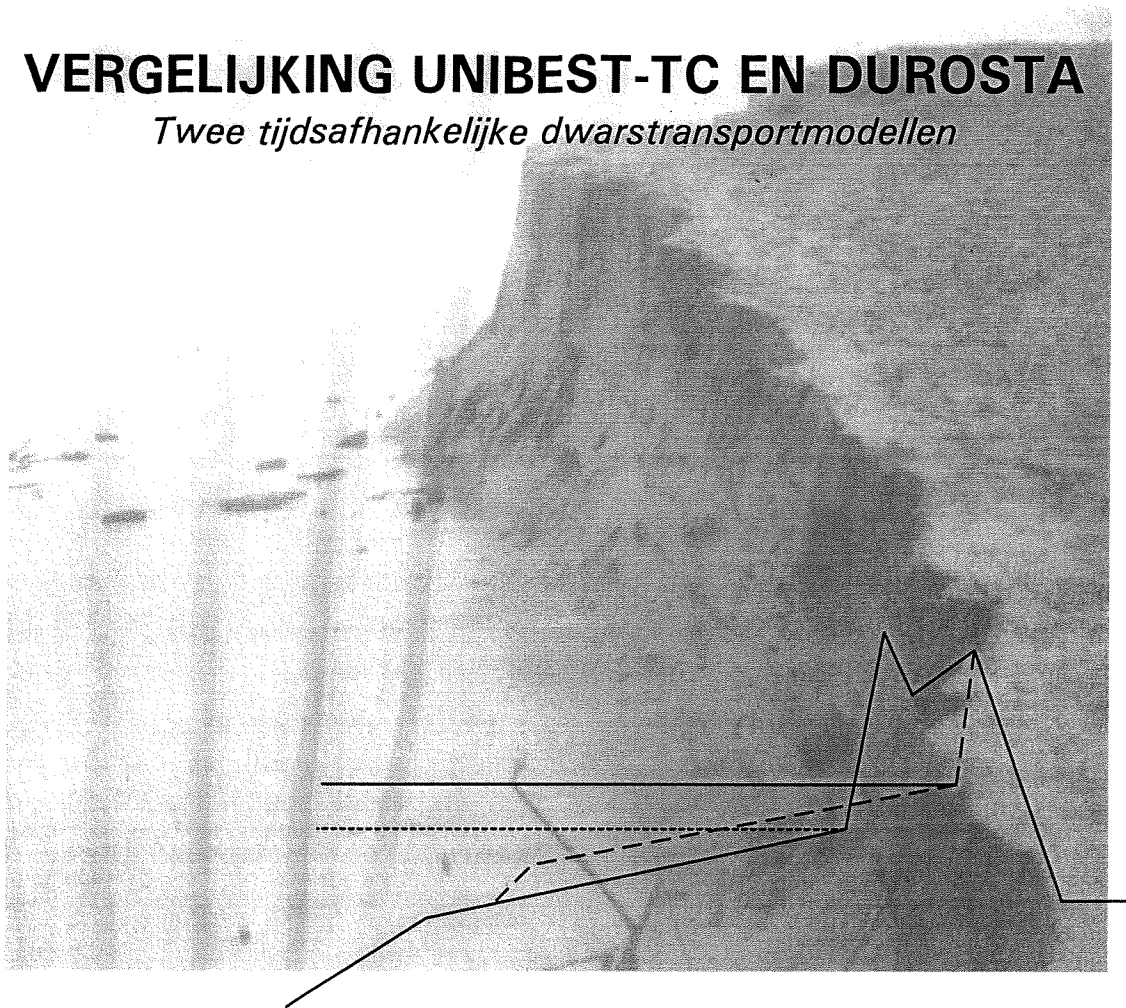


VERGELIJKING UNIBEST-TC EN DUROSTA

Twee tijdsafhankelijke dwarstransportmodellen



AFSTUDEERVERSLAG

Titel: Vergelijking UNIBEST-TC en DUROSTA

Afstudeerrapport van: Michiel Dijk

Datum: januari 2002

Afstudeercommissie: Prof. dr. ir. M.J.F. Stive TU Delft
dr. ir. J. van de Graaff TU Delft
dr. ir. H.J. Steetzel Alkyon
ir. D.J. Walstra WL|Delft Hydraulics
ir. G. Klopman TU Delft

Onderwijsinstelling: Technische Universiteit Delft
Faculteit der Civiele Techniek & Geowetenschappen
Subfaculteit Civiele Techniek
Afdeling Waterbouwkunde

VOORWOORD

Dit rapport is het verslag van mijn afstudeeronderzoek dat is uitgevoerd ter afronding van de studie Civiele Techniek aan de Technische Universiteit Delft van februari 2001 tot januari 2002. In dit onderzoek zijn de modellen UNIBEST-TC en DUROSTA met elkaar vergeleken. Dit zijn twee computermodellen die het dwarstransport en daarmee ook de duïnerosie als functie van de tijd kunnen berekenen. Het onderzoek is uitgevoerd voor zware stormcondities.

Met dit schrijven wil ik iedereen uit mijn afstudeercommissie bedanken. Mijn speciale dank gaat uit naar Jan van de Graaff en Dirk-Jan Walstra voor hun 'dagelijkse' begeleiding. Zij waren tijdens het onderzoek altijd bereid advies en commentaar te geven.

Delft, januari 2002

Michiel Dijk

SAMENVATTING

Voor de berekening van de grootte van het dwarstransport zijn momenteel in Nederland twee computermodellen in gebruik, te weten UNIBEST-TC en DUROSTA. UNIBEST-TC is ontwikkeld voor 'algemeen' gebruik, met gemiddelde condities. DUROSTA is ontwikkeld voor gebruik voor zware condities, waarbij hoge waterstanden kunnen optreden en een zware golfaanval. Hierbij treedt alleen zeewaarts transport op.

Wanneer met beide modellen zware condities worden doorgerekend, waarbij veel duinafslag of duinerosie plaatsvindt, vertonen beide modellen in onder andere het afslagprofiel verschillen. Dit onderzoek had tot doel meer inzicht te krijgen in deze verschillen en het bepalen van de gevoeligheid van beide modellen voor verschillende duinafslag bepalende factoren.

Om dit te onderzoeken is in eerste instantie een vergelijking gemaakt tussen de theoretische achtergronden van de modellen. Vervolgens zijn vergelijkingen gemaakt, waarbij berekeningen zijn uitgevoerd op basis van schaalmodelomstandigheden en prototypecondities, beide met constante condities. De schaalmodelvergelijking is gebaseerd op M1819-I, dit zijn duinafslagproeven uitgevoerd in de Scheldegoot. De prototypevergelijking is gebaseerd op een dwarsprofiel, gemeten ten noorden van Scheveningen, onderhevig aan fictieve zware condities. Om de gevoeligheid van beide modellen te bepalen voor duinafslag bepalende factoren zijn de golfhoogte, de waterstand en de korreldiameter gevarieerd in verschillende berekeningen.

De belangrijkste conclusies die uit dit onderzoek volgen zijn:

- Hoewel de resultaten van beide modellen vergelijkbaar zijn, zijn UNIBEST-TC en DUROSTA met de huidige instellingen en theoretische achtergronden niet onderling uitwisselbaar.
- Zowel het verschil in grootte van het berekende dwarstransport, als het verschil in gradiënten in het berekende dwarstransport tussen UNIBEST-TC en DUROSTA worden hoofdzakelijk veroorzaakt door het verschil in de berekening van de referentieconcentratie, dit is de concentratie aan de bodem.
- Het verschil in de vorm van het afslagprofiel boven water tussen UNIBEST-TC en DUROSTA wordt voor een groot deel veroorzaakt door een verschil in extrapolatiemethoden van sedimenttransport over het droge profiel.
- Beide modellen vertonen vrijwel hetzelfde gedrag bij variaties in de golfhoogte. Dit geldt zowel voor schaalmodelcondities als voor prototypeomstandigheden.
- UNIBEST-TC vertoont voor schaalmodelcondities hetzelfde gedrag bij variaties in de waterstand als DUROSTA. In prototypeomstandigheden komt het gedrag niet met elkaar overeen.
- Beide modellen vertonen vrijwel hetzelfde gedrag bij variaties in de grootte van de korreldiameter. Dit geldt zowel voor schaalmodelcondities als voor prototypeomstandigheden.

INHOUDSOPGAVE

VOORWOORD	ii
SAMENVATTING	iii
1 INLEIDING	1
1.1 ALGEMEEN	1
1.2 PROBLEMBESCHRIJVING	3
1.3 DOELSTELLING	3
1.4 OPZET VAN HET RAPPORT	3
2 PROCESSEN AAN DE KUST	5
2.1 HYDRODYNAMICA	5
2.1.1 <i>dieper water</i>	5
2.1.2 <i>vooroever</i>	5
2.1.3 <i>brekerzone</i>	6
2.2 SEDIMENTTRANSPORTEN ONDER WATER	7
2.3 SEDIMENTTRANSPORTEN BOVEN WATER	7
2.3.1 <i>transport door wind</i>	7
2.3.2 <i>transport door afschuiving</i>	8
2.4 MORFOLOGIE	8
2.4.1 <i>langtransport</i>	8
2.4.2 <i>dwarstransport</i>	8
2.5 DUINAFLAG	9
2.5.1 <i>inleiding</i>	9
2.5.2 <i>storm</i>	9
2.5.3 <i>het proces</i>	10
3 BESCHRIJVING MODELLEN	13
3.1 ENDEC	13
3.2 UNIBEST-TC	15
3.2.1 <i>algemeen</i>	15
3.2.2 <i>golfmodel</i>	15
3.2.3 <i>stromingsmodel</i>	16
3.2.4 <i>orbitaalsnelheidsmodel</i>	18
3.2.5 <i>sedimenttransportmodel</i>	20
3.2.6 <i>bodemprofielveranderingsmodel</i>	23
3.2.7 <i>omgeving waterlijn en droge profiel</i>	23
3.3 DUROSTA	25
3.3.1 <i>algemeen</i>	25
3.3.2 <i>golfmodel</i>	25
3.3.3 <i>stromingsmodel</i>	26

3.3.4	<i>sedimenttransportmodel</i>	27
3.3.5	<i>bodemprofielveranderingsmodel</i>	31
3.3.6	<i>omgeving waterlijn en droge profiel</i>	31
3.4	VERGELIJKING UNIBEST-TC EN DUROSTA	32
4	RANDVOORWAARDEN & MODELOPZET	35
4.1	RANDVOORWAARDEN	35
4.1.1	<i>algemeen</i>	35
4.1.2	<i>initieel profiel</i>	35
4.1.3	<i>hydraulische randvoorwaarden</i>	36
4.2	MODELOPZET UNIBEST-TC	36
4.2.1	<i>rekenstappen</i>	36
4.2.2	<i>parameterinstelling</i>	36
4.3	MODELOPZET DUROSTA	39
4.3.1	<i>rekenstappen</i>	39
4.3.2	<i>parameterinstelling</i>	39
5	SCHAALMODELVERGELIJKING	41
5.1	GOLFMODEL	41
5.2	STROMINGSMODEL	44
5.3	SEDIMENTTRANSPORTMODEL	46
5.4	OMGEVING WATERLIJN	49
5.5	HET AFSLAGPROFIEL	50
6	GEVOELIGHEIDANALYSE	53
6.1	GOLFHOOGTE	53
6.2	WATERSTAND	54
6.3	KORRELDIAMETER	56
7	PROTOTYPE VERGELIJKING	59
7.1	RANDVOORWAARDEN	59
7.1.1	<i>initieel profiel</i>	59
7.1.2	<i>hydraulische en geometrische randvoorwaarden</i>	59
7.2	MODELOPZET UNIBEST-TC EN DUROSTA	60
7.2.1	<i>rekenstap</i>	60
7.2.2	<i>parameterinstelling</i>	61
7.3	VERGELIJKING OP BASIS VAN TEST B4	61
7.3.1	<i>processen onder water</i>	61
7.3.2	<i>het afslagprofiel boven water</i>	65
7.4	GEVOELIGHEIDANALYSE	65
7.4.1	<i>golfhoogte</i>	65
7.4.2	<i>waterstand</i>	66
7.4.3	<i>korreldiameter</i>	68
8	CONCLUSIES EN AANBEVELINGEN	71
8.1	CONCLUSIES	71
8.2	AANBEVELINGEN	72

BIJLAGE I: INVOERFILE UNIBEST-TC

BIJLAGE II: INVOERFILE DUROSTA

BIJLAGE III: INVLOED GOLFHOOGTE OP SCHAALMODEL

BIJLAGE IV: INVLOED WATERSTAND OP SCHAALMODEL

BIJLAGE V: INVLOED KORRELDIAMETER OP SCHAALMODEL

BIJLAGE VI: INVLOED GOLFHOOGTE OP PROTOTYPE

BIJLAGE VII: INVLOED WATERSTAND OP PROTOTYPE

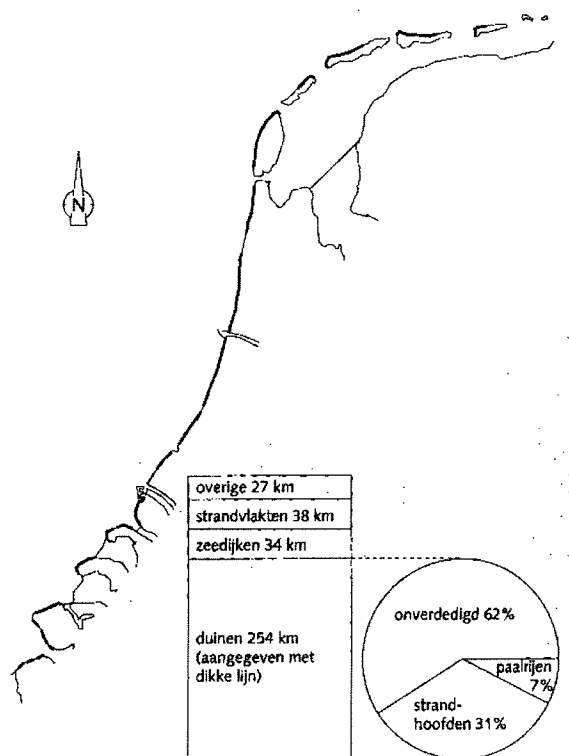
BIJLAGE VIII: INVLOED KORRELDIAMETER OP PROTOTYPE

1 INLEIDING

In deze inleiding wordt de aanleiding tot dit onderzoek beschreven, welke tot een doelstelling leidt in paragraaf 1.3. In paragraaf 1.4 is de opzet van het rapport, en daarmee het onderzoek, beschreven.

1.1 ALGEMEEN

In Nederland zijn het hoofdzakelijk de duinen die het achterland moeten beschermen tegen de bedreigingen van zee, zoals in figuur 1.1 is weergegeven. Deze bedreigingen worden gevormd door hydraulische condities, te weten optredende waterstanden en golven.



figuur 1.1 De Nederlandse kust

Omdat het achterland vele functies zoals wonen, industrie en landbouw huisvest en het beneden zeeniveau ligt, is bescherming van dit achterland van groot belang. Om het maatschappelijk geaccepteerde veiligheidsniveau van het achterland te kunnen waarborgen moeten de duinen voldoende sterk zijn. Dit houdt in dat deze bestand moeten zijn tegen de maatgevende hydraulische condities die op kunnen treden, om zo hun functie als voldoende 'veilige' waterkering te kunnen blijven uitoefenen.

Eén van de mechanismen die duinen doet verzwakken is duinafslag. Hierbij wordt zand van de duinen afgeslagen en zeewaarts getransporteerd. Hieruit blijkt dat dit zogenoemde dwarstransport (cross-shore transport) een belangrijke rol speelt bij duinafslag en dus bij de dimensionering van voldoende veilige duinen. Kennis over dit proces en de sterkte van de duinen is dus van groot belang om te bepalen of de duinen de veiligheid van het achterland kunnen garanderen, nu en in de toekomst.

In het verleden zijn verschillende, afzonderlijke onderzoeken uitgevoerd naar de processen aan de kust, waaronder dwarstransport. Deze onderzoeken hebben tot diverse rekenmodellen geleid, die de ontwikkeling van een kustprofiel, zowel tijdens stormomstandigheden als gemiddelde omstandigheden, berekenen. Hierbij is het noodzakelijk dat op elke positie en op elk tijdstip de grootte van het netto dwarstransport bekend is.

Voor de berekening van de grootte van het zuivere dwarstransport zijn momenteel in Nederland twee rekenmodellen in gebruik, te weten UNIBEST-TC en DUROSTA.

UNIBEST-TC is een onderdeel van het UNIBEST softwarepakket, dat ontwikkeld is om dwars- en langstransport van sediment en kustlijnontwikkelingen te kunnen simuleren. Het pakket bestaat uit drie modules, te weten UNIBEST-LT, UNIBEST-CL en UNIBEST-TC en is ontwikkeld door WL|Delft Hydraulics.

UNIBEST-TC staat voor UNIFORM BEACH Sediment Transport - Time-dependent Cross-shore. Dit model is ontwikkeld om het dwarstransport en de profielveranderingen te berekenen onder variërende golfcondities. Het bevat formuleringen voor de belangrijkste aandrijvende krachten voor landwaarts en zeewaarts transport, inclusief golf-asymmetrie, voor de berekening van bodemtransport, en de door golven aangedreven retourstroom.

UNIBEST-TC is ontwikkeld voor 'algemeen' gebruik. Dit houdt dus gebruik in voor gemiddelde hydraulische condities op lange termijn met zowel zeewaarts als landwaarts transport.

DUROSTA, DUINEROSIE TijdsAfhankelijk-model, is een tijdsafhankelijk dwarstransport model dat de dynamische veranderingen van een willekeurig kustprofiel berekent. Het model is ontwikkeld voor gebruik tijdens zware stormen, waarbij zowel een hoge waterstand als een zware golfaanval optreden. Hieruit blijkt dat DUROSTA geschikt is voor korte termijn simulaties.

Het resulterende dwarstransport onder brekende golven wordt in dit model beschreven door het diepte-geïntegreerde product van tijdsgemiddelde snelheden en tijdsgemiddelde concentraties. Het model berekent hierbij uitsluitend het transport in zeewaartse richting.

Dit laatste model wordt momenteel gebruikt door de TAW, Technische Adviescommissie voor de Waterkeringen, en kan onder meer worden gebruikt voor de beoordeling van de sterkte van de duinen als primaire waterkeringen.

In dit afstudeeronderzoek zullen deze modellen vergeleken worden.

1.2 PROBLEMBESCHRIJVING

Zoals in de vorige paragraaf naar voren is gekomen, zijn momenteel in Nederland twee rekenmodellen in gebruik voor de berekening van de grootte van het zuivere dwarstransport. UNIBEST-TC voor gebruik met gemiddelde condities en DUROSTA voor gebruik tijdens zware stormen.

Hoewel beide modellen zijn ontwikkeld voor verschillende omstandigheden, zijn voor de 'afregeling' van beide modellen vergelijkbare proefresultaten van experimenten in golfgoten gebruikt. Toch vertonen de modellen onder bepaalde condities verschillen in onder andere het afslagprofiel die tot op heden niet verklaard kunnen worden.

Hieruit is de volgende probleemstelling voor dit afstudeeronderzoek voortgekomen:

- *Hoe kunnen de verschillen die optreden in onder andere het afslagprofiel bij berekeningen met UNIBEST-TC en DUROSTA verklaard worden en wat is de gevoeligheid van beide modellen voor verschillende duinafslag bepalende factoren?*

Onder duinafslag bepalende factoren kunnen onder andere stormvloedpeil, golfhoogte en korreldiameter verstaan worden.

1.3 DOELSTELLING

Uit de probleemstelling volgt de volgende doelstelling voor dit onderzoek:

- *Inzicht krijgen in de verschillen die optreden in onder andere het afslagprofiel bij berekeningen met UNIBEST-TC en DUROSTA en het bepalen van de gevoeligheid van beide modellen voor verschillende duinafslag bepalende factoren.*

Wanneer meer inzicht is verkregen in de verschillen tussen de modellen, kunnen deze aangepast worden of kan er een bruikbaarheidsgebied voor de modellen gedefinieerd worden. Zo kunnen de modellen op de juiste wijze en voor de juiste omstandigheden toegepast worden.

1.4 OPZET VAN HET RAPPORT

Dit rapport en daarmee het onderzoek is als volgt opgezet.

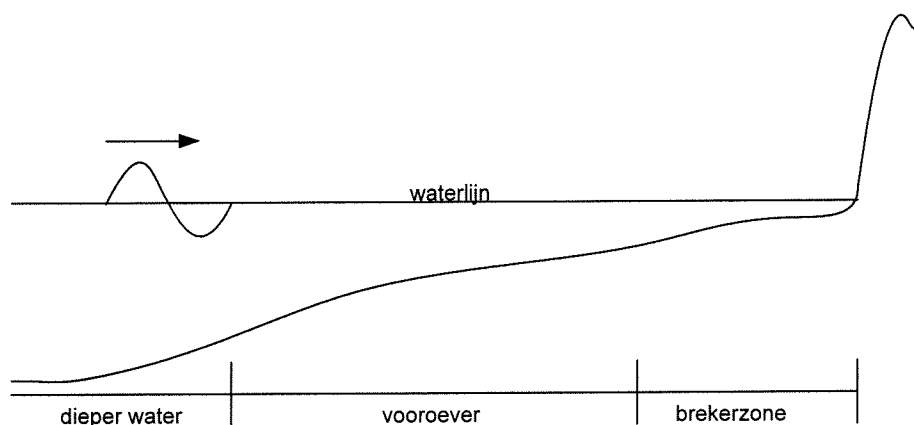
In hoofdstuk 2 worden de processen aan de kust beschreven die onder gemiddelde omstandigheden en onder stormcondities optreden. In hoofdstuk 3 wordt de theoretische achtergrond van de modellen UNIBEST-TC en DUROSTA beschreven. Dit hoofdstuk eindigt met een vergelijking van de theorie van UNIBEST-TC en DUROSTA. De randvoorwaarden en de opzet van de modellen, benodigd voor de schaalmodelvergelijking, volgt in hoofdstuk 4. In hoofdstuk 5 en 6 worden de resultaten van deze vergelijking beschreven. De vergelijking op basis van prototypeomstandigheden volgt in hoofdstuk 7. Het rapport wordt in hoofdstuk 8 afgesloten met enkele conclusies en aanbevelingen welke uit dit onderzoek volgen.

2 PROCESSEN AAN DE KUST

In dit hoofdstuk worden de processen aan de kust beschreven. Hieronder vallen hydrodynamische processen, sedimenttransport processen en de morfologie die hieruit volgt. Tot slot wordt de duinafslag beschreven, wat een dramatische vorm van dwarstransport is.

2.1 HYDRODYNAMICA

Omdat zandtransporten worden veroorzaakt door hydrodynamische processen is het van belang deze eerst te bekijken. Hierbij worden de processen beschreven die in de verschillende zones, van dieper water tot de kustlijn, plaatsvinden, zie figuur 2.1.



figuur 2.1 Verdeling dwarsprofiel onder water in verschillende zones

2.1.1 DIEPER WATER

In het algemeen worden de stromingen op dieper water overheerst door het getij. Het getij langs de Nederlandse kust wordt voornamelijk bepaald door de getijgolf die vanuit de Atlantische Oceaan tussen Schotland en Noorwegen de Noordzee binnenkomt. In de Noordzeebekken wordt deze getijgolf vervormd en ontstaan er verscheidene systemen van getijgolven. Langs de westkust van Nederland verplaatst een getijgolf zich van zuid naar noord. Langs de noordkust verplaatst de getijgolf zich naar het oosten.

De korte golven breken nog niet, mits de golven niet te steil worden en zij planten zich voort in de richting van de kust. De waterdeeltjes maken bij het passeren van een golf een cirkelvormige beweging, de orbitaalbeweging. De amplitude van de cirkelvormige beweging neemt af met de diepte. Op echt diep water reduceert deze cirkelvormige beweging tot nul aan de bodem.

2.1.2 VOOROEVER

De vooroever wordt gedomineerd door golven en (getijgedreven) stromingen.

Wanneer de korte golven een rechte kust naderen treden de volgende effecten op:

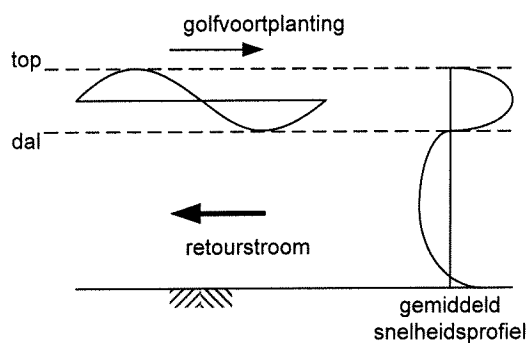
- Verandering van de golfkarakteristieken, zoals golfhoogte, golflengte en voortplantingssnelheid, veroorzaakt door veranderingen in de waterdiepte, wrijving of door stromingen
- Verandering van de golfrichting (refractie), wanneer de golf onder een hoek met de kustlijn de kust nadert. Dit wordt eveneens veroorzaakt door veranderingen in de waterdiepte of stromingen
- Terugkaatsing (reflectie) door een vrij steile oever of wand van een constructie
- Zeespiegeldaling zeewaarts van de brekerlijn veroorzaakt door de toenemende golfspanning, zodanig dat de daarmee overeenkomende horizontale drukgradiënten juist in balans zijn met de gradiënten van de golfspanning

De orbitaalbeweging van de waterdeeltjes wordt in het ondiepe water ellipsvormig, waarbij het oorspronkelijk symmetrische snelheidsveld vervormt. Hierdoor rekt het golfdal uit en treedt er onder het golfdal gedurende langere tijd een kleinere orbitaalsnelheid op. De golftop wordt steiler door deze vervorming en de orbitaalsnelheid onder de top duurt korter maar is groter dan bij symmetrische golven.

2.1.3 BREKERZONE

De korte golven breken in de brekerzone. Tijdens dit proces vindt een intensieve energiedissipatie plaats. Het punt waar een golf breekt wordt bepaald door de zogenaamde brekerindex, welke wordt bepaald door de golfhoogte en de lokale waterdiepte.

Omdat er in een zuiver 2D geval geen netto volumestroom van water naar de kust toe kan plaatsvinden, ontstaat een retourstroom onder het golfdal, als gevolg van de landwaartse beweging van het water in de golftop, zoals in figuur 2.2 is weergegeven.



figuur 2.2 Retourstroom

Een ander effect van het breken van golven is de negatieve gradiënt in de golfspanning. Hierdoor zal in de richting loodrecht op de kust golf-opzet plaatsvinden. In de langsrichting, evenwijdig aan de kustlijn, zal de gradiënt in de golfschuifspanning, wanneer de golven onder een hoek invallen, resulteren in een langsstroming.

2.2 SEDIMENTTRANSPORTEN ONDER WATER

Zand kan getransporteerd worden door:

- wind-, golf-, getij- en dichtheidaangedreven stromingen
- de oscillerende waterbeweging, veroorzaakt door de vervorming van korte golven onder invloed van de afnemende diepte (golf-asymmetrie)
- een combinatie van stromingen en korte golven

Het sedimenttransport is te verdelen in bodem- en suspensietransport.

Het bodemtransport, dit is het transport in een laag dicht bij de bodem, overheerst het sedimenttransport in dieper water buiten de brekerzone, waar de wrijving overheersend is.

Het in suspensie brengen van sediment kan worden veroorzaakt door ribbel-gerelateerde wervelingen. Het suspensietransport gaat een grotere rol spelen naarmate de sterkte van de getij- en windaangedreven stroming toeneemt. Deze grotere rol wordt veroorzaakt door de turbulentie-gerelateerde mengcapaciteit van de stroming. Door dit mechanisme wordt het sediment opgewoeld naar hogere lagen in de stroming.

In de brekerzone van zandige kusten wordt het transport in het algemeen gedomineerd door het breken van golven en golfaangedreven stromingen in langs- en dwarsrichting. Zowel het breken van golven als de oscillerende waterbeweging aan de bodem, veroorzaakt door golven, brengt een relatief grote hoeveelheid zand in suspensie welke door een aanwezige stroming wordt getransporteerd.

Het suspensietransport kan, als het zogenaamde golfgerelateerde deel mag worden verwaarloosd, beschreven worden door het product van de tijdsgemiddelde snelheden en tijdsgemiddelde zandconcentraties. In de brekerzone zijn, als gevolg van de retourstroom, deze tijdsgemiddelde snelheden zeewaarts gericht en daarmee ook het suspensietransport.

2.3 SEDIMENTTRANSPORTEN BOVEN WATER

2.3.1 TRANSPORT DOOR WIND

Op het strand en in de duinen treden zandtransporten op door de wind. Het zandtransport vindt daarbij voornamelijk plaats door rollende en springende zandkorrels. Voor deze zogenaamde stuifprocessen op strand en duin is vooral het lokale windveld van belang. Het lokale windveld kan sterk afwijken van het algemene windveld.

De grootte van het zandtransport op het strand is in hoge mate afhankelijk van de windsnelheid.

Daarnaast speelt ook de vorm van de duinen een belangrijke rol, omdat dit van invloed is op het lokale windveld. Bij de toppen van de duinregels is de lokale windrichting veelal loodrecht op de oriëntatie van de duinregels, ook wanneer de wind op het strand schuin ten opzichte van de duinregels invalt.

Tevens beïnvloeden de vegetatie van het bodemoppervlak en de eigenschappen van het bodemmateriaal de grootte van de zandtransporten aanzienlijk. Samenhangende bestanddelen, zoals slibdeeltjes en zoutkorsten, bemoeilijken de zandopname. In de duinen komt verstuiving vooral voor op plaatsen waar schoon, humusloos zand aan de oppervlakte ligt.

Het zandtransport door de wind is relatief klein en daarnaast is het een lange termijn proces. Over een langere periode is dit transport dus wel van belang.

2.3.2 TRANSPORT DOOR AFSCHUIVING

Tijdens een storm wordt er veel zand getransporteerd in zeewaartse richting. Hierdoor neemt de hoeveelheid zand op het strand af, dit leidt tot steile kustprofielen op de overgang tussen strand en duin. Wanneer de helling van het duin te steil wordt en een kritische waarde overschrijdt, zal een deel van het duin afschuiven.

2.4 MORFOLOGIE

2.4.1 LANGSTRANSPOORT

De langstransporten in het kustgebied worden veroorzaakt door de werking van:

- Scheef invallende golven (zie sub-paragraaf 2.1.3)
- Wind- en getijgedreven stromingen

Gradiënten in het langstransport kunnen voorkomen als gevolg van:

- Geleidelijke verandering van wind- en getijgedreven stromingen langs de kust
- Geleidelijke verandering in golfhoogten langs de kust
- Hoekverdraaiingen van de kustlijn of van de hoek van golfval in langsrichting
- Veranderingen in de eigenschappen van het bodemmateriaal

Een gradiënt in het langstransport verandert de hoeveelheid sediment in een dwarsprofiel. Wanneer een hoeveelheid zand plaatselijk is geërodeerd of afgezet in het profiel, is het dynamisch evenwicht verstoord. Het dwarstransport zal het sediment herverdelen totdat een nieuw dynamisch evenwichtsprofiel is ontstaan.

Omdat de hoeveelheid zand in een dwarsprofiel verandert, zal het dynamisch evenwichtsprofiel zich verplaatsen in dwarsrichting.

2.4.2 DWARSTRANSPOORT

In het algemeen kunnen twee tijdschalen worden onderscheiden waarover de sedimentuitwisseling in de dwarsrichting plaatsvindt:

- Een relatief kleine tijdschaal met snelle, tamelijk frequent voorkomende uitwisselingen van sediment tussen duin, strand en brekerzone. Deze spelen zich af op een kleine ruimteschaal.
- Grote tijd- en ruimteschaal met een sedimentuitwisseling tussen de brekerzone en het onderste deel van de vooroever.

In de brekerzone treedt een intensief dwarstransport op onder invloed van brekende golven. Het vanaf dieper water of vanuit een aangrenzend kustvak aangevoerde zand

kan op het strand worden afgezet en vervolgens door de werking van de wind verder landinwaarts worden getransporteerd. Dit proces treedt voornamelijk op tijdens het (rustige) zomerseizoen. In dit seizoen treedt een verstelling van de kust op.

In de winter treedt een verflauwing van de kust op, omdat dan het zand van het strand naar dieper water wordt afgevoerd. Dit wordt veroorzaakt door de zwaardere golfcondities. Er wordt dan veel zand in suspensie gebracht dat door de retourstroom wordt getransporteerd.

Naarmate de waterdiepte buiten de brekerzone toeneemt, neemt de opwoelende werking van de golven af. Er treedt daarom zeewaarts van de brekerzone een minder intensief dwarstransport op.

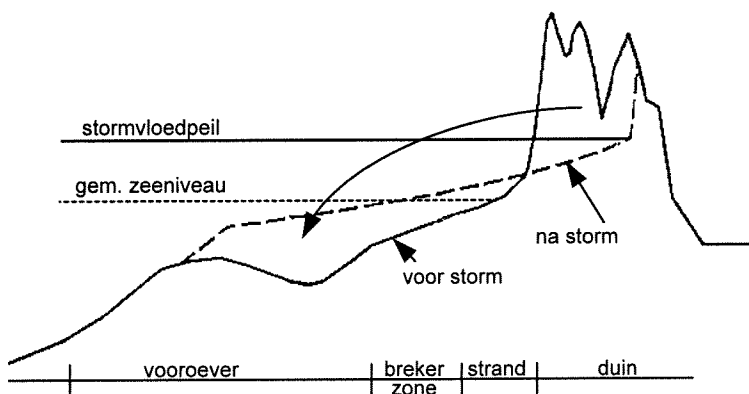
Indien er geen netto verplaatsing van het zand over de zee- en landwaartse grenzen plaatsvindt, resulteren de dwarstransporten slechts tot een herverdeling van zand over het kustprofiel binnen het kustvak.

Wanneer een grotere tijdschaal in beschouwing wordt genomen waarbij geen zand uit het profiel verdwijnt, is het dwarsprofiel in een dynamisch evenwicht.

2.5 DUINAFSLAG

2.5.1 INLEIDING

Een dramatische vorm van dwarstransport is duinafslag of duinerosie. Dit is een relatief snel verlopend dwarstransportproces dat optreedt tijdens stormcondities. Hierbij kunnen grote hoeveelheden uit de zeeleep afkomstig zand, zeewaarts worden getransporteerd, zie figuur 2.3.



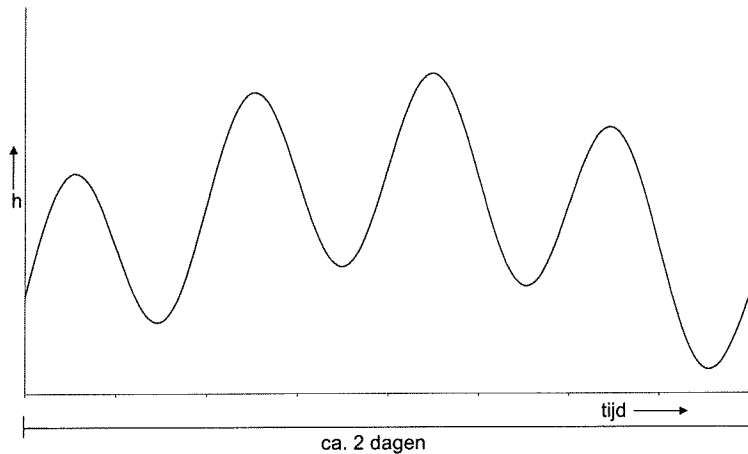
figuur 2.3 Principe van duinafslag

Het afgeslagen duinzand zal zodanig worden afgezet dat er een zogenaamd afslagprofiel ontstaat.

2.5.2 STORM

Tijdens stormcondities gaan zware golfaanvallen gepaard met hoge waterstanden. Deze hoge waterstanden worden in Nederland veroorzaakt door de passage van een laag

drukgebied over de Noordzee in zuidoostelijke richting. Hierbij worden harde winden opgewekt, welke draaien van zuidwest naar noordwest. Door de grote strijklengte in noordwestelijke richting verhoogt de waterstand aan de Nederlandse kust. Samen met de gemiddelde waterstand, het astronomisch getij en golfopzet kunnen deze winden tot een waterstandverhoging van enkele meters leiden. Gedurende de storm is het waterstandverloop zoals in figuur 2.4 is weergegeven. De significante golfhoogte tijdens stormcondities is 5 tot 8 meter, welke op diepwater door de wind worden opgewekt.



figuur 2.4 Waterstandverloop gedurende een storm

2.5.3 HET PROCES

Door de hoge waterstand kunnen de golven de duinen bereiken. Wanneer de duinen en het strand relatief steil zijn, wordt de golfenergie over een kleine afstand gedissipeerd. Hierdoor breken relatief hoge golven in relatief ondiep water. De brekende golven raken de bodem en grote hoeveelheden sediment worden in suspensie gebracht. Een groot deel van het sediment in suspensie wordt, als gevolg van de retourstroom, zeewaarts getransporteerd en zet zich hier af, in een minder turbulente omgeving. Op deze manier worden de duinen geërodeerd en de stranden en vooroevers verhoogd. Als gevolg wordt de helling van het strand flauwer, waardoor de golfenergie over een grotere afstand wordt gedissipeerd. Hierdoor neemt de intensiteit van de brekende golven af, waardoor ook het zeewaarts gerichte sedimenttransport afneemt. Dit proces gaat zo door tot een evenwichtsprofiel is ontstaan overeenkomstig met het stormvloedpeil.

De duinerosie die optreedt als gevolg van de maximaal optredende waterstand is een kort proces vergeleken met de totale stormduur, aangezien deze waterstand maar een korte tijd optreedt, zie figuur 2.4. Voor de bepaling van het veiligheidsniveau van de duinen is dit korte proces echter van zeer groot belang, aangezien tijdens dit proces een groot deel van de totale duinerosie plaatsvindt.

Omdat profielveranderingen langzamer gaan dan veranderingen in hydraulische en meteorologische condities, wordt het evenwichtsprofiel meestal niet gedurende één storm bereikt.

Duinafslag tijdens een storm is een extreem geval, waarbij het strandprofiel zich continu aanpast aan de hydraulische en meteorologische condities.

Behalve door de hoge waterstanden en de zware golfcondities wordt de mate van duinafslag ook bepaald door de stormvloedduur, buistoten en bui-oscillaties, de ligging van het beginprofiel en de korreldiameter van het duinzand.

3 BESCHRIJVING MODELLEN

In dit hoofdstuk worden de modellen UNIBEST-TC en DUROSTA beschreven. Hierbij komt de theoretische achtergrond en de programmaopzet van de modellen aan de orde. In paragraaf 3.1 wordt het golfhoogte-afnamemodel ENDEC beschreven, dat zowel de basis voor het golfmodel van UNIBEST-TC als van DUROSTA vormt. UNIBEST-TC wordt beschreven in paragraaf 3.2, gebaseerd op Bosboom e.a. (2000) en DUROSTA in paragraaf 3.3, gebaseerd op Steetzel (1993 en 1994). Tenslotte wordt in paragraaf 3.4 een vergelijking gemaakt tussen de theorie van UNIBEST-TC en DUROSTA.

3.1 ENDEC

ENDEC staat voor ENergy DECay en is een golfhoogte-afnamemodel. Het is in eerste instantie ontwikkeld om het effect van breken door een beperkte diepte dicht bij de kust in rekening te brengen. Twee gekoppelde differentiaalvergelijkingen, de golfenergie balans (Battjes en Janssen, 1978) en de golfopzet vergelijking, zijn opgelost om het verloop van de golfhoogte en de golfopzet over het dwarsprofiel te berekenen.

De eerste differentiaalvergelijking, de energiebalans voor loodrecht op de kust invallende golven ziet er als volgt uit:

$$\frac{\partial E c_g}{\partial x} + D_b + D_f = 0 \quad (3.1)$$

waarin:

$E c_g$	de energieflux	[W/m]
c_g	voortplantingssnelheid golfgroep	[m/s]
E	golfenergie	[J/m ²]
D_b	de dissipatie door breking	[J/m ² /s]
D_f	de dissipatie door wrijving	[J/m ² /s]
x	positie loodrecht op de kustlijn	[m]

Voor de energieflex geldt hierin:

$$E c_g = \frac{1}{8} \rho_w g H_{rms}^2 \cdot c_g \quad (3.2)$$

met:

ρ_w	dichtheid van water	[kg/m ³]
g	gravitatieversnelling	[m/s ²]
H_{rms}	golfhoogte	[m]

De dissipatie door breking is gelijk aan:

$$D_b = \frac{1}{4} \cdot \alpha \cdot Q_b \cdot f_p \cdot \rho_w \cdot g \cdot H_{\max}^2 \quad (3.3)$$

met:

α	dissipatie coëfficiënt	[-]
f_p	piekfrequentie	[s ⁻¹]
Q_b	een rekenfractie brekende golven	[-]
H_{\max}	een verzadigingsgolfhoogte	[m]

Het model gaat uit van een Rayleigh-verdeling van de golfhoogten welke wordt afgekapt in de brekerzone. Dit houdt in dat de golven die groter zijn dan H_{\max} breken en kleinere golven breken niet en zijn Rayleigh verdeeld. Voor de maximale golfhoogte geldt:

$$H_{\max} = (0.88/k) \tanh(\gamma kd / 0.88) \quad (3.4)$$

waarin:

k	lokaal golfgetal	[rad/m]
d	lokale waterdiepte	[m]
γ	brekerindex	[-]

Voor de dissipatie door bodemwrijving geldt tenslotte:

$$D_f = \rho_w \frac{f_w}{16\sqrt{\pi}} \cdot \left[\frac{\omega H_{rms}}{\sinh(kd)} \right]^3 \quad (3.5)$$

met:

f_w	wrijvingscoëfficiënt	[-]
ω	hoeksnelheid	[rad/s]

De tweede differentiaalvergelijking, de vergelijking voor golfopzet, heeft de volgende vorm:

$$\frac{dS_{xx}}{dx} + \rho_w g (d + \bar{\eta}) \frac{d\bar{\eta}}{dx} = 0 \quad (3.6)$$

waarin:

S_{xx}	golfspanning loodrecht op de kust	[N/m]
d	waterdiepte	[m]
$\bar{\eta}$	gemiddelde golfopzet	[m]

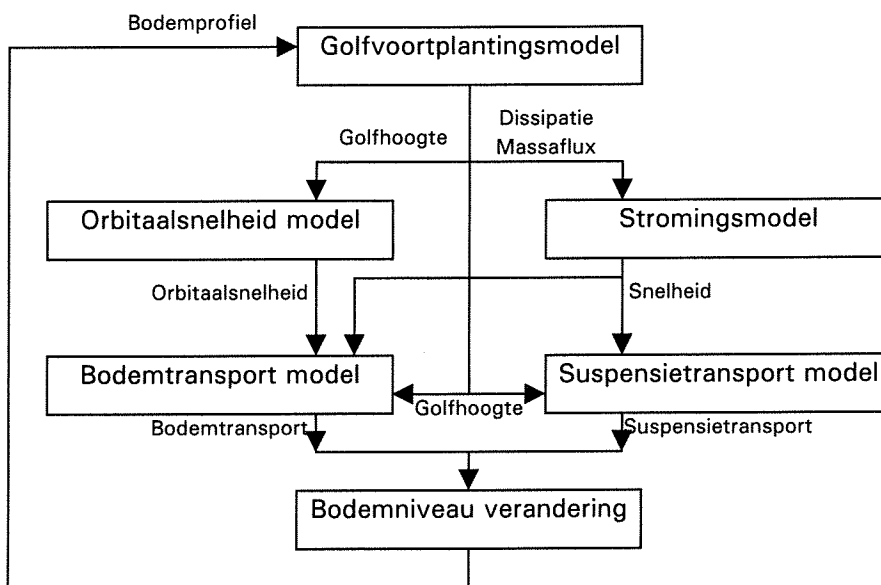
3.2 UNIBEST-TC

3.2.1 ALGEMEEN

Het model UNIBEST-TC bestaat uit vijf sub-modellen, te weten:

- Golfvoortplantingsmodel
- Stromingsmodel
- Orbitaalsnelheidsmodel
- Bodem- en suspensietransportmodel
- Bodemprofielveranderingsmodel

Het model UNIBEST-TC is geschematiseerd in figuur 3.1.



figuur 3.1 Programma opzet UNIBEST-TC

3.2.2 GOLFMODEL

Het golfmodel in UNIBEST-TC is gebaseerd op ENDEC, het golfhoogte-afnamemodel. Dit model is in UNIBEST-TC aangevuld met een derde differentiaalvergelijking, de balansvergelijking voor energie in oppervlakterollers in brekende golven (Nairn e.a., 1990), ook wel rollerenergie genoemd. Dit rollermodel is toegevoegd omdat de locatie van de initiële golfopzet te ver zeewaarts werd berekend. In plaats van direct te dissiperen na het breekpunt, wordt de golfenergie eerst omgezet in turbulente kinetische energie, waarna het dissipeert in de vorm van turbulentie. Hierdoor verplaatst de initiële golfopzet landwaarts.

De balansvergelijking voor rollerenergie wordt als volgt beschreven:

$$\frac{\partial(2E_r,c)}{\partial x} = D_b - Diss \tag{3.7}$$

waarin:

E_r	kinetische energie in een roller	[J/m ²]
c	golfvoortplantingssnelheid	[m/s]
$Diss$	dissipatie van turbulente energie	[J/m ² /s]

De kinetische energie wordt beschreven met:

$$E_r = \frac{1}{2} \rho_w c^2 \frac{A}{L} \quad (3.8)$$

met:

A	roller oppervlakte	[m ²]
L	roller lengte	[m]

Tenslotte wordt de dissipatie van turbulente energie gemodelleerd met:

$$Diss = \beta \rho_w g c \frac{A}{L} = 2 \beta g \frac{E_r}{c} \quad (3.9)$$

waarin:

β	helling van het golffront (0,05-0,10)	[-]
---------	---------------------------------------	-----

Om de verplaatsing van de initiële golfopzet te bewerkstelligen wordt in UNIBEST-TC aan de vergelijking voor golfopzet [vgl. (3.6)] de rollerenergie toegevoegd en wordt de golfspanning voor loodrecht invallende golven als volgt berekend:

$$S_{xx} = ((2n - 0,5)E + 2E_r) \quad (3.10)$$

met

$$n = \frac{1}{2} + kd / \sinh(2kd) \quad (3.11)$$

waarin:

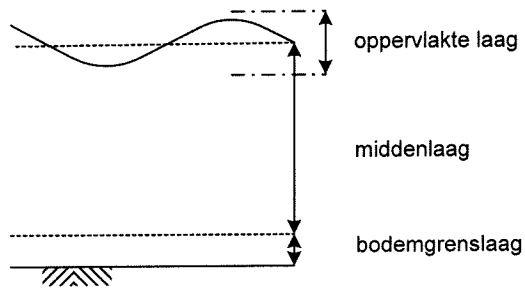
d	waterdiepte	[m]
k	golfgetal	[rad/m]

3.2.3 STROMINGSMODEL

De modellering van het tijdsgemiddeld stroomprofiel is gebaseerd op Roelvink en Reniers (1994). Zij gebruikten een quasi-3D model.

Het quasi-3D model stamt af van het model volgens De Vriend en Stive (1987). Zij definieerden drie lagen, zie figuur 3.2, te weten:

- Oppervlakte laag, tussen top en dal van een golf
- Middenlaag, tussen de bodemgrenslaag en het gemiddeld waterniveau
- Bodemgrenslaag, een dunne laag bij de bodem



figuur 3.2 Verdeling stroomprofiel in drie lagen

Het tijdgemiddeld stroomprofiel wordt verkregen door de relatie tussen de schuifspanning en de snelheidsgradiënt te integreren:

$$\tau_i = \frac{\rho_w \nu_t}{d} \frac{\partial u_i}{\partial \sigma} \quad (3.12)$$

waarin:

τ	schuifspanning	[kg/ms ²]
ρ_w	dichtheid water	[kg/m ³]
ν_t	turbulente viscositeit	[m ² /s]
d	waterdiepte	[m]
u_i	stroomsnelheid	[m/s]
σ	relatieve hoogte boven de bodem z/d	[-]

Het stroomprofiel van de middenlaag komt als volgt tot stand:

De effectieve schuifspanning is gebruikt als randvoorwaarde voor de bovenkant van de middenlaag op gemiddeld waterniveau en daarbij moet de massaflux in de bovenlaag bekend zijn.

Voor de schuifspanning in de richting van de golfvoortplanting geldt:

$$\tau_{s,golf} = \frac{Diss}{c} \quad (3.13)$$

waarin:

$Diss$	dissipatie van turbulente energie	[J/m ² /s]
c	golfvoortplantingssnelheid	[m/s]

De massaflux in de bovenlaag is als volgt opgebouwd:

$$m = \frac{E + 2E_r}{c} \quad (3.14)$$

met:

E	golfenergie	[J/m ²]
-----	-------------	---------------------

E_r kinetische energie in een roller [J/m²]

De randvoorwaarde aan de onderkant van de middenlaag wordt bepaald door de schatting van de referentie schuifspanning voor brekende golven en de oplossing voor de schuifspanning in de bodemlaag voor niet-brekende golven.

Met de differentiaalvergelijking voor het tijdgemiddeld stroomprofiel en de randvoorwaarden, wordt een oplossing gevonden.

3.2.4 ORBITAALSNELHEIDSMODEL

Het model voor de tijdsvariatie van de orbitaalsnelheid bij de bodem is gebaseerd op het model van Roelvink en Stive (1989). Dit model bestaat uit twee delen:

- Een bijdrage als gevolg van golf-asymmetrie, welke berekend wordt volgens Rienecker en Fenton (1981). In geval van onregelmatige golven worden de gemiddelde golfenergie en piekperiode als input gebruikt.
- Een bijdrage als gevolg van lange golven, welke worden veroorzaakt door korte golven, gebaseerd op Sand (1982) en een empirische relatie tussen de fase van de lange golven ten opzichte van de omhulling van de korte golf.

Voor een tijdserie van de orbitaalsnelheid bij de bodem in geval van regelmatige golven inclusief golf-asymmetrie geldt:

$$U_1(t) = \sum_{j=1}^n B_j \cos(j\omega t) \quad (3.15)$$

met:

U_1	orbitaalsnelheid bij de bodem	[m/s]
t	tijd	[s]
j	aantal	[-]
B	amplitude	[m]
ω	hoeksnelheid	[rad/s]

Vervolgens is een tweede tijdserie toegevoegd voor de snelheid welke een fractie uit fase is met U_1 :

$$U_2(t) = \sum_{j=1}^n \cos(j\omega t) \varepsilon^j = \sum_{j=1}^n \cos(j\omega t) \left[\frac{1}{2} (1 + \cos(\Delta\omega t)) \right]^j \quad (3.16)$$

waarin:

$\Delta\omega$	ω/m	[rad/s]
m	aantal golven in een golfgroep (7)	[-]
ε	uitdrukking voor de tweede tijdserie	[-]

Tenslotte is de waarde van U_2 omgezet in U'_2 :

$$U'_2(t) = \left(\frac{\frac{1}{T} \int_0^T U_1^3 dt}{\frac{1}{mT} \int_0^T U_2^3 dt} \right)^{1/3} U_2(t) \quad (3.17)$$

Wanneer twee golfgroepen met een verschillende hoeksnelheid voorkomen, generen deze twee golfgroepen een golf met een veel grotere hoeksnelheid.

De amplitude van deze opgewekte lange golf, gegenereerd door de twee golfgroepen met dezelfde amplitude is gelijk aan:

$$\xi_a = -G_{mn} \frac{a_n a_m}{d} \quad (3.18)$$

In deze vergelijking zijn de korte golf amplitudes gelijk aan:

$$a_n^2 = a_m^2 = \frac{1}{8} H_{rms}^2 - \frac{1}{2} \xi_a^2 \quad (3.19)$$

met:

ξ_a	amplitude van de opgewekte lange golf	[m]
$G_{m,n}$	transfer functie	[-]
a_n, a_m	amplitude van de korte golven	[m]
d	lokale waterdiepte	[m]

Deze opgewekte lange golf genereert een volgende orbitaalsnelheid:

$$U_3(t) = \hat{u}_1 \cos(\omega_1 t + \varphi) \quad (3.20)$$

waarin:

$$\hat{u}_1 = \xi_a \frac{\sqrt{gd}}{d} \quad (3.21)$$

$$\omega_1 = \frac{\omega}{m} \quad (3.22)$$

met:

ω	hoeksnelheid van de lange golf	[rad/s]
φ	faseverschil tussen korte en lange golf	[rad]

De totale orbitaalsnelheid wordt berekend door de orbitaalsnelheid van de opgewekte lange golf op te tellen bij de orbitaalsnelheid van de korte golven:

$$U_4(t) = U'_2(t) + U_3(t) \quad (3.23)$$

3.2.5 SEDIMENTTRANSPORTMODEL

Het sedimenttransport dat in dit model berekend wordt, bestaat uit twee delen te weten:

- Bodemtransport
- Suspensietransport

bodemtransport

Een veel gebruikte dimensieloze parameter om het bodemtransport te beschrijven is:

$$\Phi_{bd}(t) = \frac{S_b(t)}{\sqrt{\Delta g D_{50}^3}} = 9,1 \frac{\beta_s}{(1-p)} \left\{ |\theta'(t)| - \theta_c \right\}^{1,8} \frac{\theta'(t)}{|\theta'(t)|} \quad (3.24)$$

waarin:

S_b	bodemtransport <i>inclusief poriën</i>	[m ³ /m/s]
D_{50}	mediane korreldiameter	[m]
Δ	relatief gewicht onder water	[-]
p	porositeit (= 0,4)	[-]
g	gravitatie versnelling	[m/s ²]
θ'	dimensieloze effectieve schuifspanning	[-]
θ_c	dimensieloze kritische schuifspanning	[-]
β_s	hellingfactor, $\beta_s = \frac{\tan \varphi}{\tan \varphi + (dz/dx)}$	[-]
φ	natuurlijke wrijvingshoek	[rad]

Voor de berekening van $\theta'(t)$ wordt een kwadratische wrijvingswet toegepast, die gebruik maakt van de bodemsnelheid, volgend uit de gecombineerde golfstromingsbeweging, en de gewogen wrijvingsfactor f'_{cw} , zie Van Rijn (1993):

$$\theta'(t) = \frac{1/2 \rho f'_{cw} |u_b(t)| u_b(t)}{(\rho_s - \rho_w) g D_{50}} \quad (3.25)$$

Hierin is u_b de tijdsafhankelijke horizontale snelheid aan de bovenkant van de grenslaag ($z = \delta$). Deze kan worden berekend als de som van de oscillerende snelheid aan de bodem en de tijdsgemiddelde snelheid op 1 cm boven de bodem.

De parameter θ_c is de dimensieloze kritische schuifspanning welke een uitdrukking is voor het begin van bewegen van zandkorrels. Deze 'drempel'-parameter wordt berekend

overeenkomstig de klassieke Shields curve, welke door Van Rijn (1993) is gemodelleerd als een functie van de dimensieloze korreldiameter.

suspensietransport

Het suspensietransport wordt als volgt berekend:

$$q_s = \int_a^{d+\eta} VCdz \quad (3.26)$$

met:

$$V = v + \tilde{v} \text{ en } C = c + \tilde{c} \quad (3.27)$$

waarin:

q_s	suspensietransport	[kg/m/s]
V	lokale snelheid op hoogte z boven de bodem	[m/s]
C	lokale sedimentconcentratie op hoogte z boven de bodem	[kg/m ³]
d	waterdiepte (tot gemiddeld waterniveau)	[m]
η	golfopzet	[m]
a	dikte van laag waar bodemtransport plaatsvindt	[m]
v	tijd en ruimte-gemiddelde snelheid	[m/s]
c	tijd en ruimte-gemiddelde concentratie	[kg/m ³]
\tilde{v}	fluctuerende bijdrage van de golven aan de snelheid	[m/s]
\tilde{c}	fluctuerende bijdrage van de golven aan de concentratie	[kg/m ³]

Hieruit volgt een tijdsgemiddeld stroming-gerelateerd sedimenttransport van:

$$\bar{q}_{s,s} = \int_a^d vcdz \quad (3.28)$$

en een tijdsgemiddeld golf-gerelateerd sedimenttransport van:

$$\bar{q}_{s,g} = \int_a^d \overline{\tilde{v}\tilde{c}} dz \quad (3.29)$$

In UNIBEST-TC is aangenomen dat het golf-gerelateerd suspensietransport klein is ten opzichte van het stroming-gerelateerd suspensietransport, zodat voor het suspensietransport in volume per eenheid van tijd en breedte *inclusief poriën* geldt:

$$S_{s,s} = \frac{\bar{q}_{s,s}}{(1-p)\rho_s} \quad (3.30)$$

Voor de berekening van het concentratieprofiel is aangenomen dat de convectie-diffusie vergelijking voor stationaire stroming ook toepasbaar is voor situaties met golven:

$$c(z) \cdot w_{s,m} + \varphi_d \varepsilon_{s,cw} \frac{dc}{dz} = 0 \quad (3.31)$$

waarin:

$w_{s,m}$	valsnelheid van sediment in suspensie	[m/s]
$\varepsilon_{s,cw}(z)$	diffusiecoëfficiënt voor stroming en golven	[m ² /s]
$c(z)$	tijds gemiddelde concentratie op hoogte z boven de bodem	[kg/m ³]
φ_d	dempingcoëfficiënt afhankelijk van de concentratie	[-]

Voor de gecombineerde stroming- en golfcondities wordt de diffusiecoëfficiënt als volgt gemodelleerd:

$$\varepsilon_{s,cw}(z) = \sqrt{[\varepsilon_{s,w}(z)]^2 + [\varepsilon_{s,c}(z)]^2} \quad (3.32)$$

waarin:

$\varepsilon_{s,w}(z)$	golfgerelateerde diffusiecoëfficiënt op hoogte z	[m ² /s]
$\varepsilon_{s,c}(z)$	strominggerelateerde diffusiecoëfficiënt op hoogte z	[m ² /s]

Het verloop van de golfgerelateerde diffusiecoëfficiënt is als volgt:

- Constante diffusiecoëfficiënt in de bodemgrenslaag
- Constante diffusiecoëfficiënt in de bovenste helft van de waterkolom
- Lineair verloop van de diffusiecoëfficiënt tussen deze twee lagen

De strominggerelateerde diffusiecoëfficiënt wordt constant in de bovenste helft van de waterkolom aangenomen en neemt lineair af naar nul in de onderste helft van de waterkolom.

Beide coëfficiënten zijn o.a. afhankelijk van de diepte, golfhoogte en stroomsnelheid.

In geval van hoge concentraties wordt de valsnelheid van een deeltje bepaald door de aanwezigheid van andere deeltjes. Hieruit volgt voor de valsnelheid:

$$w_{s,m} = \left(1 - \frac{c}{\rho_s}\right)^5 w_s \quad (3.33)$$

met

c	sedimentconcentratie	[kg/m ³]
-----	----------------------	----------------------

De valsnelheid w_s is, overeenkomstig met Van Rijn (1993), onder andere afhankelijk van de korreldiameter en de relatieve dichtheid.

Uiteindelijk wordt de concentratie als functie van de diepte als volgt berekend:

$$c(z) = c_a e^{-\int_{z_{s,cw}(z)}^{z} \frac{w_{s,m}}{D_{s,cw}(z)} dz} \quad (3.34)$$

waarin de referentieconcentratie gelijk is aan:

$$c_a = 0,0015 \rho_s \frac{D_{50}}{a} \frac{T^{1,5}}{D_*^{0,3}} \quad (3.35)$$

met:

a dikte van laag waar bodemtransport plaatsvindt [m]
 D_* dimensieloze korrel diameter [-]

Voor de bodemschuifspanning parameter T geldt:

$$T = \frac{\tau_{b,cw} + \tau_{b,cr}}{\tau_{b,cr}} \quad (3.36)$$

met:

$\tau_{b,cw}$ tijdsgemiddelde effectieve bodemschuifspanning [N/m²]
 $\tau_{b,cr}$ tijdsgemiddelde kritische bodemschuifspanning volgens Shields [N/m²]

3.2.6 BODEMPROFIELVERANDERINGSMODEL

Nadat zowel de suspensie- als de bodemtransporten berekend zijn, worden de bodemniveaue veranderingen berekend met de diepte-geïntegreerde massa balans:

$$\frac{\partial z}{\partial t} + \frac{\partial S_{b+s}}{\partial x} = 0 \quad (3.37)$$

Hierbij wordt in ieder gridpunt berekend hoeveel transport er plaatsvindt. Het verschil in transport tussen twee gridpunten leidt tot een verandering van het bodemniveaue tussen twee gridpunten.

3.2.7 OMGEVING WATERLIJN EN DROGE PROFIEL

De berekening van het sedimenttransport stopt wanneer het water te ondiep wordt. De relatieve golfperiode bereikt dan een door de gebruiker te definiëren waarde:

$$T^* = T_p \sqrt{g/d} \quad (3.38)$$

waarin:

T_p piekperiode [s]

Wanneer dit punt is bereikt, wordt het laatst berekende sedimenttransport geëxtrapoleerd over het profiel boven water. De bodemligging landwaarts van dit punt zal hierdoor veranderen. Het verloop van het sedimenttransport over het profiel boven water is als volgt gemodelleerd, zie ook figuur 3.3:

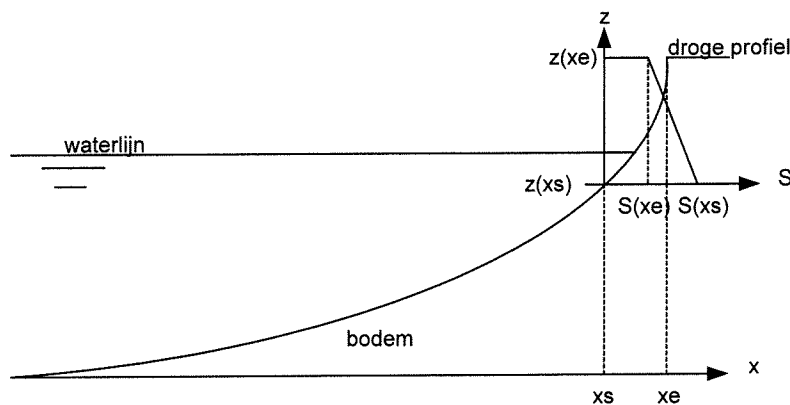
$$S(x) = S_s - \left(\frac{z(x) - z(x_s)}{z(x_e) - z(x_s)} \right) \cdot (S_s - S_e) \quad (3.39)$$

waarin:

$S(x)$	transport in het droge punt x	$[m^3/m/s]$
S_s	transport in het laatste punt waar het transport berekend wordt	$[m^3/m/s]$
$z(x)$	bodemniveau in punt x	$[m]$
S_e	sedimenttransport in het laatste extrapolatiepunt	$[m^3/m/s]$
x_e	laatste extrapolatiepunt	$[m]$
x_s	laatste punt waar het transport berekend wordt	$[m]$

Deze extrapolatie is gebaseerd op de oorspronkelijke formuleringen uit DUROSTA en door Gootjes (2000) in UNIBEST-TC geïmplementeerd.

In het laatste punt van de extrapolatie (de duintop) vindt geen transport meer plaats ($S_e = 0$).



figuur 3.3 Extrapolatie sedimenttransport over profiel boven water

Dit model, met de massabalans voor sediment, leidt tot een volgende beschrijving van het droge profiel:

$$\frac{dz}{dt} + \frac{S_s - S_e}{z(x_e) - z(x_s)} \frac{dz}{dx} = 0 \quad (3.40)$$

Hieruit blijkt dat UNIBEST-TC gebruik maakt van een lineaire extrapolatie, waarbij het profiel boven $z(x_s)$ vormvast is en in zijn geheel landwaarts dan wel zeewaarts verplaatst, afhankelijk van de grootte en richting van S_s . De helling van het duinfront blijft hierbij gelijk.

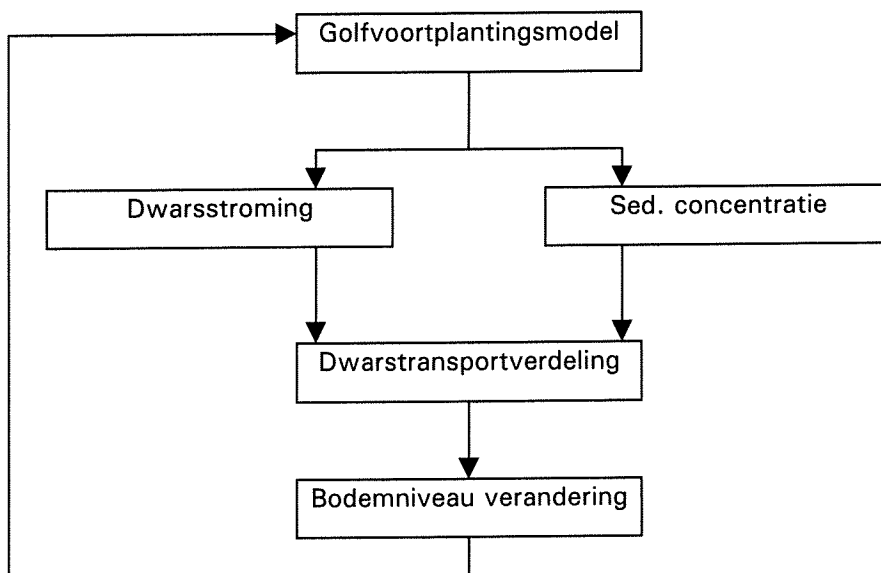
3.3 DUROSTA

3.3.1 ALGEMEEN

In DUROSTA wordt het resulterende dwarstransport onder brekende golven beschreven door het diepte-geïntegreerde product van tijdgemiddelde snelheden en tijdgemiddelde concentraties. Dit volgt uit het feit dat bij omstandigheden waarbij veel sediment in de verticaal aanwezig is (dit is het geval tijdens zware stormen, met veel turbulentie), het transport in hoge mate wordt bepaald door de gemiddelde snelheid. De bijdrage van de fluctuerende snelheden aan het transport, de zogenaamde correlatiebijdrage, is relatief klein.

Deze aanpak is alleen geldig in de brekerzone, omdat hier een retourstroom aanwezig is. Buiten de brekerzone is deze aanpak waarschijnlijk niet correct door het effect van toenemende correlatie tussen waterbeweging en sediment concentratie.

Het model DUROSTA is geschematiseerd in figuur 3.4.



figuur 3.4 Programma opzet DUROSTA

3.3.2 GOLFMODEL

Net als UNIBEST-TC is het golfvoortplantingsmodel van DUROSTA gebaseerd op ENDEC, welke beschreven is in paragraaf 3.1.

Hierbij is, net als in het golfvoortplantingsmodel van UNIBEST-TC, ook aan het golfmodel in DUROSTA een differentiaalvergelijking toegevoegd. Deze differentiaalvergelijking [Roelvink en Stive, 1989] beschrijft, net als in UNIBEST-TC het behoud van turbulente kinetische energie en is de voorloper van het rollermodel van Nairn e.a. (1990).

De differentiaalvergelijking is als volgt geformuleerd:

$$\frac{dP_t}{dx} + D_t = D_b \quad (3.41)$$

waarin:

P_t	gemiddelde turbulente energieflux	[W/m]
D_t	dissipatie van turbulente kinetische energie	[J/m ² /s]
D_b	dissipatie van golfenergie door breking	[J/m ² /s]

De dissipatieterm als gevolg van breken kan beschouwd worden als de productieterm voor de turbulente energie.

De turbulente dissipatie wordt beschreven met Launder en Spalding (1972):

$$D_t = \rho \bar{K}^{2/3} \quad (3.42)$$

met:

\bar{K}	dieptegemiddelde turbulente energie per eenheid van massa [J/kg]
-----------	--

De gemiddelde turbulente energieflux P_t wordt beschreven met:

$$\frac{dP_t}{dx} = \rho_w \frac{d}{dx} (cd\bar{K}) \quad (3.43)$$

waarin:

c	golfvoortplantingssnelheid	[m/s]
d	waterdiepte	[m]

Met behulp van vergelijking (3.42) en (3.43) wordt de verdeling van de turbulente dissipatie over het dwarsprofiel berekend.

3.3.3 STROMINGSMODEL

De beschrijving van het tijdsgemiddelde snelheidsprofiel is gebaseerd op de verticale verdeling van de tijdsgemiddelde schuifspanning onder het gemiddelde golfdal. Dit leidt uiteindelijk tot de volgende formulering voor het snelheidsprofiel:

$$u(z) = u_0 + K_{lin} \cdot z + K_{log} \cdot \ln\left(1 + \frac{\mu}{\varepsilon_0} \cdot z\right) \quad (3.44)$$

met:

$$K_{lin} = \frac{\alpha}{\mu} \quad (3.45)$$

$$K_{log} = \left(\beta - \frac{\alpha}{\mu} \cdot \varepsilon_0 \right) / \mu \quad (3.46)$$

waarin:

u_0	(negatieve) snelheid aan de bodem	[m/s]
α	constante $((\partial \bar{\tau} / \partial z) / \rho_w)$	[m/s ²]
β	constante $(\bar{\tau}_b / \rho_w)$	[m ² /s ²]
ε_0	diffusie coëfficiënt op $z=0$ (bodem)	[m ² /s]
μ	(verticale) gradiënt van de $\varepsilon(z)$ -verdeling	[m/s]

Hierbij is aangenomen dat de diffusiecoëfficiënt ε , voor zowel de vloeistof als voor het sediment, een lineaire functie is van het niveau z in de verticaal.

De grootte van de massaflux m boven het gemiddelde golfdal is uit continuïteitsoverwegingen gelijk aan:

$$-m / \rho_w = u_0 \cdot d_t + \frac{1}{2} K_{lin} \cdot d_t^2 + K_{log} \cdot I_0 \quad (3.47)$$

waarin:

$$I_0 = \frac{\varepsilon_0}{\mu} \cdot \left[\left[1 + \frac{\mu}{\varepsilon_0} \cdot d_t \right] \cdot \left[\ln \left(1 + \frac{\mu}{\varepsilon_0} \cdot d_t \right) - 1 \right] + 1 \right] \quad (3.48)$$

d_t waterdiepte beneden het golfdal [m]

3.3.4 SEDIMENTTRANSPORTMODEL

Zoals eerder beschreven wordt in DUROSTA het bodemtransport verwaarloosd en wordt alleen het suspensietransport in rekening gebracht voor het dwarstransport. De hoeveelheid sediment die in suspensie is, wordt bepaald door de concentratieverdeling en de referentieconcentratie.

De tijdsgemiddelde concentratieverticaal onder brekende golven wordt beschreven door:

$$C(z) = C_0 f_c(z) \quad (3.49)$$

met:

$$f_c(z) = \exp \left[- \int_0^z \frac{w_s(z)}{\varepsilon_s(z)} dz \right] \quad (3.50)$$

$w_s(z)$ valsnelheid op hoogte z boven de bodem [m/s]
 $\varepsilon_s(z)$ diffusiecoëfficiënt op hoogte z boven de bodem [m²/s]

In principe is hierbij de valsnelheid w_s een functie van de diepte, als gevolg van uitzeving, maar deze variatie is verwaarloosbaar klein in vergelijking tot de niveaafhankelijkheid van $\varepsilon(z)$.

Voor de diffusiecoëfficiënt geldt:

$$\varepsilon(z) = \varepsilon_0 + \mu z \quad (3.51)$$

met:

ε_0 diffusiecoëfficiënt op $z=0$ (bodem) [m²/s]
 μ (verticale) gradiënt van de $\varepsilon(z)$ -verdeling [m/s]

Hieruit volgt de volgende concentratie verdeling:

$$f_c(z) = \left[1 + \frac{\mu z}{\varepsilon_0} \right]^{(-w_s/\mu)} \quad (3.52)$$

Totaal geeft dit voor de concentratie voor het geval van brekende golven:

$$C(z) = C_0 \left[1 + \frac{\mu z}{\varepsilon_0} \right]^{(-w_s/\mu)} \quad (3.53)$$

Bij brekende golven wordt de mate van suspensie en dus ook de referentieconcentratie vooral beheerst door turbulentie welke ontstaat door brekende golven.

Als gevolg van de wijze van breken bereikt een hoeveelheid turbulente energie voor een bepaald deel de bodem en woelt daar actief een hoeveelheid sediment op. Hieruit blijkt dat de hoeveelheid gesuspendeerd sediment afhankelijk is van zowel de mate van breken als de wijze waarop dit gebeurt.

Voor de referentieconcentratie tijdens situaties met intensief brekende golven ($\gamma > 0,33$) geldt uiteindelijk:

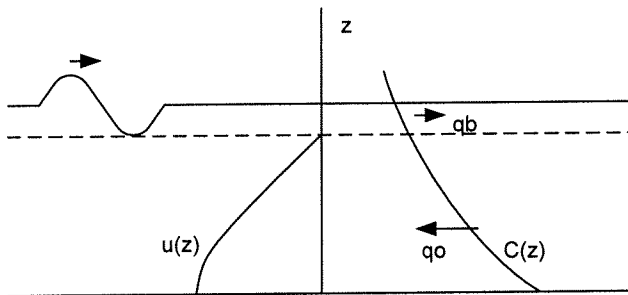
$$C_0 = \rho_s K_c F_D \left(\frac{\rho_w}{\tau_{cr}} \right)^{3/2} [0,47(\gamma - 0,33)]^{3/2} \left(\frac{D_t}{\rho_w} \right) \quad (3.54)$$

waarin:

ρ_s	dichtheid van sediment	[kg/m ³]
ρ_w	dichtheid van water	[kg/m ³]
K_c	constante	[-]
F_D	functie gerelateerd aan de korreldiameter, $F_D = \left(\frac{0,000225}{D_{50}} \right)^{\alpha_D}$	[-]
α_D	constante	[-]
τ_{cr}	kritieke schuifspanning, $\tau_{cr} = \Theta_{cr} (\rho_s - \rho_w) g D_{50}$	[N/m ²]
Θ_{cr}	kritische Shields parameter	[-]
γ	de brekerindex (H_{rms}/d)	[-]
D_t	dissipatie van turbulente kinetische energie	[J/m ² /s]
D_{50}	mediane korreldiameter	[m]
g	gravitatieversnelling	[m/s ²]

Netto dwarstransport berekening

De bijdrage aan het transport wordt gesplitst in twee delen, te weten een bijdrage van de bewegingen beneden het gemiddelde golfdal en boven het gemiddelde golfdal, zie figuur 3.5.



figuur 3.5 Principe van transportberekening door DUROSTA

Hieruit volgt:

$$q = q_o + q_b \tag{3.55}$$

Voor de bijdrage aan het transport beneden het gemiddelde golfdal geldt:

$$q_o = C_0 [u_0 I_1 + K_{lin} I_2 + K_{log} I_3] \tag{3.56}$$

met:

$$I_1 = \frac{\varepsilon_0}{\mu} \frac{1}{K_1} [K_2^{K_1} - 1] \quad (3.57)$$

$$I_2 = \frac{\varepsilon_0}{\mu} \frac{1}{K_1} \left[K_2^{K_1} \left(d_t - \frac{\varepsilon_0}{\mu} \frac{K_2}{K_1 + 1} \right) + \frac{\varepsilon_0}{\mu} \frac{1}{K_1 + 1} \right] \quad (3.58)$$

$$I_3 = \frac{\varepsilon_0}{\mu} \frac{1}{K_1^2} [K_2^{K_1} (K_1 \ln(K_2) - 1) + 1] \quad (3.59)$$

waarin:

$$K_1 = 1 - \frac{w_s}{\mu} \quad (3.60)$$

$$K_2 = 1 + \left(\frac{\mu}{\varepsilon_0} \right) d_t \quad (3.61)$$

Voor de bijdrage aan het transport boven het gemiddelde golfdal geldt:

$$q_b = -C_0 f_c(d) \left[u_0 d_t + \frac{1}{2} K_{lin} d_t^2 + K_{log} I_0 \right] \quad (3.62)$$

met:

$$f_c(d) = \left[1 + \frac{\mu d}{\varepsilon_0} \right]^{(-w_s/\mu)} \quad (3.63)$$

$f_c(d)$ is de relatieve concentratie op gemiddeld waterniveau. De concentratie in het transport boven het gemiddelde golfdal wordt dus constant verondersteld in de berekening.

De bijdrage aan het transport boven het gemiddelde golfdal is landwaarts gericht.

Voor het totale netto dwarstransport geldt uiteindelijk:

$$q = C_0 \left[u_0 (I_1 - f_c(d) d_t) + K_{lin} \left(I_2 - f_c(d) \frac{1}{2} d_t^2 \right) + K_{log} (I_3 - f_c(d) I_0) \right] \quad (3.64)$$

Hieruit blijkt dat het lokale netto dwarstransport wordt bepaald door:

- De referentieconcentratie C_0 .
- De menging $\varepsilon(z)$ onder brekende golven.
- De massaflux m .

De turbulente dissipatie van de brekende golven staat hierbij centraal. Deze is enerzijds bepalend voor de verticale verdeling van zowel de concentratie als de snelheid, alsmede voor de grootte van de referentieconcentratie aan de bodem.

3.3.5 BODEMPROFIELVERANDERINGSMODEL

Bij de berekening van de profielontwikkeling is gebruik gemaakt van de continuïteitsvergelijking:

$$\frac{\partial S_x}{\partial x} + \frac{\partial z}{\partial t} = 0 \quad (3.65)$$

waarin:

$$S_x = \frac{q}{(1-p)\rho_s} \quad (3.66)$$

p porositeit (0,4)

[-]

3.3.6 OMGEVING WATERLIJN EN DROGE PROFIEL

Aangezien in de omgeving van de waterlijn niet gemodelleerde en nog onbegrepen fysische effecten een rol spelen, wordt het dwarstransportconcept hier verlaten.

Het laatst berekende sedimenttransport wordt geëxtrapoleerd over het profiel boven water. Het laatste punt waar dit sedimenttransport berekend wordt, ligt op een kwart van de lokale golflengte zeewaarts van de waterlijn.

De grootte van het transport op het profiel boven water wordt berekend uit het product van het transport dat volgt uit de standaard berekening aanwezig in het laatste rekenpunt en een verdelingsfunctie waarin de grootte van de te verwachten golfoploop een belangrijke rol speelt. Uiteindelijk heeft de extrapolatie de volgende vorm:

$$S(x) = S^* \left[\exp\left(-2\frac{z^2}{z_s^2}\right) - \sqrt{\frac{\pi}{2}} \left(\sqrt{2}\frac{z}{z_s}\right) \left(1 - \frac{2}{\pi} \int_0^{\sqrt{2}z/z_s} \exp(-x^2) dx\right) \right] \quad (3.67)$$

waarin:

$S(x)$	transport in het punt boven water	$[m^3/m/s]$
S^*	transport in het laatste punt waar het transport berekend wordt	$[m^3/m/s]$
z	oploophoogte	$[m]$
z_s	significante oploophoogte, $z_s = K_{opt} 0,7 T_p \sqrt{gH_s} \tan \beta$	$[m]$

K_{opl}	evenredigheidsfactor	[-]
$\tan\beta$	gemiddelde bodemhelling op het strand	[-]

De laatste term is de zogenaamde error-functie.

Uit bovenstaande blijkt dat, in tegenstelling tot UNIBEST-TC, het punt waar geen transport meer optreedt niet per definitie de duintop is. Dit punt kan ook elders op het duinfront liggen. Dit leidt tot een zekere kanteling van het initiële profiel boven water (Steetzel, 1994), waarna het duinfront landwaarts verschuift.

3.4 VERGELIJKING UNIBEST-TC EN DUROSTA

Wanneer de theoretische achtergronden van UNIBEST-TC en DUROSTA naast elkaar gelegd worden, worden al enkele verschillen in de manier van modelleren duidelijk. Naast de kleine verschillen in onder andere aannamen, zijn dit:

- UNIBEST-TC neemt in de profielberekeningen ook het bodemtransport mee. Deze speelt in de brekerzone een kleine rol ten opzichte van het suspensietransport, maar buiten de brekerzone is deze wel van belang. Aangezien de snelheid bij de bodem landwaarts gericht is, zorgt dit voor een zandtransport in landwaartse richting. DUROSTA verwaarloost het bodemtransport en rekent alleen met het (zeewaartsgerichte) suspensietransport. Dit geeft een groter netto dwarstransport. Voor de brekerzone is deze verwaarlozing voor korte tijdschalen verantwoord, maar buiten de brekerzone niet en overschat dit wellicht het netto dwarstransport.
- UNIBEST-TC gaat bij de berekening van de referentieconcentratie uit van bodemschuifspanning-gerelateerd transport. Dit houdt in dat de concentratie aan de bodem gerelateerd is aan de snelheid nabij de bodem en de daardoor veroorzaakte effectieve bodemschuifspanning. Dit geldt vooral bij niet-brekende golven, dus ofwel buiten de brekerzone ofwel bij een rustig golfklimaat waarbij de golven niet of nauwelijks breken. In DUROSTA is de berekening van de referentieconcentratie gerelateerd aan de dissipatie van rollerenergie. Deze dissipatie vindt vooral plaats in de brekerzone. Buiten de brekerzone of bij een rustig golfklimaat wordt er weinig energie gedissipeerd en wordt de referentieconcentratie en daarmee het suspensietransport wellicht onderschat.
- In UNIBEST-TC zorgt de extrapolatie van het sedimenttransport over het profiel boven water voor een vormvaste verschuiving van het duinfront landwaarts dan wel zeewaarts. De helling van het duinfront blijft hierbij gelijk aan de helling van het duinfront in het initiële profiel. In DUROSTA treedt, als gevolg van de gebruikte extrapolatiemethode, een zekere kanteling van het initiële profiel boven water op, waarna het duinfront landwaarts verschuift.

Overeenkomsten tussen de modellen zijn:

- Beide modellen maken gebruik van het golfhoogte-afnamemodel ENDEC. Dit houdt in dat in beide modellen de hydraulische belasting op dezelfde manier wordt berekend en hetzelfde gedrag vertoont.

- Het suspensietransport wordt in beide modellen beschreven door het diepte-geïntegreerde product van tijdsgemiddelde snelheden en tijdsgemiddelde concentraties.
- Zowel de beschrijving van het tijdsgemiddelde snelheidsprofiel in UNIBEST-TC als in DUROSTA is gebaseerd op de verticale verdeling van de tijdsgemiddelde schuifspanning.
- De berekening van de bodemniveauperanderingen is in beide modellen hetzelfde gemodelleerd.

4 RANDVOORWAARDEN & MODELOPZET

In dit hoofdstuk worden de randvoorwaarden en de opzet van de modellen, waaronder de parameterinstelling, beschreven.

4.1 RANDVOORWAARDEN

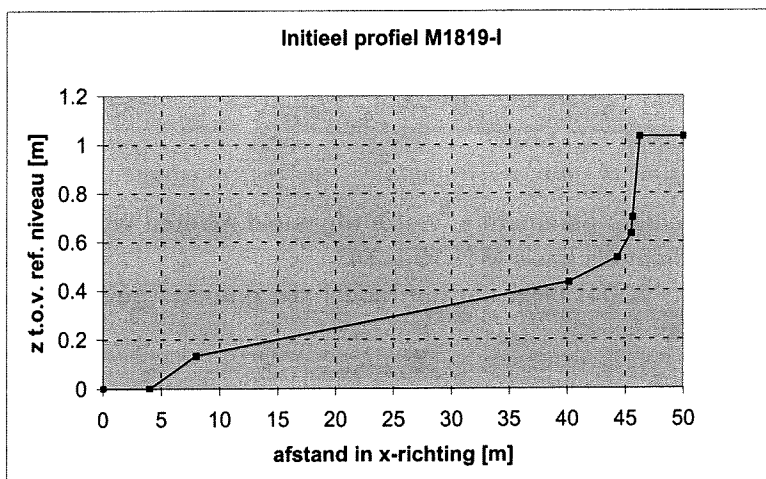
4.1.1 ALGEMEEN

Als basis voor de vergelijking tussen UNIBEST-TC en DUROSTA dient proef M1819-I, test T4. Test T4 is een test uit proevenserie M1819-I welke is uitgevoerd in 1982 door WL|Delft Hydraulics in de Scheldegoot van het Laboratorium De Voorst. Deze goot heeft een lengte van 50 m, is 1 m breed en heeft een diepte van 1,20 m.

Deze proevenserie is een systematisch onderzoek naar kenmerkende factoren voor duinafslag in een zuiver 2D geval. Hiervoor is onder andere gekeken naar de invloed van de golfhoogte, de waterstand en de golfsteilheid. De vergelijking wordt uitgevoerd met constante condities.

4.1.2 INITIEEL PROFIEL

Voor het bodemprofiel is in de proevenserie M1819-I een schaalmodel van een gemiddeld Nederlands profiel genomen, zie figuur 4.1. Dit Nederlandse profiel heeft een duinhoogte van N.A.P. + 15 m, de helling van het duinfront is 1:3. De duinvoet dat is de min of meer fictieve plaats waar het relatief flauwe strandbeloop overgaat in het veel steilere zeewaarts beloop van de duinregel, ligt op N.A.P. + 3 m. Vanaf de duinvoet tot N.A.P. is de helling 1:20. Vanaf N.A.P. tot N.A.P.-3 m is de helling 1:70. Verder zeewaarts is de helling 1:180. Dit profiel is omgeschaald met een diepteschaal van 30 en een lengteschaal van 42. Daarnaast heeft het profiel een samentrekking van 1,2 om het volledige profiel in de Scheldegoot weer te kunnen geven.



figuur 4.1 Initieel bodemprofiel

In de proevenserie is het profiel gevormd met 'Asserzand'. Dit zand heeft een D_{50} van 90 μm .

4.1.3 HYDRAULISCHE RANDVOORWAARDEN

De hydraulische randvoorwaarden worden gevormd door de golven, de waterstand en de stormvloedduur.

Golven

Voor de significante golfhoogte op diep water is in M1819-I, test T4 een hoogte van 0,253 m genomen. Met een diepteschaal van 30, komt deze golfhoogte overeen met een significante golfhoogte van 7,6 m. Deze hoogte wordt in de tijd constant verondersteld. De piekperiode van deze golven is 2,191 s, wat in werkelijkheid een piekperiode van 12 s is. Ook de periode is in de tijd constant. De golven vallen loodrecht in op de kust.

Waterstand

De waterstand in M1819-I, test T4 is gelijk aan 0,7 m boven het referentie niveau en is constant in de tijd. Deze waterstand komt overeen met een stormvloedpeil van N.A.P. + 5 m.

Stormvloedduur

De duur van de storm is 6 uur. Deze stormvloedduur komt overeen met een duur van 33 uur in werkelijkheid.

4.2 MODELOPZET UNIBEST-TC

4.2.1 REKENSTAPPEN

Het rekenveld bestaat uit een grid met twee maten cellen. De eerste 35 m (vanaf $x = 0$ m) bestaat uit cellen van 1 m, daarna tot en met het duin bestaat het grid uit cellen van 0,25 m. Deze variatie in celgrootte is aangebracht om een gedetailleerde berekening te maken rond de waterlijn, daar waar de duinafslag plaatsvindt.

De tijdstap die hierbij is genomen is 0,0005 dag, wat overeenkomt met ongeveer 43 s. Deze combinatie van tijd- en ruimtestap is genomen om een stabiele berekening te kunnen maken.

4.2.2 PARAMETERINSTELLING

Het model UNIBEST-TC bevat meerdere parameters, welke afgesteld moeten worden om het model te calibreren. Hiervoor dient als basis M1819-I, T4.

Uit eerder onderzoek (Walstra e.a., 2001) blijkt dat het model zijn grootste gevoeligheid toont voor de volgende parameters:

- GAMMA (γ), brekerindex
- BETD (β), roller parameter
- FWEE (f_w), wrijvingsfactor voor golfdissipatie als gevolg van bodemwrijving
- FLAM, aantal golf lengten waarover de diepte wordt geïntegreerd

Dit zijn golfgerelateerde parameters.

- FCVISC (α_w), viscositeitcoëfficiënt
- RKVAL (k_s), wrijvingsfactor voor berekening van gemiddelde stroming

Dit zijn strominggerelateerde parameters.

- RW, golfgerelateerde bodemruwheid
- RC, strominggerelateerde bodemruwheid
- FACQB, reductie factor op fractie brekende golven

Dit zijn transportgerelateerde parameters

- D_{50} , D_{90} , D_{ss} , grootte en verdeling van het sediment

Uit dit onderzoek blijkt de parameterinstelling, zoals in tabel 4.1 is weergegeven, het beste overeen te komen met metingen gedaan tijdens proeven (Lip11d 2E), waarbij stormcondities gesimuleerd werden. Hierbij is gekeken naar het golfhoogteverloop, de retourstroom en het totale sedimenttransport. De overige parameters worden ingesteld op de standaard waarde.

tabel 4.1 Instelling belangrijkste parameters UNIBEST-TC

Parameter	Waarde	Eenheid
GAMMA	0.85	[-]
BETD	0.1	[-]
FWEE	0.01	[-]
FLAM	0.25	[-]
FACQB	0.0	[-]
FCVISC	0.1	[-]
RKVAL	0.01	[-]
RW	0.01	[m]
RC	0.01	[m]
D_{50}, D_{90}, D_{ss}	$D_{90} = 1,5 * D_{50}$, $D_{ss} = 0,8 * D_{50}$	[μ m]

Hierbij verdienen nog enkele parameters de aandacht.

FLAM

Deze parameter is alleen van belang wanneer de vertraging in breken (K_{JL}) in rekening wordt gebracht. Aangezien hier zeer voorzichtig mee omgegaan moet worden, wordt deze uitgeschakeld en is FLAM dus niet van belang.

TANPHI

Deze parameter is de interne wrijvingshoek en beïnvloedt het bodemhelling gerelateerde bodemtransport. Een waarde hiervoor, welke dicht ligt bij de initiële bodemhelling, geeft onrealistische hoge bodemtransporten. Aangezien in dit geval bodemhellingen voorkomen in het initiële profiel welke groter zijn dan de standaard instelling voor deze parameter, wordt hier een waarde voor de interne wrijvingshoek toegepast van 0,70.

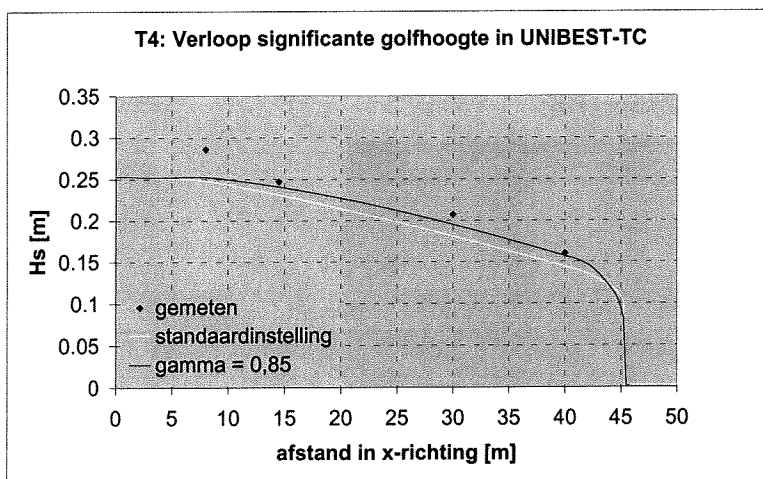
TDRY

Zoals in sub-paragraaf 3.2.7 staat beschreven stopt de berekening van het sedimenttransport wanneer het te ondiep wordt. De relatieve golfperiode bereikt dan een door de gebruiker gedefinieerde waarde, *TDRY*. Wanneer deze parameter wordt ingesteld

op de standaard waarde van 40, wordt de berekening rond de waterlijn instabiel. In dit geval is deze parameter ingesteld op 25, wat inhoudt dat in dit geval de minimaal benodigde waterdiepte gelijk is aan 7,5 cm en het laatste punt van berekenen meer zeewaarts ligt.

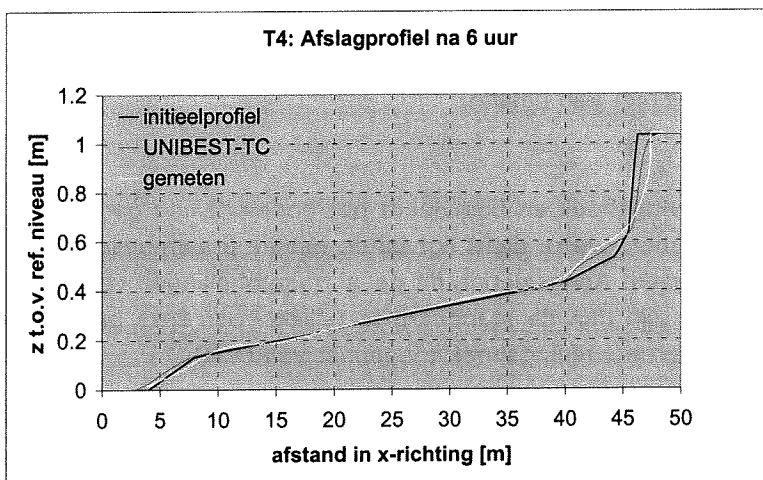
Wanneer deze instelling wordt toegepast bij de simulatie van M1819-I, test T4, geeft dit de resultaten zoals deze in figuur 4.2 en figuur 4.3 te zien zijn.

In figuur 4.2 is te zien dat de instelling betreffende de golfparameters met de gewijzigde instelling ($\gamma = 0,85$) beter overeenkomt met de gemeten waarden dan wanneer de standaard instelling ($\gamma = 0,6$) wordt toegepast. Zeker daar waar vermoedelijk de meeste transporten optreden.



figuur 4.2 Vergelijking gemeten en met UNIBEST-TC berekend golfhoogteverloop over initieel profiel

Ook het berekende afslagprofiel vertoont redelijke overeenkomsten met de metingen, waardoor de bovenstaande parameterinstelling als basis dient in alle berekeningen.



figuur 4.3 Vergelijking gemeten en met UNIBEST-TC berekend afslagprofiel na 6 uur

In figuur 4.3 is te zien dat het duinfront niet vormvast verplaatst in UNIBEST-TC. De oorzaak hiervan wordt in paragraaf 5.5 beschreven.

In bijlage I is de invoerfile voor UNIBEST-TC betreffende test T4 weergegeven.

4.3 MODELOPZET DUROSTA

4.3.1 REKENSTAPPEN

Net als in UNIBEST-TC is hier gekozen voor een celgrootte van 1 m voor de eerste 35 m en een grootte van 0,25 m voor de daarop volgende 15 m. Ook de tijdstap is maximaal 0,0005 dag. Hiervoor is gekozen om de vergelijking met UNIBEST-TC te vergemakkelijken en omdat deze combinatie van tijd- en ruimtestappen stabiele resultaten geeft voor DUROSTA.

4.3.2 PARAMETERINSTELLING

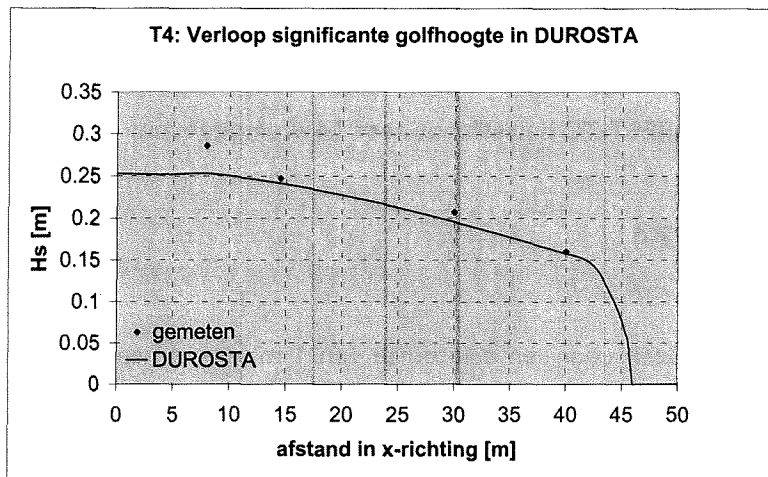
Voor DUROSTA geldt over het algemeen dat deze met de standaard instelling voor de parameters de beste resultaten geeft overeenkomstig gemeten resultaten. De waarden voor deze parameters zijn gegeven in tabel 4.2.

tabel 4.2 Parameterinstelling DUROSTA

Parameter	Beschrijving	Waarde	Eenheid
α	Factor in brekingsdissipatieformulering	1,0	[-]
γ	Maximale brekerindex	0,85	[-]
c_r	Wrijvingsfactor bodemwrijvingsdissipatie	0,01	[-]
K_e	Coëfficiënt in ε_0 -relatie	21,9	[-]
K_{μ}	Coëfficiënt in $\varepsilon(z)$ -relatie	$8,5 \cdot 10^{-3}$	[-]
K_c	Coëfficiënt in C_0 -formulering	$1,2 \cdot 10^{-6}$	[-]
α_k	Coëfficiënt in indringdiepte dissipatie	0,5	[-]
α_D	Macht in korreldiameterfunctie	1,2	[-]
K_r	Dimensieloos rolleroppervlak	0,9	[-]
-	Dimensieloze middelingsafstand	1,0	[-]
K_{cor}	Correctiefactor transport	1,6	[-]
K_{sl}	Coëfficiënt in hellingstransport	4,0	[-]
K_{sw}	Coëfficiënt in swashmodellering	2,0	[-]
K_{opl}	Factor in golfoploopformulering	1,25	[-]

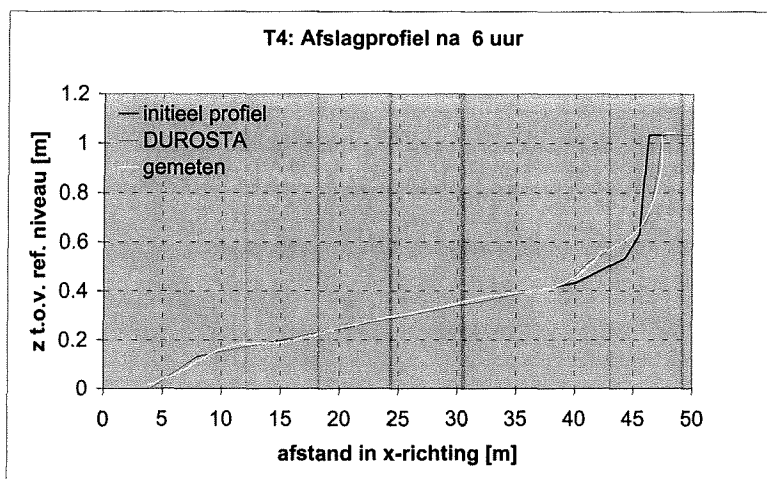
Dit blijkt ook wanneer deze instelling wordt toegepast voor de simulatie van M1819-I, test T4, zoals in figuur 4.4 en figuur 4.5 te zien is.

In figuur 4.4 is te zien dat de berekende en gemeten significante golfhoogte goed met elkaar overeenkomen.



figuur 4.4 Vergelijking gemeten en met DUROSTA berekend golfhoogteverloop over initieel profiel

Uit figuur 4.5 blijkt dat ook het afslagprofiel na 6 uur goed overeenkomt met de metingen.



figuur 4.5 Vergelijking gemeten en met DUROSTA berekend afslagprofiel na 6 uur

In bijlage II is de invoerfile voor DUROSTA betreffende test T4 weergegeven.

Aan de hand van deze randvoorwaarden en de opzet van de modellen is een modelvergelijking uitgevoerd welke in hoofdstuk 5 en 6 is beschreven.

5 SCHAALMODELVERGELIJKING

Dit hoofdstuk bevat de resultaten van de vergelijking tussen UNIBEST-TC en DUROSTA. Deze vergelijking is gebaseerd op test M1819-I, test T4, zoals deze in hoofdstuk 4 is beschreven.

De vergelijking is gemaakt op twee verschillende tijdstippen. Ten eerste op $T = 0$ uur, waarbij het bodemprofiel in beide modellen gelijk is aan het geschaalde gemiddeld Nederlandse profiel, zie sub-paragraaf 4.1.2. Ten tweede is een vergelijking gemaakt op $T = 6$ uur. Hierbij is het bodemprofiel in beide modellen gelijk aan het bodemprofiel welke gemeten is in de Scheldegoot na 6 uur.

De vergelijking is gemaakt voor verschillende parameters ingedeeld naar sub-modules. Voor enkele parameters is ook een vergelijking met de beschikbare metingen gemaakt.

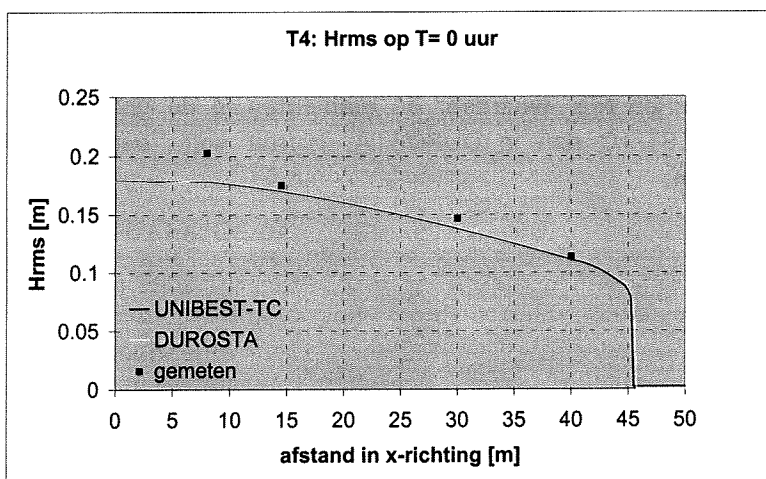
5.1 GOLFMODEL

Een vergelijking tussen de golfmodellen is gemaakt op basis van drie parameters welke overeenkomen met de uitvoer van de drie differentiaalvergelijkingen:

- Golfhoogte
- Golfopzet
- Dissipatie van turbulente kinetische energie, in het vervolg dissipatie van rollerenergie genoemd

Golfhoogte

In figuur 5.1 is te zien hoe de golfhoogte in beide modellen landwaarts afneemt voor het initiële profiel. Hieruit blijkt dat deze afname voor beide modellen hetzelfde is. Dit is ook te verwachten, omdat beide modellen dezelfde formule voor de berekening van deze afname bevatten.

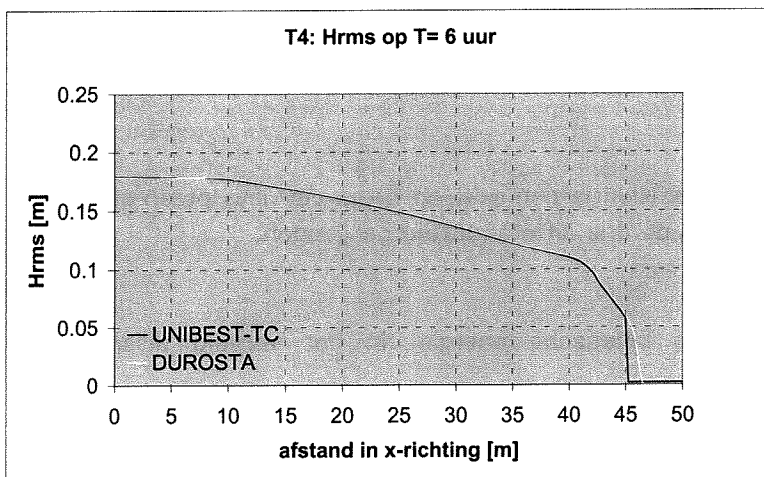


figuur 5.1 Golfhoogte afname op $T = 0$ uur

Beide afnamen in golfhoogte komen ook goed overeen met de metingen. Ook dit is te verwachten aangezien de golfmodellen op deze metingen zijn gecalibreerd.

Aangezien dezelfde formule voor de berekening van de golfhoogte-afname is toegepast in beide modellen, is ook te verwachten dat voor het profiel op $T = 6$ uur de golfhoogte-afname gelijk is aan elkaar. Zoals in figuur 5.2 te zien is blijkt dit ook het geval te zijn. Vergeleken met $T = 0$ uur neemt de golfhoogte meer af. Dit wordt veroorzaakt door de grotere ondiepte welke ontstaat door de afzetting van zand.

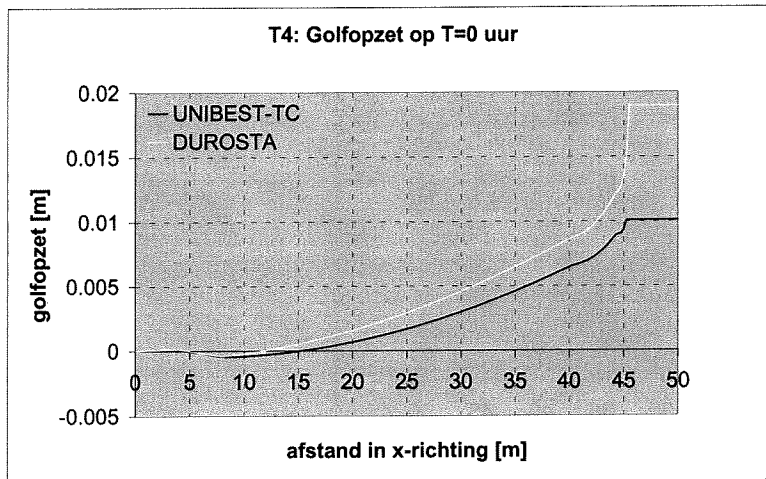
Uit deze figuur blijkt ook dat DUROSTA tot dichterbij de waterlijn rekent dan UNIBEST-TC. Dit verschijnsel is bij alle vergelijkingen op $T = 6$ uur te zien en zal in paragraaf 5.4 aan de orde komen.



figuur 5.2 Golfhoogte afname op $T = 6$ uur

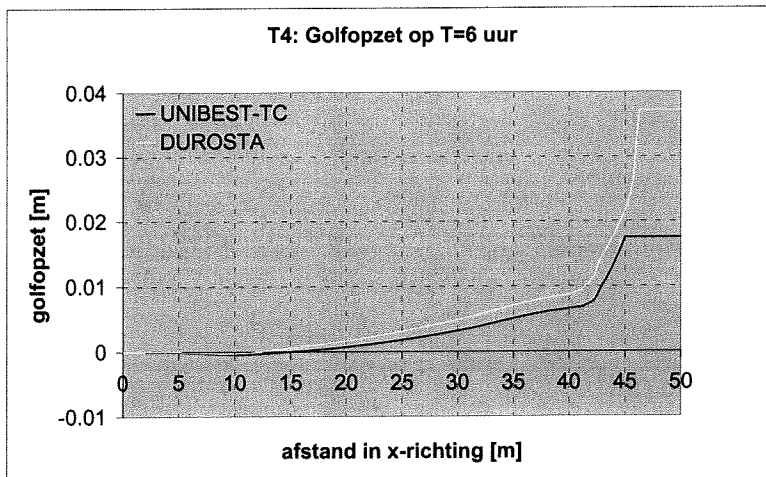
Golfopzet

Wanneer de golfopzet wordt vergeleken valt op dat de opzet in DUROSTA groter is dan in UNIBEST-TC, zie figuur 5.3. Dit is te verklaren uit het feit dat in UNIBEST-TC de golfspanning S_{xx} opgebouwd is uit de golfenergie en de rollerenergie. Landwaarts neemt de golfenergie af en de rollerenergie toe, waardoor de gradiënten in de golfspanning landwaarts kleiner zijn in UNIBEST-TC dan in DUROSTA. Hieruit volgt een kleinere waterstandverhoging, de golfopzet.



figuur 5.3 Golfopzet op $T = 0$ uur

In figuur 5.4 is te zien dat de golfopzet op $T = 6$ uur hetzelfde gedrag vertoont. Als gevolg van het afgezette zand is de energiedissipatie in beide modellen groter, met als gevolg een grotere golfopzet dan op $T = 0$ uur.

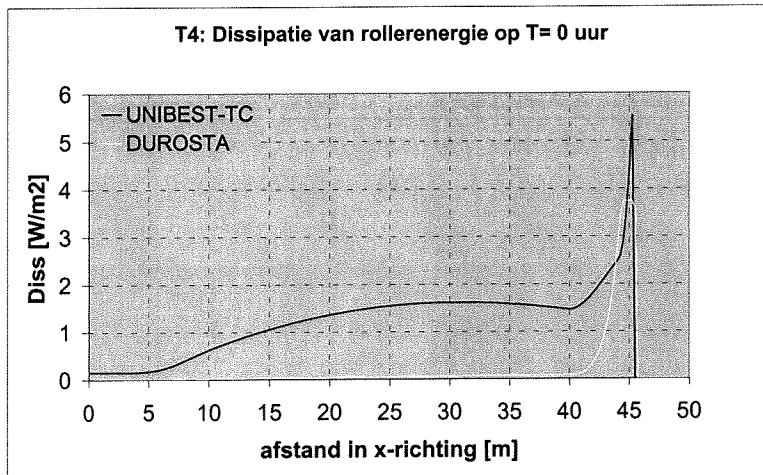


figuur 5.4 Golfopzet op $T = 6$ uur

Dissipatie van rollerenergie

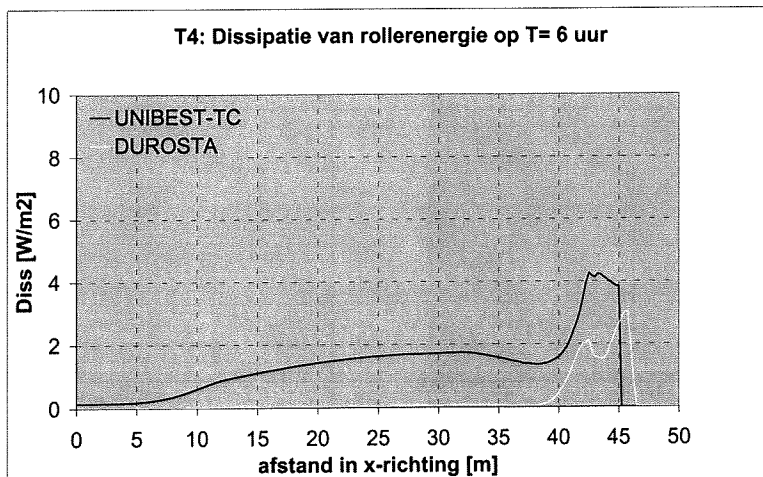
Zowel UNIBEST-TC als DUROSTA bevatten formules voor de berekening van de rollerenergie en de dissipatie hiervan. In UNIBEST-TC is deze gebaseerd op Nairn e.a. (1990) en in DUROSTA op Roelvink en Stive (1989).

Uit figuur 5.5 blijkt het verloop van de dissipatie van rollerenergie over het dwarsprofiel nogal te verschillen in beide modellen. Terwijl UNIBEST-TC ook zeewaarts van $x = 40$ m een dissipatie van rollerenergie berekent, vindt volgens DUROSTA de dissipatie hoofdzakelijk landwaarts van $x = 40$ m plaats.



figuur 5.5 Dissipatie van rollerenergie op T= 0 uur

Dezelfde trend is te zien op T = 6 uur, in figuur 5.6. Echter de maxima zijn kleiner dan op T = 0 uur en de dissipatie vindt, zeker in DUROSTA, minder geconcentreerd plaats. Dit is een gevolg van de verflauwing van het talud.



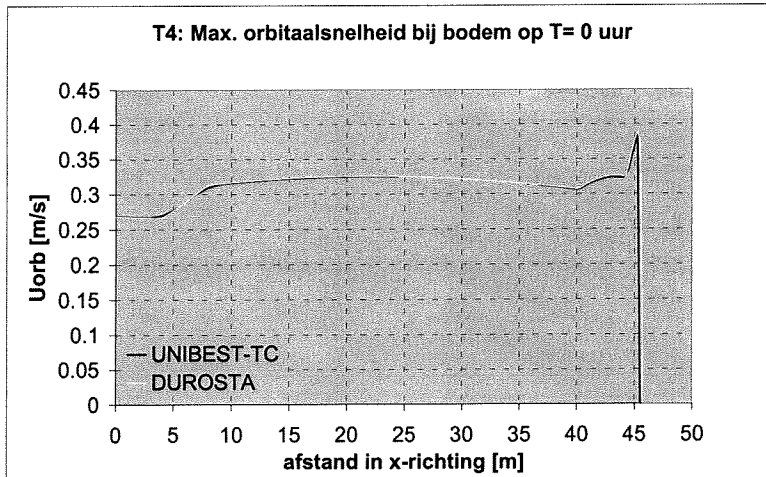
figuur 5.6 Dissipatie van rollerenergie op T= 6 uur

5.2 STROMINGSMODEL

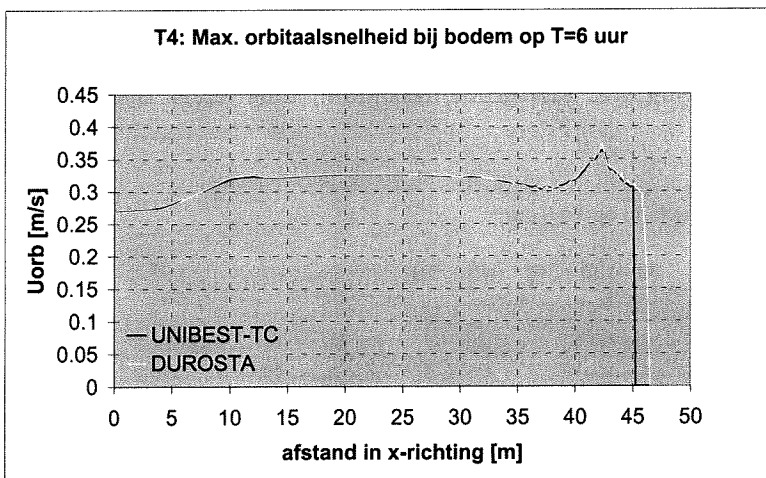
In het stromingsmodel worden zowel de orbitaalsnelheden bij de bodem als de gemiddelde snelheid van de retourstroom berekend.

Orbitaalsnelheid

Uit figuur 5.7 en figuur 5.8 blijkt dat het verloop van de maximum orbitaalsnelheid bij de bodem over het dwarsprofiel zowel op T = 0 uur als op T = 6 uur in beide modellen gelijk is.



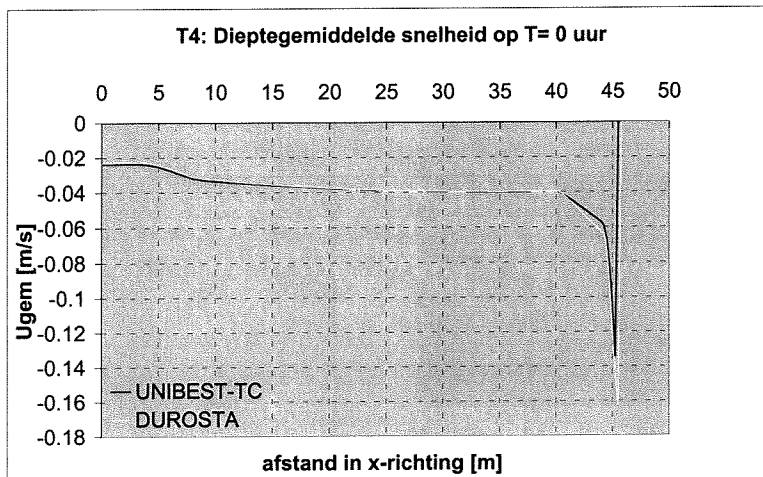
figuur 5.7 Maximum orbitaalsnelheid bij bodem op T= 0 uur



figuur 5.8 Maximum orbitaalsnelheid bij bodem op T= 6 uur

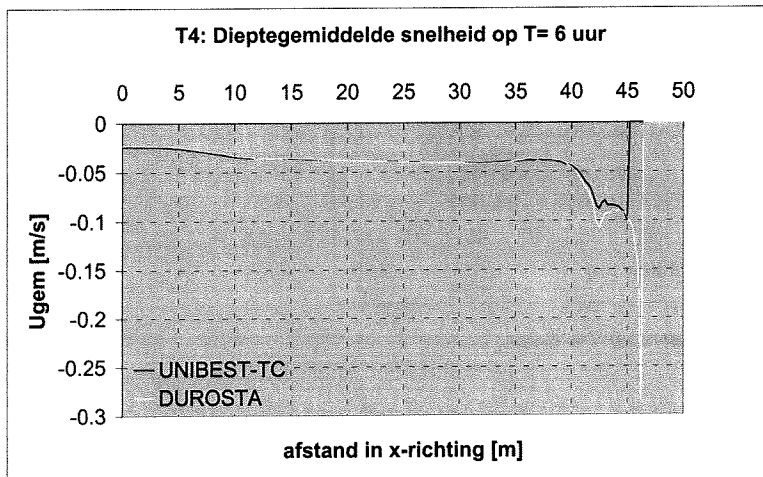
Retourstroom

In figuur 5.9 is te zien dat de dieptegemiddelde snelheid van de retourstroom in beide modellen vrijwel gelijk is. Dit is ook te verwachten, aangezien deze snelheid in beide modellen bepaald wordt door de massaflux boven het gemiddelde golfdal, zie subparagrafen 3.2.3 en 3.3.3. Landwaarts van $x = 40$ m verschilt de dieptegemiddelde snelheid van de retourstroom wel iets. Dit wordt mede veroorzaakt door het verschil in berekenen van de rollerenergie die de grootte van de massaflux mede bepaalt.



figuur 5.9 Dieptegemiddelde snelheid op T= 0 uur

Ook op T= 6 uur wordt hetzelfde gedrag vertoond, zoals in figuur 5.10 is te zien. Ook voor dit profiel bestaan er dus geen noemenswaardige verschillen tussen UNIBEST-TC en DUROSTA. DUROSTA berekent nog wel een groot maximum, daar waar UNIBEST-TC geen snelheden meer berekent.



figuur 5.10 Dieptegemiddelde snelheid op T= 6 uur

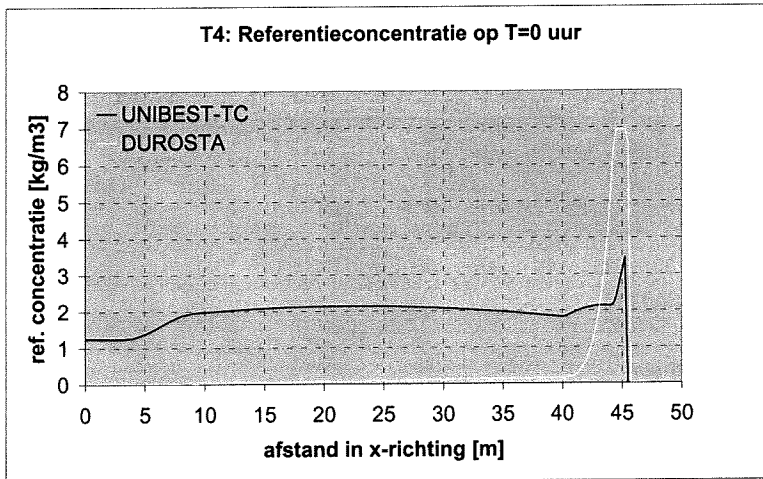
5.3 SEDIMENTTRANSPORTMODEL

Voor de vergelijking van het sedimenttransportmodel zijn twee parameters vergeleken, ten eerste de referentieconcentratie en ten tweede het dwarstransport.

Referentieconcentratie

De referentieconcentratie is de concentratie welke aan de bodem in suspensie wordt gebracht en bepaalt de grootte van het concentratieprofiel en dus de sedimentlast.

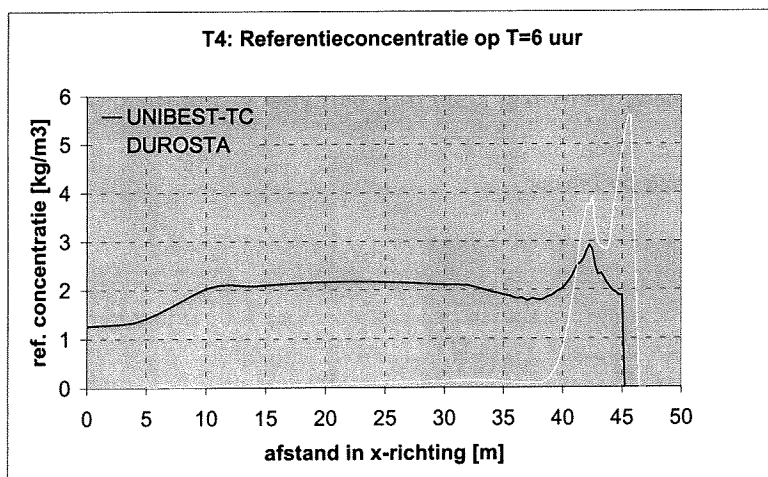
Uit figuur 5.11 blijkt dat deze in beide modellen nogal verschilt. Te zien is dat UNIBEST-TC over het hele dwarsprofiel een referentieconcentratie berekent, terwijl in DUROSTA deze referentieconcentratie veel lokaler aanwezig is en met een veel groter maximum.



figuur 5.11 Referentieconcentratie op $T = 0$ uur

Dit verschil is volledig te verklaren door het verschil in benadering. Terwijl in UNIBEST-TC de referentieconcentratie gerelateerd is aan de orbitaalsnelheid aan de bodem en hieruit volgend de bodemschuifspanning, is de referentieconcentratie in DUROSTA gerelateerd aan de dissipatie van rollerenergie. Dit verschil in benadering is in figuur 5.11 duidelijk te zien aan het verloop van beide concentraties. Het verloop over het dwarsprofiel van de referentieconcentratie in UNIBEST-TC heeft dezelfde vorm als de orbitaalsnelheid aan de bodem (figuur 5.7). De referentieconcentratie in DUROSTA heeft hetzelfde verloop over het dwarsprofiel als de dissipatie van rollerenergie (figuur 5.5).

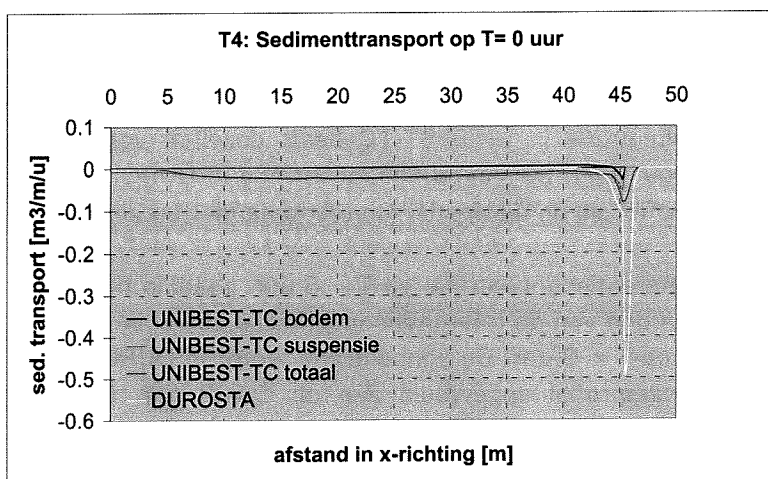
Bovenstaande geldt ook voor de referentieconcentratie op $T = 6$ uur, zoals in figuur 5.12 te zien is, waarbij de maximale waarden van de referentieconcentratie zowel in UNIBEST-TC als in DUROSTA lager zijn dan op $T = 0$ uur. De concentratie wordt in DUROSTA wel over een groter deel van het dwarsprofiel opgewoeld dan op $T = 0$ uur. Dit wordt veroorzaakt door de dissipatie van rollerenergie over een groter deel van het dwarsprofiel als gevolg van de verflauwing van het profiel. De dissipatie is hierdoor minder intens.



figuur 5.12 Referentieconcentratie op $T = 6$ uur

Dwarstransport

In figuur 5.13 zijn de dwarstransporten inclusief poriën weergegeven welke in beide modellen berekend worden. Het dwarstransport in UNIBEST-TC bestaat uit het bodemtransport en het suspensietransport. Het sedimenttransport in DUROSTA bestaat alleen uit het suspensietransport.



figuur 5.13 Sedimenttransport op $T = 0$ uur

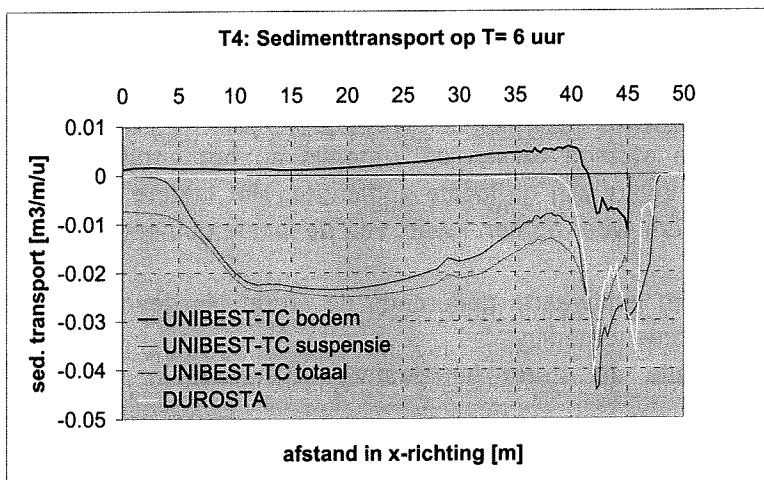
In de figuur is te zien dat UNIBEST-TC zeewaarts van $x = 40$ m transporten zeewaarts berekent, terwijl hier volgens DUROSTA geen transporten plaatsvinden. Dit is een gevolg van het feit dat hier volgens DUROSTA geen referentieconcentratie is en het sediment zich dus niet in de verticaal bevindt. UNIBEST-TC berekent hier wel een referentieconcentratie en dus een sedimentlast.

Tussen $x = 10$ m en $x = 40$ m berekent UNIBEST-TC een vrijwel constant sedimenttransport dat tussen $x = 5$ m en $x = 10$ m afneemt naar nul. Deze gradiënt veroorzaakt de uitbouw van de aanzehelling, zie figuur 4.3.

Landwaarts van $x = 40$ m heeft het verloop van de transporten over het dwarsprofiel dezelfde vorm, alleen heeft het transport in DUROSTA een grotere maximale waarde.

De maximale waarden zijn op $T = 6$ uur vrijwel gelijk aan elkaar, zoals in figuur 5.14 te zien is. De waarden hiervan zijn wel kleiner dan op $T = 0$ uur. Dit als gevolg van de vorm van het afslagprofiel welke het evenwichtsprofiel dichter benadert. Het dwarstransport vindt in DUROSTA over een groter deel van het dwarsprofiel plaats dan op $T = 0$ uur. Ook dit is een gevolg van de dissipatie van rollerenergie over een groter deel van het dwarsprofiel dan op $T = 0$ uur.

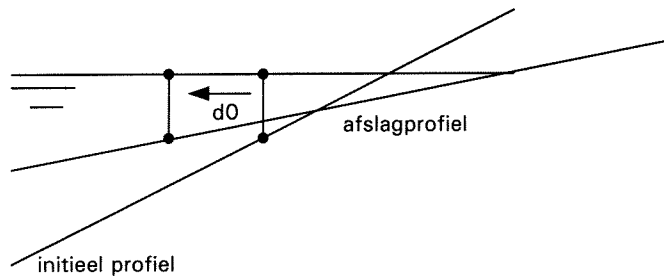
Zeewaarts van $x = 40$ m berekent UNIBEST-TC een bodemtransport landwaarts, als gevolg van een landwaarts gerichte snelheid in de bodemgrenslaag en een groter suspensietransport zeewaarts, als gevolg van de zeewaarts gerichte retourstroom. DUROSTA berekent net als op $T = 0$ uur vrijwel geen transporten zeewaarts van $x = 40$ m.



figuur 5.14 Sedimenttransport op $T = 6$ uur

5.4 OMGEVING WATERLIJN

Zoals in sub-paragraaf 3.2.7 is beschreven is het laatste punt waar sedimenttransport wordt berekend in UNIBEST-TC afhankelijk van de relatieve golfperiode en daaruit volgend de minimaal benodigde waterdiepte. Deze waterdiepte is voor UNIBEST-TC in dit geval gelijk aan 7,5 cm. Wanneer nu het profiel verflauwt zoals in figuur 5.15 is weergegeven, verschuift de minimaal benodigde diepte, d_0 , zeewaarts, waardoor ook het laatste punt waar sedimenttransport wordt berekend zeewaarts verplaatst.



figuur 5.15 Principe verplaatsing laatste rekenpunt in UNIBEST-TC

Wanneer de locatie van de minimaal benodigde waterdiepte tussen twee gridpunten ligt, wordt het gridpunt zeewaarts van d_0 , het laatste rekenpunt.

In DUROSTA ligt het laatste rekenpunt waar sedimenttransport berekend wordt op een kwart van de lokale golflengte van de waterlijn, zie sub-paragraaf 3.3.6. De verplaatsing van dit punt gedurende de storm is in DUROSTA tweeledig.

Ten eerste wordt de waterdiepte ter plaatse van het oorspronkelijke laatste rekenpunt kleiner door het afzetten van sediment, waardoor de lokale golflengte in dit punt ook kleiner wordt. Hierdoor wordt de afstand tussen de waterlijn en het oorspronkelijke laatste rekenpunt groter dan een kwart van de lokale golflengte. Het laatste rekenpunt moet dus landwaarts verplaatsen om weer op een kwart van de lokale golflengte van de waterlijn te liggen.

Ten tweede verplaatst de waterlijn landwaarts gedurende de storm als gevolg van de erosie van sediment rond en boven de waterlijn.

Door bovenstaande zal gedurende de storm het laatste rekenpunt in DUROSTA landwaarts verplaatsen.

Wanneer het punt dat op een kwart van de lokale golflengte van de waterlijn ligt tussen twee gridpunten ligt, wordt het gridpunt zeewaarts van dit punt het laatste rekenpunt.

Door bovenstaande schuiven de laatste rekenpunten in beide modellen uit elkaar gedurende de storm en ontstaat het verschil in berekenen in de omgeving van de waterlijn op $T = 6$ uur tussen UNIBEST-TC en DUROSTA, zoals duidelijk uit de figuren betreffende dit tijdstip blijkt.

5.5 HET AFSLAGPROFIEL

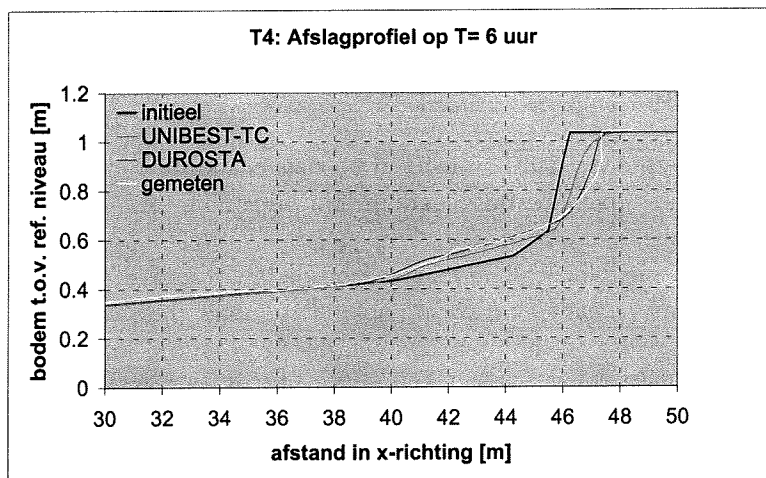
In figuur 5.16 is te zien hoe de profielen zich uiteindelijk ontwikkelen na 6 uur. Beide modellen vertonen onder water vergelijkbare resultaten, maar boven water is een duidelijk verschil in vorm van de afslagprofielen te zien. Dit is te verklaren door het verschil in extrapolatiemethoden, zoals deze in sub-paragraaf 3.2.7 en 3.3.6 zijn beschreven.

Hoewel het op grond van de in UNIBEST-TC gehanteerde uitgangspunten te verwachten is, blijkt het duinfront niet geheel vormvast te verschuiven. De oorzaak hiervoor is tweeledig.

Ten eerste wordt dit veroorzaakt door het gekozen grid. Wanneer het grid uit kleinere cellen bestaat, behoudt het duinfront beter zijn vorm. Uit stabiliteitoverwegingen is het grid echter grover gekozen, zie hoofdstuk 4.

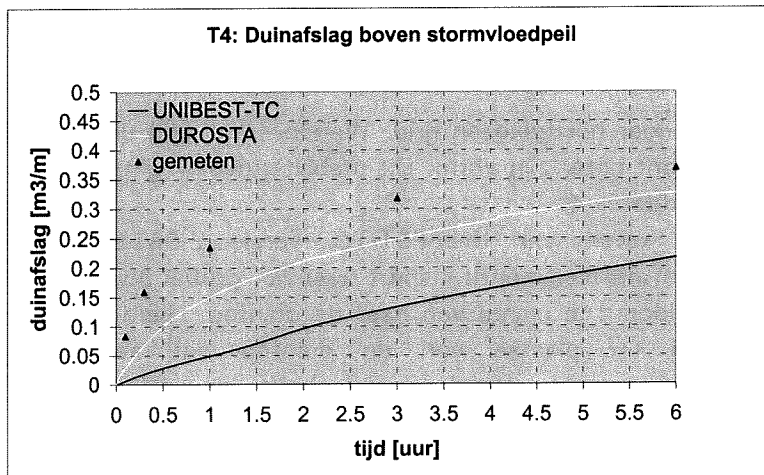
Ten tweede is in de gebruikte versie van UNIBEST-TC (versie 2.04 bèta) een programmeerfout gemaakt en wordt het sedimenttransport over het profiel boven water geëxtrapolerd naar het laatste gridpunt in plaats van naar de duintop. Hierdoor wordt een sedimenttransport berekend ter plaatse van de duintop dat een sterke transportgradiënt ter plaatse veroorzaakt. Hierdoor verschuift de duintop meer landwaarts dan het duinfront.

DUROSTA komt het beste overeen met de metingen. Dit geldt voor zowel het profiel boven als het profiel onder water. Hierbij dient opgemerkt te worden dat DUROSTA onder andere op deze Scheldegoetproef is afgeregeld.



figuur 5.16 Afslagprofiel na 6 uur

Beide modellen onderschatten de hoeveelheid duinafslag boven stormvloedpeil na 6 uur, waarbij DUROSTA het beste overeenkomt met de metingen, zoals blijkt uit figuur 5.17. De onderschatting wordt mede veroorzaakt door het feit dat UNIBEST-TC en DUROSTA van een zelfde dichtheid van het geërodeerde en het afgezette sediment uitgaan en dus van behoud van volume, wat in werkelijkheid niet het geval is. In werkelijkheid heeft het afgezette sediment een grotere dichtheid dan het geërodeerde sediment en neemt het geërodeerde sediment dus minder volume in wanneer het wordt afgezet. DUROSTA biedt de mogelijkheid om dit verschil in dichtheid in te stellen, maar om een goede vergelijking met UNIBEST-TC te maken is in DUROSTA ook geen verschil tussen de dichtheden van het afgezette en geërodeerde sediment ingesteld.



figuur 5.17 Duinafslag boven stormvloedpeil

Uit deze figuur blijkt ook dat het verschil in de berekende hoeveelheden duinafslag tussen beide modellen vooral aan het begin van de storm ontstaat. In DUROSTA slaat er dan ik korte tijd relatief veel zand af.

6 GEVOELIGHEIDANALYSE

In dit hoofdstuk worden de resultaten van de gevoeligheidsanalyses beschreven. In deze gevoeligheidsanalyses is bepaald wat de gevoeligheden van UNIBEST-TC en DUROSTA zijn voor de golfhoogte, paragraaf 6.1, de waterstand, paragraaf 6.2 en de korreldiameter, paragraaf 6.3.

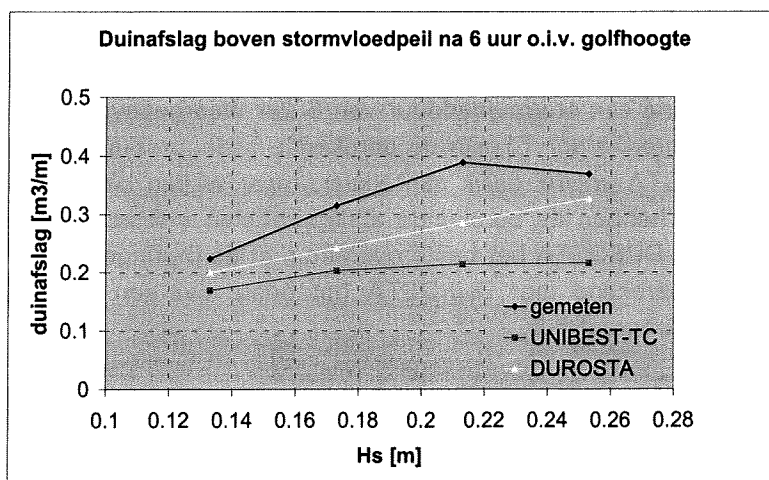
6.1 GOLFHOOGTE

Om de invloed van de golfhoogte, H_{sig} , op de hoeveelheid duinafslag in beide modellen te bepalen en te vergelijken met metingen van uitgevoerde proeven, zijn berekeningen gemaakt in UNIBEST-TC en DUROSTA. De berekeningen zijn gemaakt voor situaties met verschillende golfhoogten, waarbij de overige condities gelijk zijn aan de condities in test T4. In deze berekeningen is de golfsteilheid constant, wat inhoudt dat ook de piekperiode per berekening verschilt. In tabel 6.1 zijn de hydraulische condities per berekening weergegeven.

tabel 6.1 Overzicht hydraulische condities

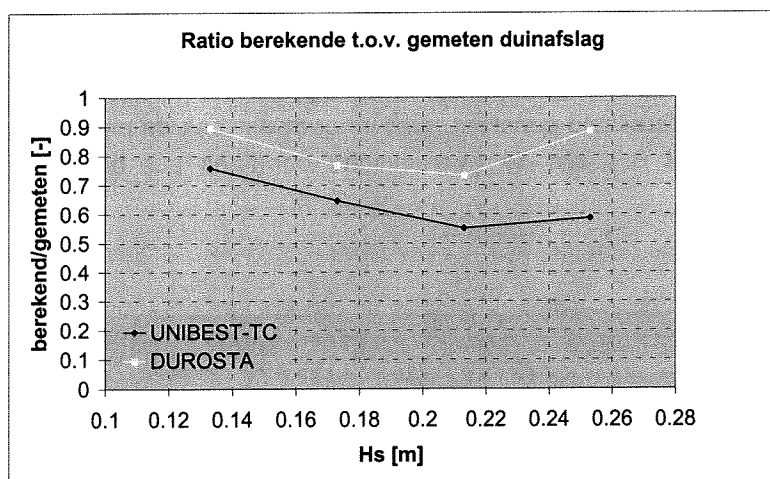
Test	h [m]	H_{sig} [m]	T_p [s]
T1	0,7	0,133	1,588
T2	0,7	0,173	1,807
T3	0,7	0,213	2,008
T4	0,7	0,253	2,191

De testen T1 t/m T4 komen overeen met de testen T1 t/m T4 uit de proevenserie M1819-I.



figuur 6.1 Absolute hoeveelheid duinafslag o.i.v. variaties in de golfhoogte

In figuur 6.1 en figuur 6.2 is te zien dat zowel UNIBEST-TC als DUROSTA de hoeveelheid duinafslag boven stormvloedpeil, na een stormvloedduur van 6 uur, onderschatten voor de verschillende golfhoogten. Deze onderschatting is voor UNIBEST-TC groter dan voor DUROSTA. Hierbij dient opgemerkt te worden dat UNIBEST-TC en DUROSTA van een zelfde dichtheid van het geërodeerde en het afgezette sediment uitgaan, wat in werkelijkheid niet het geval is, zie paragraaf 5.5. Wanneer in DUROSTA deze dichtheid niet gelijk wordt gesteld, maar de dichtheid van het geërodeerde sediment wordt verlaagd (veelal wordt een 10% kleinere dichtheid voor het afgeslagen sediment in DUROSTA aanbevolen), wordt de hoeveelheid duinafslag toch nog onderschat. Uit figuur 6.1 blijkt ook dat in beide modellen de hoeveelheid duinafslag afneemt bij een afnemende golfhoogte. Dit is bij de proeven ook het geval.



figuur 6.2 Berekende hoeveelheid duinafslag na 6 uur t.o.v. metingen o.i.v. variaties in de golfhoogte

Ten opzichte van de metingen vertonen beide modellen een vrijwel gelijk gedrag, zoals blijkt uit figuur 6.2. In beide modellen neemt over het algemeen het procentuele verschil ten opzichte van de metingen hetzelfde toe of af.

In bijlage III zijn de afslagprofielen na een stormvloedduur van 6 uur weergegeven welke horen bij de verschillende golfhoogten. Voor T1 zijn de berekende afslagprofielen onder water met UNIBEST-TC en DUROSTA vrijwel gelijk aan elkaar, maar wijken hier af van het gemeten profiel. Boven water hebben de berekende afslagprofielen wel een andere vorm en komt het afslagprofiel van DUROSTA het beste overeen met de metingen. Voor T4 komt het afslagprofiel berekend met DUROSTA het beste overeen met het gemeten profiel, dit blijkt ook uit paragraaf 5.5.

6.2 WATERSTAND

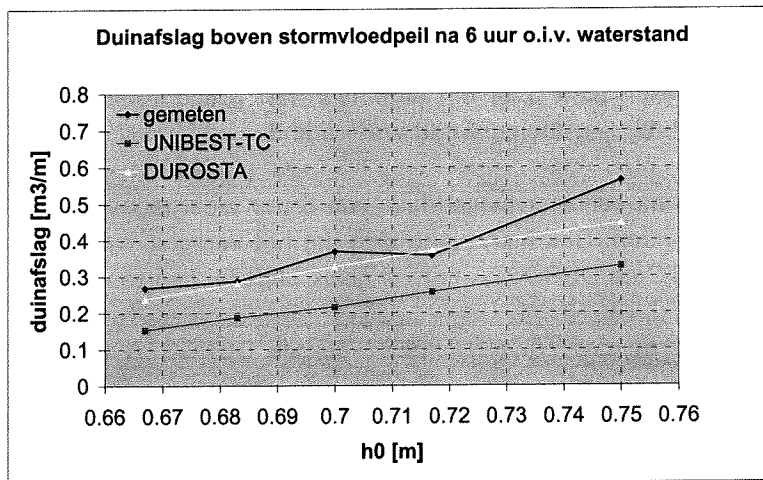
Om de invloed van de waterstand, h , op de hoeveelheid duinafslag te bepalen in beide modellen en te vergelijken met metingen van uitgevoerde proeven, zijn berekeningen gemaakt met UNIBEST-TC en DUROSTA voor situaties met verschillende waterstanden,

waarbij de overige condities gelijk zijn aan de condities in test T4. In tabel 6.2 zijn de hydraulische condities per berekening weergegeven.

tabel 6.2 Overzicht hydraulische condities

Test	h [m]	H_{sig} [m]	T_p [s]
T7	0,667	0,253	2,191
T8	0,683	0,253	2,191
T4	0,7	0,253	2,191
T9	0,717	0,253	2,191
T29	0,75	0,253	2,191

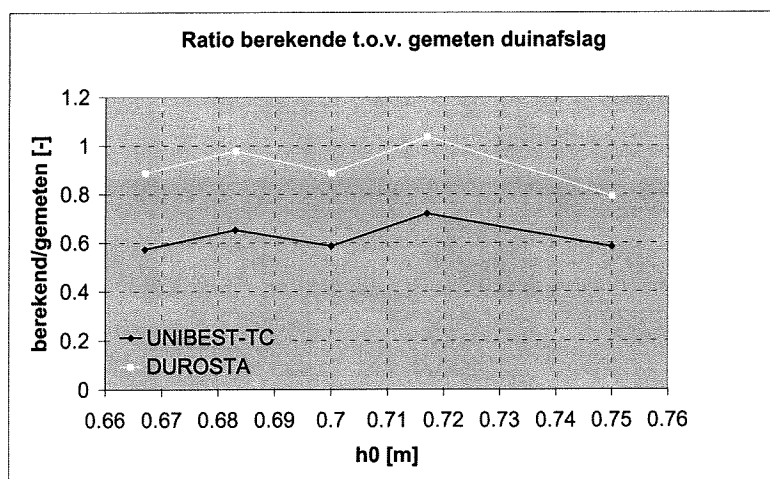
Net als bij de golfhoogte komen deze testen overeen met de testen uit de proevenserie M1819-I.



figuur 6.3 Absolute hoeveelheid duinafslag o.i.v. variaties in de waterstand

In figuur 6.3 en figuur 6.4 is te zien dat UNIBEST-TC de hoeveelheid duinafslag boven stormvloedpeil, na een stormvloeddur van 6 uur, onderschat voor de verschillende waterstanden. De hoeveelheid duinafslag in DUROSTA komt redelijk overeen met de gemeten hoeveelheden, met uitzondering van de hoogste waterstand.

Uit figuur 6.3 blijkt ook dat in beide modellen de hoeveelheid duinafslag toeneemt bij een toenemende waterstand. Deze trend is ook te zien bij de proeven.



figuur 6.4 Berekende hoeveelheid duinafslag na 6 uur t.o.v. metingen o.i.v. variatie in de waterstand

Ten opzichte van de metingen vertonen beide modellen een vrijwel gelijk gedrag, zoals blijkt uit figuur 6.4. In beide modellen blijft over het algemeen het procentuele verschil ten opzichte van de metingen gelijk bij een toenemende waterstand.

In bijlage IV zijn de afslagprofielen na een stormvloedduur van 6 uur weergegeven welke horen bij de verschillende waterstanden. Ook hierin is te zien dat het verschil in vorm van het afslagprofiel tussen UNIBEST-TC en DUROSTA vrijwel gelijk blijft bij een toenemende waterstand.

Vergeleken met de metingen valt op dat zowel UNIBEST-TC als DUROSTA bij lagere waterstanden het zand verder zeewaarts transporteren en afzetten. Bij hogere waterstanden is dit niet meer het geval. Boven water komt het afslagprofiel berekend met DUROSTA het beste overeen met de metingen.

6.3 KORRELDIAMETER

Om de invloed van de korreldiameter, D_{50} , op de hoeveelheid duinafslag te bepalen in beide modellen, zijn berekeningen gemaakt in UNIBEST-TC en DUROSTA voor situaties met verschillende korreldiameters, waarbij de overige condities gelijk zijn aan de condities in test T4. Ook het initiële bodemprofiel is voor de berekeningen met verschillende korreldiameters gelijk. In werkelijkheid is dit niet het geval, omdat de helling van het profiel met kleine korreldiameters flauwer is dan de helling van het profiel met grote korreldiameters. In tabel 6.3 zijn de verschillende korreldiameters voor de verschillende testen weergegeven.

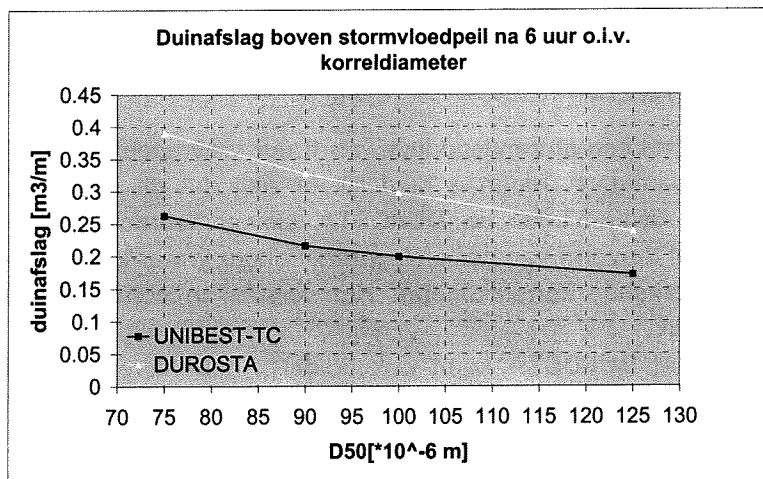
Deze testen zijn niet uitgevoerd in de proevenserie M1819-I, waardoor de vergelijking met metingen niet gemaakt kan worden.

tabel 6.3 Overzicht testen met verschillende korreldiameters

Test	D_{50} [μm]
T30	75
T4	90
T35	100
T31	125

In figuur 6.5 is te zien dat UNIBEST-TC voor alle korreldiameters een kleinere hoeveelheid duinafslag berekent dan DUROSTA.

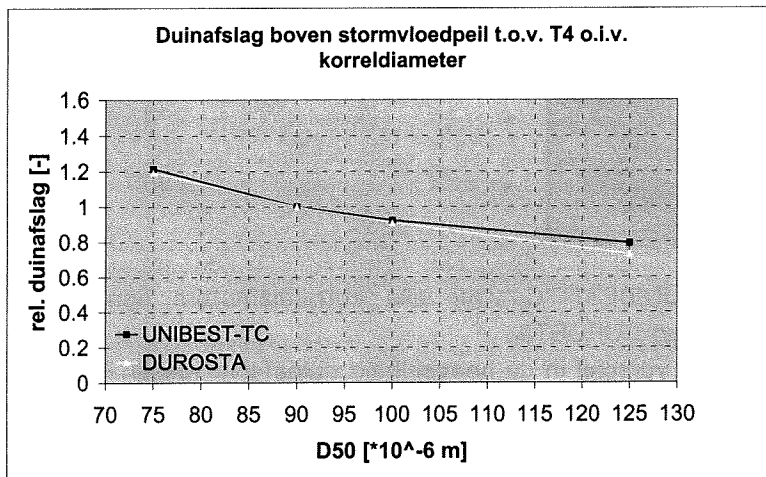
Tevens is te zien dat het absolute verschil in de hoeveelheid duinafslag tussen UNIBEST-TC en DUROSTA afneemt bij een toenemende korreldiameter.



figuur 6.5 Absolute hoeveelheid duinafslag o.i.v. korreldiameter

In figuur 6.6 zijn voor de verschillende korreldiameters de hoeveelheden duinafslag ten opzichte van de hoeveelheid duinafslag in T4 uitgezet. Hierbij zijn de met UNIBEST-TC en DUROSTA berekende hoeveelheden duinafslag voor T4 gelijk aan 1. Uit de figuur blijkt dat in beide modellen de hoeveelheid duinafslag boven stormvloedpeil afneemt bij een toenemende korreldiameter. Deze afname is voor UNIBEST-TC, zeker voor de kleinere korreldiameters, gelijk aan de afname van DUROSTA. Voor de grotere korreldiameters is de afname van UNIBEST-TC iets kleiner dan de afname van DUROSTA. Dit kan verklaard worden door het feit dat voor grover sediment de bijdrage van het sediment in suspensie aan het totale transport reduceert, terwijl de bijdrage van het bodemtransport toeneemt (Steetzal, 1993). In UNIBEST-TC heffen deze effecten elkaar vrijwel op, terwijl dit wel invloed heeft op DUROSTA, aangezien het bodemtransport in DUROSTA niet wordt meegerekend.

Over het algemeen kan uit deze figuur geconcludeerd worden dat beide modellen een zelfde gevoeligheid vertonen voor variaties in de grootte van de korreldiameter.



figuur 6.6 Invloed korreldiameter op hoeveelheid duinafslag

In bijlage V zijn de afslagprofielen na een stormvloedduur van 6 uur weergegeven welke horen bij de verschillende korreldiameters. Hierin is duidelijk te zien dat de berekende verschillen in duinafslag tussen UNIBEST-TC en DUROSTA kleiner worden bij een toenemende korreldiameter. Vooral de vorm van het afslagprofiel onder water komt beter met elkaar overeen bij een toenemende korreldiameter. Het verschil in vorm van het afslagprofiel boven water blijft gelijk.

In de afslagprofielen berekend met DUROSTA komt ook duidelijk naar voren dat het profiel steiler wordt bij een toenemende korreldiameter, dit is ook in werkelijkheid het geval. In UNIBEST-TC is deze verstelling minder duidelijk zichtbaar.

7 PROTOTYPE VERGELIJKING

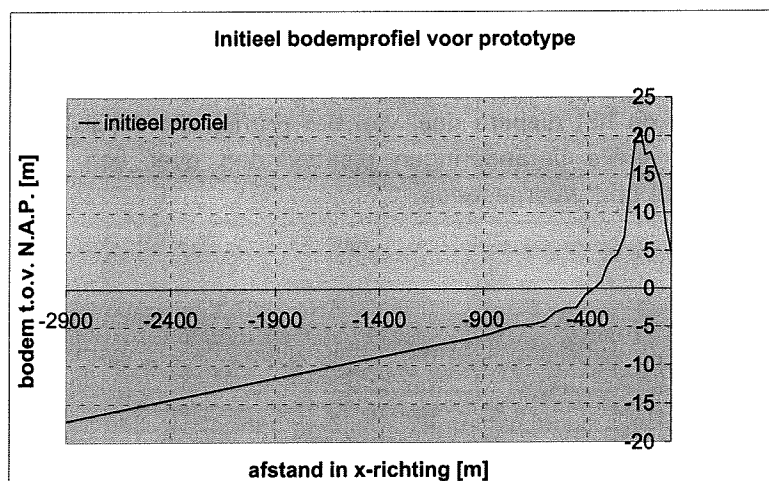
In dit hoofdstuk wordt een vergelijking gemaakt tussen UNIBEST-TC en DUROSTA op basis van prototype omstandigheden. In paragraaf 7.1 worden de randvoorwaarden voor deze vergelijking beschreven, waarna in paragraaf 7.2 de opzet van beide modellen volgt. In paragraaf 7.3 volgt een vergelijking op basis van de referentie test, waarna in paragraaf 7.4 een gevoeligheidsanalyse volgt.

7.1 RANDVOORWAARDEN

7.1.1 INITIEEL PROFIEL

Als initieel profiel is een Delfland profiel genomen, dat in 1997 gemeten is in raai 98,75, juist ten noorden van de boulevard van Scheveningen. Dit profiel is genomen, omdat dit een vrij vlak verlopend profiel is zonder duidelijk aanwezige banken en troggen, zie figuur 7.1.

Zeewaarts van $x = -1100$ m, wat overeenkomt met een diepte van N.A.P.-7,25 m, is het profiel verlengd met een helling van 1:180, omdat hier geen metingen van beschikbaar waren en de hydraulische randvoorwaarden op diep water optreden. Landwaarts van $x = -1100$ m bestaat het profiel uit het gemeten profiel, zoals deze in het JARKUS-bestand is opgenomen. Het JARKUS-bestand bestaat uit jaarlijkse kustmetingen welke door Rijkswaterstaat worden verzameld.



figuur 7.1 Initieel bodemprofiel

7.1.2 HYDRAULISCHE EN GEOMETRISCHE RANDVOORWAARDEN

In tabel 7.1 is een overzicht gegeven van de hydraulische en geometrische randvoorwaarden, zoals deze in de vergelijking zijn gebruikt. Zoals te zien is, worden de berekeningen uitgevoerd met constante condities.

In test B1 t/m B4 wordt de invloed van de golfhoogte, H_{sig} , bekeken, waarbij de golfsteilheid constant blijft. In test B4 t/m B8 wordt de invloed van de waterstand, h , bekeken. Tenslotte wordt in test B4 en B9 t/m B11 de invloed van de korreldiameter, D_{50} , bekeken. Test B4 is in deze testen de referentie test.

De berekeningen worden uitgevoerd voor een stormvloedduur van 24 uur. Dit is voor constante condities te lang en niet reëel, maar om verschillen te kunnen zien is toch voor deze stormvloedduur gekozen.

tabel 7.1 Overzicht van de prototype testen

Test	h_0 [m]	H_{sig} [m]	T_p [m]	D_{50} [μ m]
B1	N.A.P. +5,0	4,0	9	225
B2	N.A.P. +5,0	5,2	10	225
B3	N.A.P. +5,0	6,4	11	225
B4	N.A.P. +5,0	7,6	12	225
B5	N.A.P. +4,0	7,6	12	225
B6	N.A.P. +4,5	7,6	12	225
B7	N.A.P. +5,5	7,6	12	225
B8	N.A.P. +6,5	7,6	12	225
B9	N.A.P. +5,0	7,6	12	200
B10	N.A.P. +5,0	7,6	12	250
B11	N.A.P. +5,0	7,6	12	300

7.2 MODELOPZET UNIBEST-TC EN DUROSTA

7.2.1 REKENSTAP

Het rekenveld bestaat uit een grid met vier maten cellen, waarbij de cellen dicht bij de waterlijn kleiner zijn dan de cellen op het diepere deel van het profiel. De cellen bij de waterlijn zijn kleiner omdat hier snelle veranderingen plaatsvinden over een kleine afstand. In tabel 7.2 is het gebruikte grid weergegeven.

tabel 7.2 Verdeling dwarsprofiel in cellen

Grid	Aantal cellen	Celgrootte [m]	Van [m]	Tot [m]
1	1	205	-2905	-2700
2	20	50	-2700	-1700
3	56	25	-1700	-300
4	60	5	-300	0

De tijdstap die hierbij is genomen is 0,025 dag, wat overeenkomt met 36 minuten. In DUROSTA is dit de maximale tijdstap.

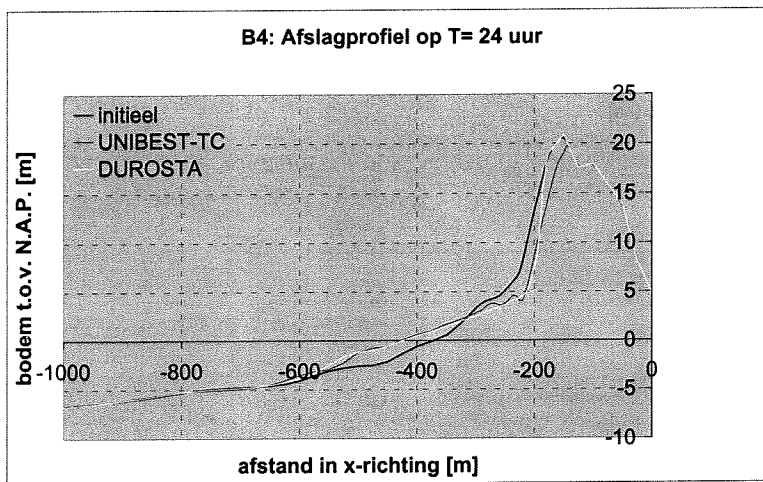
Deze combinatie van tijd- en ruimtestap is genomen om een stabiele berekening te kunnen maken.

7.2.2 PARAMETERINSTELLING

De parameterinstelling is zowel in UNIBEST-TC als in DUROSTA gelijk genomen aan de parameterinstelling bij de schaalmodellen, zie hoofdstuk 4.

7.3 VERGELIJKING OP BASIS VAN TEST B4

In figuur 7.2 zijn de afslagprofielen die berekend zijn met UNIBEST-TC en DUROSTA weergegeven.



figuur 7.2 Afslagprofielen na 24 uur voor test B4

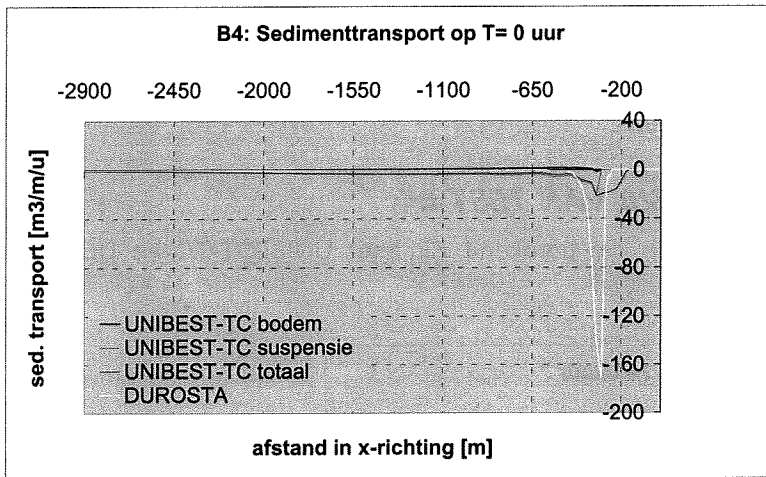
In deze figuur is te zien dat de berekende profielen onder water goed met elkaar overeenkomen. Boven water wijken de profielen af van elkaar.

De hoeveelheid duinafslag boven stormvloedpeil berekend met DUROSTA is kleiner dan de hoeveelheid berekend met UNIBEST-TC. Terwijl DUROSTA een hoeveelheid duinafslag berekent van ongeveer 200 m³/m, berekent UNIBEST-TC een hoeveelheid van ongeveer 300 m³/m.

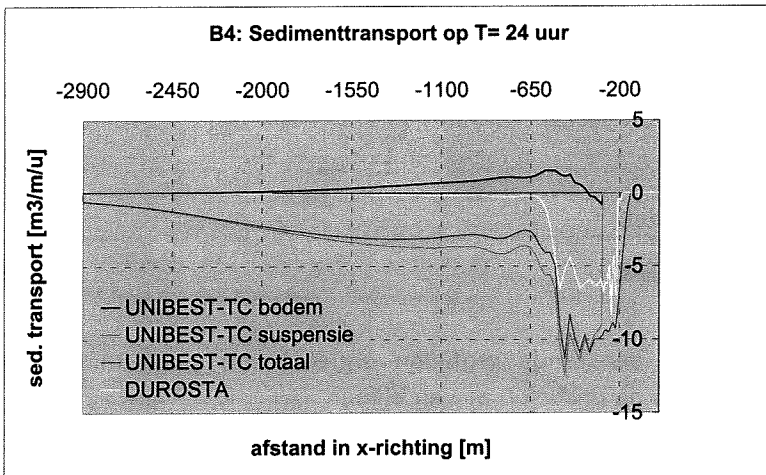
7.3.1 PROCESSEN ONDER WATER

Wanneer de transporten onder water op T = 0 uur (figuur 7.3) en op T = 24 uur (figuur 7.4) vergeleken worden, valt op dat DUROSTA in eerste instantie grotere transporten berekent dan UNIBEST-TC landwaarts van x = -650 m (d ≈ 9,5 m), maar dat op T = 24 uur UNIBEST-TC hier grotere transporten berekent. De in de vergelijking gebruikte profielen op T = 24 uur zijn de profielen die de modellen zelf berekenen, omdat deze vrijwel gelijk zijn aan elkaar onder water.

In de figuren is ook te zien dat UNIBEST-TC zeewaarts van x = -650 m transporten berekent, terwijl hier volgens DUROSTA geen transporten plaatsvinden. Dit zand wordt naar dieper water getransporteerd. Uit de figuren blijkt dat deze hoeveelheid ongeveer gelijk is aan 3 m³/m/uur * 24 uur = 72 m³/m.



figuur 7.3 Sedimenttransport op T= 0 uur

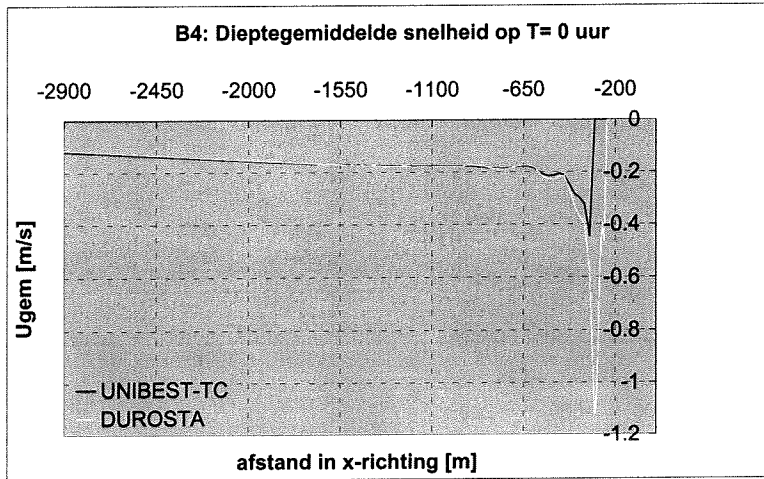


figuur 7.4 Sedimenttransport op T= 24 uur

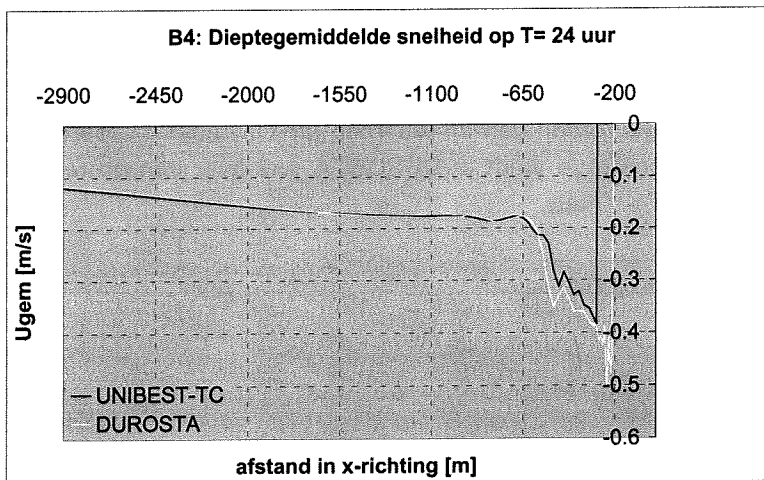
Tevens valt op dat, zowel op T= 0 uur als op T= 24 uur, het totale transport in UNIBEST-TC hoofdzakelijk uit het suspensietransport bestaat.

Het suspensietransport wordt in beide modellen beschreven door het dieptegeïntegreerde product van tijdsgemiddelde snelheden en tijdsgemiddelde concentraties.

Zoals verwacht uit hoofdstuk 3 en hoofdstuk 5 verschillen de gemiddelde snelheden welke berekend zijn met UNIBEST-TC en DUROSTA, zowel op T= 0 uur (figuur 7.5) als op T= 24 uur (figuur 7.6) niet noemenswaardig. Dit geldt alleen daar waar zowel UNIBEST-TC als DUROSTA snelheden berekenen. Ook in dit geval rekent DUROSTA tot dichterbij de waterlijn en berekent daar de maximale waarden.

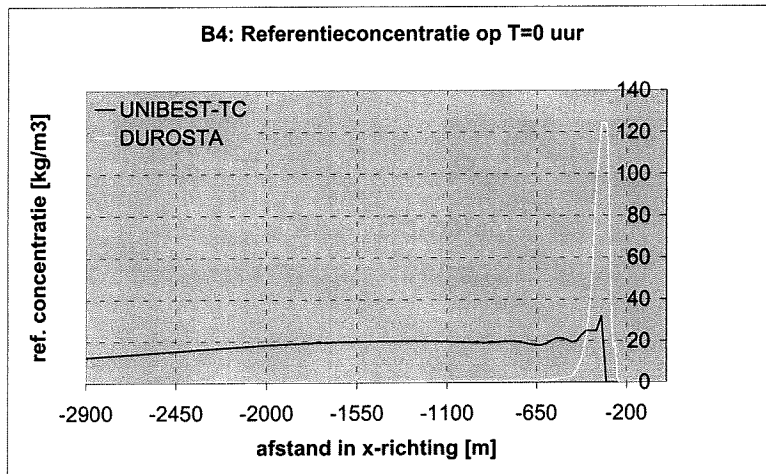


figuur 7.5 Dieptegemiddelde snelheid op T= 0 uur



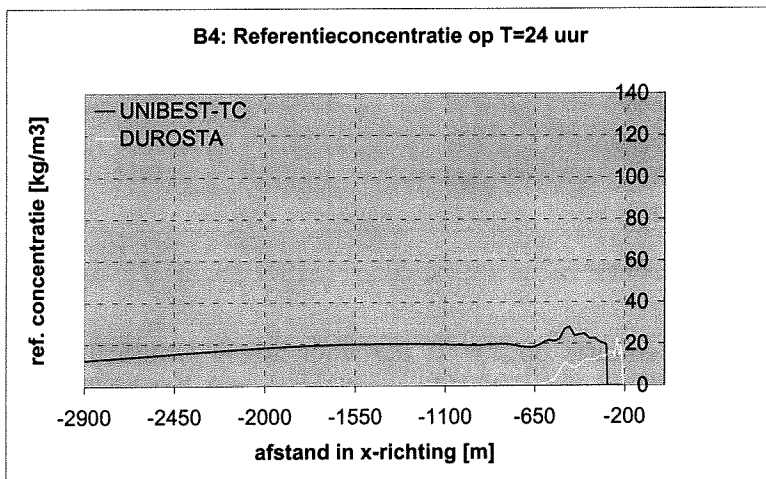
figuur 7.6 Dieptegemiddelde snelheid op T= 24 uur

In figuur 7.7 is de referentieconcentratie op T= 0 uur voor zowel UNIBEST-TC als DUROSTA weergegeven. In deze figuur is het beeld vergelijkbaar met het beeld bij de schaalmodellen (paragraaf 5.3). Terwijl UNIBEST-TC over het hele dwarsprofiel een referentieconcentratie berekent, waarbij het verloop over het dwarsprofiel gelijk is aan het verloop van de orbitaalsnelheid aan de bodem, berekent DUROSTA alleen een referentieconcentratie in de brekerzone. Het verloop over het dwarsprofiel is in DUROSTA gelijk aan het verloop van de dissipatie van rollerenergie.



figuur 7.7 Referentieconcentratie op T= 0 uur

In figuur 7.8 is te zien dat UNIBEST-TC op T= 24 uur een vrijwel gelijke referentieconcentratie berekent als op T= 0 uur, terwijl de waarden voor de referentieconcentratie berekend door DUROSTA veel lager zijn dan op T= 0 uur. De waarden zijn in dit geval zelfs lager geworden dan de waarden die UNIBEST-TC berekent. De opwoeling van de referentieconcentratie vindt in DUROSTA wel over een groter deel van het dwarsprofiel plaats dan op T= 0 uur.



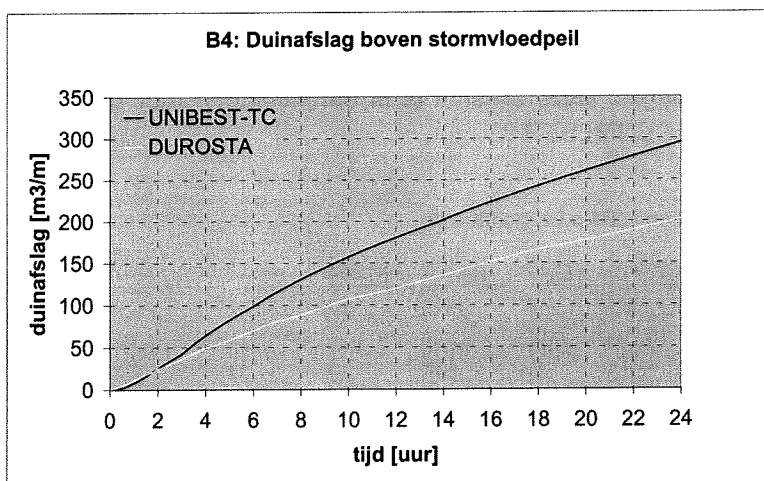
figuur 7.8 Referentieconcentratie op T= 24 uur

Aangezien er een lineair verband bestaat tussen de referentieconcentratie en de dissipatie van rollerenergie in DUROSTA, wordt deze vormverandering veroorzaakt door de berekening van dissipatie van rollerenergie.

Doordat het profiel verflauwt gedurende de storm, wordt de rollerenergie over een grotere afstand gedissipeerd en is deze dissipatie dus minder intens. Hierdoor wordt minder sediment aan de bodem opgewoeld.

Hieruit blijkt wederom dat voornamelijk het verschil in berekenen van de referentieconcentratie tot verschillen leidt tussen UNIBEST-TC en DUROSTA.

Uit bovenstaande valt tevens op te maken dat DUROSTA in het begin grotere transporten berekent dan UNIBEST-TC, maar dat gedurende de storm UNIBEST-TC grotere transporten gaat berekenen. Deze zelfde trend is te zien in figuur 7.9, waarin de hoeveelheid duinafslag boven stormvloedpeil als functie van de tijd is uitgezet voor beide modellen. DUROSTA berekent in eerste instantie een grotere hoeveelheid duinafslag, maar gedurende het verdere verloop van de storm berekent UNIBEST-TC een grotere hoeveelheid.



figuur 7.9 Hoeveelheid duinafslag boven stormvloedpeil als functie van de tijd

Omdat er van deze situatie geen metingen vanuit de praktijk bestaan, kan hier geen vergelijking met de metingen worden gemaakt.

7.3.2 HET AFSLAGPROFIEL BOVEN WATER

Uit figuur 7.2 blijkt duidelijk dat de berekende profielen boven water ook in vorm van elkaar verschillen. Terwijl het duinfront in UNIBEST-TC vormvast landwaarts verschuift, versteilt het duinfront in DUROSTA in eerste instantie. Dit wordt hoofdzakelijk veroorzaakt door het verschil in gebruikte extrapolatiemethoden van het laatst berekende sedimenttransport over het profiel boven water. Deze extrapolatiemethoden zijn in sub-paragraaf 3.2.7 en sub-paragraaf 3.3.6 beschreven.

7.4 GEVOELIGHEIDANALYSE

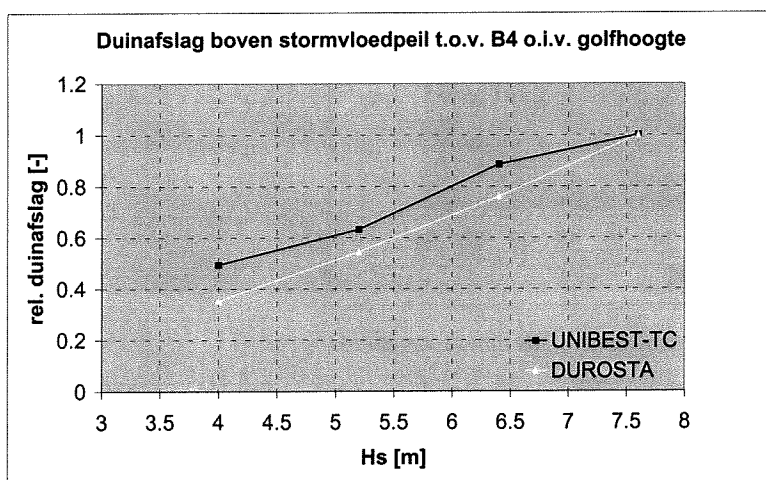
7.4.1 GOLFHOOGTE

In tabel 7.3 is een overzicht gegeven van de hoeveelheid duinafslag boven stormvloedpeil na 24 uur onder invloed van verschillende golfhoogten. Te zien is dat DUROSTA in alle gevallen een kleinere hoeveelheid duinafslag berekent dan UNIBEST-TC.

tabel 7.3 Overzicht hoeveelheid duinafslag boven stormvloedpeil na 24 uur [m³/m]

Test	UNIBEST-TC	DUROSTA
B1	146	71
B2	187	110
B3	261	153
B4	295	201

In figuur 7.10 is voor de verschillende golfhoogten de hoeveelheid duinafslag boven stormvloedpeil na 24 uur ten opzichte van de hoeveelheid duinafslag in B4 uitgezet. Hierbij zijn de met UNIBEST-TC en DUROSTA berekende hoeveelheden duinafslag voor B4 gelijk aan 1. Uit de figuur blijkt dat in beide modellen de hoeveelheid duinafslag afneemt bij een afnemende golfhoogte. Deze afname is in berekeningen met DUROSTA iets groter dan in berekeningen met UNIBEST-TC.



figuur 7.10 Invloed golfhoogte op hoeveelheid duinafslag

In bijlage VI zijn de afslagprofielen na een stormvloedduur van 24 uur weergegeven welke horen bij de verschillende golfhoogten. In alle profielen is het verschil in extrapolatiemethode over het profiel boven water duidelijk te zien. Onder water komen de afslagprofielen van UNIBEST-TC en DUROSTA voor iedere golfhoogte redelijk met elkaar overeen.

7.4.2 WATERSTAND

In tabel 7.4 is een overzicht gegeven van de hoeveelheid duinafslag boven stormvloedpeil na 24 uur onder invloed van verschillende waterstanden. Te zien is dat DUROSTA tot een waterstand van N.A.P. + 5,5 m een kleinere hoeveelheid berekent dan UNIBEST-TC. Boven deze waterstand berekent DUROSTA een grotere hoeveelheid.

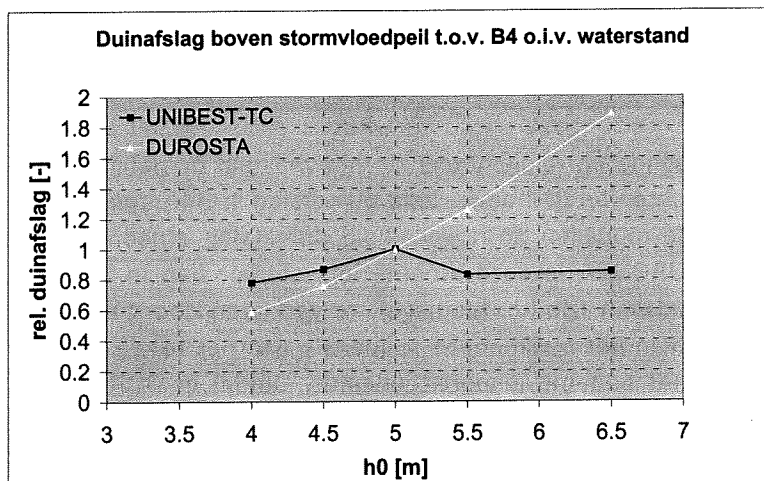
tabel 7.4 Overzicht hoeveelheid duinafslag boven stormvloedpeil na 24 uur [m^3/m]

Test	UNIBEST-TC	DUROSTA
B5	230	118
B6	256	152
B4	295	201
B7	245	253
B8	251	380

In figuur 7.11 is voor de verschillende waterstanden de hoeveelheid duinafslag boven stormvloedpeil na 24 uur ten opzichte van de hoeveelheid duinafslag in B4 uitgezet.

In de figuur is te zien dat de hoeveelheid duinafslag berekend met DUROSTA toeneemt bij een toenemende waterstand. In UNIBEST-TC neemt de hoeveelheid duinafslag toe bij een toename van de waterstand tot N.A.P.+5 m. Boven N.A.P.+5,5 m leidt een waterstandverhoging niet tot een toename in de hoeveelheid duinafslag boven stormvloedpeil. Het duinfront kan zich hierbij wel landwaarts verplaatsen, maar omdat de waterstand toeneemt, neemt de hoeveelheid duinafslag boven stormvloedpeil netto niet toe.

Uit de figuur blijkt duidelijk dat UNIBEST-TC en DUROSTA in dit geval nogal verschillen in gedrag met een veranderende waterstand.



figuur 7.11 Invloed waterstand op hoeveelheid duinafslag

In bijlage VII zijn de afslagprofielen na een stormvloerduur van 24 uur weergegeven welke horen bij de verschillende waterstanden. Ook hier is in alle afslagprofielen het verschil in extrapolatiemethode over het profiel boven water duidelijk te zien. Wanneer de afslagprofielen onderling worden vergeleken, valt op dat de duinvoet in DUROSTA meer met de waterstand meebeweegt dan in UNIBEST-TC.

Deze verschillen hebben grote invloed op de locatie van het laatste punt waar sedimenttransport berekend wordt. Zo is bijvoorbeeld in berekening B5 te zien dat de waterlijn na 24 uur in DUROSTA meer landwaarts ligt dan in UNIBEST-TC. Aangezien in

DUROSTA het laatste rekenpunt gekoppeld is aan de waterlijn zal dit punt meer landwaarts liggen dan in UNIBEST-TC, waarin de benodigde waterdiepte in dit geval groter moet zijn dan 2,3 m, zie sub-paragraaf 3.2.7.

Als functie van de tijd verplaatst het laatste rekenpunt in DUROSTA landwaarts, terwijl dit punt in UNIBEST-TC niet verplaatst.

In beide modellen verplaatsen, zoals verwacht, de laatste rekenpunten landwaarts als gevolg van de verhoging van de waterstand. Deze verplaatsing is voor UNIBEST-TC groter dan voor DUROSTA aangezien in UNIBEST-TC de bodem minder meebeweegt met de waterstand gedurende de storm dan in DUROSTA.

Het verschil in gevoeligheid komt ook hierin duidelijk naar voren. Bij een toenemende waterstand gaan de profielen onder water ook meer van elkaar afwijken.

7.4.3 KORRELDIAMETER

In tabel 7.5 is een overzicht gegeven van de hoeveelheid duinafslag boven stormvloedpeil na 24 uur met verschillende korreldiameters. Te zien is dat DUROSTA in alle gevallen een kleinere hoeveelheid duinafslag berekent dan UNIBEST-TC.

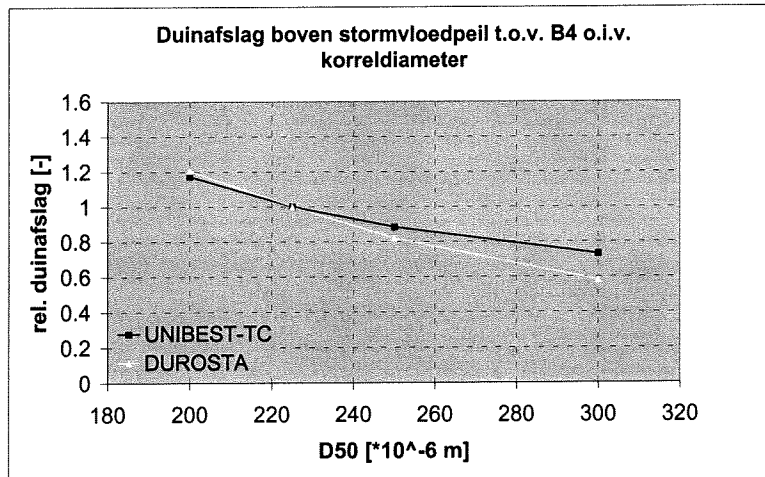
tabel 7.5 Overzicht hoeveelheid duinafslag boven stormvloedpeil na 24 uur [m^3/m]

Test	UNIBEST-TC	DUROSTA
B9	346	243
B4	295	201
B10	260	165
B11	215	117

In figuur 7.12 is voor de verschillende korreldiameters de hoeveelheid duinafslag boven stormvloedpeil na 24 uur ten opzichte van de hoeveelheid duinafslag in B4 uitgezet.

In de figuur is te zien dat in beide modellen de hoeveelheid duinafslag afneemt bij een toenemende korreldiameter. In DUROSTA is deze afname iets sterker dan in UNIBEST-TC. Dit is, net als bij de schaalmodellen (zie hoofdstuk 6), te verklaren door het feit dat voor grover sediment de bijdrage van het sediment in suspensie aan het totale transport afneemt, terwijl de bijdrage van het bodemtransport toeneemt. Omdat in DUROSTA de bodemtransporten niet worden meegerekend, leidt dit tot een sterkere afname in de transporten, en dus een sterkere afname in de hoeveelheid duinafslag, dan in UNIBEST-TC.

Over het algemeen kan uit deze figuur geconcludeerd worden dat beide modellen een zelfde gevoeligheid vertonen voor variaties in de grootte van de korreldiameter. Dit komt overeen met de schaalmodellen in hoofdstuk 6.



figuur 7.12 Invloed korreldiameter op hoeveelheid duinafslag

In bijlage VIII zijn de afslagprofielen na een stormvloedduur van 24 uur weergegeven welke horen bij de verschillende korreldiameters. Net als in de bijlagen VI en VII is in alle afslagprofielen het verschil in extrapolatiemethode over het profiel boven water duidelijk te zien. Wanneer de profielen onderling vergeleken worden valt op dat het profiel steiler wordt met een toenemende korreldiameter.

8 CONCLUSIES EN AANBEVELINGEN

In dit hoofdstuk worden de conclusies behandeld die naar aanleiding van dit onderzoek getrokken kunnen worden. Bovendien zal een aantal aanbevelingen gedaan worden.

8.1 CONCLUSIES

Naar aanleiding van dit onderzoek kan een aantal conclusies getrokken worden, te weten:

- Hoewel de resultaten van beide modellen vergelijkbaar zijn, zijn UNIBEST-TC en DUROSTA met de huidige instellingen en theoretische achtergronden niet onderling uitwisselbaar.
- Zowel het verschil in grootte van de dwarstransporten als het verschil in gradiënten in de dwarstransporten tussen UNIBEST-TC en DUROSTA wordt hoofdzakelijk veroorzaakt door het verschil in berekenen van de referentieconcentratie, dit is de concentratie aan de bodem. Deze referentieconcentratie bepaalt hoofdzakelijk de grootte van de sedimentlast.

In UNIBEST-TC is het berekenen van de referentieconcentratie gerelateerd aan de orbitaalsnelheid aan de bodem en daarmee de bodemschuifspanningen. In DUROSTA is het berekenen van de referentieconcentratie gerelateerd aan de dissipatie van rollerenergie.

- In de modellen wordt de dissipatie van rollerenergie verschillend berekend, wat verschillende uitkomsten tot gevolg heeft.

Wanneer de referentieconcentratie in UNIBEST-TC wordt gerelateerd aan de dissipatie van rollerenergie, zal dit niet tot dezelfde referentieconcentratie leiden welke met DUROSTA wordt berekend.

- Bij de parameterinstellingen zoals deze in de vergelijkingen zijn gebruikt, ligt in DUROSTA het laatste punt waar sedimenttransport wordt berekend dichter bij de waterlijn dan in UNIBEST-TC.
- Het verschil in de vorm van het afslagprofiel boven water tussen UNIBEST-TC en DUROSTA wordt voor een groot deel veroorzaakt door een verschil in extrapolatiemethoden van sedimenttransport over het profiel boven water.

In UNIBEST-TC zorgt de extrapolatie van het sedimenttransport over het profiel boven water voor een vormvaste verschuiving van het duinfront landwaarts dan wel zeewaarts. De helling van het duinfront blijft hierbij gelijk aan de helling van het duinfront in het initiële profiel. In DUROSTA treedt, als gevolg van de

gebruikte extrapolatiemethode, een zekere kanteling van het initiële profiel boven water op, waarna het duinfront landwaarts verschuift.

- Voor schaalmodelomstandigheden onderschatten zowel UNIBEST-TC als DUROSTA de hoeveelheid duinafslag boven stormvloedpeil. Deze onderschatting is voor berekeningen met UNIBEST-TC groter dan voor berekeningen met DUROSTA.
- Beide modellen vertonen vrijwel hetzelfde gedrag bij variaties in de golfhoogte. Dit geldt zowel voor schaalmodelcondities als voor prototypeomstandigheden.
- UNIBEST-TC vertoont voor schaalmodelcondities hetzelfde gedrag bij variaties in de waterstand als DUROSTA. In prototypeomstandigheden komt het gedrag niet met elkaar overeen.
- Beide modellen vertonen vrijwel hetzelfde gedrag bij variaties in de grootte van de korreldiameter. Dit geldt zowel voor schaalmodelcondities als voor prototypeomstandigheden.

8.2 AANBEVELINGEN

Naar aanleiding van dit onderzoek kan een aantal aanbevelingen gedaan worden, te weten:

- De grootte van de sedimentlast wordt hoofdzakelijk bepaald door de referentieconcentratie. De vorm van het concentratieprofiel is echter ook van belang. Deze wordt bepaald door de mengparameters φ , μ en de valsnelheid w_s van het sediment. In vervolgonderzoek kan ook dit vergeleken worden, om de invloed van deze parameters op de totale sedimentlast te bepalen en om eventueel lokale verschillen tussen UNIBEST-TC en DUROSTA ook hiermee te verklaren. Een zelfde vergelijking kan gemaakt worden voor de snelheidsverdeling over de verticaal.

Het is hierbij aan te bevelen de berekeningen te baseren op proeven die op grotere schaal zijn uitgevoerd, bijvoorbeeld in de Deltagoot om een meer gedetailleerde vergelijking te kunnen maken onderling en met metingen.

- Om de vorm van het afslagprofiel boven water goed te modelleren is het aan te bevelen onderzoek te doen naar de implementatie van een procesbeschrijvend model voor het profiel boven water. Een voorbeeld hiervan is een afschuifmodel uit de grondmechanica.
- Om UNIBEST-TC tot een dwarstransportmodel te transformeren welke voor alle condities te gebruiken is, is het aan te bevelen in eerste instantie de berekening van de referentieconcentratie aan te passen. Onderzoek moet uitwijzen of een sommatie van bodemschuifspanning-gerelateerde en energiedissipatie-gerelateerde referentieconcentraties een oplossing is.

- Dit onderzoek is uitgevoerd met constante condities. Het is aan te bevelen ook berekeningen te maken met UNIBEST-TC en DUROSTA voor situaties met variërende condities, zoals verlopende waterstanden, en deze te vergelijken.

Door Walstra e.a. (2001) is een eerste vergelijking gemaakt tussen afslagprofielen berekend met UNIBEST-TC en DUROSTA onder invloed van variërende condities.

LITERATUURLIJST

- Battjes, J.A., J.P.F.M. Janssen, *Energy loss and set-up due to wave breaking of random waves*. Proceedings 16th International Conference on Coastal Engineering, blz. 569-587. Hamburg: 1978.
- Bosboom, J., S.G.J. Aarninkhof, A.J.H.M. Reniers, J.A. Roelvink, D.J.R. Walstra, *UNIBEST-TC 2.0x, overview of model formulations*. H2305.42. Delft: WL|Delft Hydraulics, 2000.
- Gootjes, G., *Dunes as source of sediment for Delft3D-MOR*, afstudeerverslag Technische Universiteit Delft. Delft: 2000.
- Launder, B.E., D.B. Spalding, *Mathematical models of turbulence*. San Diego: 1972.
- Nairn, R.B., J.A. Roelvink, H.N. Southgate, *Transition zone width and implications for modelling hydrodynamics*. Proceedings 22th International Conference on Coastal Engineering, blz. 68-82. Delft: 1990.
- Rienecker, M.M., J.D. Fenton, *A Fourier approximation method for steady water waves*. Journal of Fluid Mechanics, vol.104, blz. 119-137. 1981.
- Rijn, L.C. van, *Principles of sediment transport in rivers, estuaries and coastal seas*. Amsterdam: Aqua Publications, 1993.
- Roelvink, J.A., A.J.H.M. Reniers, *Upgrading of a quasi-3D hydrodynamic model*. Abstracts-in-depth, MAST G8-M overall workshop. Gregynog: 1994.
- Roelvink, J.A., M.J.F. Stive, *Bar-generating cross-shore flow mechanisms on a beach*. Journal of Geophysical Research, vol.94, nr. C4, blz. 4785-4800. 1989.
- Sand, S.E., *Long wave problems in laboratory models*. J. Waterw. Port Coastal Ocean Div. Am. Soc. Civ. Eng., vol. 108, blz. 492-503. 1982.
- Steezel, H.J., *Cross-shore Transport during Storm Surges*, proefschrift Technische Universiteit Delft. Delft: 1993.
- Steezel, H.J., *Nadere verfijning DUROSTA-model*. H1865. Delft: WL|Delft Hydraulics, 1994.
- Vriend, H.J., de, M.J.F. Stive, *Quasi-3D modelling of nearshore currents*. Coastal Engineering, Vol. 11, blz. 565-601. 1987.
- Walstra, D.J.R., S.G.J. Aarninkhof, M. van Koningsveld, B.G. Ruessink, *Evaluation of UNIBEST-TC*. Z3148.10. Delft: WL|Delft Hydraulics, 2001.
- WL|Delft Hydraulics, *Systematisch onderzoek naar kenmerkende factoren voor duinafslag*. M1819, deel 1. Delft: WL|Delft Hydraulics, 1982

BIJLAGEN

BIJLAGE I: INVOERFILE UNIBEST-TC

RUN IDENTIFICATION - Created by Pre-TC Version 2.02g at: 10:09:29 Tuesday, 6
November 2001

003

GRID

XBEGIN	NDX
0.00	2
NUMBER	DX
35	1.00
60	0.25

KEYSECTION

'DT '	0.000500
'NT '	100
'IBOD '	1
'TDRY '	25.000000
'K_IJL '	0
'TANPHI1 '	0.700000
'TANPHI2 '	0.700000
'XF1 '	0.000000
'XF2 '	50.000000
'GAMMA '	0.850000
'DIEPV '	0.700000
'D50 '	0.000090
'D90 '	0.000135
'DSS '	0.000070
'RW '	0.010000
'ZDRY '	1
'END'	0.000000

Boundary Conditions

FUNCTION	CODE	VALUE	COLUMN	FILE
'HO'	1	0.700	1	'No File'
'V_TIDE'	1	0.000	1	'No File'
'A_WAVE'	1	0.000	1	'No File'
'HRMS'	1	0.179	1	'No File'
'T'	1	2.191	1	'No File'
'Z'	2	0.000	1	'C:\My Documents\unibest-
tc\M1819\depth.bot'				
'Z_FIX'	1	0.000	1	'No File'
'V_WIND'	1	0.000	1	'No File'
'A_WIND'	1	0.000	1	'No File'

BASIC FUNCTIONS

X-POINTS FOR TIME FUNCTIONS (COLUMNS ON UTC###.HIS)

4

NUMBER X-POINT

1	15.00
2	42.75
3	45.00
4	44.25

NUMBER OF ACTUAL TIME FUNCTIONS

3

FUNCTIONS(1:29) X1 X2 ETC

20	1	1	1	1
24	1	1	1	1
26	1	1	1	1

T-POINTS FOR PLACE FUNCTIONS (BLOCKS ON UTC###.MP@)

3

NUMBER T-POINT

1	0.00
2	0.13
3	0.25

NUMBER OF ACTUAL PLACE FUNCTIONS

10

FUNCTIONS(1:29) @ T1 T2 ETC

1	1	1	1	1
2	1	1	1	1
3	1	1	1	1
12	1	1	1	1
14	1	1	1	1
18	1	1	1	1
20	1	1	1	1
22	1	1	1	1
24	1	1	1	1
26	1	1	1	1

REFERENCE VOLUMES VERTICAL

0

X1	X2	Zref
----	----	------

REFERENCE VOLUMES HORIZONTAL

1

Z1	Z2	Xref
1.033	0.700	50.000

VERTICAL FUNCTIONS

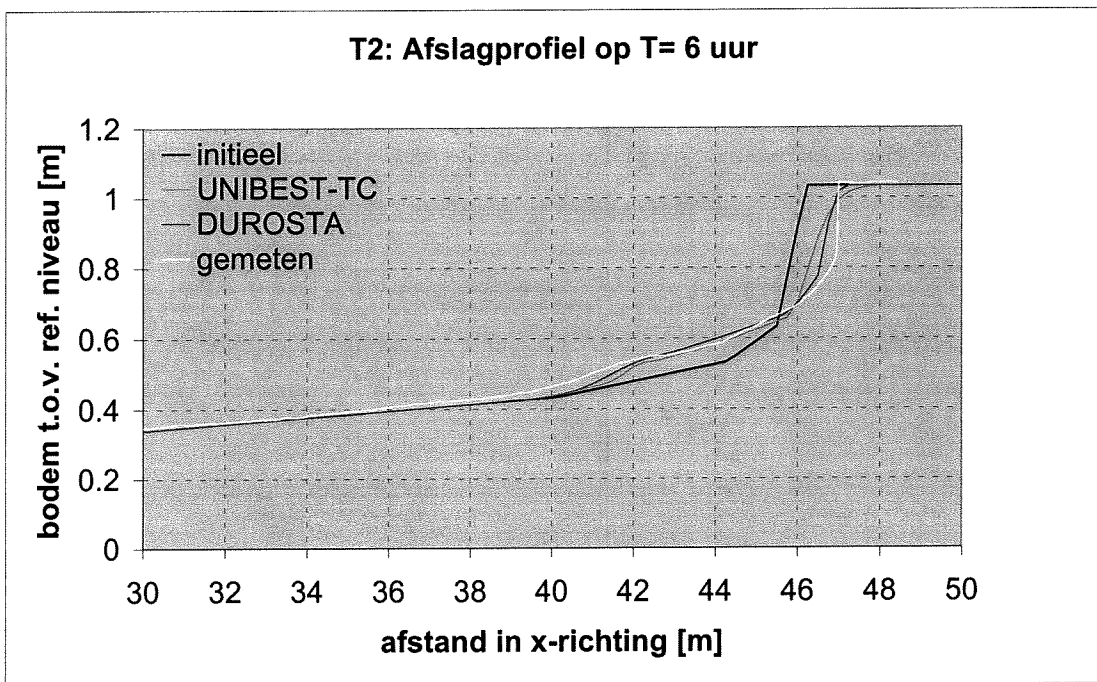
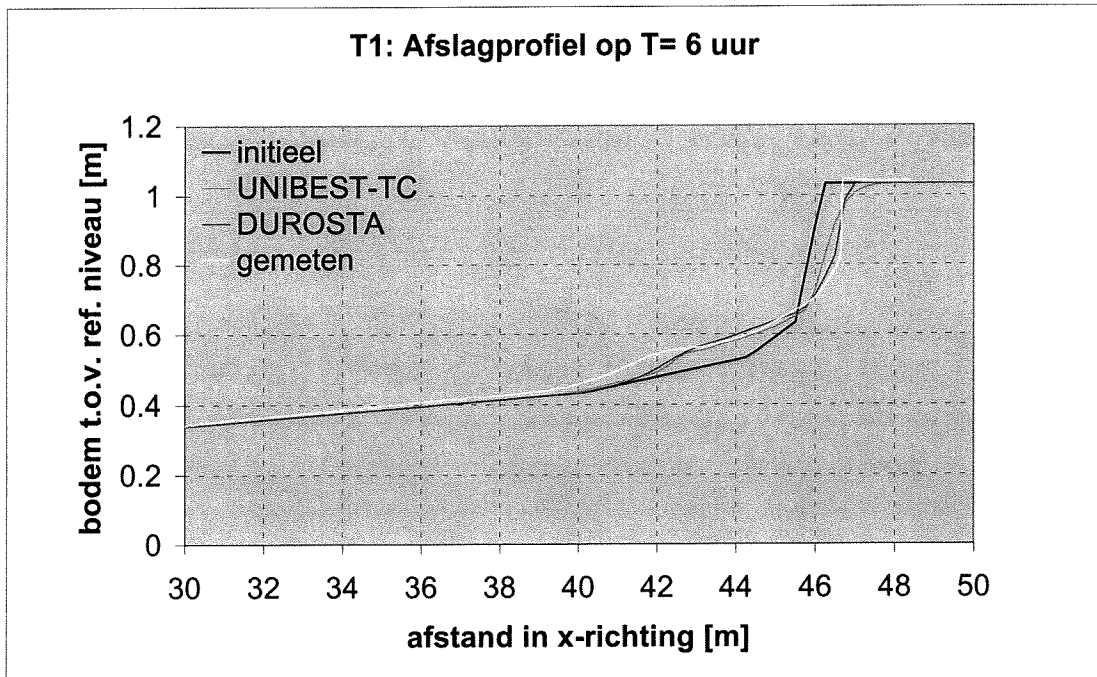
3

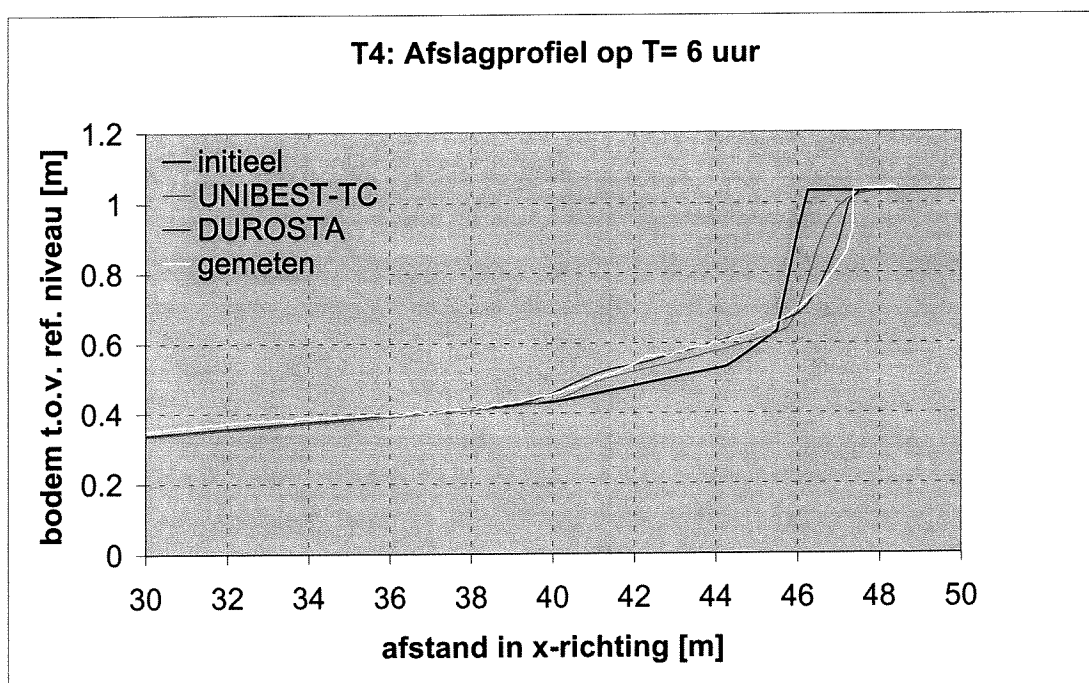
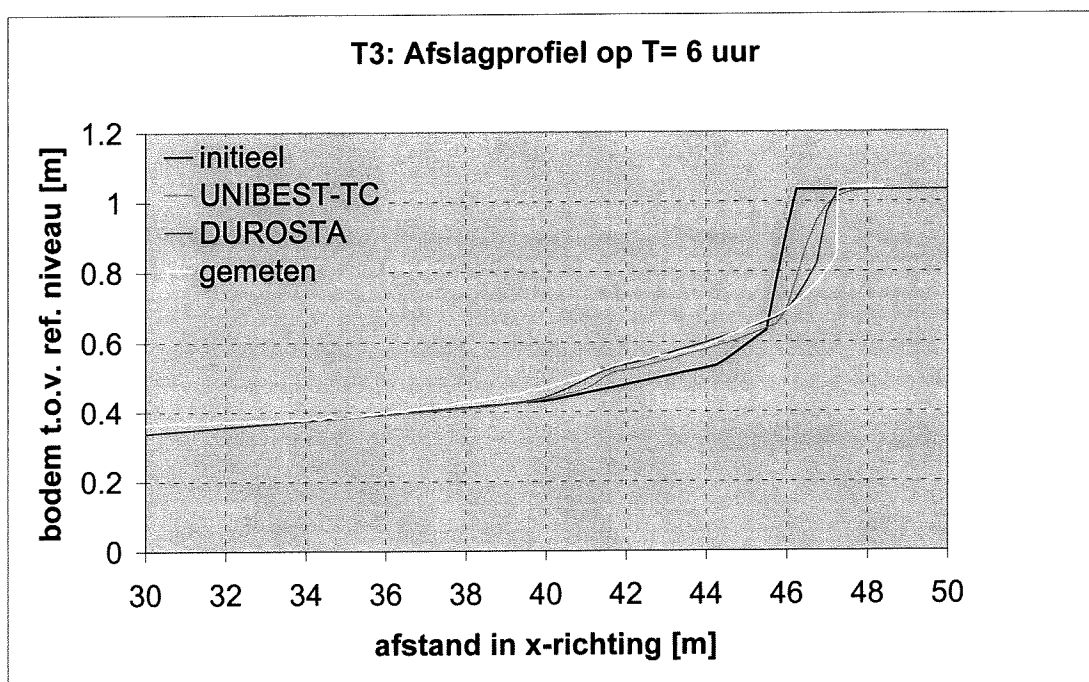
X-POINT	T-POINT	F-TYPE
10.000	0.001	1
44.250	0.001	1
44.250	0.015	1

BIJLAGE II: INVOERFILE DUROSTA

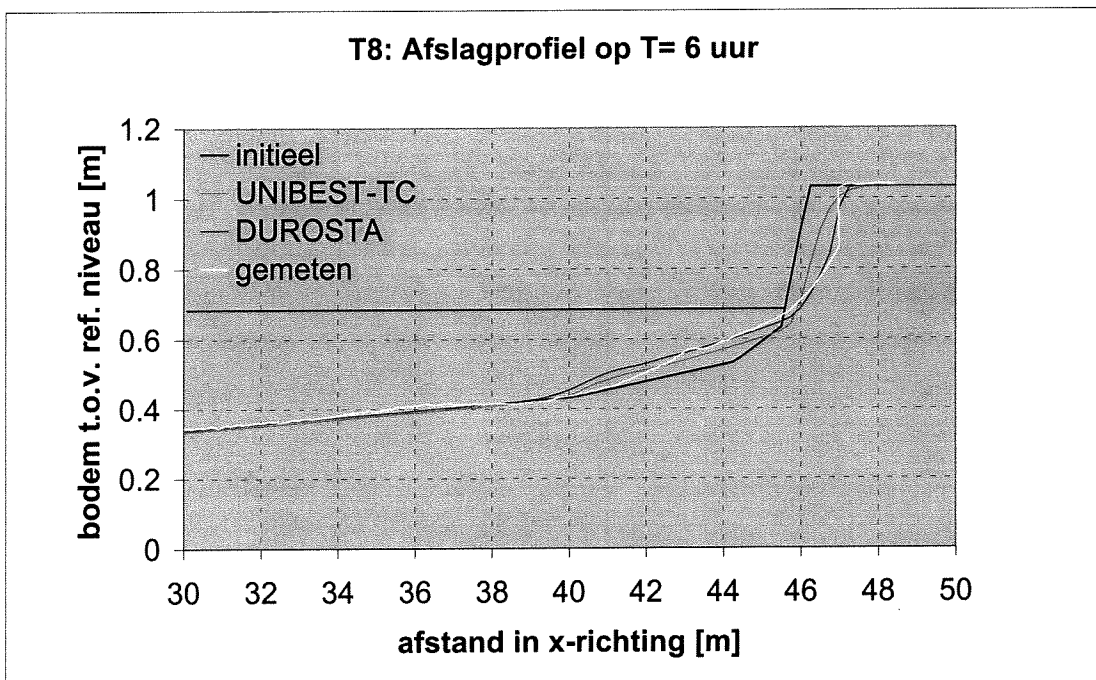
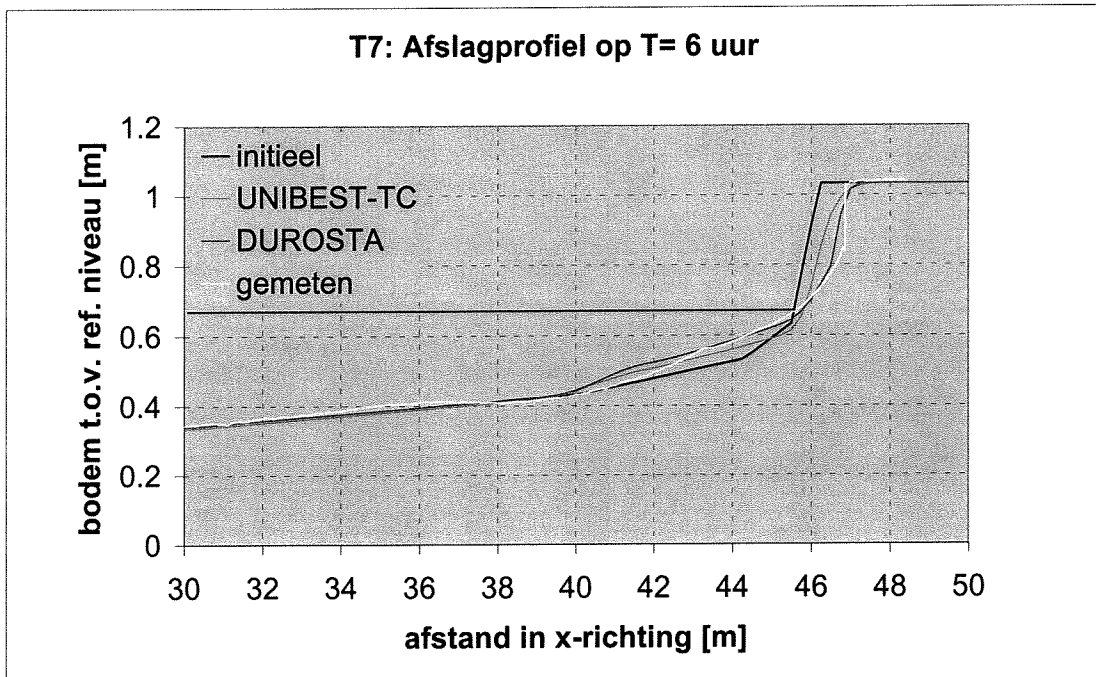
1.650000	.000090	.006300	.00	.00
.0000	1.0000			
35.0000	.2500			
50.0000				
.0000	.1000	.0120	8	
.0240				
.3600				
1.0000				
2.0000				
3.0000				
4.0000				
5.0000				
6.0000				
BASFUN	1 9			
.0000	.0000			
4.0000	.0000			
7.9999	.1333			
40.1427	.4333			
44.3094	.5333			
45.4999	.6333			
45.6189	.7000			
46.2141	1.0333			
50.0000	1.0333			
BASFUN	2 2			
-.0010	-99.9900			
.0010	-99.9900			
BASFUN	3 1			
.0000	.7000	.7000	.0000	
BASFUN	4 1			
.0000	.2530			
BASFUN	5 1			
.0000	2.1910			
BASFUN	6 1			
.0000	.0000			
BASFUN	7 1			
.0000	.0000			
BASFUN	8 1			
.0000	.0000			

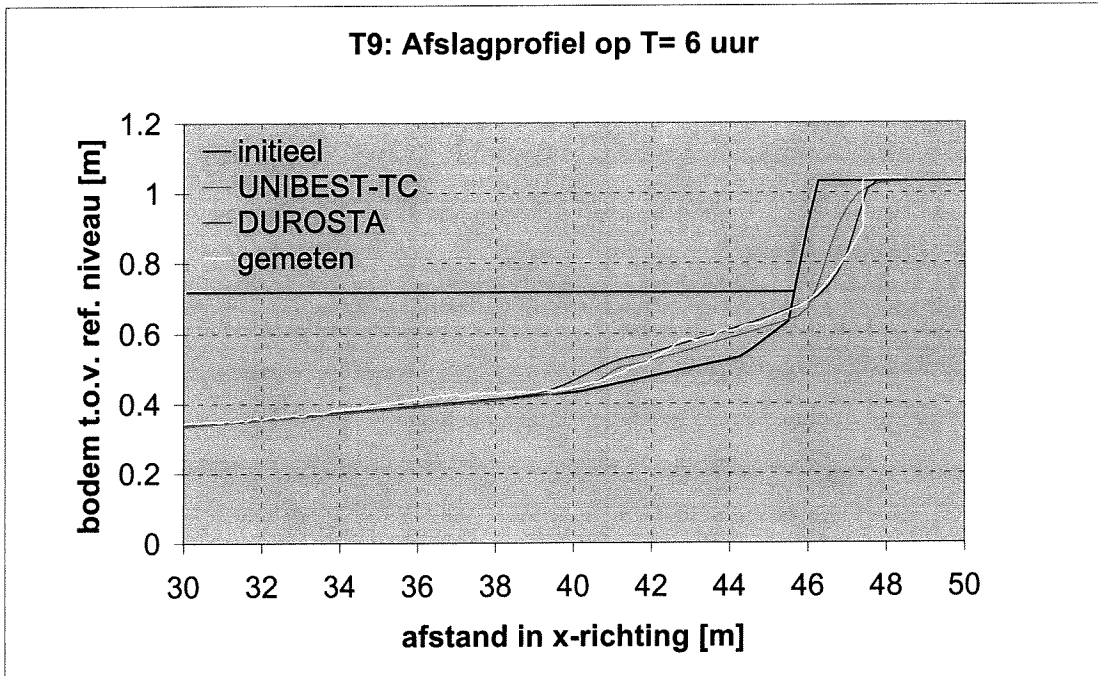
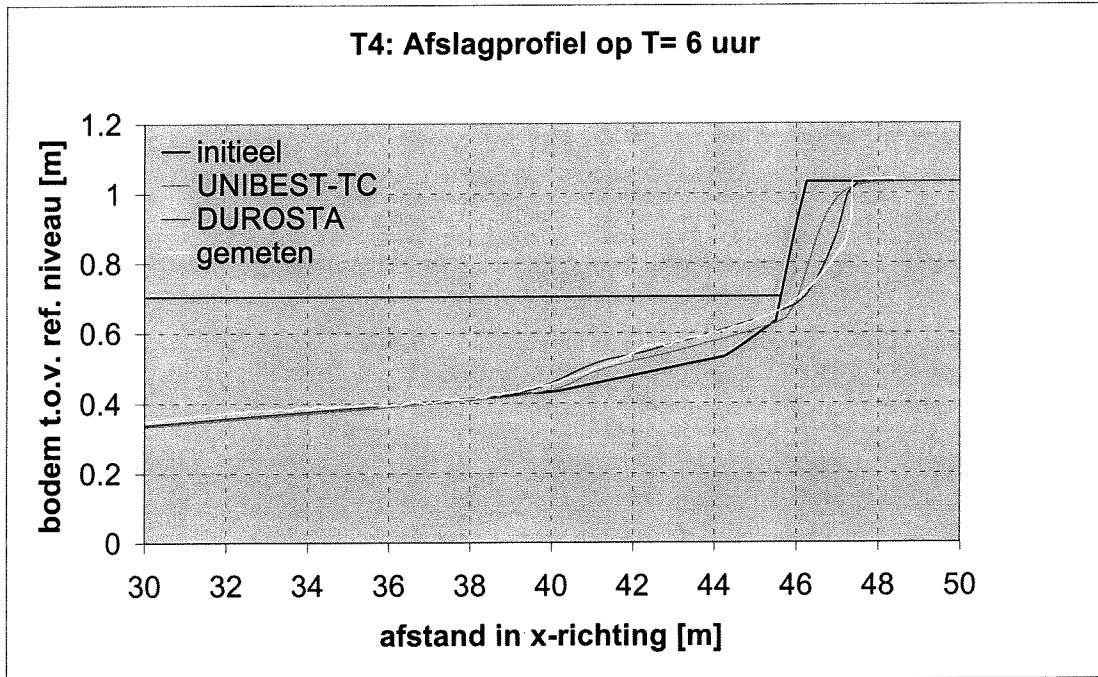
BIJLAGE III: INVLOED GOLFHOOGTE OP SCHAALMODEL

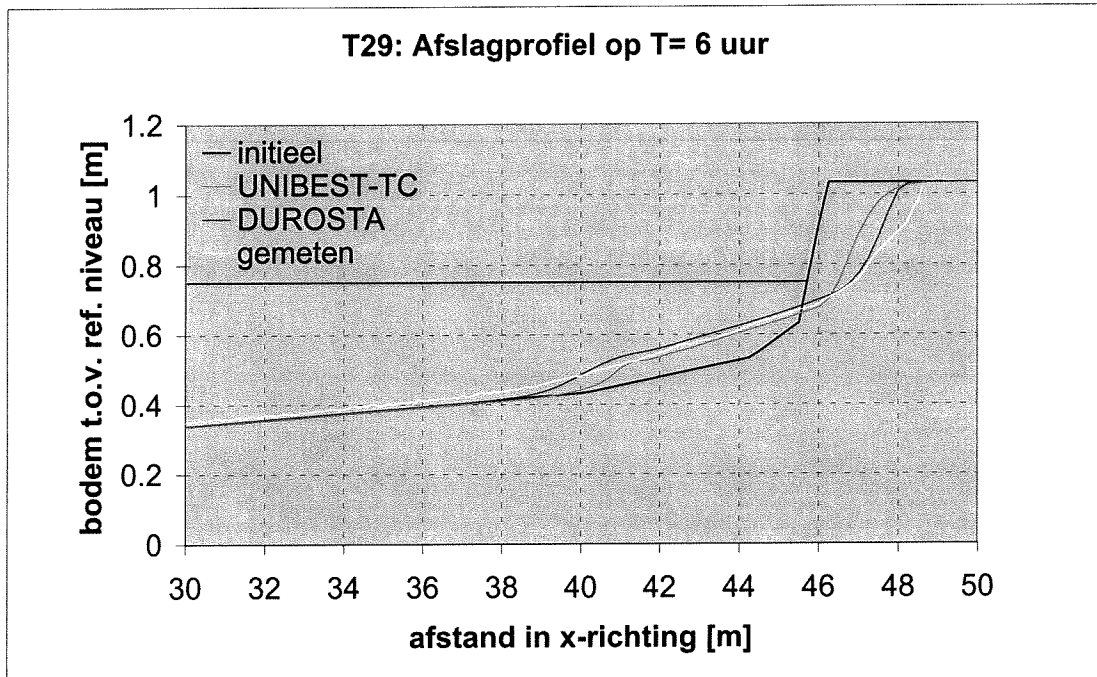




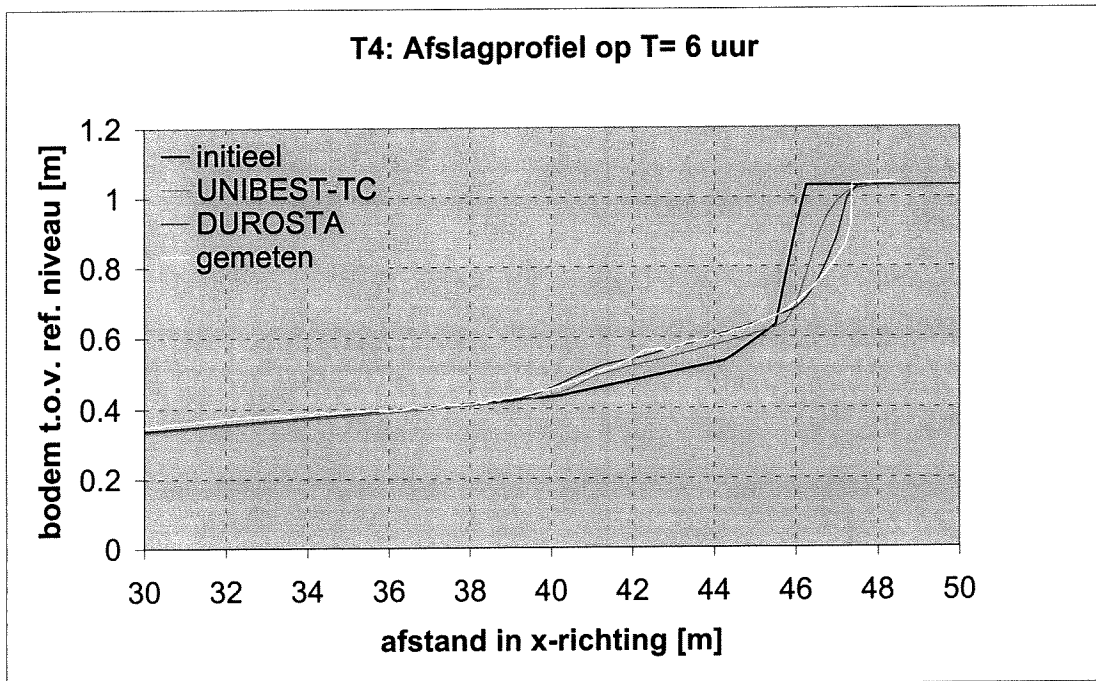
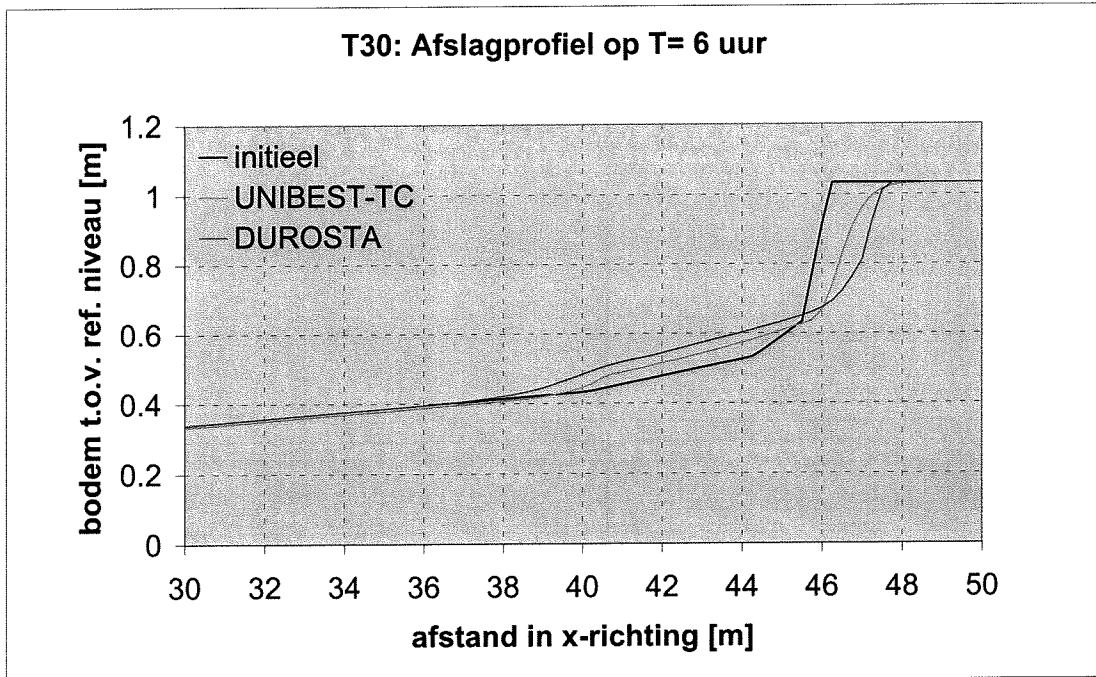
BIJLAGE IV: INVLOED WATERSTAND OP SCHAALMODEL

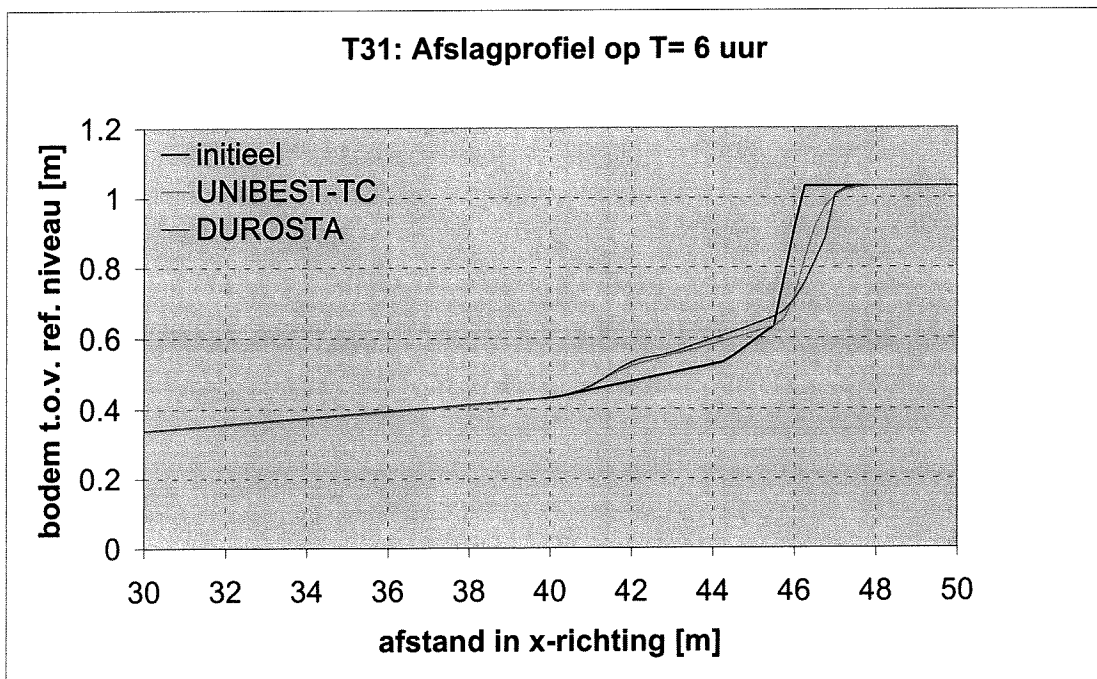
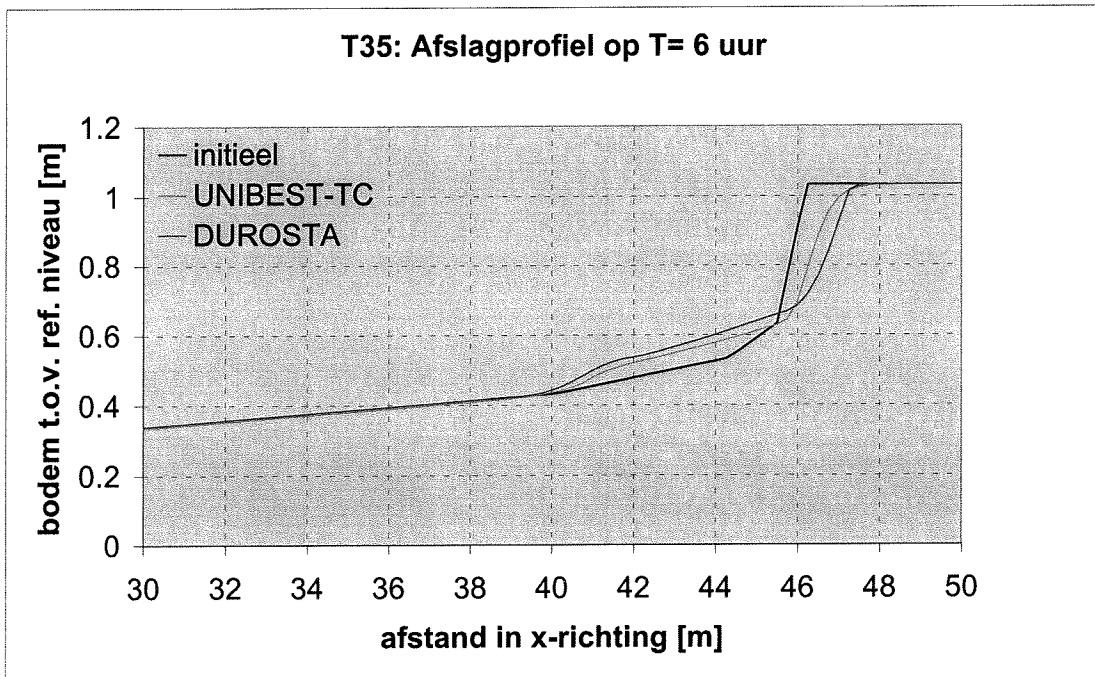




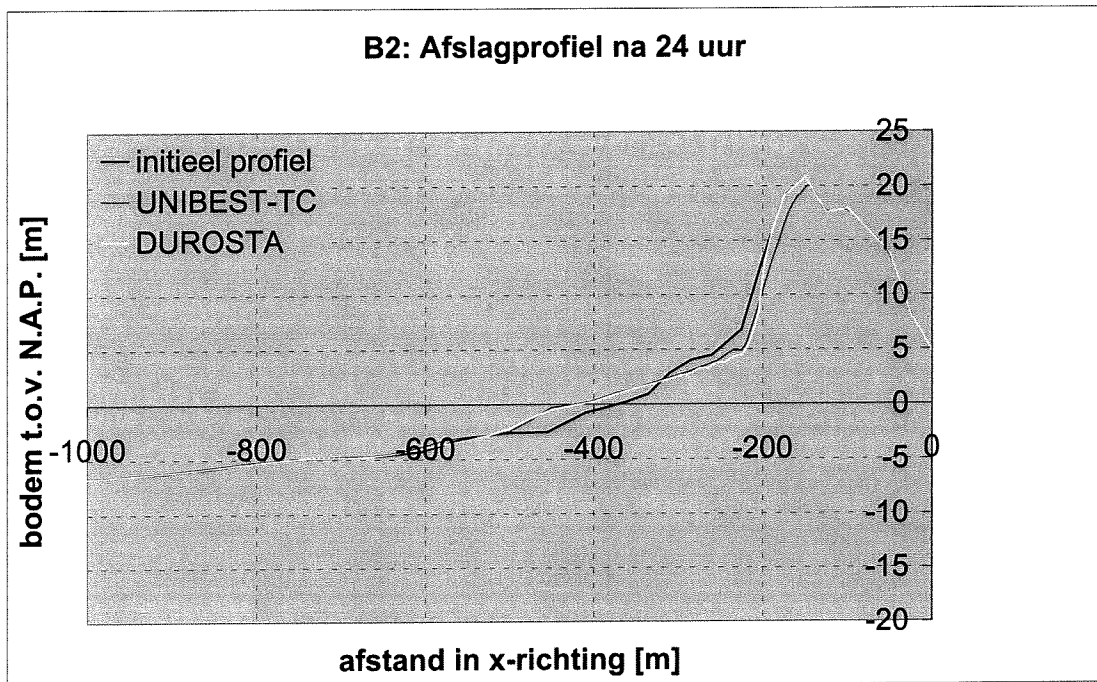
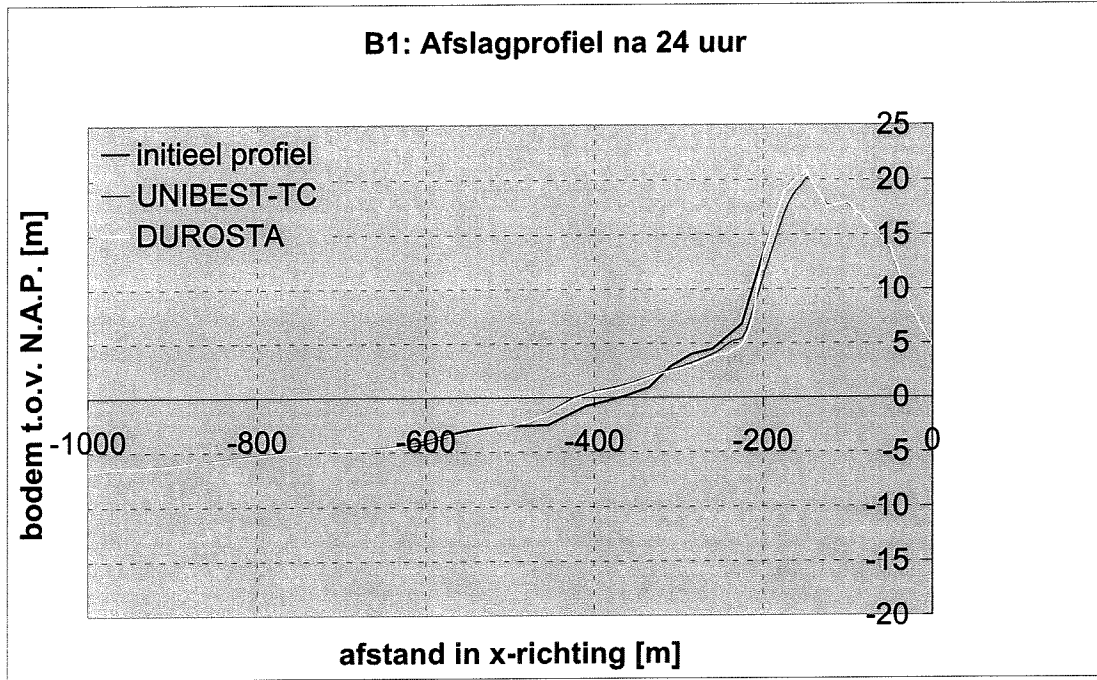


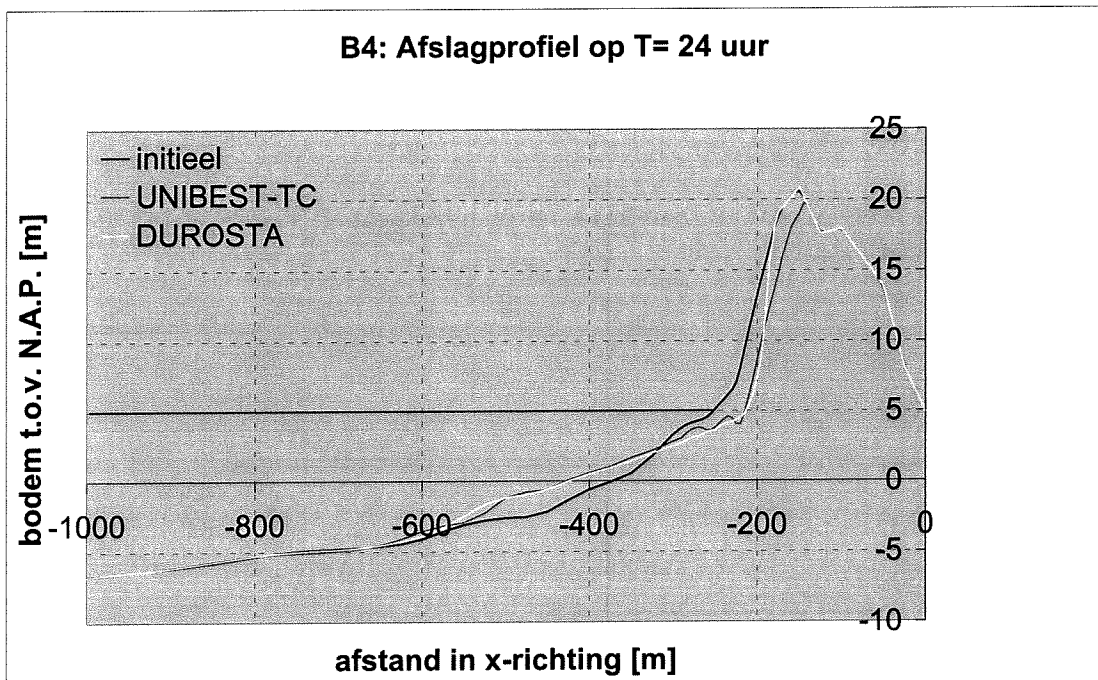
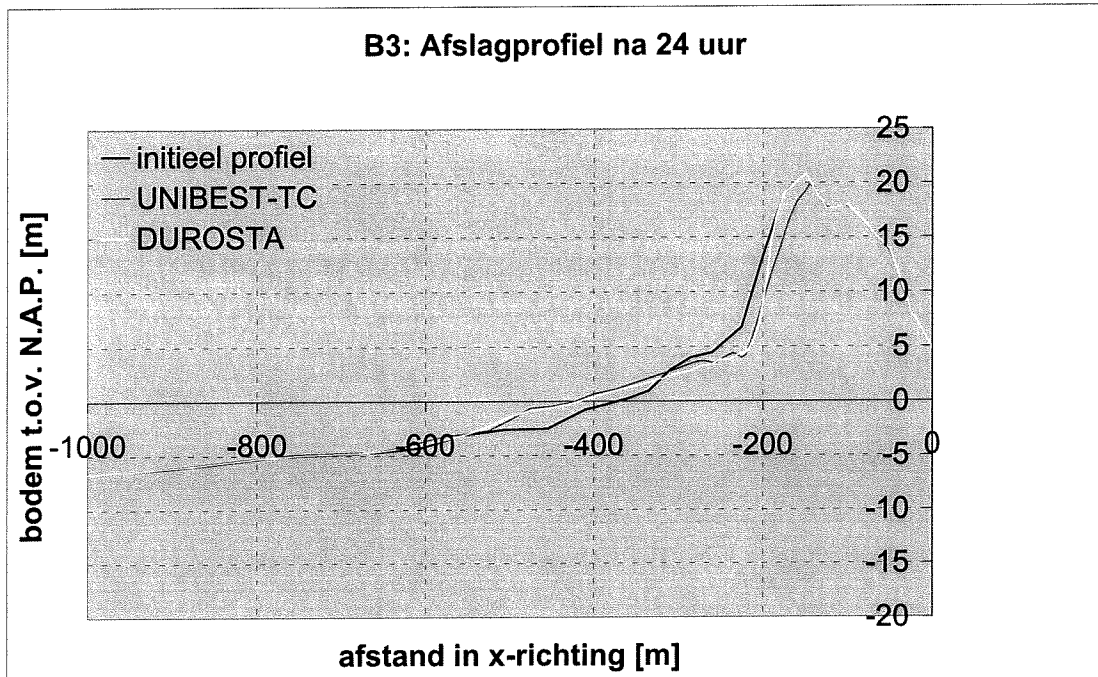
BIJLAGE V: INVLOED KORRELDIAMETER OP SCHAALMODEL



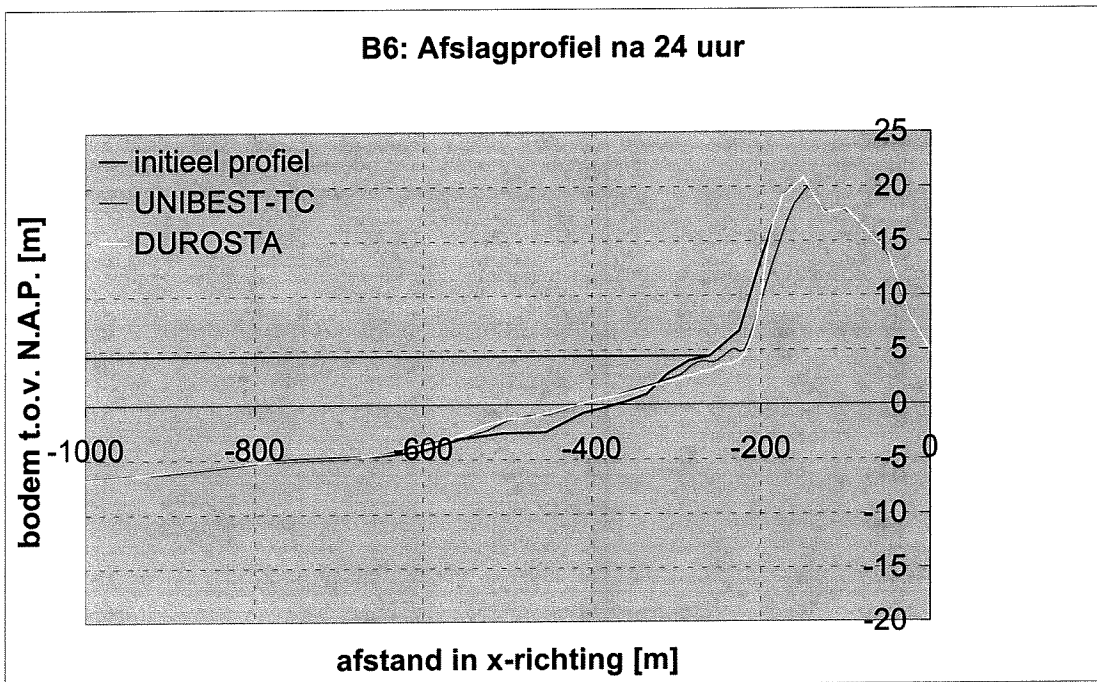
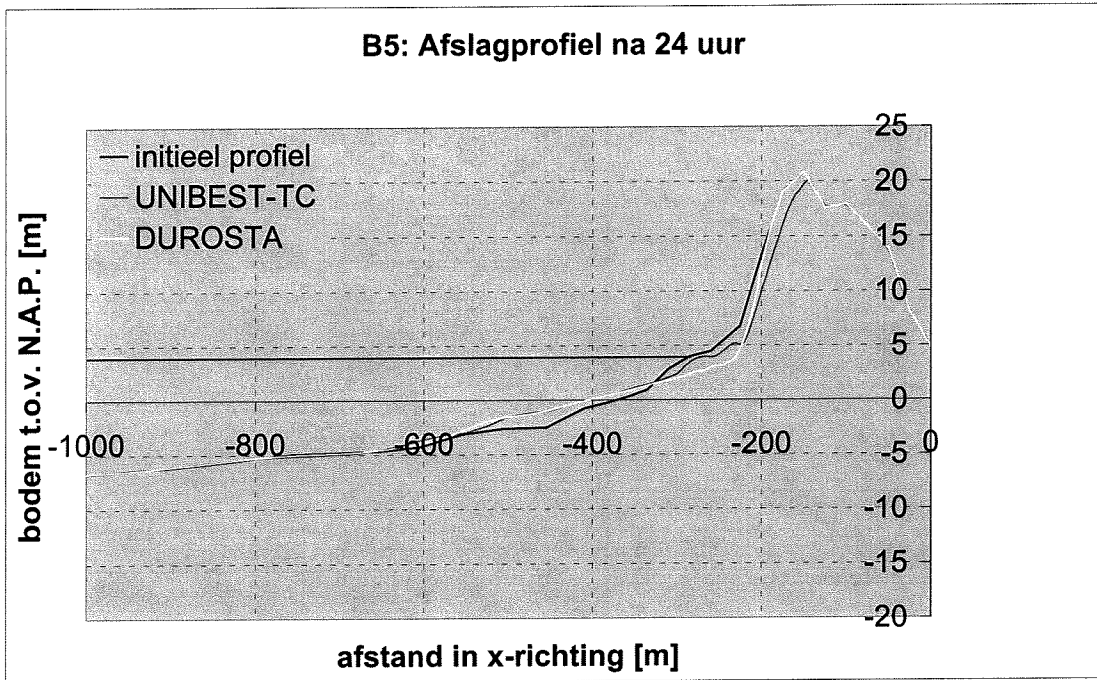


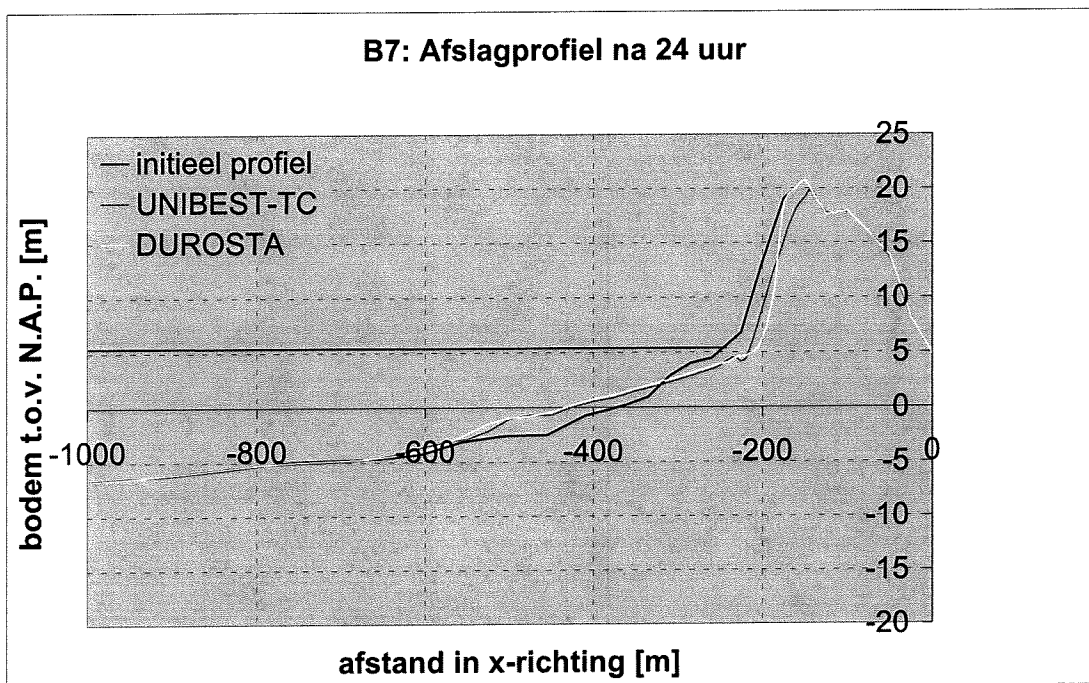
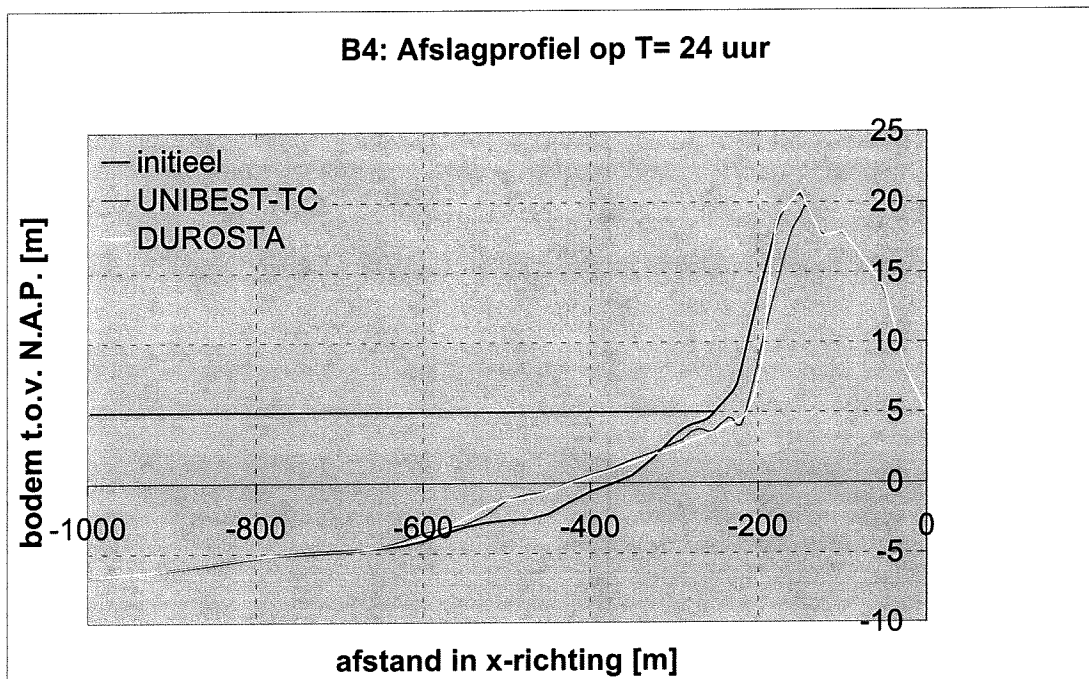
BIJLAGE VI: INVLOED GOLFHOOGTE OP PROTOTYPE

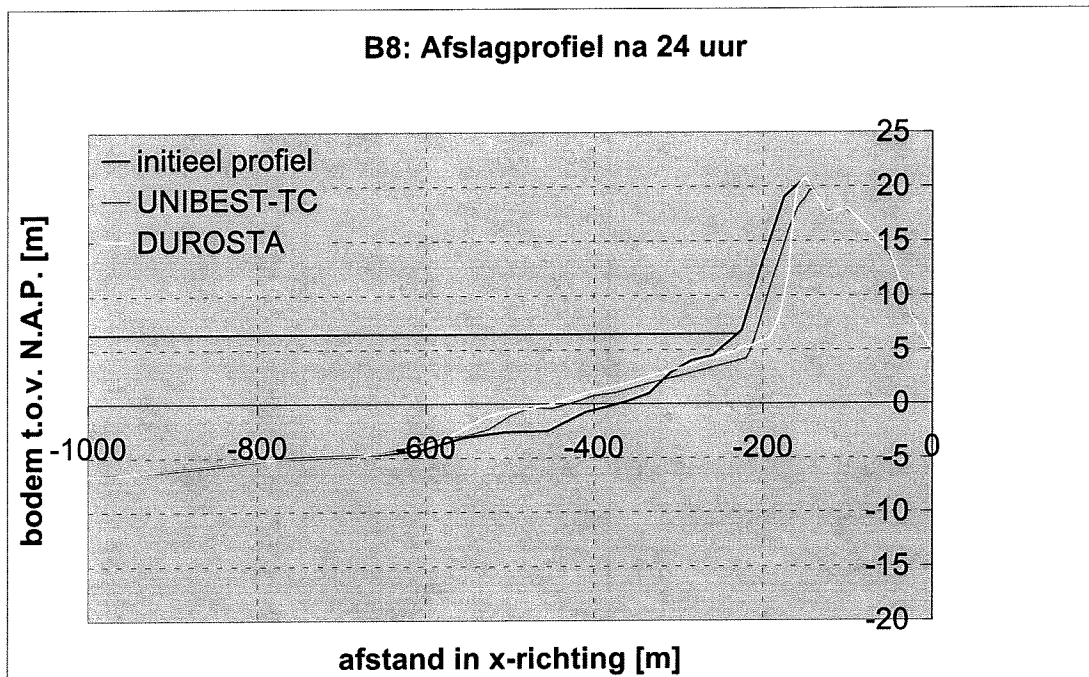




BIJLAGE VII: INVLOED WATERSTAND OP PROTOTYPE







BIJLAGE VIII: INVLOED KORRELDIAMETER OP PROTOTYPE

