resulterende snelheid kleiner, gelijk of groter zijn dan de bovenstroomse snelheid. Dit is onder meer afhankelijk van:

- breedte en diepte van de geul
- taludsteilheid
- grootte en richting van de stroom
- bodemruwheid

Een extra moeilijkheid bij dit type van aanstroming is dat de afbuiging van de stroming over de diepte varieert als gevolg van secundaire stromingseffecten. Dit wordt weergegeven in onderstaande figuur: De stroomlijnen bij de bodem buigen verder af dan die aan het wateroppervlak.



Figuur A.6: Afbuiging van stroomlijnen bij scheve aanstroming op verschillende dieptes

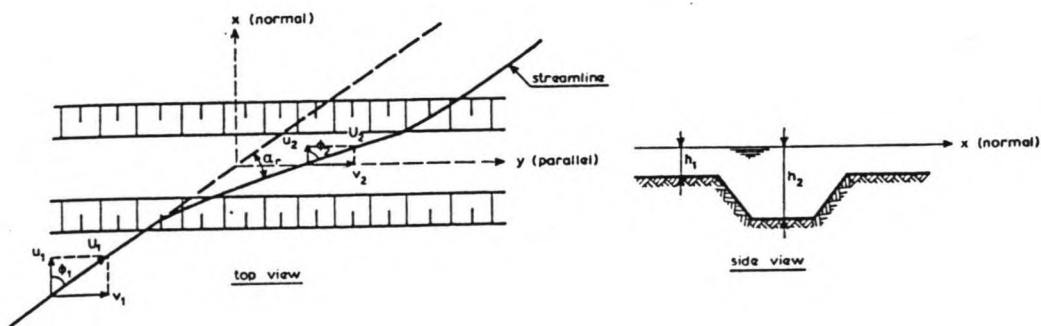
Berekening van de stroomafbuiging

Bij de hiernavolgende berekeningen is gerekend met hoeken en snelheden na afbuiging die gemiddeld over de vertikaal gelden.

Gedurende drie fases van de getijperiode is er sprake van een scheve aanstroming. Eén fase is deze bijna loodrecht (70 graden), de andere fases is de aanstroming bijna evenwijdig (10 en 15 graden).

Ter bepaling van de veranderde parameters α , v en h boven de sleuf ten opzichte van de ongestoorde toestand zijn twee methodes uitgewerkt, namelijk die gepresenteerd door Boer [14] p 8,9 en Bijker [9]. Beide geven een beschrijving in formulevorm van de veranderende parameters. (n.b. deze parameters zijn gemiddelde waarden over de vertikaal).

Boer [14] geeft een beschrijving van het door het Waterloopkundig Laboratorium ontwikkelde mathematische model TRENCHFLOW. Dit model heeft als geldigheidsgebied aanstroomhoeken van 0 tot 90 graden; het is speciaal ontwikkeld voor het beschrijven van stroming die een geul passeert. Dit model vormt een aanvulling op het uitgebreide pakket mathematische stromingsmodellen. Als inleiding op bovengenoemd onderzoek presenteert Boer een benadering van het stromingspatroon boven een gebaggerde sleuf bij aanstroming onder een scheve hoek. Figuur A.7 geeft deze situatie weer, tezamen met de gebruikte symbolen:



Figuur A.7: Definitie van de stromingstoestand volgens Boer

De volgende aannames zijn hierbij van kracht:

- De snelheidscomponenten loodrecht op de geulas (x-richting) variëren omgekeerd evenredig met de waterdiepte.
- De snelheidscomponenten evenwijdig aan de geulas (y-richting) variëren volgens de Chézy-formule
- De waterstandsgradiënten in y-richting blijven onveranderd boven de sleuf.

In formulevorm: $h_1 u_1 = h_2 u_2$ (A.1)

$$\frac{v_1}{C_1 \sqrt{h_1}} = \frac{v_2}{C_2 \sqrt{h_2}} \quad (A.2)$$

Voor de boven de sleuf optredende resulterende snelheid U_2 en de aanstroomhoek ϕ_2 gelden dan de volgende relaties:

$$U_2 = U_1 \left[\left[\frac{h_1}{h_2} \right]^2 \cos^2 \phi_1 + \left[\frac{C_2}{C_1} \right]^2 \left[\frac{h_1}{h_2} \right]^{-1} \sin^2 \phi_1 \right]^{0.5} \quad (A.3)$$

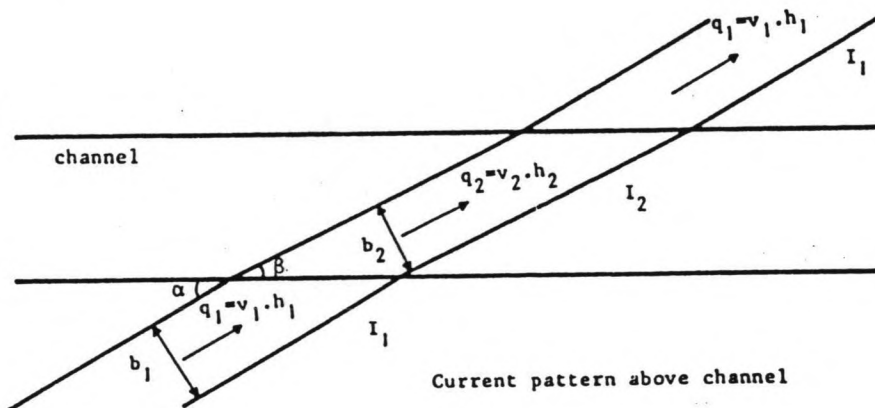
$$\phi_2 = \arctan \left[\frac{C_2}{C_1} \left[\frac{h_1}{h_2} \right]^{-1.5} \tan \phi_1 \right] \quad (A.4)$$

Met invulling van $h_1 = 15\text{m}$, $h_2 = 17.5\text{m}$ en de benadering dat $C_2/C_1 \approx 1.0$ kan onderstaande tabel opgesteld worden:

ϕ_1 (graden)	ϕ_2 (graden)	U_2 / U_1
80	82.0	1.0741
75	78.0	1.0667
20	24.6	0.886

Tabel A.3: Resultaten stroomafbuigingsberekening volgens Boer

Bijker [9] geeft als inleiding op de presentatie van een hand-berekeningsmethode ter bepaling van sedimentatie van gebaggerde sleuven twee methoden om de stroombeeldverandering te beschrijven. Onderstaande figuur geeft een overzicht van de gehanteerde symbolen:



Figuur A.8: Definitie van de stromingssituatie volgens Bijker

De volgende formules beschrijven de veranderde stroomsnelheid en -richting:

$$\text{methode i} \quad \frac{v_2}{v_1} = \frac{h_1}{h_2} \left[\frac{\sin \alpha}{\sin \arctan[(h_1/h_2) \tan \alpha]} \right] \quad (\text{A.5})$$

$$\beta = \arctan \left[\frac{h_1}{h_2} \tan \alpha \right] \quad (\text{A.6})$$

$$\text{methode ii:} \quad \frac{v_2}{v_1} = \frac{C_2}{C_1} \frac{h_2}{h_1} \frac{\cos \alpha}{\cos \beta} \quad (\text{A.7})$$

$$\beta = \arcsin \left[\left[\frac{h_1}{h_2} \right]^{3/2} \frac{C_1}{C_2} \sin \alpha \right] \quad (\text{A.8})$$

In het algemeen geldt dat methode i goede resultaten geeft voor $\alpha > 60^\circ$ en methode ii voor $\alpha < 60^\circ$.
Met invulling van $h_1 = 15\text{m}$, $h_2 = 17.5\text{m}$ en $C_1 \approx C_2$ worden de in onderstaande tabel vermelde resultaten bereikt:

α (graden)	methode i		methode ii	
	β (graden)	v_2 / v_1	β (graden)	v_2 / v_1
10	67.0	0.875	7.9	1.077
15			11.9	1.073
70				

Tabel A.4: Resultaten stroomafbuigingsberekening volgens Bijker

RESUMEREND kan onderstaand overzicht opgesteld worden:
 (tekenafspraken volgens fig. A.8)

aanstroomhoek α (graden)	hoek van stroming boven de sleuf β (graden)		v_1 / v_2	
	Boer	Bijker	Boer	Bijker
10	8.0	7.9	1.074	1.077
15	13.0	11.9	1.067	1.073
70	65.4	67.0	0.886	0.875

Tabel A.5: Vergelijking van de berekeningsresultaten volgens de methodes Boer en Bijker

De resultaten van beide methodes stemmen goed met elkaar overeen; de waardes die voor berekening zijn toegepast zijn een gemiddelde van bovenvermelde waardes:

aanstroomhoek α (graden)	hoek na afbuiging β (graden)	v_2/v_1
10	8.0	1.075
15	12.5	1.070
70	66.0	0.880

Tabel A.6: De voor de Wielingen toe te passen stromingsparameters bij scheve aanstroming.

APPENDIX B

BEREKENINGSBIJLAGE BEHOREND BIJ DE LOKALE AANZANDINGSBENADERING VAN DE IN DE WIELINGEN TE BAGGEREN SLEUF

Zoals vermeld in hoofdstuk 5 wordt de berekening van de morfologische veranderingen in de te baggeren sleuf uitgevoerd door drie handberekeningsmethodes te beschouwen, te weten:

- a. De methode Fredsøe voor de dwarscomponent van het bodemtransport t.p.v. het talud, optredend bij evenwijdige aanstroming
- b. De methode Bijker voor circa 10 % van de getijperiode dat er een dwarsstroming staat
- c. De methode Eysink/Vermaas, toe te passen op de gehele getijperiode

De aan bovengenoemde methoden ten grondslag liggende theorie is in par. 5.4 behandeld. In deze bijlage worden per onderdeel enige berekeningen uitgevoerd, toegepast op het studiegebied de Wielingen, ter bepaling van het aanzandingsgedrag bij een verdieping van deze getijgeul.

B.1 De gravity-infillmethode van J. Fredsøe [12]

Voordat de specifieke theorie van Fredsøe (par.5.4.1) toegepast kan worden is het van belang eerst de grootte van het optredend bodemtransport vast te stellen.

Voor de berekening van het bodemtransport is het noodzakelijk de in vergelijking 5.12 optredende parameters nader te beschouwen:

** B = dimensieloze coefficient.

De waarde hiervan is meestal gelegen tussen 1 en 10. Een in de praktijk vaak toegepaste waarde, die ook voor de Westerschelde redelijk toepasbaar is gebleken [20], is de waarde $B = 5$.

** D = D_{50} = korreldiameter welke door 50 % van de korrels wordt onderschreden.

Bijlage 8a toont een karakteristieke zeefkromme van het sediment zoals dit voorkomt op de geulbodem van de Wielingen. Op grond hiervan is in deze berekening als representatieve D_{50} -waarde gekozen:

$$D_{50} = 250 \cdot 10^{-6} \text{ meter.}$$

** \bar{v} = vertikaalgemiddelde stroomsnelheid

De waarden van deze parameter zoals die in de berekening worden toegepast zijn ontleend aan de in Appendix A gepresenteerde schematisatie van de getijstroming.

** C = Chézy - coëfficiënt = $18 \log (12 h / r)$

** h = waterdiepte

Voor de in de berekening toe te passen waterdieptes wordt wederom de in Appendix A gepresenteerde getijschematisatie gebruikt. De te hanteren waterdieptes zijn:

Getijfase	Waterdiepte oorspronkelijke toestand (m)	Waterdiepte verdiepte toestand (m)
I	$15.0 - 1.5 = 13.5$	$17.5 - 1.5 = 16.0$
II	$15.0 + 0.3 = 15.3$	$17.5 + 0.3 = 17.8$
III	$15.0 + 1.0 = 16.0$	$17.5 + 1.0 = 18.5$
IV	$15.0 - 1.5 = 13.5$	$17.5 - 1.5 = 16.0$

Tabel B.1: Te hanteren waterdieptes

N.b. Voor deze berekening worden alleen de waterdieptes van de oorspronkelijke toestand gebruikt.

** r = ruwheidswaarde

De waarde hiervan kan bepaald worden uit echoloodmetingen, waarbij uit de ribbelhoogte Δr en -lengte λr middels formule B.1.1 de ruwheidswaarde te bepalen is (Swart, [17]):

$$r = 1.1 \Delta r \left[1 - \exp \left[\frac{-25 \Delta r}{\lambda r} \right] \right] \quad (B.1.1)$$

Omdat voor dit onderzoek geen echoloodmetingen beschikbaar zijn, is teruggevallen op peilbladen en op vergelijkend onderzoek in de Westerschelde (Korstanje, [16]). Uit de peilbladen is op te maken dat fluctuaties optreden in de bodemligging van enkele decimeters tot 0.5m over afstanden van 100 - 200 meter. Dit geeft een indicatie over de optredende ribbelhoogte, maar niet over de lengte van de ribbels.

Korstanje [16] heeft in de Westerschelde een aantal geulen bekeken die qua diepte en getijstroomsnelheid vergelijkbaar zijn met de Wielingen. De door hem gevonden waarden van r liggen in het gebied: $0.1\text{m} < r < 2.1\text{m}$. Hierbij moet opgemerkt worden dat de waarden voor $r > 1\text{m}$ betrekking hebben op megaribbels. Voor de kleinere ribbels die op de megaribbels voorkomen werden waarden van r bepaald van rond de 0.2m .

In deze berekening wordt niet met één bepaalde waarde van r gewerkt, maar zijn een drietal waarden in beschouwing genomen, te weten: $r = 0.1\text{m}$, $r = 0.3\text{m}$ en $r = 0.5\text{m}$.

** $\Delta = (\rho_S - \rho_W) / \rho_W = \text{relatieve dichtheid}$

met: $\rho_S = \text{soortelijke dichtheid van het sediment}$
 $\rho_W = \text{soortelijke dichtheid van het water}$

Voor ρ_S is gehanteerd de waarde 2650 kg/m^3 .
 ρ_W is bepaald aan de hand van het gemiddelde chloridegehalte in het buitengebied, wat $\pm 18 \%$ bedraagt.

Met bijvoorbeeld onderstaande benaderingsformule kan ρ_W worden berekend:

$$\rho_W = 1.32 C + 1000 \text{ [kg/m}^3 \text{]} \\ \text{met } C = \text{chloridegehalte (\%.)}$$

Op deze wijze wordt gevonden: $\rho_W \approx 1024 \text{ kg/m}^3$.

$$\rightarrow \Delta = (2650 - 1024) / 1024 = \underline{1.59}$$

** $\mu = (C / C_{d90})^{1/2}$

** $C_{d90} = 18 \log (12 h / D_{90})$

** D_{90} is de korreldiameter van het sediment welke door 90 % van de korrels wordt onderschreden. Op grond van de al eerder vermelde zeefkromme in bijlage 8a is als representatieve waarde aan te houden $D_{90} = 400 \cdot 10^{-6}$ meter.

Onderstaande tabel geeft een overzicht van de gehanteerde μ -waarden:

μ (-)	Getijfase I $h = 13.5\text{m}$	Getijfase II $h = 15.3\text{m}$	Getijfase III $h = 16.0\text{m}$	Getijfase IV $h = 13.5\text{m}$
$r = 0.1\text{m}$	0.433	0.438	0.439	0.433
$r = 0.3\text{m}$	0.340	0.345	0.347	0.340
$r = 0.5\text{m}$	0.300	0.305	0.307	0.300

Tabel B.2: Te hanteren μ -waarden

De μ -waarde blijkt niet veel te variëren ten gevolge van veranderingen in de waterdiepte. De ruwheidswaarde r brengt echter wel aanzienlijke variaties teweeg.

$$** \beta = \text{golffactor} = \left[1 + \frac{1}{2} \left[\frac{\xi \hat{u}_b}{v} \right]^2 \right] \quad (\text{B.1.2})$$

$$\text{met: } \xi = C \sqrt{\frac{f_w}{2g}} \quad (\text{B.1.3})$$

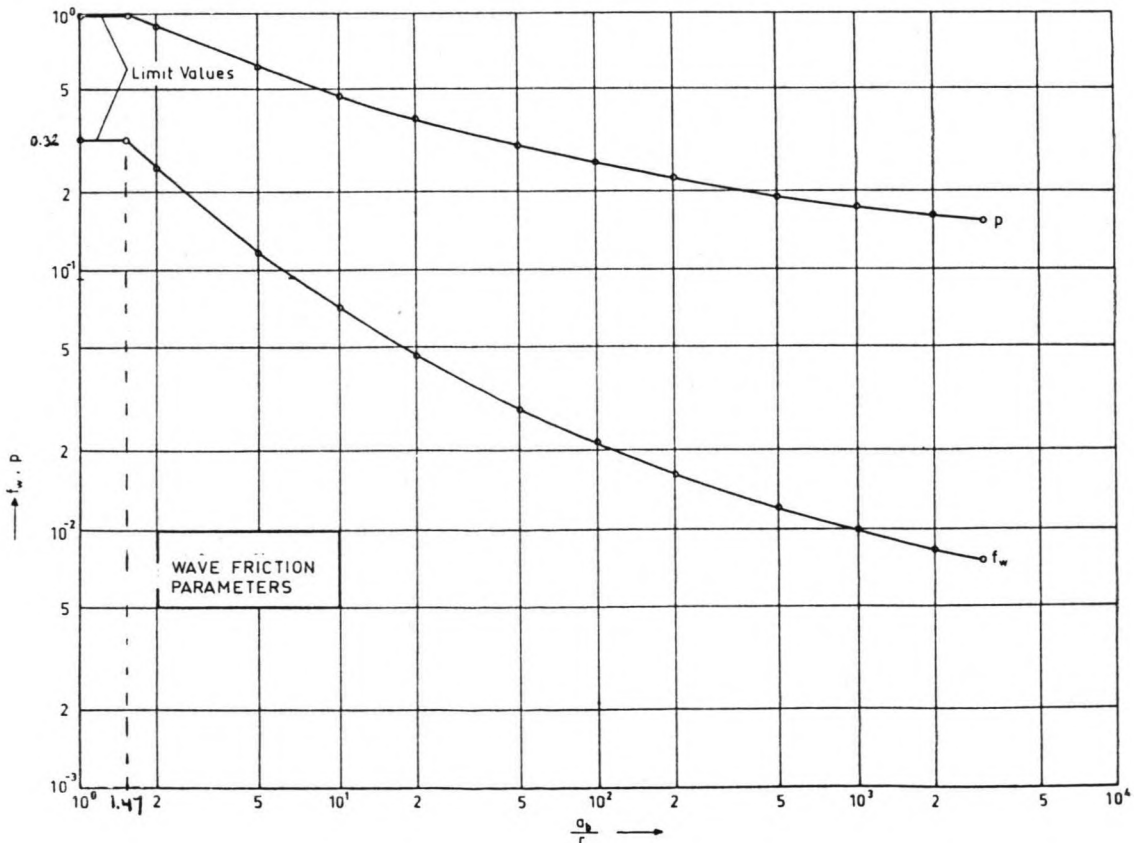
waarin f_w te bepalen is uit figuur B.1; deze is aan [18] ontleend.

\hat{u}_b = snelheidsamplitude aan de bodem
t.g.v. de golfinvloed

De factor β dient om de schuifspanningsterm in de oorspronkelijke Kalinske-Frijlink bodemtransportformule aan te passen om de golfinvloed in rekening te brengen.

Als geldt $\beta = 1$ is er alleen sprake van stromingsinvloeden op het bodemtransport. In het geval van de Wielingen zijn de termen ξ en u_b als volgt bepaald:

** ξ : m.b.v. vergelijking (B.1.3) en figuur B.1:



Figuur B.1: grafiek ter bepaling van de factor f_w

In deze figuur stelt a_b de amplitude van de horizontale verplaatsing aan de bodem voor:

$$a_b = \frac{H}{2} \frac{1}{\sinh k h} \quad (\text{B.1.4})$$

met: H = golfhoogte
 k = golfgetal = $2 \pi / \lambda$
 λ = golflengte (B.1.5)

Uitgaande van een significante golfhoogte $H_S = 0.75$ m en een significante golfperiode $T_S = 4$ sec, welke voor 60 à 70 % van de tijd in de Wielingen wordt onderschreden (lit [2], bijl. 4.3.4) kan bij een in dit geval toelaatbare diepwaterbenadering met $\lambda = 1.56 T^2$ gesteld worden:

$$a_b = \frac{0.75}{2} \frac{1}{\sinh \left[\frac{2\pi}{1.56 \cdot 4^2} 15 \right]} = 0.017 \text{ m}$$

NB voor h is de gemiddelde waterdiepte van 15 m gebruikt.

Ongeacht of voor r 0.1m, 0.3m of 0.5 m wordt ingevuld blijft de verhouding a_b/r kleiner dan de limietwaarde $a_b/r = 1.47$ zodat uit figuur B.1 volgt dat voor f_w de waarde 0.32 gebruikt kan worden.

Voor de toe te passen waarden van ϵ volgt nu (B.1.3):

r (m)	C ($m^{1/2}/s$)	ϵ
0.1	58.8	7.47
0.3	50.0	6.39
0.5	46.0	5.87

** $\hat{u}_b = \omega a_b$; $a_b = (\text{B.1.4})$

Bij toepassing van de hierboven gebruikte waarden $H_S = 0.75\text{m}$, $T_S = 4$ sec. en $\lambda = 1.56T^2$, geldt:

$$\hat{u}_b = \frac{2 \pi}{4} \frac{0.75}{2} \frac{1}{\sinh \left[\frac{2\pi}{1.56 \cdot 4^2} h \right]}$$

met als resultaat:

	GF I (h=13.5m)	GF II (h=15.3m)	GF III (h=16.0m)	GF IV (h=13.5m)
\hat{u}_b (m)	0.0394	0.0250	0.0210	0.0394

Voor het in de golffactor toe te passen product $\epsilon \hat{u}_b$ geldt:

$\epsilon \hat{u}_b$ (m)	GF I	GF II	GF III	GF IV
r = 0.1m	0.294	0.189	0.157	0.294
r = 0.3m	0.252	0.160	0.134	0.252
r = 0.5m	0.231	0.147	0.123	0.231

Met de in het voorgaande besproken parameters is het mogelijk voor de verschillende getijfasen m.b.v. de bodemtransportformule 5.12 een benadering van het optredende bodemtransport te krijgen. In onderstaande tabel zijn uitgezet de Chézy-waarde, de golffactor (B.1.2) en het optredend bodemtransport voor de verschillende ruwheidswaarden en getijfasen:

	GF I	GF II	GF III	GF IV
Chézy-waarde C (m ^{1/2} /s)				
r = 0.1m	57.8	58.8	59.1	57.8
r = 0.3m	49.2	50.2	50.5	49.2
r = 0.5m	45.2	46.2	46.5	45.2
Golffactor β				
r = 0.1m	1.48	1.04	1.03	1.09
r = 0.3m	1.35	1.03	1.02	1.09
r = 0.5m	1.30	1.02	1.02	1.07
Bodemtransport q_b (m ² /s)				
r = 0.1m	4.08 10 ⁻⁸	8.86 10 ⁻⁶	3.98 10 ⁻⁶	4.94 10 ⁻⁶
r = 0.3m	4.41 10 ⁻⁸	11.60 10 ⁻⁶	5.43 10 ⁻⁶	6.83 10 ⁻⁶
r = 0.5m	5.00 10 ⁻⁸	13.23 10 ⁻⁶	6.43 10 ⁻⁶	7.78 10 ⁻⁶

Tabel B.3: Overzicht van de Chézy-waarde, de golffactor en het bodemtransport voor de te onderscheiden getijfasen bij verschillende ruwheidswaarden

Voordat deze resultaten verwerkt worden in de berekening volgens de methode Fredsøe, kunnen bij bovenstaande resultaten de volgende opmerkingen geplaatst worden:

- a. Getijfase I heeft ten opzichte van de overige getijfasen een grotere golffactor (30 - 50%), maar een kleiner bodemtransport (factor 100 - 250). Dit wordt veroorzaakt door de geringe stroomsnelheid tijdens getijfase I.
- b. De golffactor β is bij de getijfasen II, III en IV nagenoeg gelijk aan 1.0 zodat de golfinvloed hier praktisch niet van invloed is op het bodemtransport.
- c. Het hanteren van verschillende ruweidswaarden leidt tot een variatie in het bodemtransport van maximaal een factor 1.6 (getijfase III, vergelijk $r=0.1m$ met $r=0.5m$). De invloed van de variatie van ruweidswaarden blijkt niet in grote mate op het bodemtransport door te werken.

Met de nu bepaalde bodemtransporten per getijfase kan de aanzanding benaderd worden. Omdat voor toepassing van de methode Fredsøe alleen evenwijdige- of bijna-evenwijdige geulaanstroming van belang is, zijn alleen de getijfasen II, III en IV in beschouwing genomen.

Ondanks de aanwezigheid van getijinvloeden is volgens Fredsøe zijn gepresenteerde theorie nog steeds bij benadering geldig als het bodemtransport over de getijperiode als volgt bepaald wordt:

$$q_{bm} = \int_0^T |q_b| dt \quad \begin{matrix} \text{(B.1.5)} \\ \text{(5.13)} \end{matrix}$$

met q_{bm} = getijgemiddelde van het bruto bodemtransport
(middeling uitgevoerd naar grootte, niet naar richting)
 T = getijperiode

Vergelijking B.1.5 is voor deze berekening te benaderen met:

$$q_{bm} = \frac{T_{II}}{T} q_{bII} + \frac{T_{III}}{T} q_{bIII} + \frac{T_{IV}}{T} q_{bIV} \quad \text{(B.1.6)}$$

waarbij de subscripten II, III en IV betrekking hebben op de getijfasen II, III, en IV.

Met substitutie van de waarden $T = 12.5$ uur, $T_{II} = 4$ uur, $T_{III} = 4$ uur en $T_{IV} = 3$ uur in vergelijking (B.1.6) geldt:

r (m)	q_{bm} ($\times 10^{-6}$ m ² /s)
0.1	5.30
0.3	7.09
0.5	8.16

Met behulp van bovenstaande resultaten kan vergelijking 5.11 ingevuld worden, waarin voor ν geldt (verg. 5.7):

$$\nu = \frac{q_{bm}}{(1-n) \tan \phi} = \frac{q_{bm}}{(1-0.4) \tan 27^\circ} = 3.271 q_{bm}$$

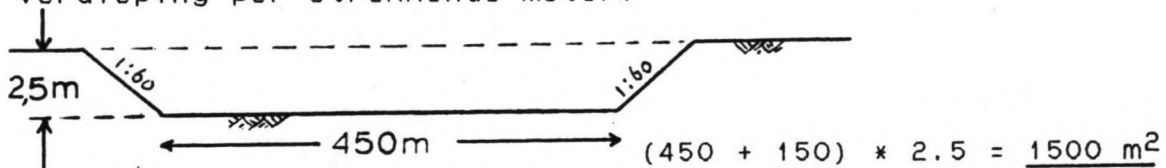
De resultaten worden in in onderstaande tabel voor waarden van $t = 1$ jaar en $t = 10$ jaar gepresenteerd:

A(t) (m ³ /m)	a = 2.5 m t = 1 jaar	a = 2.5 m t = 10 jaar
r = 0.1m	10.44	67.46
r = 0.3m	13.56	82.53
r = 0.5m	15.35	90.76

Tabel B.4: Aanzanding geldend voor 1 talud met $\tan \alpha_0 = 1/60$

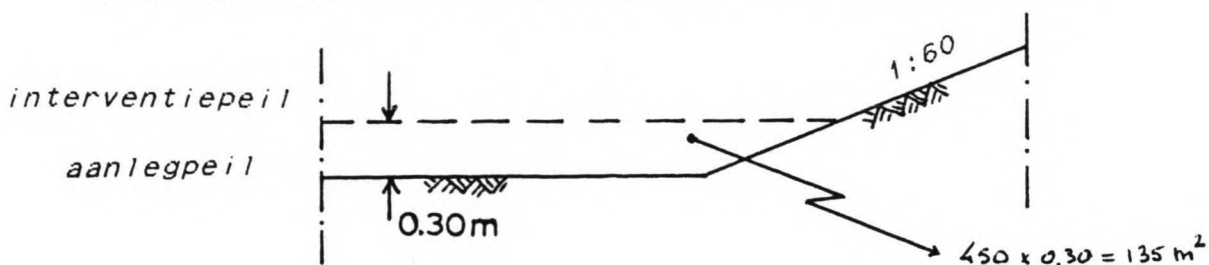
VERTALING VAN DE BEREKENINGSRESULTATEN NAAR AANZANDINGSSNELHEID EN ONDERHOUDSBAGGERWERK

Uitgaande van de initiële verdieping zoals die in hoofdstuk 4: gebiedsbeschrijving aan de orde is gesteld, is het volume van verdieping per strekkende meter:



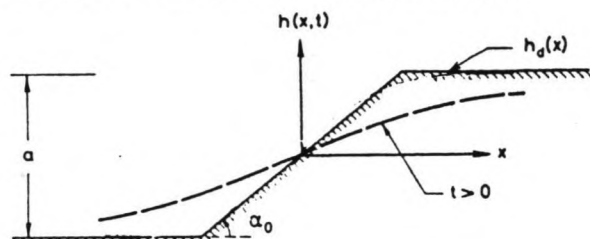
Een aanzanding van $2 \times 15.35 = 30.7 \text{ m}^2$ per jaar maximaal bedraagt slechts 2 % van dit oppervlak.

Ten aanzien van de marge: aanlegdiepte/interventiepeil van 0.30 m bedraagt deze aanzanding ongeveer 20 % op jaarbasis

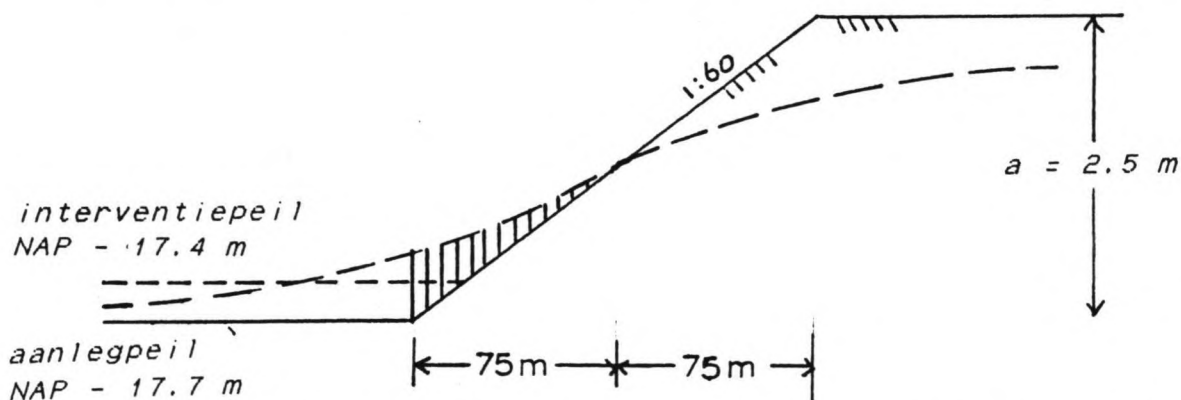


Lineair geïnterpoleerd betekent dit dat het oppervlak beneden het interventiepeil binnen ca. 5 jaar is aangezand. Wordt formule 5.11 gehanteerd, welke rekening houdt met een steeds flauwer wordend talud in de tijd, dan is dit punt binnen 8 à 10 jaar bereikt.

Bij deze interpretatie is voorlopig uitgegaan van een zich egaal opvullen van de overdiepte. Dit is echter niet de werkelijke gang van zaken: Het afgezette sediment bevindt zich voor het grootste gedeelte in de buurt van de taluds. Fredsøe geeft dit weer middels onderstaand plaatje:



Voor de in de Wielingen te baggeren geul kunnen daarbij de volgende afmetingen gehanteerd worden:



Het gearceerde deel van de aanzanding bevindt zich op het oorspronkelijke talud en dient niet als hinderlijk te worden opgevat voor de scheepvaart. De genoemde termijn van 8 à 10 jaar die nodig is om de overdiepte egaal op te vullen zal op grond hiervan enkele jaren langer zijn.

Daarentegen zal de periode dat de bodemligging aan de randen het interventiepeil bereikt korter zijn dan voornoemde 8 à 10 jaar.

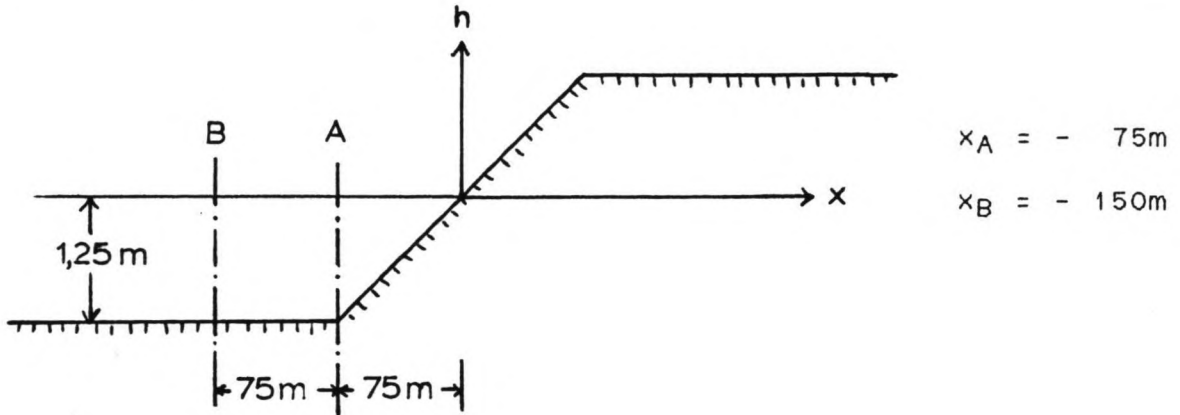
Voor het verloop van de bodemligging op het talud en in de geul hanteert Fredsøe de vergelijking 5.8:

$$h(x, t) = \frac{a}{2} F \left[\frac{x}{2\sqrt{v} (t + t_0)} \right]$$

met:

$$F(u) = \frac{2}{\sqrt{\pi}} \int_0^u \exp(-s^2) ds \quad (\text{errorfunctie})$$

De ontwikkeling van de bodemligging is beschouwd voor twee punten in de geul, namelijk de doorsnedes A en B:



In onderstaande tabel is voor $q_{bm} = 7.09 \cdot 10^{-6} \text{ m}^2/\text{s}$ (bodemtransport bij $r = 0.3m$) de ontwikkeling van de bodemligging van de doorsnedes A en B voor de eerste 10 jaar na geulaanleg opgenomen:

t (jaar)	dsn A (geulrand)		dsn B (75 m "geulinwaarts")	
	$h(x,t)$ (m)	aanzanding (m)	$h(x,t)$ (m)	aanzanding (m)
1	-0.98	<u>0.27</u>	-1.24	0.01
2.5	-0.84	0.41	-1.19	0.06
5	-0.70	0.55	-1.09	0.16
7.5	-0.61	0.64	-1.01	0.24
10	-0.55	0.70	-0.94	<u>0.31</u>

Tabel B.5: Aanzandingsverloop in de punten A en B gedurende de eerste 10 jaar na de geulverdieping

Ongeveer na één jaar is in punt A het interventiepeil al bereikt. In punt B wordt dit punt pas na ongeveer 10 jaar bereikt. De aanzanding in de geul beperkt zich volgens deze beschouwing voor het grootste deel op het talud en op de eerste 75 - 100 meter in de geul.

B.2 Aanzanding bij dwarsstroming m.b.v. de methode Bijker [8,9]

Aan de hand van de in par.5.4.2 gepresenteerde theorie is hier in eerste instantie berekend het totale volume van aanzanding van een zeer brede sleuf, genomen over de circa 10 % van de getijperiode dat dwarsstroming optreedt. (Appendix A: schematisatie van de getijstroming)

De bepaling van het totale aanzandingsvolume wordt gedaan aan de hand van vergelijking 5.17:

$$S_{v,tot} = (S_{1,tot} - S_{3,tot}) = (S_{s,1} + S_{b,1}) - (S_{s,3} + S_{b,3}) \quad \begin{matrix} \text{(B.2.1)} \\ \text{(5.17)} \end{matrix}$$

Waarin het bodemtransport S_b bepaald wordt met vergelijking 5.12:

$$S_b = \frac{B D v \sqrt{g}}{C} \exp \left[\frac{-0.27 \Delta D C^2}{\mu v^2 \beta} \right] \quad \begin{matrix} \text{(B.2.2)} \\ \text{(5.12)} \end{matrix}$$

en het gesuspendeerde transport hieraan gerelateerd wordt middels de in par.5.4.2 beschreven methode Bijker-Einstein.

Transportparameters:

De van belang zijnde parameters voor vergelijking B.2.2 zijn voor een groot deel over te nemen uit par.B.1 van deze Appendix.

Enige veranderingen en toevoegingen hierop zijn echter noodzakelijk:

** \bar{v} = vertikaalgemiddelde stroomsnelheid

In Appendix A is voor de getijperiode I (dwarsstroming) een stroomsnelheid bepaald die gemiddeld over de getijperiode en over de vertikaal een waarde heeft van: $\bar{v} = 0.30$ m/s.

Deze waarde is geldig voor de situatie in de geul bovenstrooms van de verdieping. Boven de verdiepte geulsectie moet op deze stroomsnelheid een factor 0.88 in rekening worden gebracht (Appendix A, tabel A.6). De in deze berekening toegepaste snelheden zijn: (subscripten 1 en 3 analoog aan de hierboven beschreven formules)

$$\bar{v}_1 = 0.30 \text{ m/s} \quad ; \quad \bar{v}_3 = 0.88 \times 0.30 = 0.264 \text{ m/s}$$

** \bar{h} = gemiddelde waterdiepte

De gemiddelde waterdiepte vóór verdieping bedraagt 15 meter; de gemiddelde waterdiepte van de verdiepte geul bedraagt 17.5 meter.

Getijfase I vindt plaats rond laagwater; dit betekent dat op de gemiddelde waterdieptes 1.5 meter in mindering moet worden gebracht:

$$\bar{h}_1 = 15 - 1.5 = 13.5\text{m} ; \quad \bar{h}_3 = 17.5 - 1.5 = 16\text{m}$$

** w = valsnelheid

Ter bepaling van de valsnelheid van een sedimentdeeltje zijn een aantal empirische formules beschikbaar. De belangrijkste parameters hierin zijn:

- D_{50} van het gesuspendeerde materiaal:

Bij afwezigheid van meetgegevens over de samenstelling van het gesuspendeerde materiaal is de D_{50} -waarde toegepast die ook voor het bodemmateriaal is toegepast (bijlage 8a):
 $D_{50} = 250 \cdot 10^{-6}$ meter.

$$\Delta = \frac{\rho_s - \rho_w}{\rho_w} = \text{relatieve dichtheid} = 1.59$$

- De viscositeit van het water:

Ter bepaling van de kinematische viscositeit ν is een formule gehanteerd die ook gebruikt is voor de Oosterschelde [21]:

$$\nu = (1.14 - 0.031(T - 15) + 0.00068(T - 15)^2) \cdot 10^6 \text{ (m}^2/\text{s)} \quad (\text{B.2.3})$$

Met: T = watertemperatuur ($^{\circ}\text{C}$)

Twee methoden zijn beschouwd om de valsnelheid van een sedimentdeeltje in water te bepalen:

1. Valsnelheidsformule in stilstaand water voor sediment volgens Rubey [21]:

$$w = \frac{\sqrt{0.67 g \Delta D_{50}^3 + (36 \nu^2)} - 6\nu}{D_{50}} \quad (\text{m/s}) \quad (\text{B.2.4})$$

Met: ν = kinematische viscositeit van het water
 Δ = relatieve dichtheid = 1.59

2. Empirische formules, gepresenteerd in lit. [18]:

$$T = 10 \text{ }^{\circ}\text{C}: \log \frac{1}{w} = 0.4954(\log D_{50})^2 + 2.41 \log D_{50} + 3.74$$

$$T = 18 \text{ }^{\circ}\text{C}: \log \frac{1}{w} = 0.476(\log D_{50})^2 + 2.18 \log D_{50} + 3.19$$

N.b. Deze formules gelden voor leidingwater.

Toepassing van beide methodes met voor ν = formule B.2.3 levert onderstaande resultaten:

watertemp. ($^{\circ}\text{C}$)	viscositeit ($\times 10^{-6} \text{ m}^2/\text{s}$)	Valsnelheid w (cm/s)	
		methode 1	methode 2
5	1,52	2.63	-
10	1.31	2.86	3.05
15	1.14	3.06	-
18	1.05	3.18	3.30

Tabel B.6: Valsnelheid w van een sedimentdeeltje in water bij verschillende watertemperaturen en berekeningsmethodes

Naar blijkt liggen de resultaten volgens de methodes 1 en 2 niet ver uiteen. Bij de in de berekening te hanteren waarde wordt uitgegaan van een gemiddelde watertemperatuur van 10 C. De gevonden waarden voor de valsnelheid vertonen bij deze watertemperatuur een verschil van 0.19 cm/s. Als representatieve waarde is hier het rekenkundig gemiddelde aangehouden van:

$$w = 2.95 \text{ cm/s}$$

** z_* = dimensieloze parameter

$$z_* = \frac{w}{k v_* \sqrt{\beta}}$$

(B.2.5)
(5.20)

met:

$$v_* = \text{schuifspanningsnelheid} = \nu \sqrt{g/C}$$

(B.2.6)
(5.21)

Vanwege de afhankelijkheid van parameters als de bodemruwheids-
waarde r , waterdiepte en snelheid zijn de verschillende aan
 z_* toe te kennen waarden opgenomen in tabel B.8

Een overzicht van de toegepaste parameters met de toegekende
waarden toont onderstaande tabel; nogmaals wordt vermeld dat de
parameters die niet in deze paragraaf behandeld zijn, al aan de
orde gekomen zijn in paragraaf B.1.

Parameter	Omschrijving	waarde	eenheid
B	Dimensieloze coëfficiënt	5	-
D_{50}	Korrel diameter van het sediment welke door 50% van de korrels wordt onderschreden	250 10^{-6}	m
D_{90}	Korrel diameter van het sediment welke door 90% van de korrels wordt onderschreden	400 10^{-6}	m
g	versnelling van de zwaartekracht	9.81	m/s^2
Δ	relatieve dichtheid	1.59	-
w	valsnelheid van een sediment- deeltje in water	2.95	cm/s
\bar{v}	vertikaalgemiddelde stroomsnelheid	$\bar{v}_1 = 0.30$ $\bar{v}_3 = 0.88 \times \bar{v}_1$ $= 0.264$	m/s
\bar{h}	gemiddelde waterdiepte	$\bar{h}_1 = 13.5$ $\bar{h}_3 = 16.0$	m
C	Chézy - coëfficiënt	Tabel B.8	$m^{1/2}/s$
r	ruwheidswaarde	0.1 0.3 0.5	m
μ	ribbelfactor	Tabel B.8	-
β	golffactor	Tabel B.8	-
z_*	dimensieloze parameter	Tabel B.8	-

Tabel B.7: Overzicht van de voor de berekening van belang zijnde
parameters

	onverdiepte situatie ($\bar{v}_1 = 0.3 \text{ m/s}$; $\bar{h}_1 = 13.5\text{m}$)	verdiepte situatie ($\bar{v}_3 = 0.264 \text{ m/s}$; $\bar{h}_3 = 16.0\text{m}$)
$C \text{ (m}^{1/2}/\text{s)}$		
$r = 0.1\text{m}$	57.8	59.1
$r = 0.3\text{m}$	49.8	50.5
$r = 0.5\text{m}$	45.2	46.5
$\mu \text{ (-)}$		
$r = 0.1\text{m}$	0.433	0.439
$r = 0.3\text{m}$	0.340	0.347
$r = 0.5\text{m}$	0.300	0.307
$\beta \text{ (-)}$		
$r = 0.1\text{m}$	1.48	1.18
$r = 0.3\text{m}$	1.35	1.13
$r = 0.5\text{m}$	1.30	1.11
$z_* \text{ (-)}$		
$r = 0.1\text{m}$	3.72	4.80
$r = 0.3\text{m}$	3.36	4.23
$r = 0.5\text{m}$	3.10	3.94
$r/h \text{ (-)}$		
$r = 0.1\text{m}$	$7.4 \cdot 10^{-3}$	$6.3 \cdot 10^{-3}$
$r = 0.3\text{m}$	$2.2 \cdot 10^{-2}$	$1.9 \cdot 10^{-2}$
$r = 0.5\text{m}$	$3.7 \cdot 10^{-2}$	$3.1 \cdot 10^{-2}$

Tabel B.8: C , μ , β , z_* en r/h bij verschillende geul-configuraties en ruheidswaarden

Berekening van de optredende zandtransporten

In eerste instantie wordt het totale volume van aanzanding per tijdsinterval bepaald door vergelijking B.2.1 in te vullen.

De vergelijking is opgebouwd uit bodemtransporten en gesuspendeerde transporten. Per situatie (1: onverdiept ; 3: verdiept) dienen dan bepaald te worden S_S en S_B .

Met behulp van de in het voorgaande beschreven parameters en de theorie zoals die in paragraaf 5.4.2 is beschreven kunnen deze transporten bepaald worden. Tabel B.9 toont de resultaten(*)

	S_B (m ² /s)	S_S/S_B (-)	S_S (m ² /s)	$S_{V,tot}$ (m ² /s)
Situatie 1: $v_1 = 0.30$ m/s $h_1 = 13.5$ m				
$r = 0.1$ m	$4.1 \cdot 10^{-8}$	0.6	$2.5 \cdot 10^{-8}$	$6.5 \cdot 10^{-8}$
$r = 0.3$ m	$4.4 \cdot 10^{-8}$	0.6	$2.7 \cdot 10^{-8}$	$7.1 \cdot 10^{-8}$
$r = 0.5$ m	$5.0 \cdot 10^{-8}$	0.7	$3.5 \cdot 10^{-8}$	$8.5 \cdot 10^{-8}$
Situatie 3: $v_3 = 0.264$ m/s $h_1 = 16.0$ m				
$r = 0.1$ m	$5.5 \cdot 10^{-10}$	0.4	$2.2 \cdot 10^{-10}$	$7.6 \cdot 10^{-10}$
$r = 0.3$ m	$9.2 \cdot 10^{-10}$	0.5	$4.6 \cdot 10^{-10}$	$13.7 \cdot 10^{-10}$
$r = 0.5$ m	$12.5 \cdot 10^{-10}$	0.5	$6.3 \cdot 10^{-10}$	$18.7 \cdot 10^{-10}$

Tabel B.9: Berekende zandtransporten in de ongewijzigde (1) en in de verdiepte (3) situatie

(*) Het bodemtransport S_B is bepaald met de formule B.2.2
De verhouding S_S/S_B is bepaald uit figuur 5.9 met behulp van de parameters z_x en r/h .

Met behulp van bovenvermelde zandtransporten kan het totale volume van aanzanding bepaald worden middels vergelijking B.2.1:

$$S_{v,tot} = (S_{s,1} + S_{b,1}) - (S_{s,3} + (S_{b,3}) \quad (B.2.1)$$

met als resultaat:

$$r = 0.1m : S_{v,tot} = 6.5 \cdot 10^{-8} \text{ m}^2/\text{s}$$

$$r = 0.3m : S_{v,tot} = 6.9 \cdot 10^{-8} \text{ m}^2/\text{s}$$

$$r = 0.5m : S_{v,tot} = 8.3 \cdot 10^{-8} \text{ m}^2/\text{s}$$

Uitgaande van:

- Getijfase I (dwarsstroming) treedt 1.5 uur per getij op
- 1 dag telt $24/T$ getijden, met $T =$ getijperiode ≈ 12.5 uur
- 1 jaar telt 365 dagen

wordt voor de aanzanding per strekkende meter geullengte een maximale waarde gevonden bij $S_{v,tot} = 8.3 \cdot 10^{-8} \text{ m}^2/\text{s}$ van:

Aanzanding_{1 jaar} =

$$8.3 \cdot 10^{-8} \cdot 1.5 \cdot 3600 \cdot \frac{24}{12.5} \cdot 365 = 0.32 \text{ m}^3/\text{m jaar}$$

In deze waarde is de porositeit al verwerkt: ze heeft betrekking op het volume van afgezet sediment. Bij een breedte van de gebaggerde sleuf van 450m en de aanname van het zich egaal afzetten van de aanzanding op de geulbodem komt dit overeen met een maximale aanzanding van $0.32/450 = 0.0007 \text{ m}^3/\text{m}^2 \cdot \text{jaar} = \underline{0.7 \text{ mm/jr}}$

Het merendeel van het sediment zal afgezet worden bij het noordelijke talud: de aanzandingssnelheid zal hier enkele millimeters per jaar bedragen.

Deze mate van aanzanding is dusdanig klein, dat deze te verwaarlozen is vergeleken bij de resultaten van par.B.1.

Op grond van deze overwegingen is de methode Bijker hier niet verder uitgewerkt, en kan geconcludeerd worden dat tijdens getijfase I geen wezenlijke bijdrage geleverd wordt aan de aanzanding van de sleuf.

B.3 Aanzandingsberekening volgens de methode Eysink en Vermaas [13]

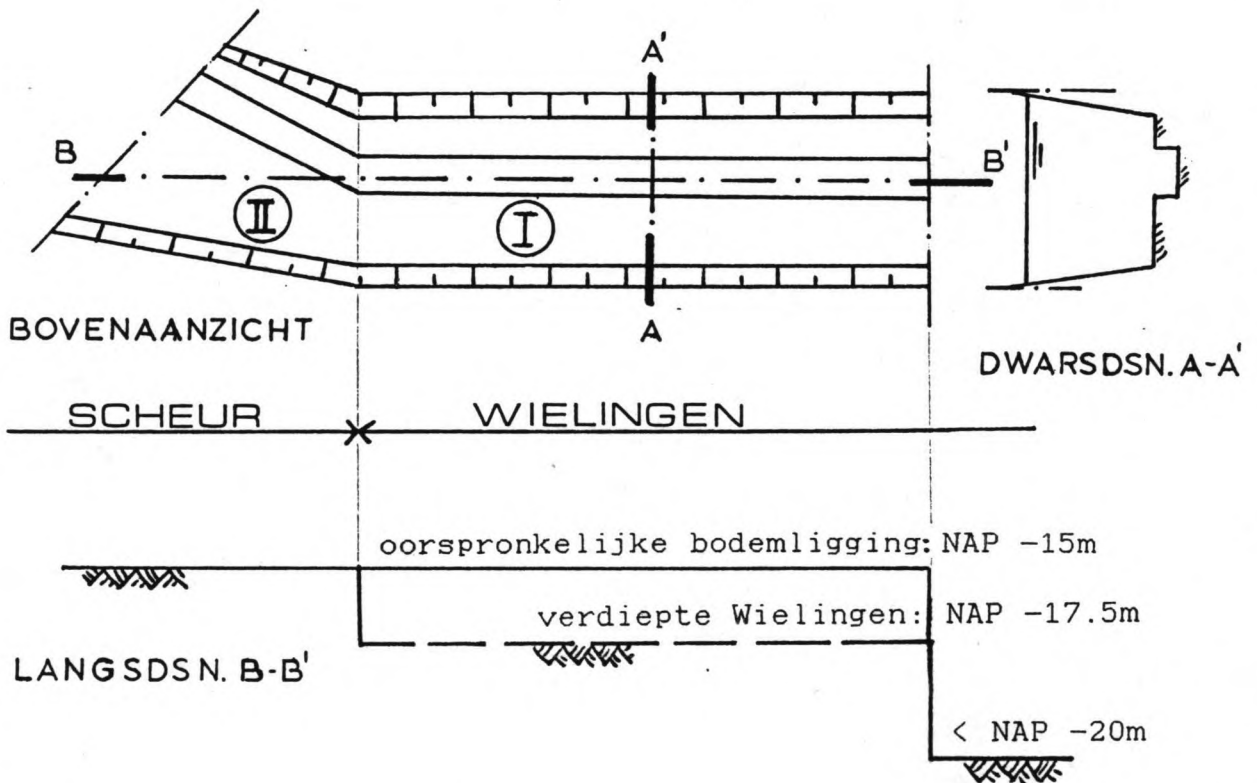
Toepassing op het studiegebied

Om de in paragraaf 5.4.3 beschreven theorie toe te kunnen passen op de Wielingen en naastgelegen gebieden is een ver doorgevoerde schematisatie toegepast. Deze schematisatie is tweeledig:

1. Schematisatie van de geulgeometrie
2. schematisatie van het getij

ad. 1. Geometrieschematisatie

Het in fig. B.2 getekende bovenaanzicht wordt langs de aangegeven lengteas geschematiseerd tot de voor de berekening toe te passen langsdorsnede.



Figuur B.2: Geometrieschematisatie van de Wielingen

Gebied I: Wielingen heeft bij benadering een bodemligging vóór verdieping van NAP -15 m en na de verdieping van NAP -17.5 m.

Gebied II: Scheur dient geschematiseerd te worden. In dit gebied loopt de reeds verdiepte Scheurpas (ca. NAP -17.5 m) die onder een hoek aansluit op de Wielingen. Als toe te passen bodemligging is echter aangehouden NAP -15 m om op dit gebied de berekening toe te kunnen passen. Bij de interpretatie van de resultaten dient deze afwijkende schematisatie in gedachten gehouden te worden.

ad. 2. Getijschematisatie

Van belang voor toepassing van de methode Eysink-Vermaas is vooral het optreden van eb- c.q. vloedstroming.

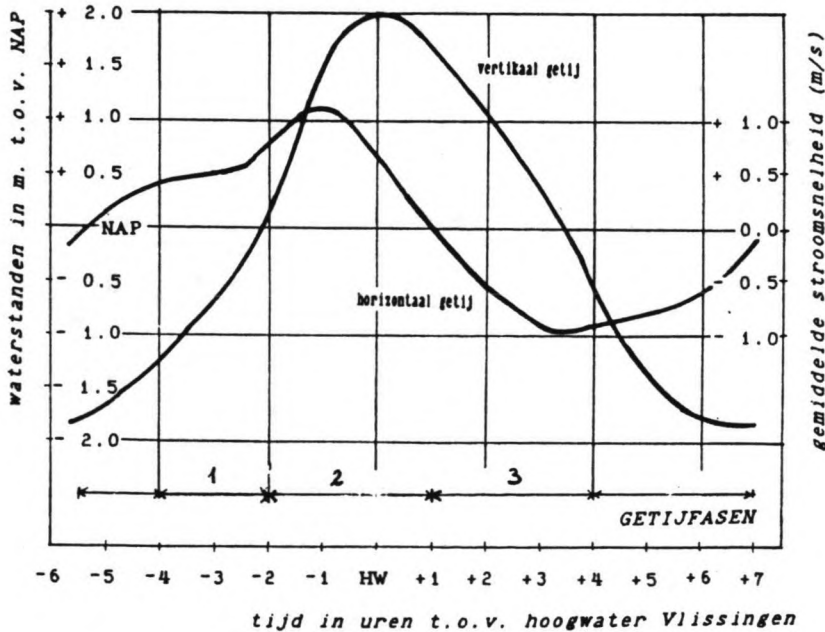
Uit onderstaande getijkromme van Vlissingen, geldend voor gemiddeld getij, en de stroomkromme voor gemiddeld getij in de Wielingen is te zien dat:

- * vloedstroming optreedt van 5,5 uur voor tot 1 uur na HW
- * ebstroming optreedt van 1 uur na tot 7 uur na HW

Waarbij in de getijfase 1: 5,5 uur voor tot 4 uur voor HW (Appendix A) een stroming nagenoeg dwars op de geul optreedt. Voor deze berekening zijn van belang de volgende getijfasen:

	periode	\bar{v} (m/s)	waterstand (m. t.o.v. NAP)	gemiddelde aanstroomhoek (°)
vloed	1. 4 voor - 2 voor	0.50	- 0.70	15
	2. 2 voor - 1 na	0.75	+ 1.50	15
eb	3. 1 na - 4 na	0.70	+ 0.70	10
	4. 4 na - 7 na	0.60	- 1,50	0

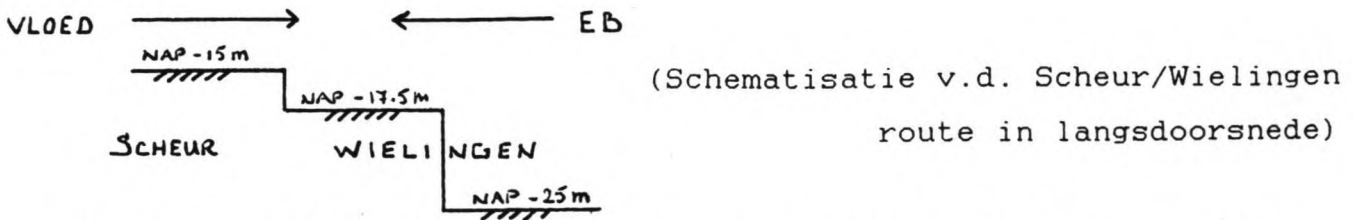
Tabel B.10 : getijschematisatie



Figuur B.3: getijkromme Vlissingen, stroomkromme Wielingen

Berekeningen:

Toepassing van de hier beschouwde methode op de Wielingen kan gemakkelijk gebeuren voor de vloedperiode



Alleen de vloedstroming kan sedimentatie in de sleuf veroorzaken; erosie kan zowel vloed- als ebstroming veroorzaakt worden.

De getijfasen 1 en 2, die de vloedstroming beschrijven, zijn in eerste instantie als uitgangspunt genomen bij de toepassing van de methode Eysink-Vermaas. In analogie met paragraaf B.2 wordt voor de bepaling van de evenwichtstransporten T_{1e} en T_{2e} gebruik gemaakt van de methode Bijker/Einstein:

Het bodemtransport wordt bepaald met vergelijking 5.17 en de verhouding S_s / S_b met behulp van figuur 5.9.

* Een aantal parameters die in par.B.2 gebruikt zijn behouden dezelfde waarde, te weten:

- B = 5 [-]
- $D_{50} = 250 \cdot 10^{-6} \text{ m}$
- $D_{90} = 400 \cdot 10^{-6} \text{ m}$
- w = 0.0295 m/s

Een nieuwe parameter die in deze berekening geïntroduceerd wordt, is de factor f:

$$f = \frac{u_{2g} h_2}{u_1 h_1} \quad (\text{B.3.1})$$

* De waarde u_{2g} is te bepalen uit:

- u_1
- De in Appendix (tabel A.6) bepaalde factor $u_{2g}/u_1 = 1.07$ (voor aanstroming onder 10 - 15 graden)

$$\rightarrow u_{2g} = 1.07 u_1$$

* Dan geldt voor f:

- Getijfase 1: $f = 1.07 \frac{(17.5 - 0.7)}{(15 - 0.7)} = 1.257$
- Getijfase 2: $f = 1.07 \frac{(17.5 + 1.5)}{(15 + 1.5)} = 1.232$

Om een zekere eenduidigheid in de berekeningen, gepresenteerd in de paragrafen B.1, B.2 en B.3 aan te houden is ook hier gewerkt met drie waarden voor de parameter r (ruwheidswaarde): $r = 0.1\text{m}$, 0.3m en 0.5m . De verder van belang zijnde parameters zijn hierna in tabelvorm weergegeven:

parameters	GETIJFASE 1		GETIJFASE 2	
	onverdiept	verdiept	onverdiept	verdiept
gemiddelde waterdiepte (m)	14.30	16.80	16.50	19.00
vertikaalgem. stroomsnelheid (m/s)	0.50	0.54	0.75	0.80
Chezy - coeff. ($m^{1/2}/s$)				
r=0.1m	58.2	59.5	59.3	60.4
r=0.3m	49.6	50.9	50.8	51.9
r=0.5m	45.6	46.9	46.8	47.9
Golffactor β (-)				
r=0.1m	1.12	1.03	1.02	1.00
r=0.3m	1.09	1.02	1.01	1.00
r=0.5m	1.07	1.02	1.01	1.00
bodemtransport S_b ($\times 10^{-6} m^2/s$)				
r=0.1m	1.7	2.0	11.1	13.1
r=0.3m	2.3	2.9	14.3	16.9
r=0.5m	2.7	3.4	16.2	19.2
z_* (5.20) (-)				
r=0.1m	2.59	2.58	1.84	1.78
r=0.3m	2.24	2.22	1.59	1.53
r=0.5m	2.08	2.04	1.46	1.41
$A = r/h$ (-)				
r=0.1m	.007	.006	.006	.005
r=0.3m	.021	.018	.018	.016
r=0.5m	.035	.030	.031	.026
S_b/S_s (-); schatting uit fig. 5.9				
r=0.1m	1.1	1.2	2.2	2.4
r=0.3m	1.3	1.3	2.5	2.7
r=0.5m	1.3	1.4	2.5	2.9
S_{tot} (= T_e) ($\times 10^{-6} m^2/s$)				
r=0.1m	3.6	4.4	35.5	44.5
r=0.3m	5.3	6.7	50.1	62.5
r=0.5m	6.2	8.2	56.7	74.9

Tabel B.11: Waarden van de gehanteerde parameters

- * Met de waarden f en S_{tot} kan per getijfase bepaald worden vergelijking 5.25:

$$S_{tot} = f T_{1e} - T_{2e} \quad (m^2/s)$$

S_{tot} is het totale verticale transport in de sleuf per strekkende meter sleufbreedte tussen $x = 0$ en $x = \infty$ (fig 5.10)

- * GETIJFASE 1, S_{tot} (m^2/s):

$$r = 0.1m: (1.257 \times 3.6 - 4.4) 10^{-6} = +0.09 10^{-6} m^2/s$$

$$r = 0.3m: (1.257 \times 5.3 - 6.7) 10^{-6} = -0.02 10^{-6} m^2/s$$

$$r = 0.5m: (1.257 \times 6.2 - 8.2) 10^{-6} = -0.35 10^{-6} m^2/s$$

- * GETIJFASE 2, S_{tot} (m^2/s):

$$r = 0.1m: (1.232 \times 35.5 - 44.5) 10^{-6} = -0.80 10^{-6} m^2/s$$

$$r = 0.3m: (1.232 \times 50.1 - 62.5) 10^{-6} = -0.87 10^{-6} m^2/s$$

$$r = 0.5m: (1.232 \times 56.7 - 74.9) 10^{-6} = -5.03 10^{-6} m^2/s$$

Aanzanding treedt alleen op (in geringe mate) tijdens getijfase 1 bij $r = 0.1m$; alle overige combinaties leveren erosie op.

Erosie per vloedperiode: (getijfases 1 en 2)

$$r=0.1m: (-0.09 10^{-6} \times 2 \times 3600) + (0.80 10^{-6} \times 3 \times 3600) = 8.0 \cdot 10^{-3} m^2/vloedper.$$

$$r=0.3m: (+0.02 10^{-6} \times 2 \times 3600) + (0.87 10^{-6} \times 3 \times 3600) = 9.5 \cdot 10^{-3} \quad "$$

$$r=0.5m: (+0.35 10^{-6} \times 2 \times 3600) + (5.03 10^{-6} \times 3 \times 3600) = 5.8 \cdot 10^{-2} \quad "$$

Bij een geulbreedte van 450 meter bedraagt de erosie op jaarbasis maximaal (bij $r = 0.5m$):

$$0.058 \times 450 \times (24/12.5) \times 365 \approx 18 \cdot 10^3 m^3$$

- * Als ter indicatie aangenomen wordt dat het gebied waar erosie optreedt zich uitstrekt over 2 à 3 maal de geulbreedte vanaf de rand ($x = 0$) geeft dit in het geval van de maximale uitschuring een erosie van circa 3 cm per jaar:

$$\left[\frac{18000 \text{ m}^3}{450\text{m} \times (3 \times 450\text{m})} \right] \approx 0.03 \text{ m.}$$

- ** Bij de interpretatie van de resultaten is de grootste voorzichtigheid geboden wegens:

1. De sterke schematisatie van de geometrie
2. het alleen beschouwen van de vloedperiode

De berekende erosie kan wellicht bij een andere geometrie-schematisatie omslaan in aanzanding. Als echter ook de ebperiode in rekening gebracht wordt, die normaliter alleen erosie in het overgangsgebied veroorzaakt, kan voorzichtig geconcludeerd worden dat in het beschouwde gebied erosie op zal treden.

Tevens is het van belang te bedenken dat het te verdiepen gedeelte van de Wielingen circa 8 km lang is, en het hier beschouwde verschijnsel slechts aan één rand afspeelt over een lengte van 1000 à 1500 meter.

APPENDIX C

Berekeningsbijlage behorend bij paragraaf 6.

EEN KWANTITATIEVE BESCHOUWING VAN DE RESULTERENDE ZANDTRANSPORTEN DOOR DE GEBIEDSGRENZEN A EN B.

C.1 Resulterende zandtransporten door gebiedsgrens A

De benadering van de grootte van het optredende resulterende zandtransport door gebiedsgrens A is uitgevoerd op basis van:

1. Interpretatie van meetgegevens
2. Berekeningen m.b.v. transportformules

ad. 1: Meetgegevens

Ter beschikking staan een beperkt aantal zandconcentratieingen uitgevoerd ten zuiden van de vaargeul, onder de Zeeuws-Vlaamse kust. Aanwezig zijn:

- a. Nederlandse zandconcentratieingen M4 en M8 (bijlage9a)

Meetgegevens M4: 10 juli 1979 (bijna springtij); meetduur 12u0m; gemiddelde diepte: 13.4m.

Schatting v.h. gemiddeld vloedtransport: $\bar{x}_{vl} = 0.56$ kg/sm

Schatting v.h. gemiddeld ebtransport: $\bar{x}_{eb} = 0.64$ kg/sm

Duur v.d. vloed ≈ 6 uur; Duur v.d. eb ≈ 6.5 uur.

$$\begin{aligned} \text{Per getij: } \Delta_{vl} * \bar{x}_{vl} &= 6 * 3600 * 0.56 \approx 12 * 10^3 \text{ kg/m getij} \\ \Delta_{eb} * \bar{x}_{eb} &= 6.5 * 3600 * 0.64 \approx 15 * 10^3 \text{ kg/m getij} \end{aligned}$$

→Resultierend ebtransport van circa 3.10^3 kg/m getij

Bij een soortelijke massa v.h. sediment van 2650 kg/m³ en een porositeit van $n = 0.4$ is dit:

$$\frac{3.10^3}{2650} * \left[\frac{1}{1 - 0.4} \right] = 1.89 \text{ m}^3 / \text{m getij}$$

Bij een geulbreedte van 500 meter is dit op jaarbasis:

$$1.89 * 500 * (24/12.5) * 365 \approx \underline{0.6 \text{ miljoen m}^3/\text{jaar.}}$$

Meetgegevens M8: 10 juli 1979 (bijna springtij); meetduur 11u30m; gemiddelde waterdiepte: 9.0m (dus buiten de geul, op de voor de kust gelegen bank).

Op analoge manier als bij M4 is ook hier het resulterend transport bepaald, wat een resulterend vloedtransport blijkt te zijn van ongeveer 20000 m³ per jaar.

- b. Belgische meetgegevens, getoond in bijlage9b, waarbij alleen meetpunt 2 in de buurt van de vaargeul ligt.

(ongeveer de lokatie van M4). De resultaten van de metingen zijn gepresenteerd in vectorvorm; op grond hiervan kan voor meetpunt 2 een resulterend ebtransport worden opgemeten van $5000/\sqrt{2} \cdot 5.75 \approx 40000 \text{ kg/m}$ getij. Op analoge wijze als onder a. kan dit omgerekend worden tot 8.8 miljoen m³ per jaar.

ad. 2: Berekeningen

Als getijschematisatie wordt toegepast die, welke in appendix B, par.B.3 is gepresenteerd, met de nadruk op eb- en vloedperiode bij nagenoeg evenwijdige aanstroming:

getijperiode	\bar{v} (m/s)	waterstand (m tov NAP)	aanstr. hoek α (graden)	gem. diepte (m)	Duur v.d. periode (uur)	
vloed {	1. 4 voor - 2 voor	0.50	- 0.70	15	14.30	2
	2. 2 voor - 1 na	0.75	+ 1.50	15	16.50	3
eb {	3. 1 na - 4 na	0.70	+ 0.70	10	16.70	3
	4. 4 na - 7 na	0.60	- 1.50	0	13.50	3

Tabel C.1: Getijschematisatie

Per getijperiode wordt het totale transport berekend met de ook in Appendix B toegepaste methode Bijker-Einstein. De daar toegepaste parameters zijn ook hier gebruikt; alleen voor de parameters r en β is een constante waarde gehanteerd van: $r = 0.3 \text{ m}$ en $\beta = 1.3$

Getijperiode	S_b (m ² /s)	C (m ³ /s)	z_k (-)	S_{tot}/S_b (-)	S_{tot} (m ² /s)	
vloed {	1	$3.7 \cdot 10^{-6}$	49.6	2.10	2.4	$8.9 \cdot 10^{-6}$
	2	$19.5 \cdot 10^{-6}$	50.8	1.40	3.8	$74.1 \cdot 10^{-6}$
eb {	3	$15.8 \cdot 10^{-6}$	50.3	1.50	3.6	$56.9 \cdot 10^{-6}$
	4	$9.4 \cdot 10^{-6}$	49.1	1.75	3.0	$28.1 \cdot 10^{-6}$

Tabel C.2: Berekeningsparameters en -resultaten

Dit levert een resulterend ebtransport per getijperiode op van:

$$3600 \times 10^{-6} \times [(56.9 \times 3 + 28.1 \times 3) - (8.9 \times 2 + 74.1 \times 3)] = 0.054$$

m³/ m getij

Op jaarbasis komt dit overeen met (geulbreedte 500m):

$$0.054 \times 500 \times (24/12.5) \times 2650 \approx 20000 \text{ m}^3 \text{ per jaar.}$$

N.B: Met een kleine verandering in bv. de getijschematisatie zou dit geringe ebtransport om kunnen slaan in een resulterend vloedtransport.

C.2 Resultierende zandtransporten door gebiedsgrens B

Methode van berekening:

Per getijperiode is slechts 1½ uur van belang: tijdens deze fase treedt er een dwarsstroming op van het bankengebied De Raan naar de Wielingen met $\bar{v} = 0.5$ m/s. Aangenomen is (uitgangspunten par. 6.4.2) dat het in deze getijfase optredende sedimenttransport verantwoordelijk is voor het hier te bepalen resulterende zandtransport door gebiedsgrens B.

Het optredende sedimenttransport wordt ook hier bepaald met de methode Bijker-Einstein.

Parameters, van toepassing op het bankengebied:

- $B = 5$ (-)
 $D_{50} = 200 \cdot 10^{-6}$ m
 $D_{90} = 250 \cdot 10^{-6}$ m } (zie bijlage 8b: zandmonster v.h. bankengebied)
 $\bar{v} = 0.50$ m/s
 $\bar{h} = 3.5$ m
 $r = 0.1$ m (slechts één waarde van r wordt toegepast)
 $\Delta = 1.59$ (-)
 $C = 18 \log (12 h/r) = 47.2$ m^{1/2}/s
 $C_{D90} = 18 \log (12h/D_{90}) = 94.1$ m^{1/2}/s
 $\mu = (C / C_{D90})^{1/2} = 0.36$
 $w =$ valsnelheid; Deze is bepaald analoog als in appendix B, par.B.2 m.b.v. de formules van Rubey [21] en van lit. [18]. Onderstaande tabel toont de resultaten

Temperatuur (°C)	viscositeit (m ² /s)	w (cm/s)	
		Rubey	lit. [18]
5	1.52 · 10 ⁻⁶	1.90	
10	1.31 · 10 ⁻⁶	2.10	2.30
15	1.14 · 10 ⁻⁶	2.29	
18	1.05 · 10 ⁻⁶	2.40	2.52

Als toe te passen w - waarde is genomen $w = 2.20$ cm/s
 Dit is het gemiddelde van de twee methodes bij een watertemperatuur van 10°C.

Een parameter waaraan hier wat meer aandacht besteed is, is de golffactor β . De invloed hiervan boven het bankengebied is aanmerkelijk groter dan in de geul.

De golffactor is op dezelfde wijze berekend als beschreven in Appendix B, par.B.2. Deze berekening wordt hier een aantal malen uitgevoerd, omdat er hier gewerkt is met een aantal combinaties [Hs,Ts]. Deze zijn bepaald op grond van golfregistraties boven het bankengebied met een zogenaamde "Waverider" boei.

Bijlage 2 toont de verwerkte registraties voor het jaar 1986 waarbij zowel de significante golfhoogte Hs als de significante golfperiode Ts in intervallen zijn opgedeeld. Per combinatie van de Hs- en Ts- intervallen is vermeld hoeveel registraties plaats hebben gevonden. Het getal rechtsonder in de tabel geeft het totaal aantal registraties weer voor de beschouwde waterstands-klasse. (in dit geval: waterstand < NAP -0.50m).

Onderstaande tabel toont de in deze berekening opgenomen combinaties [Hs,Ts], het percentage van voorkomen, en de golffactor:

Combinatie [Hs,Ts] (m, s)	percentage van voorkomen	golffactor β (-)
[0.25; 2.5]	21	1.31
[0.25; 4.5]	12	3.14
[0.75; 2.5]	18	3.75
[0.75; 4.5]	23	8.80
[1.25; 2.5]	1	8.67
[1.25; 4.5]	18	17.7
[1.75; 4.5]	5	27.3
[2.25; 4.5]	2	38.9

Tabel C.3: Combinaties [Hs;Ts] met percentage van voorkomen en de bijbehorende golffactor β

Voorbeeld van verwerking van de combinatie [Hs;Ts] = [1.25;4.5] ter bepaling van de golffactor β :

$$\beta = \text{golffactor} = \left[1 + \frac{1}{2} \left[\frac{\epsilon \hat{u}_b}{v} \right]^2 \right]$$

Van belang in deze formule zijn de parameters \hat{u}_b en ϵ :

* $\hat{u}_b = \omega a_b$ met: $\omega = 2\pi/T$

$$a_b = \frac{H}{2} \frac{1}{\sinh k h}$$

met: $k = \text{golffetal} = 2\pi/\lambda$
met: $\lambda = \text{golflengte}$

Voor de parameters T en H kan gesubstitueerd worden resp. de waarden voor Ts en Hs. De golflengte kan niet direct met een diep- of ondiepwaterbenadering bepaald worden, daarom is hier de in lit [15] (form.2-4.b) gepresenteerde benaderingsformule gehanteerd: (benadering tot 5% nauwkeurig)

$$\lambda \simeq \frac{g T^2}{2 \pi} \sqrt{\tanh \left[\frac{4\pi^2 h}{T^2 g} \right]}$$

Als deze formule ingevuld wordt levert dit voor de golflengte: $\lambda = 24.5$ m.

--> $k = 2\pi / 24.5 = 0.256 \text{ m}^{-1}$

--> $a_b = \frac{1.25}{2} \frac{1}{\sinh (0.256 * 3.5)} = 0.61 \text{ m}$

--> $\hat{u}_b = 2\pi/4.5 * 0.61 = 0.86 \text{ m/s}$

* $\epsilon = C \sqrt{\frac{f_w}{2g}}$

waarin $C = 47.2 \text{ m}^{1/2}/\text{s}$ en f_w bepaald wordt uit de aan lit.[18] ontleende figuur B.1.

Voor de waarde $a_b/r = 6.1$ wordt gevonden: $f_w = 0.10$

--> $\epsilon = 47.2 * \sqrt{0.10/(2*9.8)} = 3.37$

→ $\beta = 1 + \frac{1}{2} \left[\frac{0.86 * 3.37}{0.50} \right]^2 = 17.7$

* Voor de verschillende combinaties [Hs;Ts] is de methode Bijker-Einstein toegepast om het optredende totale zandtransport te bepalen. Onderstaande tabel geeft een overzicht van S_b , z_* en S_t/S_b :
(S_t/S_b is bepaald met de aan lit [18] ontleende figuur 5.9, met $A = r/h = 0.1/3.5 = 0.03$)

[Hs;Ts] (m; s)	% van voor- komen	S_b (m ² /s)	z_* (-)	S_t/S_b (-)
[0.25; 2.5]	21	$0.65 \cdot 10^{-5}$	1.45	3.5
[0.25; 4.5]	12	$1.67 \cdot 10^{-5}$	0.94	7.5
[0.75; 2.5]	18	$1.87 \cdot 10^{-5}$	0.86	9.0
[0.75; 4.5]	23	$2.60 \cdot 10^{-5}$	0.56	17
[1.25; 2.5]	1	$2.59 \cdot 10^{-5}$	0.56	13
[1.25; 4.5]	18	$2.94 \cdot 10^{-5}$	0.39	24
[1.75; 4.5]	5	$3.06 \cdot 10^{-5}$	0.32	35
[2.25; 4.5]	2	$3.14 \cdot 10^{-5}$	0.27	41

Tabel C.4: Berekende zandtransporten per combinatie [Hs;Ts]

Een gemiddeld toe te passen waarde voor het transport dat tijdens de getijfase van 1½ uur optreedt is als volgt te bepalen:

$$0.65 \cdot 10^{-5} \cdot 3.5 \cdot 0.21 = 0.5 \cdot 10^{-5} \text{ m}^2/\text{s}$$

$$1.67 \cdot 10^{-5} \cdot 7.5 \cdot 0.12 = 1.5 \cdot 10^{-5} \text{ m}^2/\text{s}$$

$$1.87 \cdot 10^{-5} \cdot 9.0 \cdot 0.18 = 3.0 \cdot 10^{-5} \text{ m}^2/\text{s}$$

$$2.60 \cdot 10^{-5} \cdot 17 \cdot 0.23 = 10.2 \cdot 10^{-5} \text{ m}^2/\text{s}$$

$$2.59 \cdot 10^{-5} \cdot 13 \cdot 0.01 = 0.3 \cdot 10^{-5} \text{ m}^2/\text{s}$$

$$2.94 \cdot 10^{-5} \cdot 24 \cdot 0.18 = 12.7 \cdot 10^{-5} \text{ m}^2/\text{s}$$

$$3.06 \cdot 10^{-5} \cdot 35 \cdot 0.05 = 5.4 \cdot 10^{-5} \text{ m}^2/\text{s}$$

$$3.14 \cdot 10^{-5} \cdot 41 \cdot 0.02 = 2.6 \cdot 10^{-5} \text{ m}^2/\text{s}$$

$$\Sigma \quad 36.2 \cdot 10^{-5} \text{ m}^2/\text{s}$$

Het totale transport op jaarbasis tijdens de getijfasen van 1½ uur bedraagt:

$$3.6 \cdot 10^{-4} \cdot 1.5 \cdot 3600 \cdot (24/12.5) \cdot 365 \approx 1.4 \cdot 10^3 \text{ m}^3/\text{m jr}$$

Dit toegepast over de lengte van grensgebied B ($\approx 10 \text{ km}$) levert dit een resulterend zandtransport op door gebiedsgrens B van:

14 miljoen m³ per jaar

LIJST VAN BIJLAGEN

- BIJLAGE 1: Histogrammen verdiepingsvolumes
Scheur en Wielingen
- BIJLAGE 2: Golfklimaatgegevens 1986;
Bankengebied van de Raan
- BIJLAGE 3: Invoerfile RDII-model T0- en T1-situatie;
- BIJLAGE 4: RDII-model: raai-definities van de
vergelijkingsrun
- BIJLAGE 5: RDII-model: overzicht van de roosterpunten
waarvoor gedetailleerde uitvoer beschikbaar is
- BIJLAGE 6a t/m e: RDII-model: vergelijking van de stroom-
snelheden in de T0- en de T1-situatie.
- BIJLAGE 7a t/m e: RDII-model: vergelijking van de debieten
in de T0- en de T1-situatie.
- BIJLAGE 8a: Representatieve zeefkromme van een bodem-
monster van de geulbodem van de Wielingen
- BIJLAGE 8b: Representatieve zeefkromme van een bodem-
monster van het bankengebied van de Raan
- BIJLAGE 9a: Nederlandse zandconcentratiemetingen:
meetlocaties en meetgegevens
- BIJLAGE 9b: Belgische zandconcentratiemetingen:
meetlocaties en meetgegevens

BIJLAGE 1:

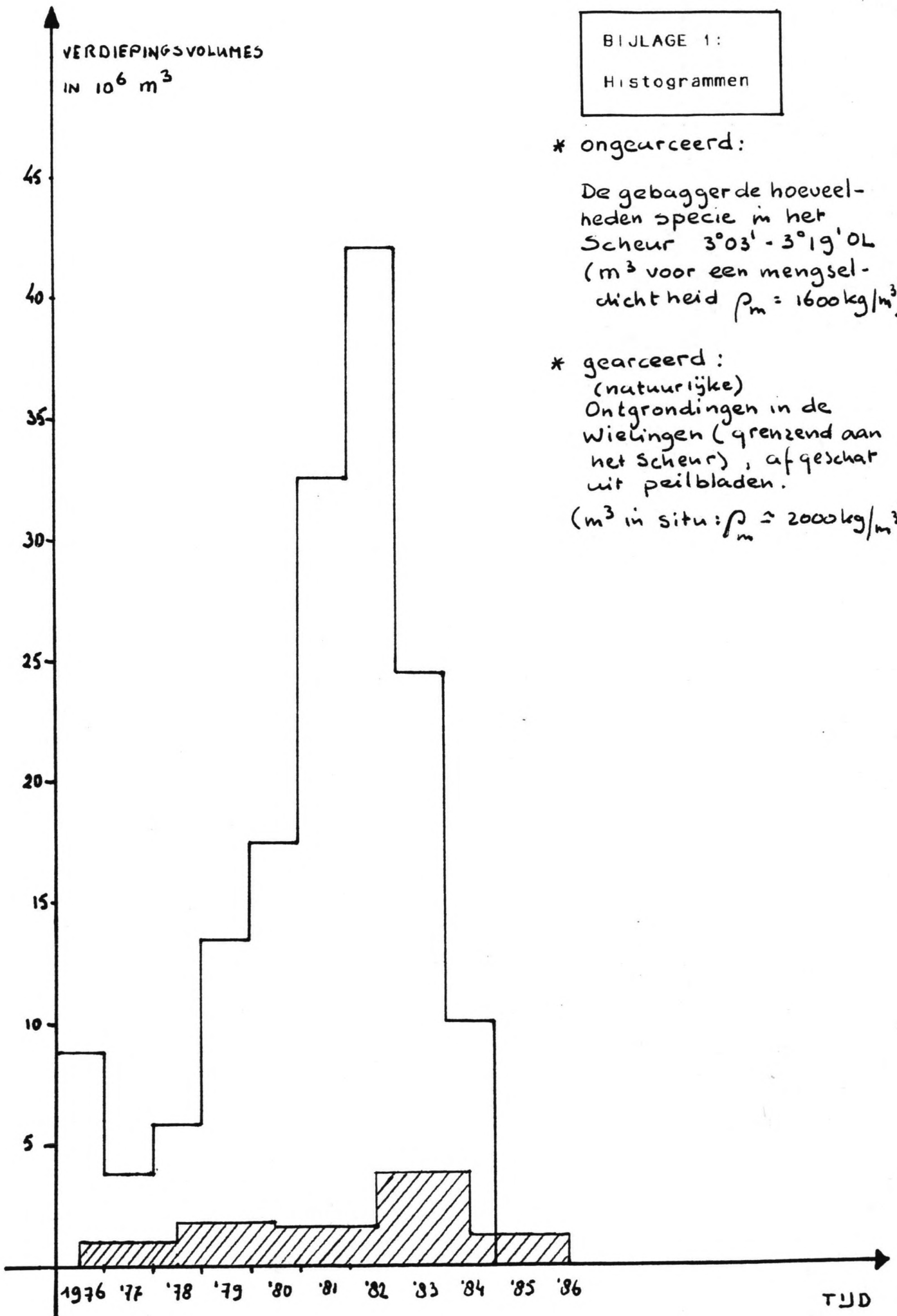
Histogrammen

* ongeurceerd:

De gebaggerde hoeveelheden specie in het Scheur 3°03' - 3°19'0L
(m³ voor een mengsel-
dichtheid $\rho_m = 1600 \text{ kg/m}^3$)

* gearceerd:
(natuurlijke)
Ontgrondingen in de
Wielingen (grenzend aan
het Scheur), afgeschat
uit peilbladen.

(m³ in situ: $\rho_m \approx 2000 \text{ kg/m}^3$)



BIJLAGE 2:

Golfklimaatgegevens 1986;
Bankengebied van de Raan

RIJKSWATERSTAAT
DIENST GETIJDWATEREN
WATERSYSTEMEN DELTA

STATION : DELO
PERIODE : **** } JAARREGISTR. 1986
PERIODE TOT : 8612

Programma : GOLFKL04
MAAND : GEGEVENS
GOLFKLIMAAT COLF/WINDRIELATIE

Waterstandsklasse < -0.50m. NAP
=====

Relatieve aantallen tabel.

=====

Periode Golfhoogte (m)

[sec]	0.0	.5	1.0	1.5	2.0	2.5	3.0	3.5	4.0	4.5	Total
00.0-01.5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
01.5-03.5	91	78	5	0	0	0	0	0	0	0	175
03.5-05.5	48	99	78	23	7	1	0	0	0	0	256
05.5-07.5	1	1	0	0	1	2	1	0	0	0	6
07.5-09.5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
09.5-11.5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
11.5-13.5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
13.5-15.5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
15.5-17.5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
17.5>	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Total	140	178	83	23	8	3	1	0	0	0	437

Energie [cm2]

	0	25	55	100	400	900	1600	2500	3600	6400	
Total	395	19	9	11	3	0	0	0	0	0	437

BIJLAGE 3:

Invoerfile RDII-model T0- en T1-situatie; Bodemligging in decimeters beneden NAP

Table of soil data for the T0 situation in Walcheren and België. The table contains numerical values representing soil depth in decimeters, with 'WALCHEREN' and 'BELGIË' labeled in the center of the data blocks.

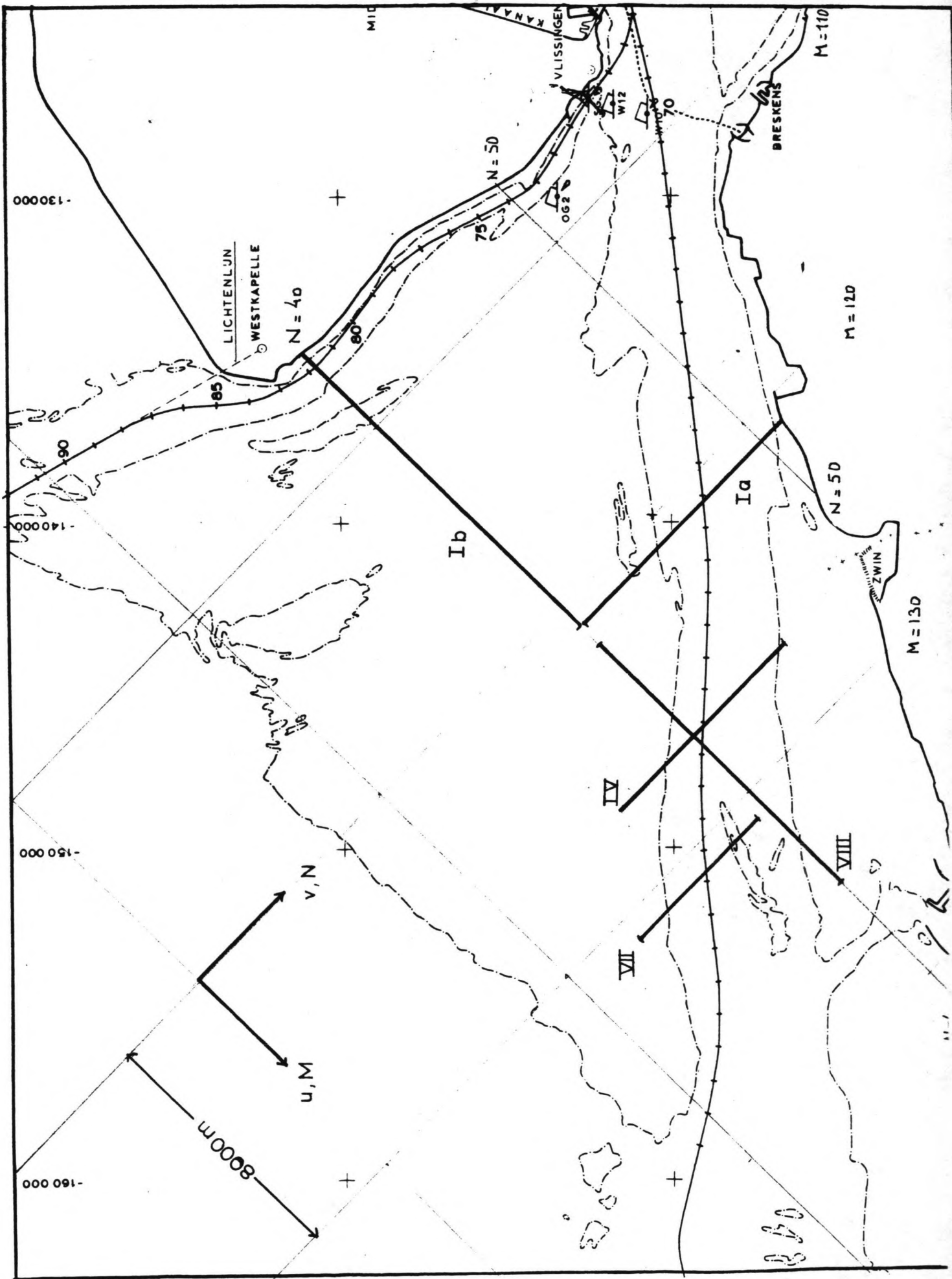
T0

Table of soil data for the T1 situation in Walcheren and België. The table contains numerical values representing soil depth in decimeters, with 'WALCHEREN' and 'BELGIË' labeled in the center of the data blocks.

T1

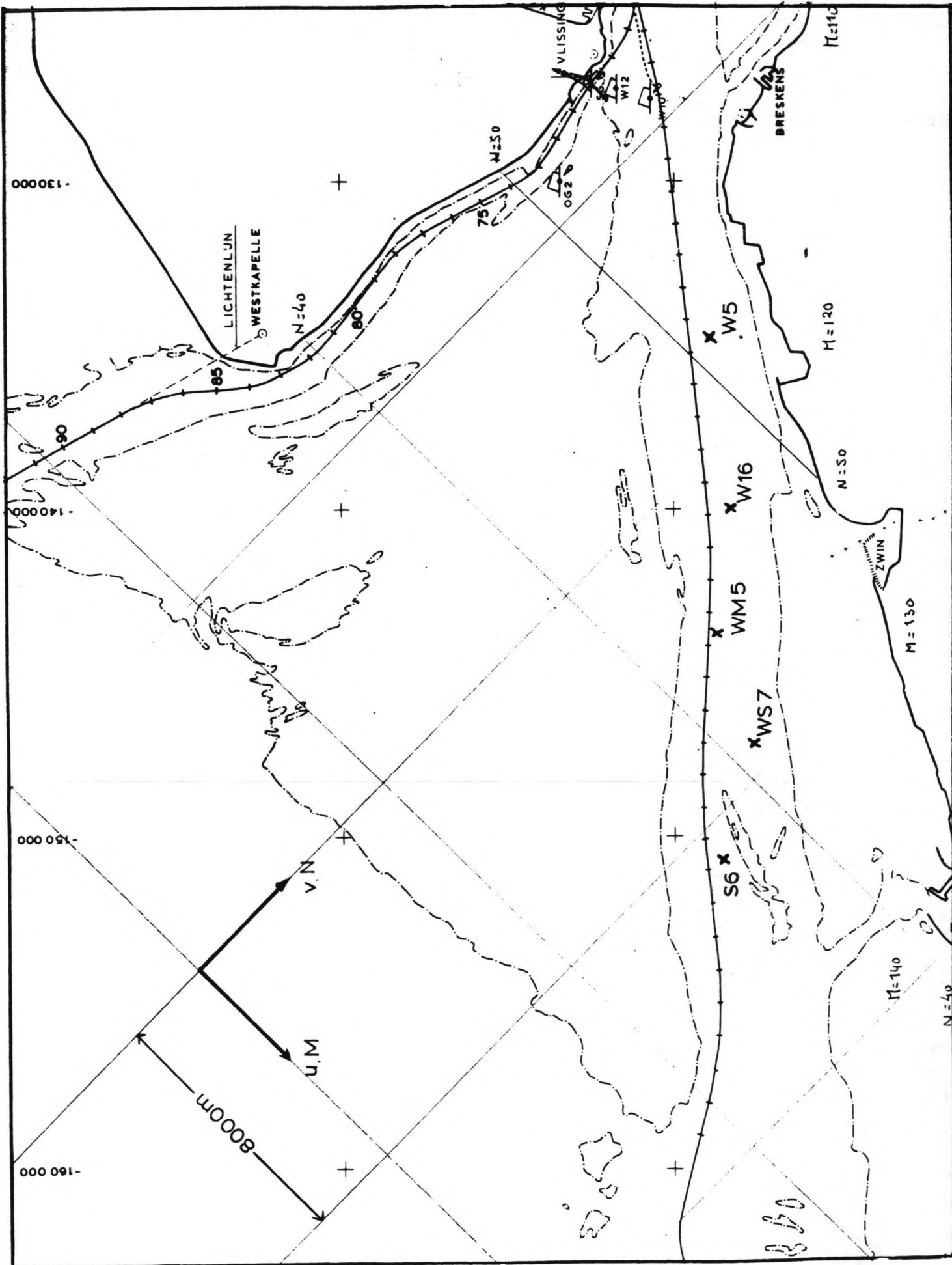
BIJLAGE 4:

RDII-model: raai-definities van de
vergelijkingrun



BIJLAGE 5:

RDII-model: overzicht van de roosterpunten waarvoor gedetailleerde uitvoer beschikbaar is



BIJLAGE 6a:

RDII-model: vergelijking van de stroomsnelheden in de T0- en de T1-situatie.

Boven: grootte van de stroomsnelheidsvector

Onder: snelheidsontbondene in v -richting

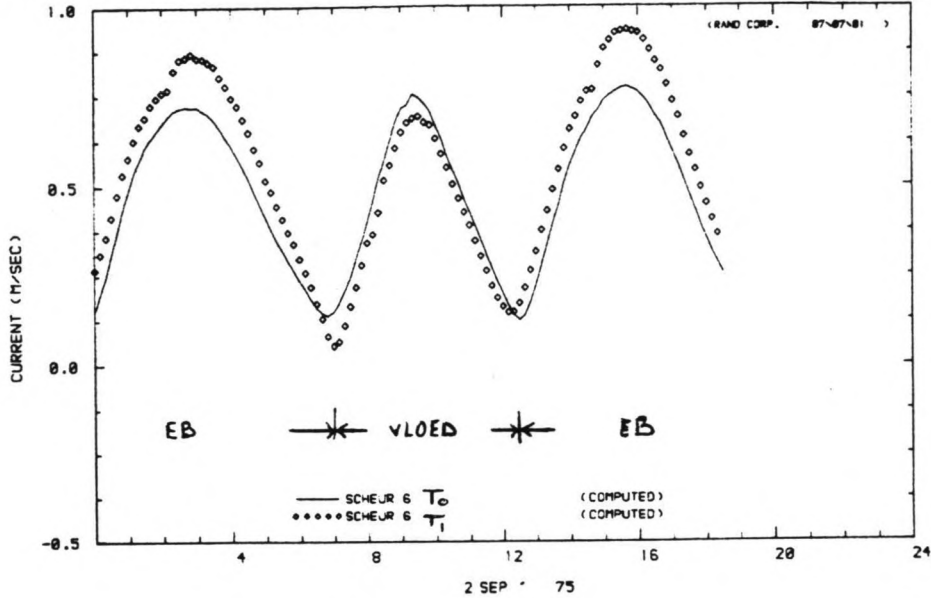
Geldend voor het definitiepunt (bijlage 5):

SCHEUR 6

RDII-001.1-2 SEPT 1975, T-0 SITUATIE MET UITBREIDING ZUIDOER
 RDII-001.1-2 SEPT 1975, T-0 SITUATIE MET UITBREIDING ZUIDOER

(25-06-87 1515124
 09-06-87 1611082

87-06-25 1710140
 87-06-09 1711520

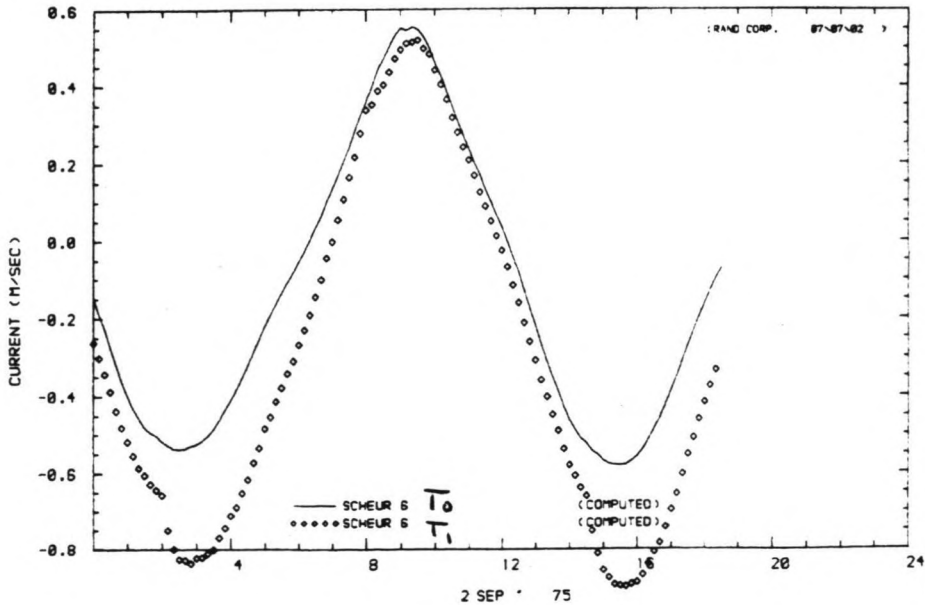


CURRENT AT STATION (MAGNITUDE)
 CURRENT AT STATION (MAGNITUDE)

RDII-001.1-2 SEPT 1975, T-0 SITUATIE MET UITBREIDING ZUIDOER
 RDII-001.1-2 SEPT 1975, T-0 SITUATIE MET UITBREIDING ZUIDOER

(25-06-87 1515124
 09-06-87 1611082

87-06-25 1710140
 87-06-09 1711520



CURRENT AT STATION (V)
 CURRENT AT STATION (V)

BIJLAGE 6b:

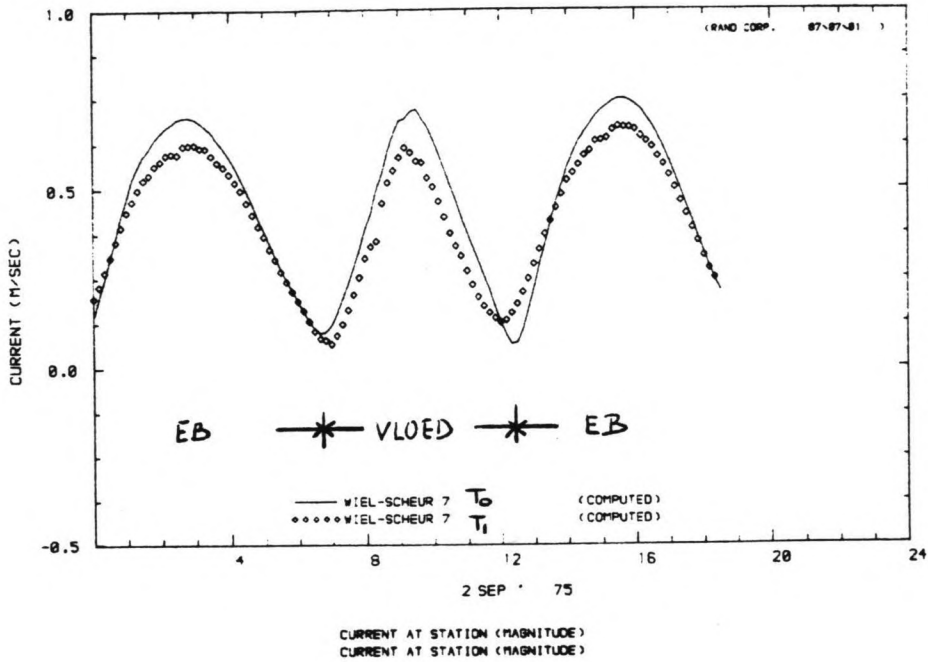
RDII-model: vergelijking van de stroomsnelheden in de T0- en de T1-situatie.

Boven: grootte van de stroomsnelheidsvector
 Onder: snelheidsontbondene in ∇ -richting
 Geldend voor het definitiepunt (bijlage 5):
 WIEL-SCHEUR 7

RDII-001.1-2 SEPT 1975.T-0 SITUATIE MET UITBREIDING ZUIDRAND
 RDII-001.1-2 SEPT 1975.T-0 SITUATIE MET UITBREIDING ZUIDRAND

(25/06/87 15153124
 (09/06/87 16110102

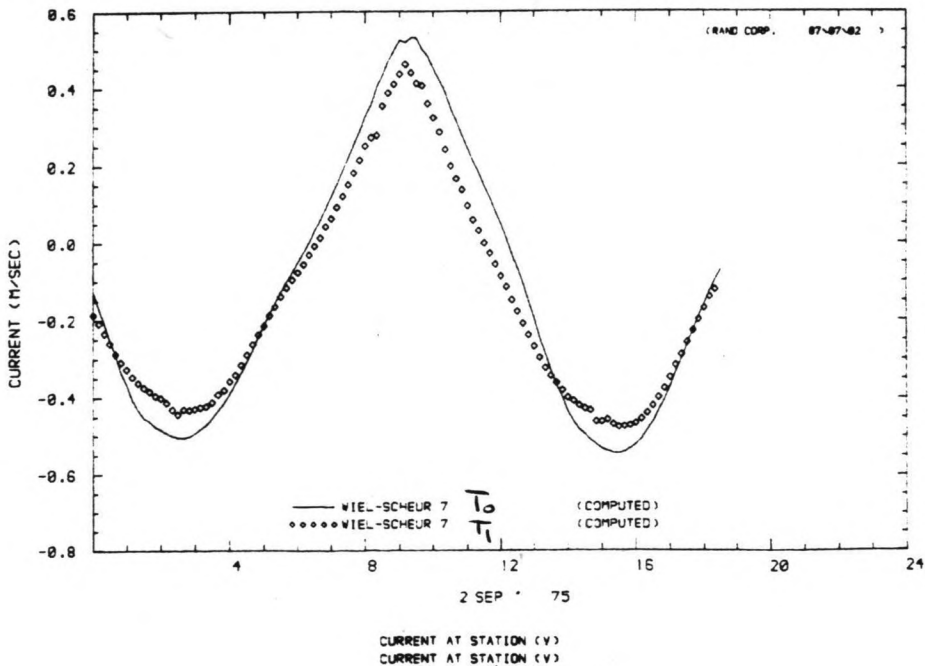
07/06/25 17101140
 07/06/09 17115120



RDII-001.1-2 SEPT 1975.T-0 SITUATIE MET UITBREIDING ZUIDRAND
 RDII-001.1-2 SEPT 1975.T-0 SITUATIE MET UITBREIDING ZUIDRAND

(25/06/87 15153124
 (09/06/87 16110102

07/06/25 17101140
 07/06/09 17115120



BIJLAGE 6c:

RDII-model: vergelijking van de stroomsnelheden in de T0- en de T1-situatie.

Boven: grootte van de stroomsnelheidsvector

Onder: snelheidsontbondene in ∇ -richting

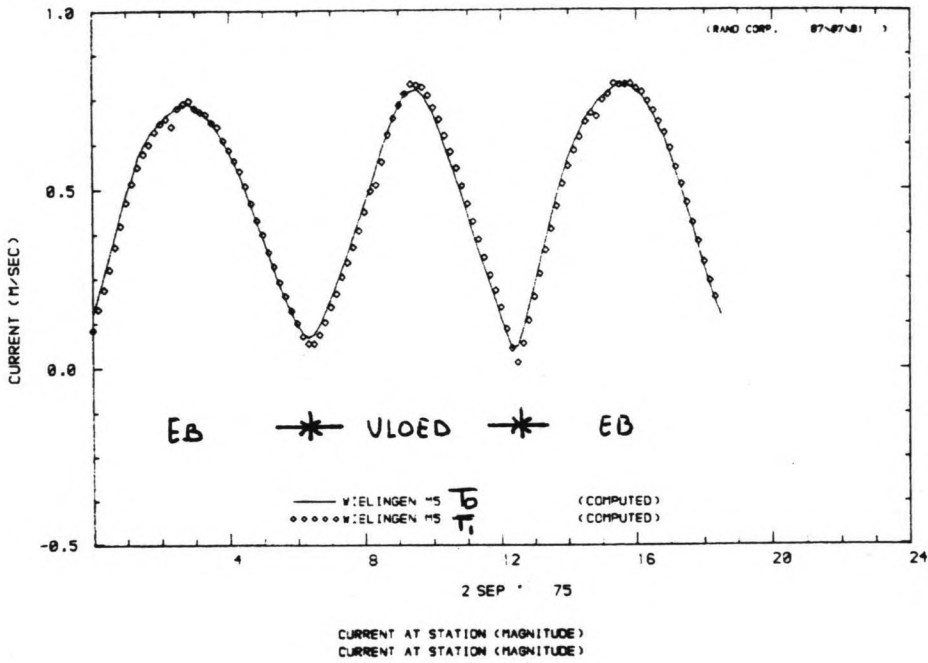
Geldend voor het definitiepunt (bijlage 5):

WIELINGEN M5

RDII-001.1-2 SEPT 1975, T-0 SITUATIE MET UITBREIDING ZUIDRAN
 RDII-001.1-2 SEPT 1975, T-0 SITUATIE MET UITBREIDING ZUIDRAN

(25-06-87 15:53:24
 (09-06-87 16:18:02

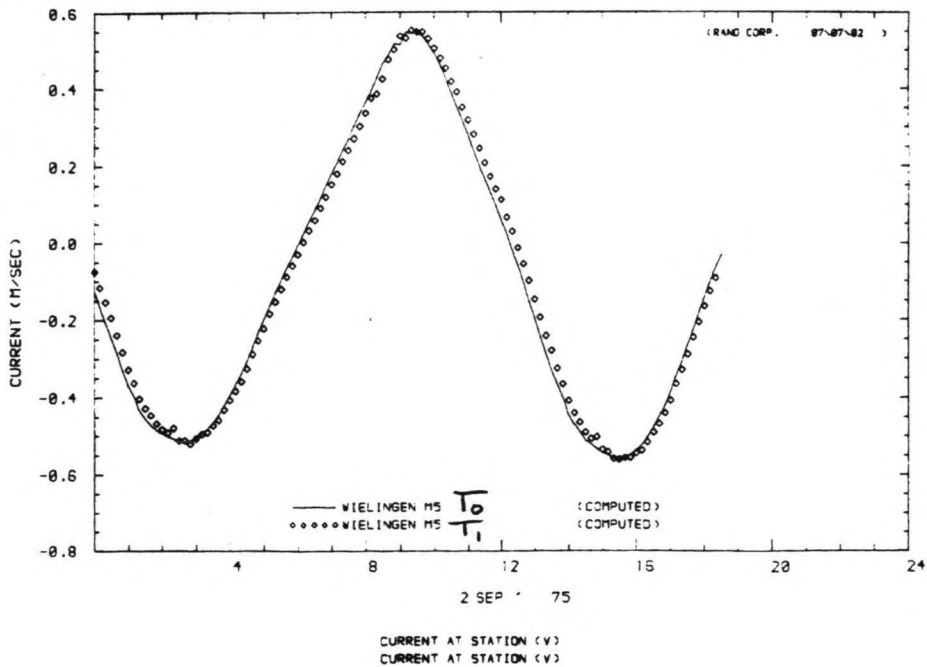
87-06-25 17:01:48
 87-06-09 17:15:28



RDII-001.1-2 SEPT 1975, T-0 SITUATIE MET UITBREIDING ZUIDRAN
 RDII-001.1-2 SEPT 1975, T-0 SITUATIE MET UITBREIDING ZUIDRAN

(25-06-87 15:53:24
 (09-06-87 16:18:02

87-06-25 17:01:48
 87-06-09 17:15:28



BIJLAGE 6d:

RDII-model: vergelijking van de stroomsnelheden in de T0- en de T1-situatie.

Boven: grootte van de stroomsnelheidsvector

Onder: snelheidsontbondene in ∇ -richting

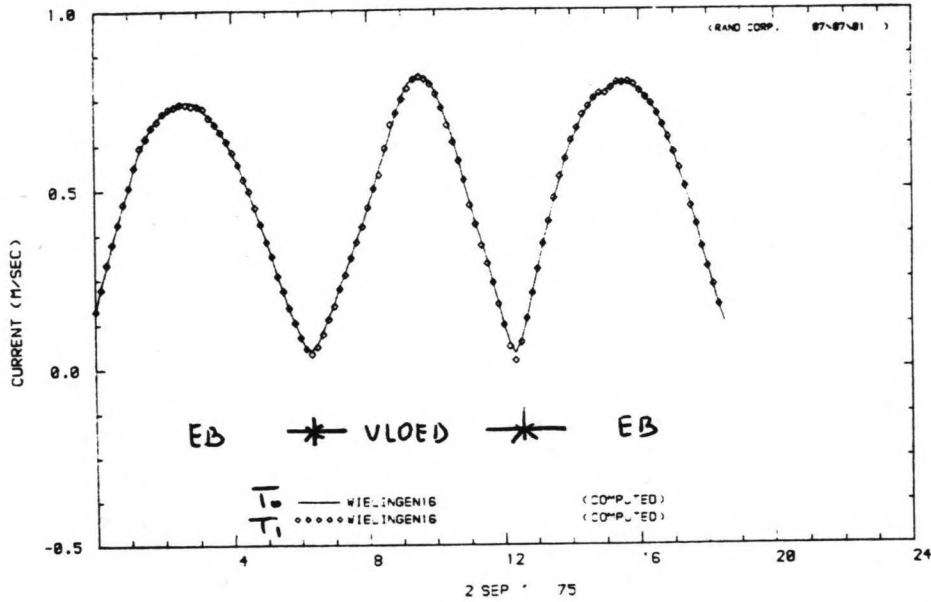
Geldend voor het definitiepunt (bijlage 5):

WIELINGEN 16

RDII-001.1-2 SEPT 1975.T-0 SITUATIE MET UITBREIDING OUDPAND
RDII-001.1-2 SEPT 1975.T-0 SITUATIE MET UITBREIDING OUDPAND

25-06-87 15:53:24
27-06-87 16:10:02

87-06/25 17:01:48
87-06/09 17:15:28

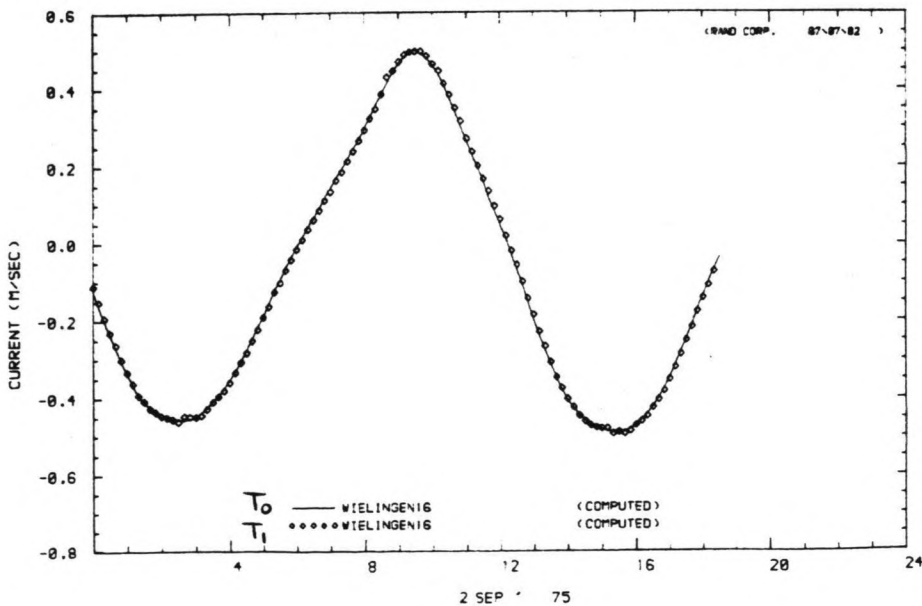


CURRENT AT STATION (MAGNITUDE)
CURRENT AT STATION (MAGNITUDE)

RDII-001.1-2 SEPT 1975.T-0 SITUATIE MET UITBREIDING ZUIORAND
RDII-001.1-2 SEPT 1975.T-0 SITUATIE MET UITBREIDING ZUIORAND

25-06-87 15:53:24
27-06-87 16:10:02

87-06/25 17:01:48
87-06/09 17:15:28



CURRENT AT STATION (V)
CURRENT AT STATION (V)

BIJLAGE 6e:

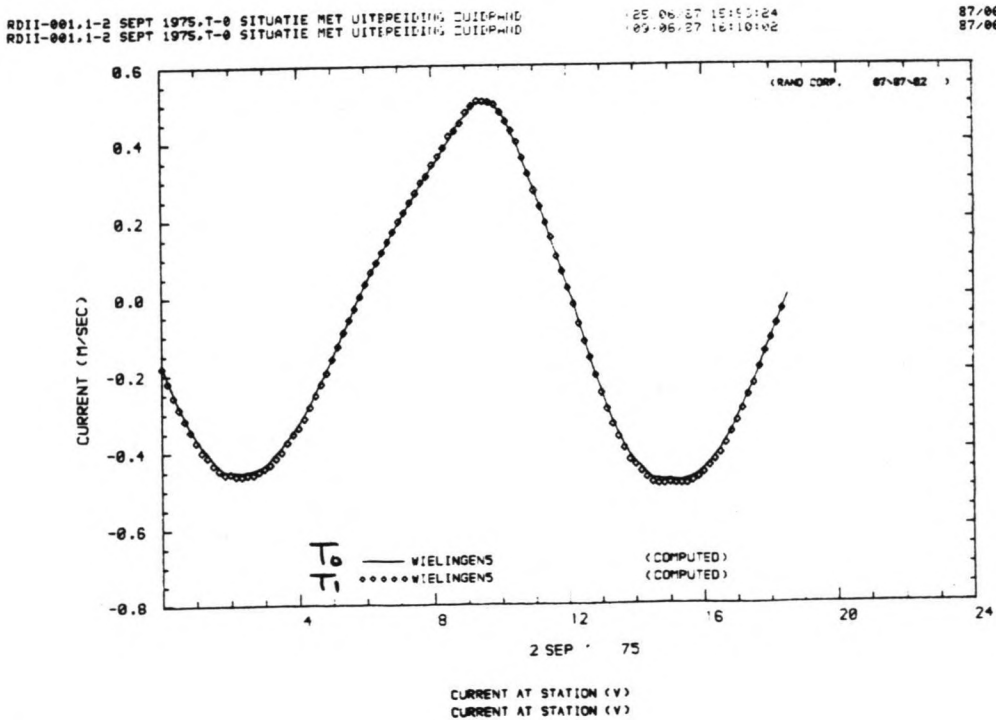
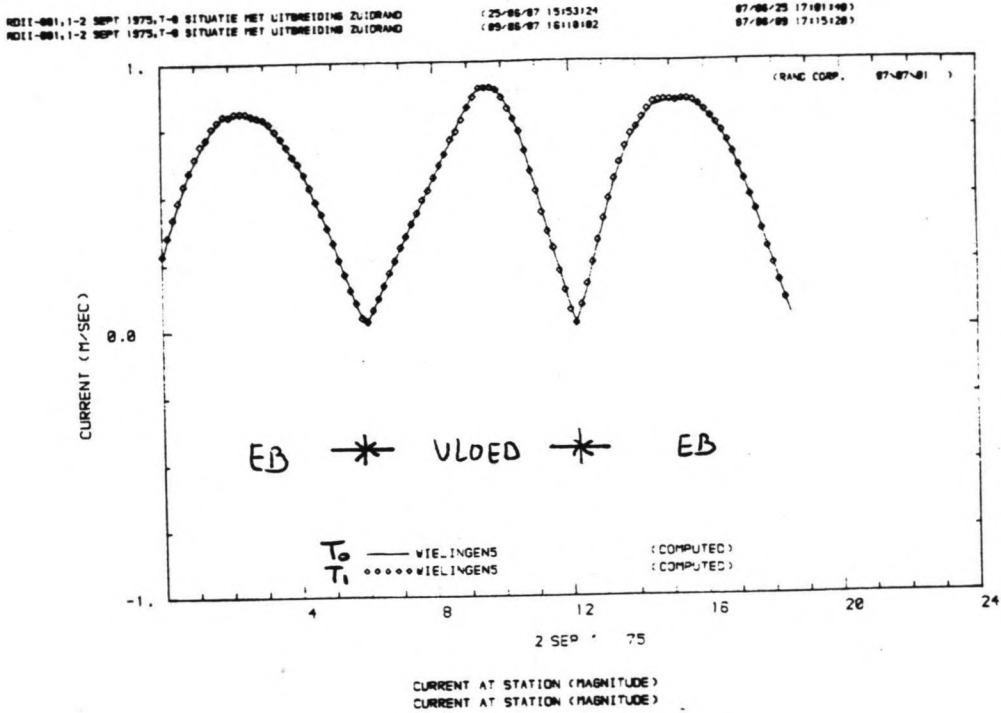
RDII-model: vergelijking van de stroomsnelheden in de T0- en de T1-situatie.

Boven: grootte van de stroomsnelheidsvector

Onder: snelheidsontbondene in ∇ -richting

Geldend voor het definitiepunt (bijlage 5):

WIELINGEN 5



BIJLAGE 7a:

RDII-model: vergelijking van de debieten in de T0- en de T1-situatie.

Boven: momentane debiet (m3/s)

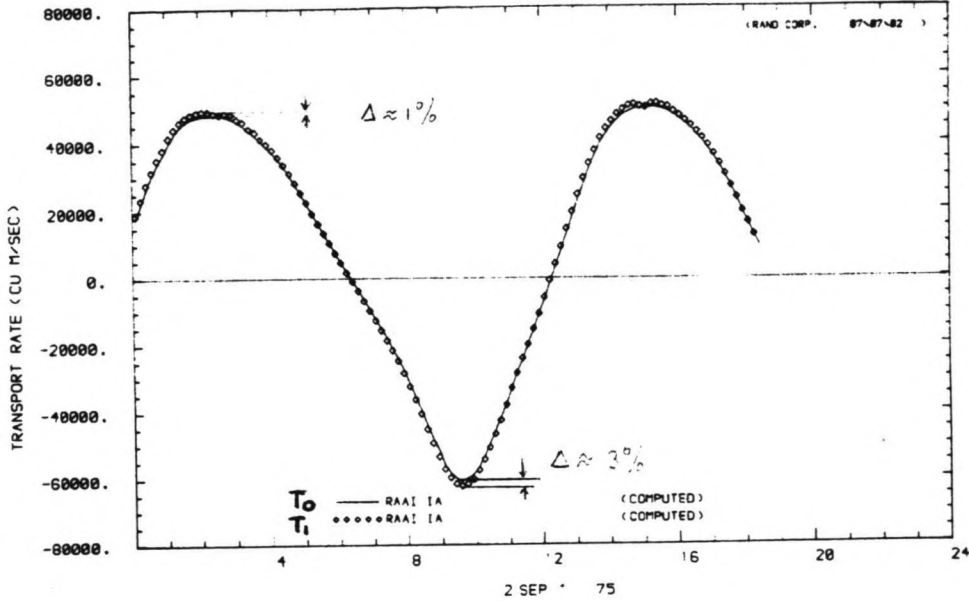
Onder: cumulatief debiet (m3)

Geldend voor de definitieraai Ia (bijlage 4)

RDII-001.1-2 SEPT 1975.T-0 SITUATIE MET
RDII-001.1-2 SEPT 1975.T-0 SITUATIE MET

25 06 87 15:50:24
09 06 87 16:10:03

87/06/25 17:01:48
87/06/09 17:15:28



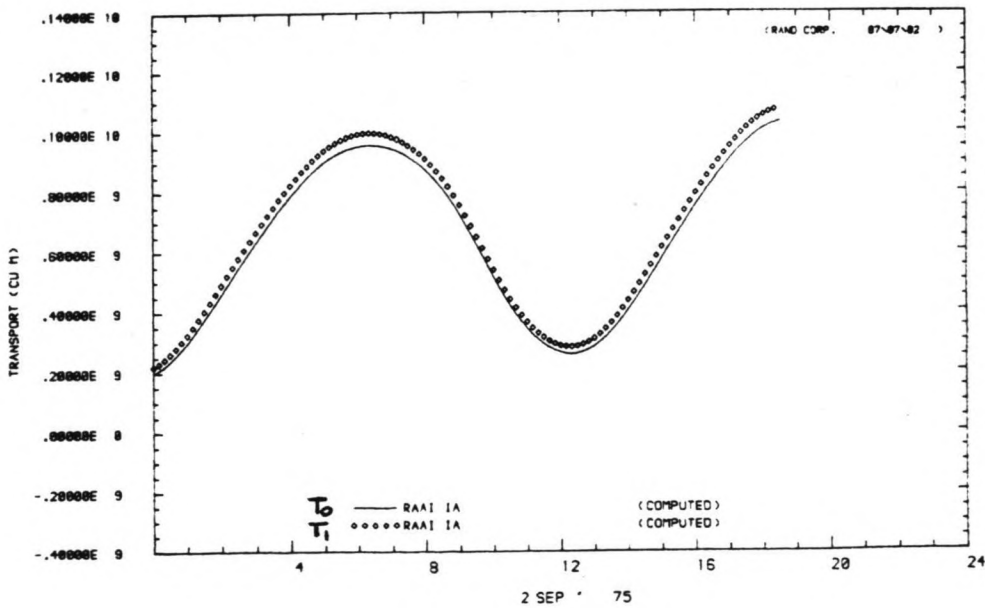
MASS TRANSPORT RATE AT U CROSS-SECTION
MASS TRANSPORT RATE AT U CROSS-SECTION

PAGE 1

RDII-001.1-2 SEPT 1975.T-0 SITUATIE MET UITEPEIDING GUIDEWIND
RDII-001.1-2 SEPT 1975.T-0 SITUATIE MET UITEPEIDING GUIDEWIND

25 06 87 15:50:24
09 06 87 16:10:03

87/06/25 17:01:48
87/06/09 17:15:28



MASS TRANSPORT AT U CROSS-SECTION
MASS TRANSPORT AT U CROSS-SECTION

BIJLAGE 7b:

RDII-model: vergelijking van de debieten in de T0- en de T1-situatie.

Boven: momentane debiet (m3/s)

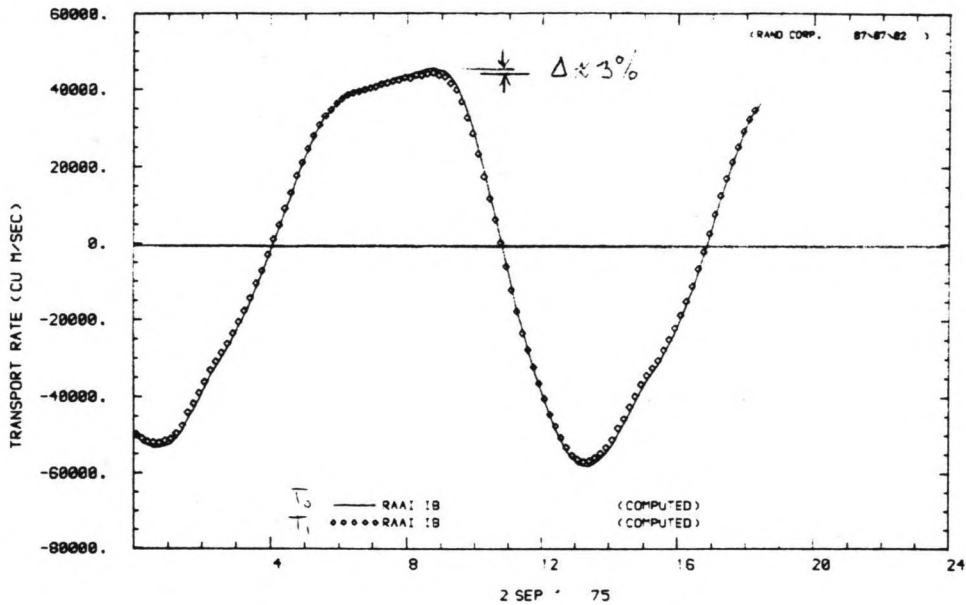
Onder: cumulatief debiet (m3)

Geldend voor de definitieraai Ib (bijlage 4)

RDII-001.1-2 SEPT 1975.T-0 SITUATIE MET UITEPEIDING QUIDPHO
RDII-001.1-2 SEPT 1975.T-0 SITUATIE MET UITEPEIDING QUIDPHO

15 SEP 87 15:40:24
109 05 87 16:10:02

87/06/25 17:01:48
87/06/09 17:15:28

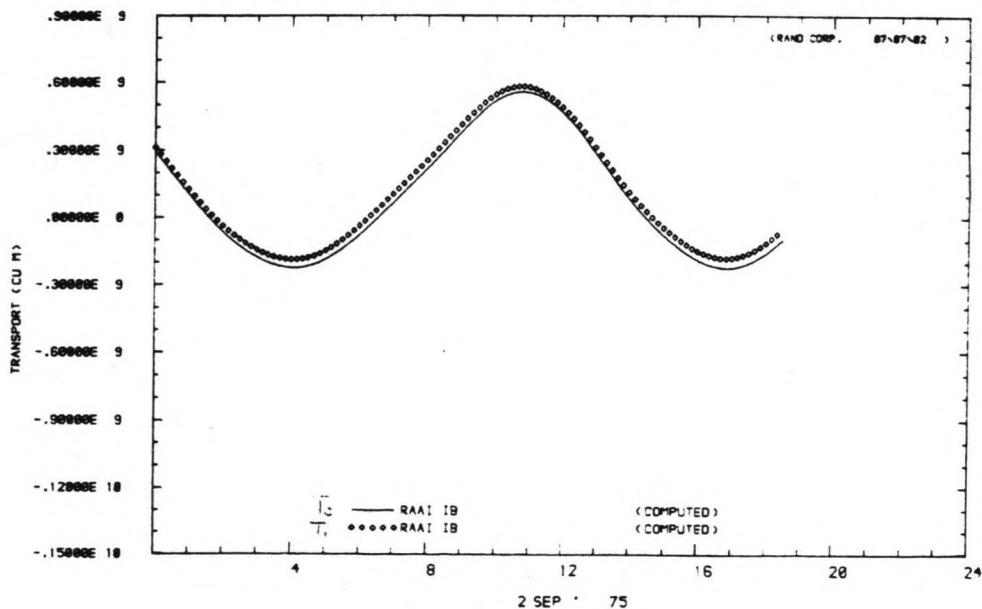


MASS TRANSPORT RATE AT V CROSS-SECTION
MASS TRANSPORT RATE AT V CROSS-SECTION

RDII-001.1-2 SEPT 1975.T-0 SITUATIE MET UITEPEIDING QUIDPHO
RDII-001.1-2 SEPT 1975.T-0 SITUATIE MET UITEPEIDING QUIDPHO

15 SEP 87 15:40:24
109 05 87 16:10:02

87/06/25 17:01:48
87/06/09 17:15:28



MASS TRANSPORT AT V CROSS-SECTION
MASS TRANSPORT AT V CROSS-SECTION

BIJLAGE 7c:

RDII-model: vergelijking van de debieten in de T0- en de T1-situatie.

Boven: momentane debiet (m³/s)

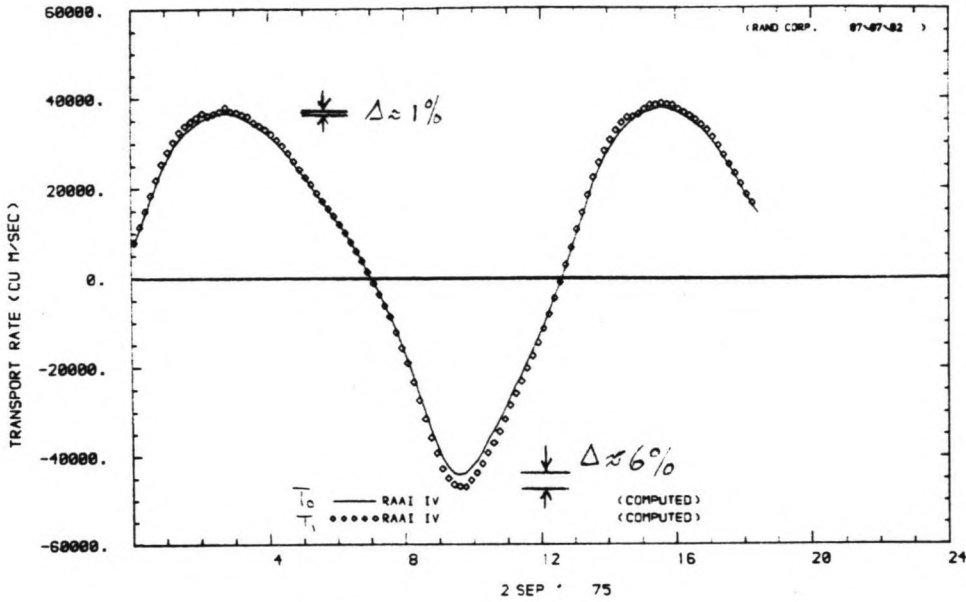
Onder: cumulatief debiet (m³)

Geldend voor de definitieraai IV (bijlage 4)

RDII-001.1-2 SEPT 1975, T-0 SITUATIE MET UITBREIDING ZUIDRAND
 RDII-001.1-2 SEPT 1975, T-0 SITUATIE MET UITBREIDING ZUIDRAND

(25/06/87 15153124
 (09/06/87 16110102

87/06/25 17101140
 87/06/09 17115120

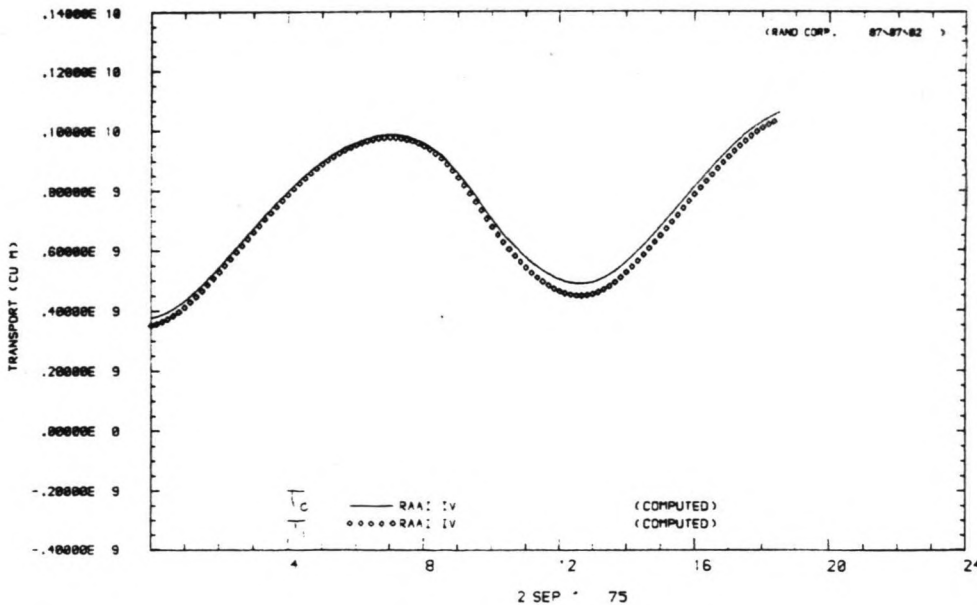


MASS TRANSPORT RATE AT U CROSS-SECTION
 MASS TRANSPORT RATE AT U CROSS-SECTION

RDII-001.1-2 SEPT 1975, T-0 SITUATIE MET UITBREIDING ZUIDRAND
 RDII-001.1-2 SEPT 1975, T-0 SITUATIE MET UITBREIDING ZUIDRAND

(25/06/87 15153124
 (09/06/87 16110102

87/06/25 17101140
 87/06/09 17115120



MASS TRANSPORT AT U CROSS-SECTION
 MASS TRANSPORT AT U CROSS-SECTION

BIJLAGE 7d:

RDII-model: vergelijking van de debieten in de T0- en de T1-situatie.

Boven: momentane debiet (m3/s)

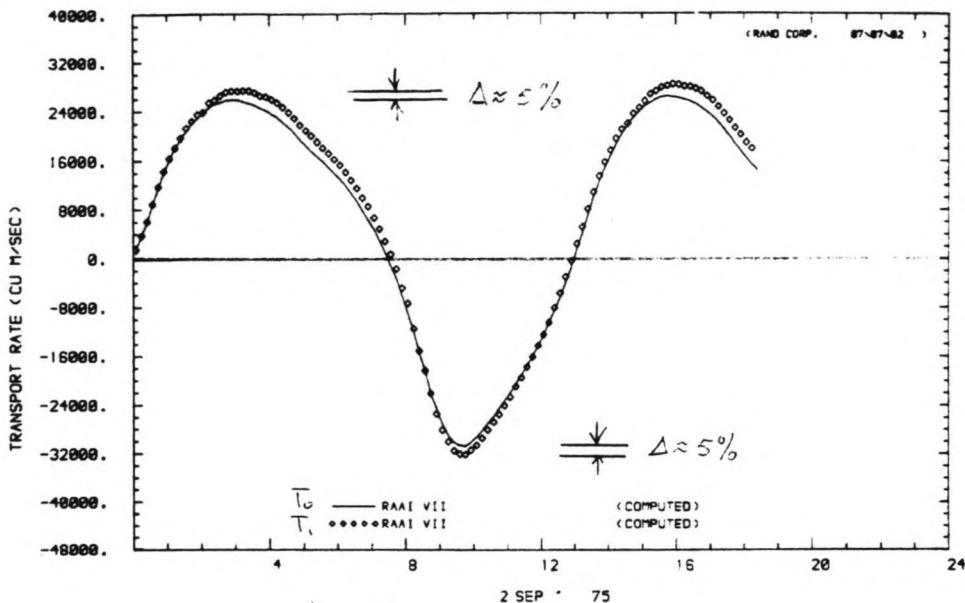
Onder: cumulatief debiet (m3)

Geldend voor de definitieraai VII (bijlage 4)

RDII-001.1-2 SEPT 1975, T-0 SITUATIE MET UITBREIDING ZUIDRAND
 RDII-001.1-2 SEPT 1975, T-0 SITUATIE MET UITBREIDING ZUIDRAND

(25/06/87 15:53:24
 09/06/87 16:10:02

87/06/25 17:01:40
 87/06/09 17:15:20

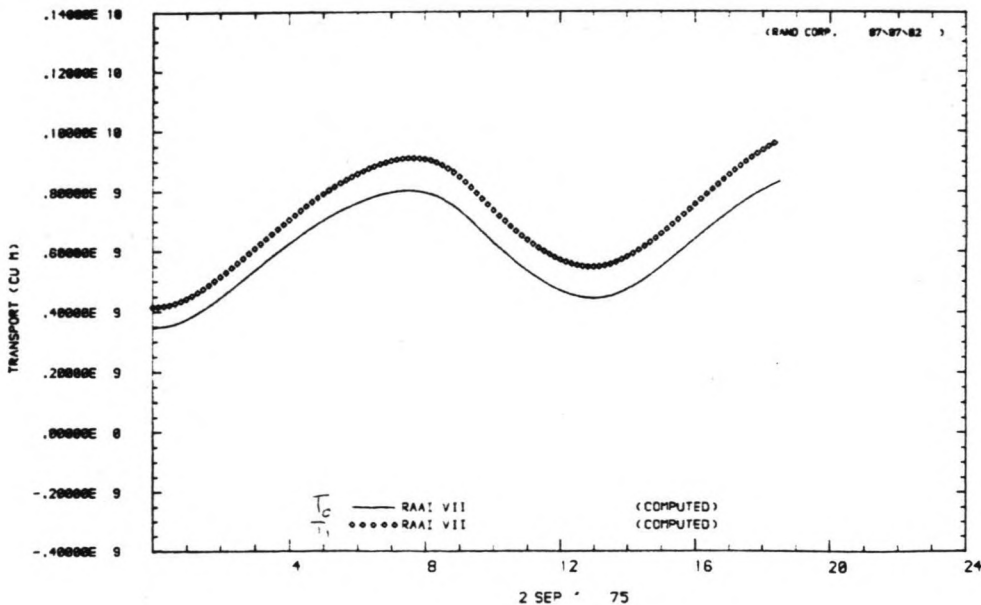


MASS TRANSPORT RATE AT U CROSS-SECTION
 MASS TRANSPORT RATE AT U CROSS-SECTION

RDII-001.1-2 SEPT 1975, T-0 SITUATIE MET UITBREIDING ZUIDRAND
 RDII-001.1-2 SEPT 1975, T-0 SITUATIE MET UITBREIDING ZUIDRAND

(25/06/87 15:53:24
 09/06/87 16:10:02

87/06/25 17:01:40
 87/06/09 17:15:20



MASS TRANSPORT AT U CROSS-SECTION
 MASS TRANSPORT AT U CROSS-SECTION

BIJLAGE 7e:

RDII-model: vergelijking van de debieten in de T0- en de T1-situatie.

Boven: momentane debiet (m³/s)

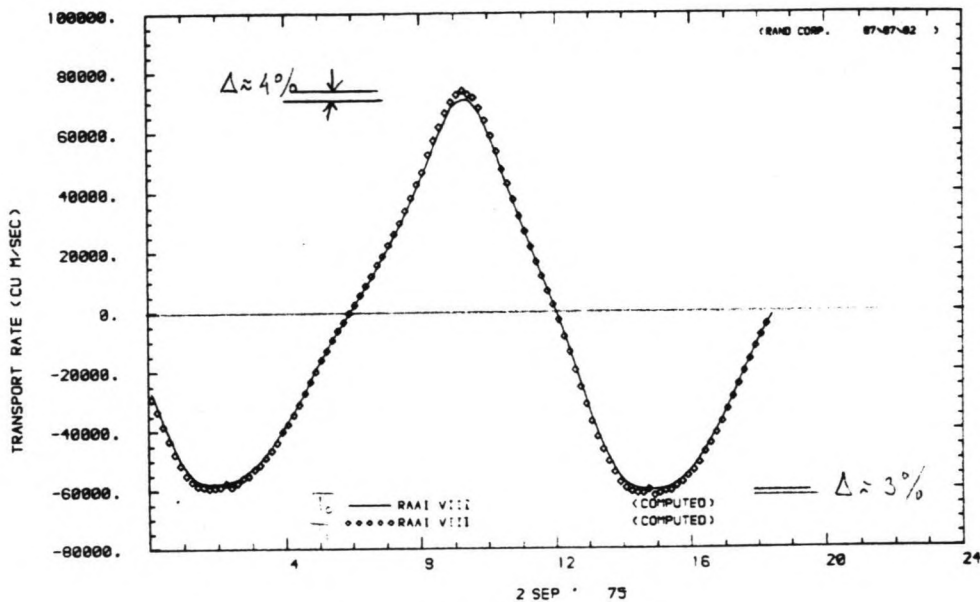
Onder: cumulatief debiet (m³)

Geldend voor de definitieraai VIII (bijlage 4)

RDII-001,1-2 SEPT 1975,T-0 SITUATIE MET UITBREIDING ZUIDRAN
 RDII-001,1-2 SEPT 1975,T-0 SITUATIE MET UITBREIDING ZUIDRAN

(25/06/87 15:53:24
 (05/06/87 16:18:02

87/06/25 17:01:40
 87/06/09 17:15:20

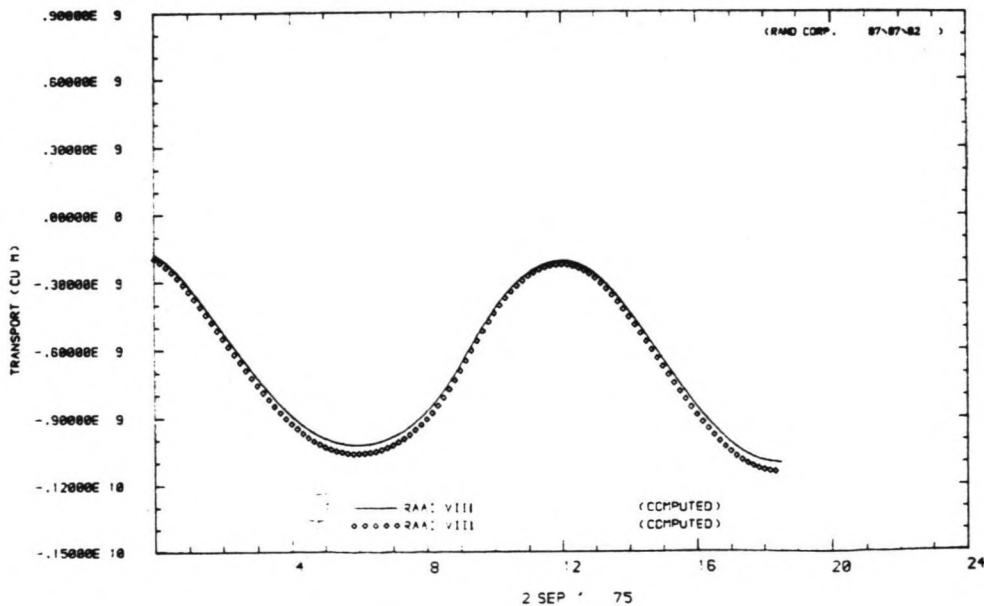


MASS TRANSPORT RATE AT V CROSS-SECTION
 MASS TRANSPORT RATE AT V CROSS-SECTION

RDII-001,1-2 SEPT 1975,T-0 SITUATIE MET UITBREIDING ZUIDRAN
 RDII-001,1-2 SEPT 1975,T-0 SITUATIE MET UITBREIDING ZUIDRAN

(25/06/87 15:53:24
 (05/06/87 16:18:02

87/06/25 17:01:40
 87/06/09 17:15:20



MASS TRANSPORT AT V CROSS-SECTION
 MASS TRANSPORT AT V CROSS-SECTION

BIJLAGE 8a:

Representatieve zeeffkromme van een bodemmonster van de geulbodern van de Wielingen

RIJKSWATERSTAAT . ADVIESDIENST VLISSENGEN .

PRINS HENDRIKLEEG 3 4382 NR VLISSENGEN.
(TEL. 01184-60400)

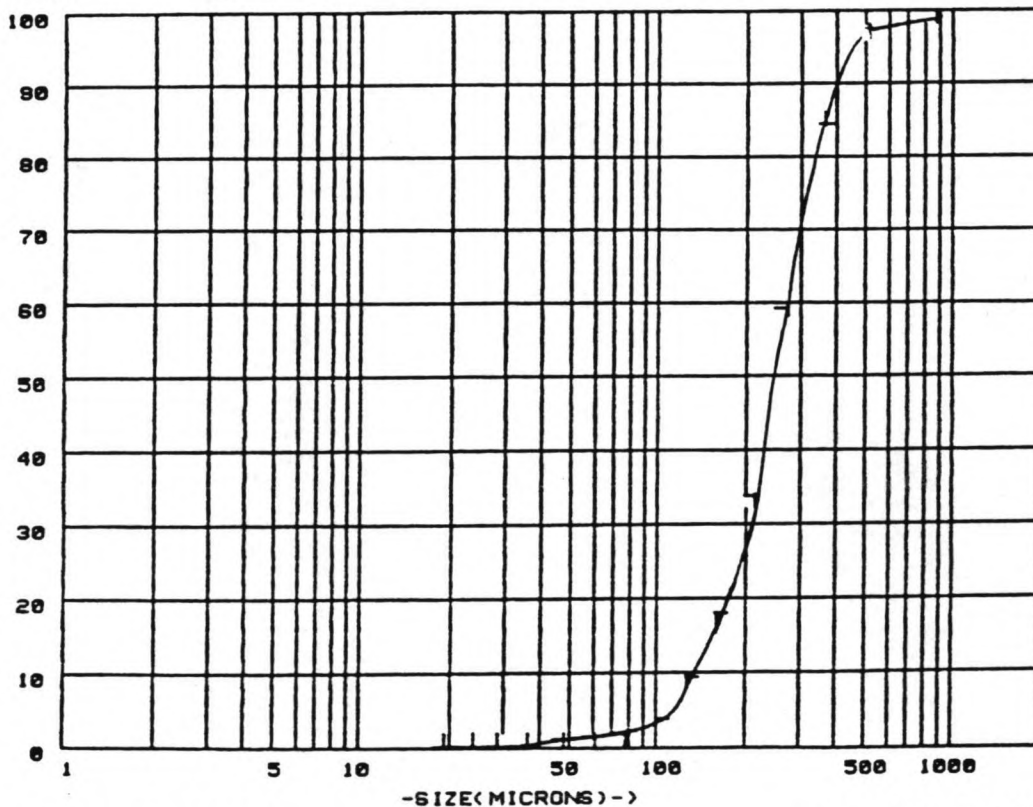
MALVERN INSTRUMENTS 2600/3600 PARTICLE SIZER

PRINTING RESULTS FROM DATA BLOCK 1

TIME 10-05-20 RUN NO. 1 LOG ERROR = 3.06

SAMPLE CONCENTRATION = 0.1626 % BY VOLUME
OBSCURATION = 0.16

SIZE BAND UPPER	SIZE BAND LOWER	CUMULATIVE WT BELOW	WEIGHT IN BAND	CUMULATIVE WT ABOVE	LIGHT ENERGY COMPUTED	LIGHT ENERGY MEASURED
1879.9	872.0	99.7	0.3	0.0	490	487
872.0	534.5	97.0	2.7	0.3	803	795
534.5	376.0	84.4	12.6	3.0	1150	1131
376.0	281.0	59.0	25.5	15.6	1507	1510
281.0	215.5	33.3	23.7	41.1	1857	1860
215.5	167.2	17.6	15.7	66.7	2047	2047
167.2	130.0	9.1	9.5	82.4	2017	2020
130.0	101.1	3.9	0.2	90.9	1729	1739
101.1	78.0	1.0	0.0	96.1	1404	1404
78.0	61.5	1.2	0.6	98.2	1120	1104
61.5	48.3	0.0	0.5	98.0	867	875
48.3	38.0	0.3	0.5	99.3	688	704
38.0	30.2	0.1	0.2	99.7	580	569
30.2	24.1	0.0	0.1	99.9	470	450
24.1	19.4	0.0	0.0	100.0	344	347

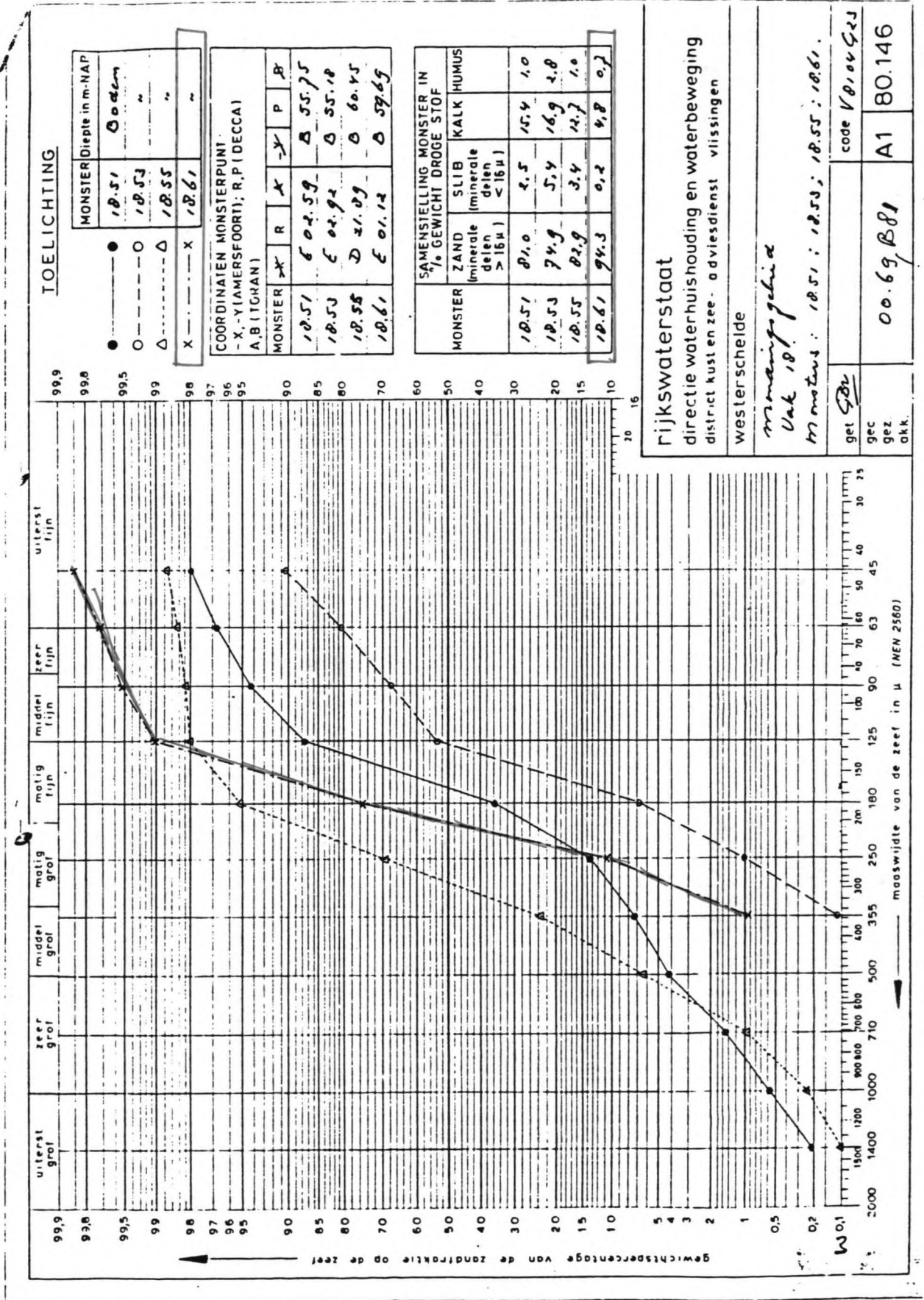


HUMUS = .5 % D.S.	KALK = 1.7 % D.S.	SLIB = 2.3 % D.S.	ZAND = 95.5 % D.S.
-------------------	-------------------	-------------------	--------------------

MONSTER NR. 11
LAB. SERIE NR.: 1
PLAATS.: WIELINGEN
BORING NR. 147H9-1
DATUM: 27-8-85
COORDINATEN: E, N (U.T.M.): 529027/5696205
DIEPTE V/D BORING: 0 T/M 1.56 M. - M.V.
DIEPTE V/H MONSTER: .5 T/M .6 M. - M.V.

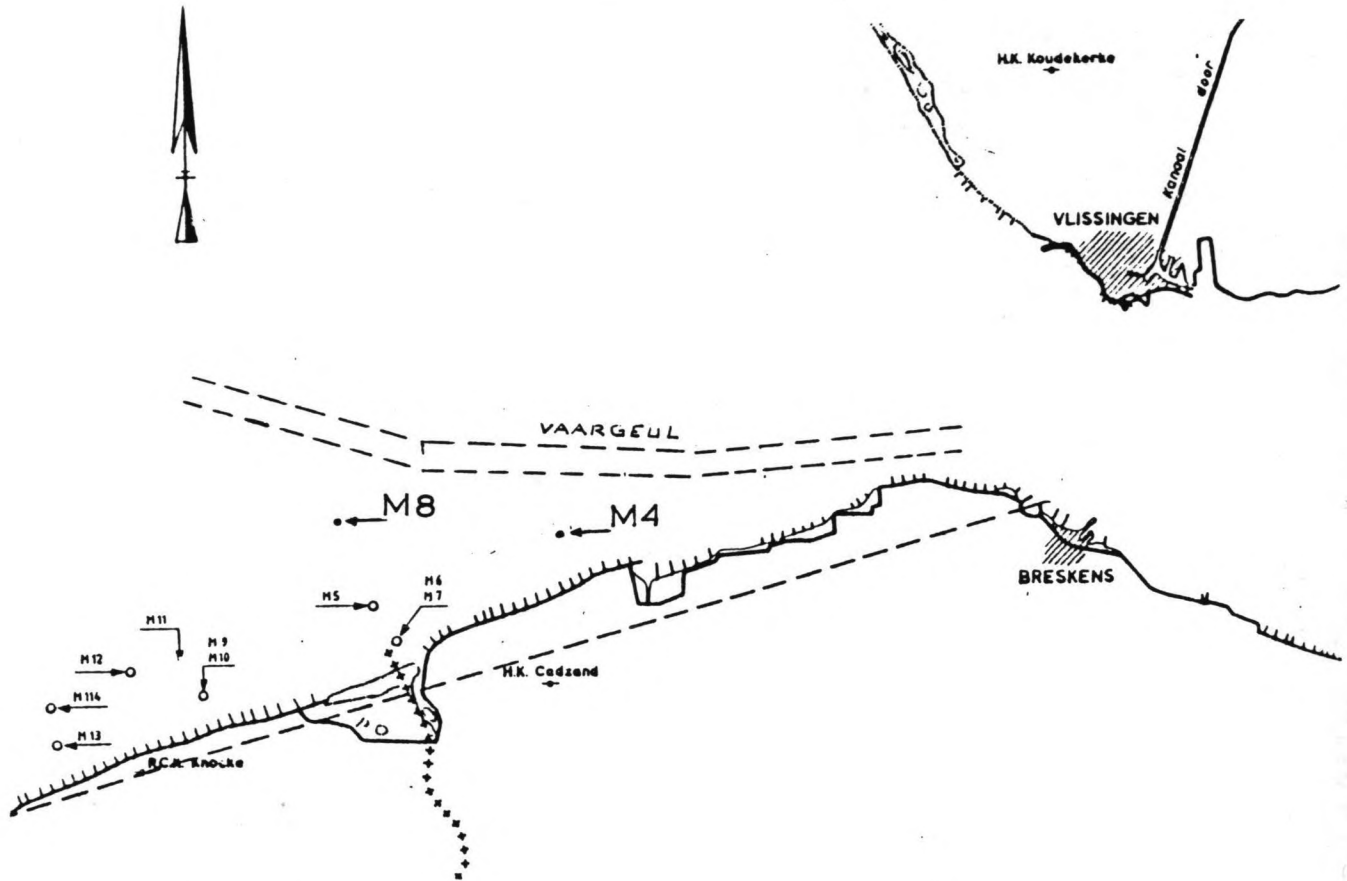
BIJLAGE 8b:

Representatieve zeefkromme van een bodemonmonster van het bankengebied van de Raan



BIJLAGE 9a:

Nederlandse zandconcentratiemetingen: meetlocaties en meetgegevens



M4
 DATUM = 10- 7-1979
 PLAATS = WIELINGEN
 CODE = 0.64.M79
 HOEK MEETRAAI = 270.00
 MEETMETHODE = BAL *)
 X-COORDINAAT = 137520.000
 Y-COORDINAAT = 82505.000
 GEULKENMERK = 1

M4

M8
 DATUM = 10- 7-1979
 PLAATS = WIELINGEN
 CODE = 0.64.M79
 HOEK MEETRAAI = 270.00
 MEETMETHODE = BAL *)
 X-COORDINAAT = 141835.000
 Y-COORDINAAT = 82475.000
 GEULKENMERK = 1

M8

TIJD (M.E.T.)	GEMIDDELDE STROOMSNELHEID (M/S)	WATER- DIEPTE (M)	SUSPENSIE- TRANSPORT SLIB (KG/SM)	ZAND (KG/SM)
6H 0 - 6H29	1.411	13.30	5.635	2.129
6H40 - 7H 0	1.212	13.30	4.518	.950
7H20 - 7H42	1.070	11.70	3.347	.686
8H 0 - 8H20	.875	11.70	1.745	.589
8H40 - 9H 2	.484	11.70	.523	.399
9H20 - 9H40	.153	11.50	.041	.111
10H 0 - 10H20	-.153	12.00	-.032	-.081
10H40 - 11H 0	-.241	12.20	-.060	-.087
11H20 - 11H40	-.386	12.90	-.131	-.228
12H 0 - 12H20	-.553	12.60	-.297	-1.867
13H20 - 13H42	-1.098*	15.40	-2.726	-1.438
14H 0 - 14H22	-.731	15.20	-1.409	-.496
14H40 - 15H 0	-.287	16.00	-.699	-.225
15H20 - 15H38	-.183	15.50	-.156	-.077
16H 0 - 16H18	.197	15.00	.085	.206
16H40 - 16H58	.599	14.40	.663	.438
17H20 - 18H 0	.859	13.30	.754	.254

TIJD (M.E.T.)	GEMIDDELDE STROOMSNELHEID (M/S)	WATER- DIEPTE (M)	SUSPENSIE- TRANSPORT SLIB (KG/SM)	ZAND (KG/SM)
7H 0 - 7H15	.786	7.20	.744	.236
7H45 - 8H 0	.717	7.00	.416	.317
8H30 - 8H45	.361	7.00	.247	.098
9H15 - 9H30	.216	7.50	.046	.093
10H 0 - 10H15	-.173	8.00	-.047	-.073
10H45 - 11H 0	-.250	8.50	-.035	-.066
11H30 - 11H45	-.310	8.70	-.066	-.085
12H15 - 12H30	-.647	9.60	-.771	-.181
13H 0 - 13H15	-1.084	10.50	-3.134	-.662
13H45 - 14H 0	-.811	11.30	-2.780	-.861
14H30 - 14H45	-.332	11.00	-.856	-.263
15H15 - 15H30	-.185	11.00	-.109	-.041
16H 0 - 16H15	.186	10.40	.049	.062
16H45 - 17H 0	.556	9.60	.178	.234
17H30 - 17H45	.817	8.80	2.026	.244
18H15 - 18H30	.923	8.00	2.789	.513

+ = EB
 - = VLOED

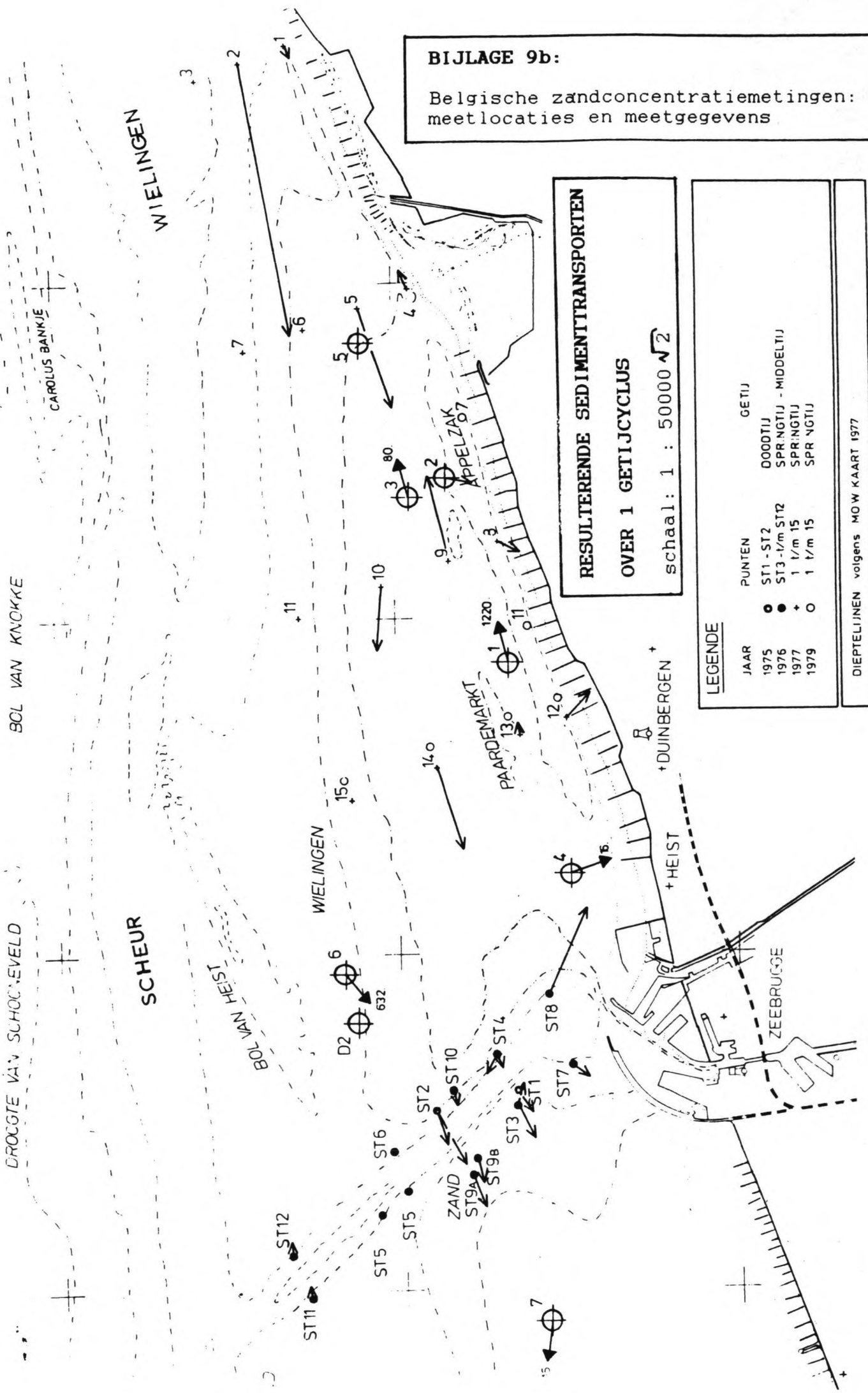
+ = EB
 - = VLOED

*) MEETMETHODE :
 FLES = FLES
 BAL = FLES MET BAL
 HOEK = FLES MET BAL ONDER HOEK VAN 35 GRADEN

*) MEETMETHODE :
 FLES = FLES
 BAL = FLES MET BAL
 HOEK = FLES MET BAL ONDER HOEK VAN 35 GRADEN

BIJLAGE 9b:

Belgische zandconcentratiemetingen:
meetlocaties en meetgegevens



**RESULTERENDE SEDIMENTTRANSPORTEN
OVER 1 GETIJCYCLUS**
schaal: 1 : 50000 $\sqrt{2}$

LEGENDE

JAAR	PUNTEN	GETIJ
1975	● ST1 - ST2	0000TIJ
1976	● ST3 - 1/m ST12	SPR:NGTIJ - MIDDELTIJ
1977	+ 1 1/m 15	SPR:NGTIJ
1979	○ 1 1/m 15	SPR:NGTIJ

DIEPTELIJNEN volgens MOW KAART 1977

SCHAAL SUSPENSIE 1 cm = 5000 Kg/m GETIJ $\sqrt{2}$
BODEMTRANSPORT zoals aangeduid in Kg/m GETIJ

