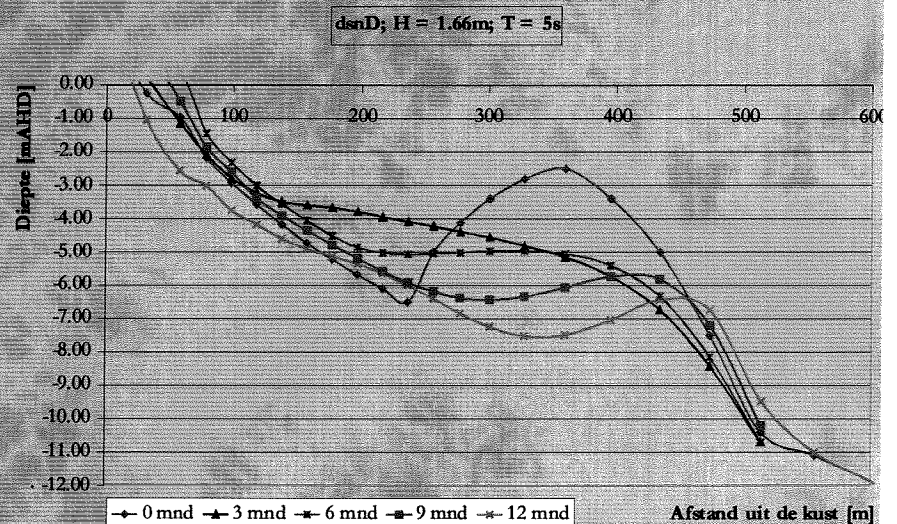
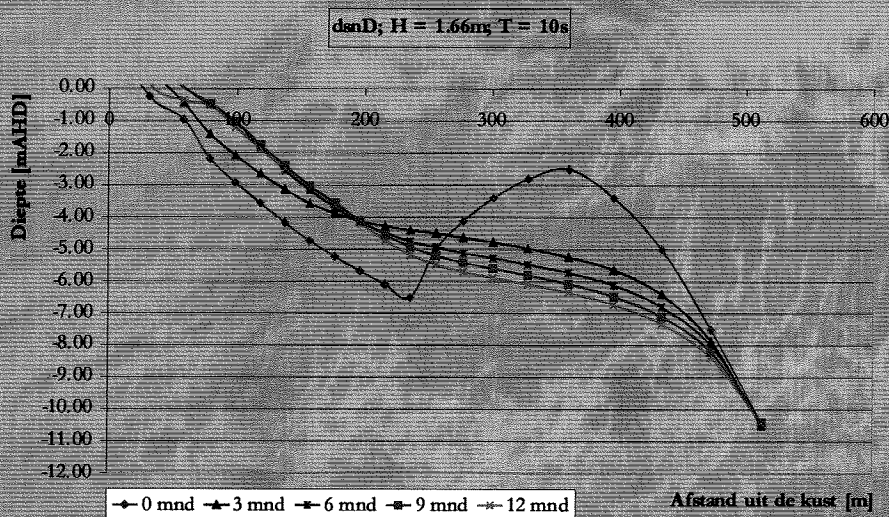


Vooroeversuppleties onder deining en windgolven

Toegepast op de Gold Coast, Queensland Australië

Afstudeerrapport



Titelpagina

Titel : Vooroeversuppletie onder deining en windgolven

Subtitel : Afstudeerverslag

Opleiding : Technische Universiteit Delft, faculteit civiele techniek
en geowetenschappen, afdeling kustwaterbouwkunde

Bedrijf : Hollandsche Aanneming Maatschappij
Bagger- en waterbouwkundige werken

Afdeling : Engineering & Research

Begeleiders : Prof. ir. K. d'Angremond
dr. ir. J.A. Roelvink
ir. G.L.M. van der Schrieck
ir. G. Klopman
ir. J. Brakel

Student : T.A. Joustra

Voorwoord

Dit afstudeeronderzoek is tot stand gekomen ter afsluiting van de studie Civiele Techniek aan de faculteit Civiele Techniek en Technische Aardwetenschappen aan de Technische Universiteit Delft.

Van november 2000 tot begin juli 2001 is onderzoek verricht naar gedragsverschillen en -overeenkomsten van een vooroeversuppletie onder invloed van deining en windgolven. Dit onderzoek is uitgevoerd in opdracht van, en voor een groot deel bij, de Hollandsche Aanneming Maatschappij (HAM). De resultaten van het onderzoek zijn weergegeven in dit verslag en dragen bij tot het verbeteren van het inzicht in de morfologische verschijnselen die zich in de kuststrook voordoen en specifiek in de buurt van een vooroeversuppletie. Met de resultaten uit dit onderzoek kan een verbetering van de strategie omtrent het uitvoeren van suppleties tot stand komen. Daardoor is het mogelijk vooroeversuppleties uit te voeren, waarbij het gedrag van die suppletie beter te voorspellen is en daarmee de aannemersrisico's beter in te schatten zijn.

Mijn speciale dank gaat uit naar dr. ir. J.A. Roelvink voor zijn morfologische kennis begeleiding en naar ir. J. Brakel als begeleider van de HAM voor zijn praktische raadgeving. Tevens zou ik graag prof.ir. K. d'Angremond willen bedanken voor het voorzitten van de afstudeercommissie en het begeleiden van mijn afstuderen. Graag zou ik eveneens ir. G.L.M. van der Schrieck en ir. G. Klopman bedanken voor het zitting willen nemen in de afstudeercommissie en het beoordelen van het afstudeerwerk.

Tjerk A. Joustra
Delft, juli 2001

Samenvatting

Al sinds jaar en dag worden over de hele wereld strandsuppleties uitgevoerd. Het doel van die strandsuppleties is de verdediging van kusten en de verbetering van de recreatiemogelijkheden. Om die laatste reden is er eind jaren tachtig een vooroeversuppletie uitgevoerd bij de Gold Coast in Queensland, Australië. Het morfologisch gedrag van die suppletie was echter anders dan voorspeld. Behalve de beoogde migratie kustwaarts was er ook een migratie langs de kust waarneembaar.

Deze kust wordt gedomineerd door golven die als deining getypeerd kunnen worden. Dit gegeven tezamen met het waargenomen migratiegedrag hebben de vraag opgeroepen wat de morfologische gedragsverschillen en overeenkomsten zijn van zo'n vooroeversuppletie onder deining vergeleken met windgolven.

Om dit te onderzoeken is een fictief model opgezet, waarin een rechte kust met evenwijdige dieptelijnen is opgenomen. Hierin is een suppletie ter grootte van 1.5 mln m³ aangebracht, dit komt overeen met de omvang van de suppletie zoals deze destijds bij de Gold Coast uitgevoerd is. Vervolgens is het model vier keer berekend met twee keer twee verschillende golven.

| Berekening | H _{sig} [m] | T _p [s] | Simulatieduur [dagen] |
|------------|----------------------|--------------------|-----------------------|
| Set 1 | 1.66 | 10 | 365 |
| | 1.66 | 5 | 854 |
| Set 2 | 1.99 | 10 | 365 |
| | 1.99 | 5 | 767 |

Berekeningssets

De resultaten van de berekeningen zijn per set met elkaar vergeleken zowel op basis van de energieflex als op basis van de tijd. Aandacht is hierbij uitgegaan naar de dwars- en de langstransporten, de dwars- en langdoorsneden en de volumes van meetvakken die in het simulatiegebied aangebracht zijn. Uit de resultaten bleek dat de twee golven duidelijk verschillende invloed hebben op een vooroeversuppletie.

- De snelheid waarmee de suppletie onder deining erodeert is veel groter dan onder windgolven.
- Onder deining vindt een verplaatsing van de kustlijn in zeewaartse richting plaats.
- Onder windgolven is het langstransport ongeveer gelijk aan dat bij deining. Het verloop over de doorsnede is wel verschillend
- Onder deining is het dwarstransport groter dan onder windgolven en voornamelijk kustwaarts gericht. Dit in tegenstelling tot windgolven waarbij een wisselend richtingspatroon waarneembaar is.
- Deining heeft een sterk afvlakkende werking op de suppletie. Dit in tegenstelling tot windgolven waarbij de suppletie een meer permanent karakter heeft.
- Bij een gegeven situatie, deining of windgolven, is het afhankelijk van het beoogde doel van de suppletie of in de gegeven omstandigheden een vooroeversuppletie een goede oplossing is.

Als laatste is vervolgens een case-studie gedaan. Hierbij is getracht de morfologische veranderingen, zoals deze zich voordeden bij de Gold Coast na aanleg van de vooroeversuppletie, te simuleren. De algemene trend zoals deze zich in werkelijkheid voordeed, zijn in de simulatie terug te vinden. Helaas zit er in het simulatie model wel

een onvolkomenheid waar de eindresultaten door beïnvloed kunnen zijn. Ondanks dit zijn er toch enkele conclusie te trekken aan de hand van dit model.

- De translatie loodrecht op de kust is het gevolg van de deining.
- De translatie langs de kust is deels het gevolg van de windgolven maar deels ook het gevolg van de deining. Dit laatste is het gevolg van de hoek van inval van de deining. Deze is onder een hoek van 45° tot 50° . Bij deze hoek treedt, onder gelijke omstandigheden het maximaal mogelijke langstransport op.

Inhoudsopgave

| | |
|--|------|
| Titelpagina | I |
| Voorwoord | III |
| Samenvatting | V |
| Inhoudsopgave | VII |
| 1. Inleiding | 1-9 |
| 2. Probleembeschrijving | 2-11 |
| 2.1. Doelstelling | 2-11 |
| 2.2. Probleemdefinitie | 2-11 |
| 2.3. Opzet onderzoek | 2-12 |
| 3. Delft2D-MOR | 3-15 |
| 3.1. Keuze simulatie programma | 3-15 |
| 3.2. Modelling | 3-17 |
| 3.2.1. Delft2D-MOR modellering systeem | 3-17 |
| 3.2.2. Simulatie proces | 3-17 |
| 3.2.3. Rekenmodules Delft2D-MOR | 3-19 |
| 3.3. Model | 3-21 |
| 3.3.1. Rekengrid | 3-21 |
| 3.3.2. Bodem schematisatie | 3-22 |
| 3.3.3. Randvoorwaarden | 3-24 |
| 3.3.4. Beginvoorwaarde | 3-25 |
| 4. Sediment transport | 4-27 |
| 4.1. Langtransport | 4-27 |
| 4.1.1. Bijker | 4-27 |
| 4.1.2. Invloed golfperiode | 4-28 |
| 4.2. Dwarstransport | 4-29 |
| 4.2.1. Bailard (1981) | 4-30 |
| 4.2.2. Invloed golfperiode | 4-32 |
| 4.3. Vergelijking resultaten | 4-34 |
| 4.3.1. Methode | 4-34 |
| 4.4. Golfspectra | 4-35 |
| 5. Berekeningen | 5-39 |
| 5.1. Model kalibratie | 5-39 |
| 5.1.1. IJkfactoren (Bailard) | 5-39 |
| 5.1.2. Dempingsfactor Alfa | 5-42 |
| 5.1.3. Simulatietijdstap | 5-43 |
| 5.1.4. Courant getal | 5-44 |
| 5.1.5. Bodemtijdstap | 5-45 |
| 5.2. Uitgevoerde berekeningen | 5-45 |
| 5.3. Resultaten | 5-46 |
| 5.3.1. Bodemligging | 5-47 |
| 5.3.2. Zand volumes | 5-56 |
| 5.3.3. Langtransporten | 5-61 |
| 5.3.4. Dwarstransporten | 5-63 |
| 5.3.5. Conclusie | 5-64 |
| 6. Casestudie Gold Coast, Australië | 6-69 |
| 6.1. Locatiekeuze | 6-69 |
| 6.1.1. Keuze motivatie | 6-69 |
| 6.2. Gold Coast model | 6-70 |
| 6.2.1. Lokatie | 6-70 |

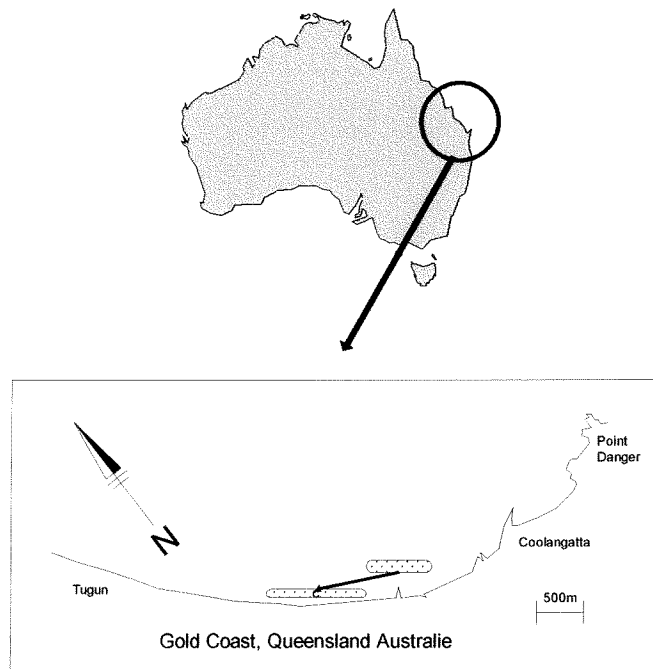
| | |
|----------------------------------|------|
| 6.2.2. Rekengrid..... | 6-71 |
| 6.2.3. Bodem schematisatie | 6-72 |
| 6.2.4. Randvoorwaarden | 6-72 |
| 6.2.5. Beginvoorwaarden | 6-73 |
| 6.3. Resultaten model..... | 6-73 |
| 6.3.1. Bodemligging | 6-73 |
| 6.3.2. Conclusie | 6-80 |
| 7. Conclusies | 7-83 |
| 8. Aanbevelingen | 8-85 |
| Literatuurlijst | 8-87 |
| Figurenlijst | 8-89 |
| Tabellenlijst..... | 8-90 |

1. Inleiding

Een vergroting van de capaciteit en de mobiliteit van het baggermaterieel en de relatief lage kosten hebben ertoe geleid dat sinds de jaren zeventig zandsuppleties uitgevoerd worden met als doel de bescherming van de kustlijn. Verbetering van de recreatie mogelijkheden is een andere belangrijke reden om de suppleties uit te voeren. In beide gevallen betreft het zowel strandsuppleties als vooroeversuppleties. Met name deze laatste vorm van suppletie is de laatste jaren steeds populairder geworden vanwege:

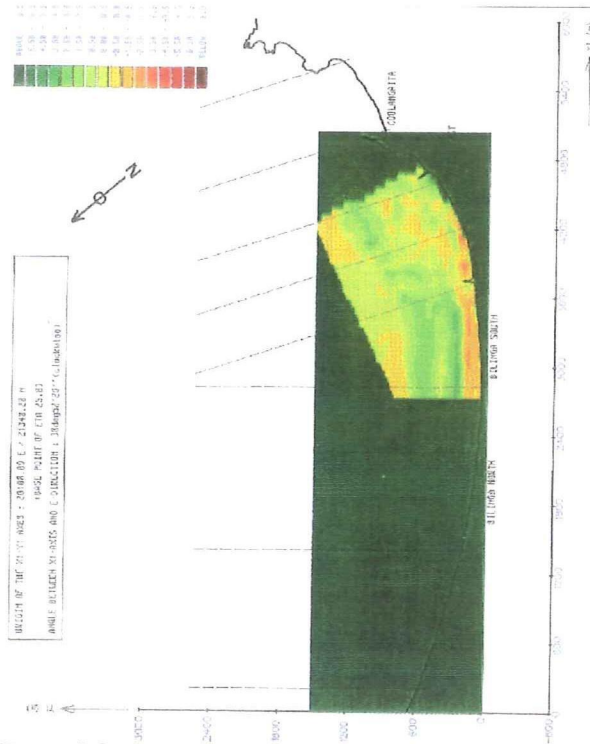
- De snelheid waarmee de suppleties uitgevoerd kunnen worden.
- De relatief lage kosten per m³ zand die hieraan verbonden zijn.

In de jaren 1988 tot 1990 werden bij de Gold Coast in Australië, in twee fases, vooroeversuppleties uitgevoerd ter bescherming van de kust. Ten gevolge van de bouw van twee golfbrekers (1962-1964) bij de monding van de rivier Tweed, ten zuidoosten van Point Danger (figuur 1-1), was dit deel van de kust aan erosie onderhevig. Bij de twee suppleties is in totaal 5.1 miljoen m³ zand gesuppleerd, deels als strandsuppletie en deels als vooroeversuppletie. Deze vooroeversuppleties (1.5 miljoen m³ zand) hadden echter een ander migratiegedrag dan voorspeld. Grofweg kan gesteld worden dat behalve de beoogde migratie kustwaarts ook een translatie langs de kust in noordwestelijke richting heeft plaats gevonden.

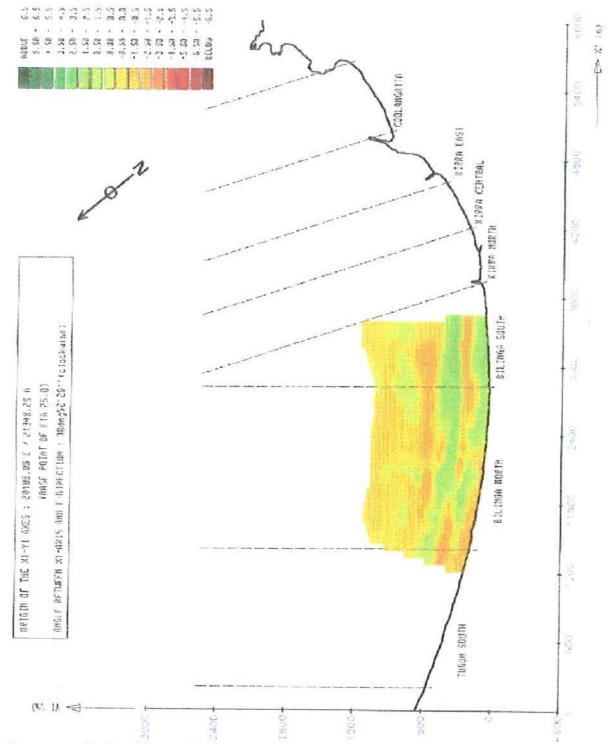


figuur 1-1, Gold Coast, Australië

In de figuur 1-2 staat een afbeelding waarin de suppletie afgebeeld staat zoals deze uitgevoerd is. Deze figuur geeft het verschil in bodemligging weer tussen het moment vlak voor de suppletie (september 1988) en het moment direct na aanleg van de suppletie (november 1988).



figuur 1-2, Aangebrachte suppletie



figuur 1-3, Erosie sedimentatie na 1 jaar

In figuur 1-3 staat de veranderde bodemligging weergegeven in november 1989 ten opzichte van het moment direct na aanleg van de suppletie (november 1988). Beide figuren zijn opgenomen in bijlage C1 en C2.

2. Probleembeschrijving

In dit hoofdstuk zal duidelijk gemaakt worden wat er met dit onderzoek beoogd is te bereiken en op welke wijze dat is gebeurd. Allereerst zal in paragraaf 2.1 het doel van het onderzoek aan bod komen, waarna in paragraaf 2.2 het probleem aan bod komt. Als laatste zal in paragraaf 2.3 de opzet van het onderzoek behandeld worden

2.1. Doelstelling

De doelstelling van het onderzoek is het vinden van morfologische gedragsverschillen dan wel overeenkomsten van een vooroeversuppletie onder invloed van deininggolven en onder invloed van windgolven.

In deze studie zal aan de hand van een fictieve rechte kust naar twee dezelfde suppleties gekeken worden, maar onder verschillende omstandigheden. De ene omstandigheid is onder belasting van deining en de andere is onder belasting van windgolven. Van de, per belasting geval, uitgevoerde simulaties zijn de resultaten met elkaar vergeleken. Aandachtsgebieden hierbij liggen bij:

- De mate en richting van spreiding van de suppletie. Dit is een maat voor de effectiviteit van een suppletie.
- De relatie van de spreiding met de toegevoerde energie en met de tijd.

Wanneer dat deel van de studie voltooid is zal dit getoetst worden aan de eerder genoemde case, de Gold Coast in Australië.

2.2. Probleemdefinitie

De Gold Coast is een kust die voor een groot deel belast wordt met golven die getypeerd kunnen worden als deining. In bijvoorbeeld de Nederlandse situatie, is er echter sprake van een golfbelasting op de kusten die veel meer getypeerd kan worden als een belasting door windgolven. Beide golfsoorten hebben karakteristieke golfeigenschappen die wezenlijk van elkaar verschillen. Dit samen met het feit dat golven en de getijstromingen de 'motoren' achter het sedimenttransport zijn, roept de vraag op: "wat is nu het gedragsverschil van een vooroeversuppletie onder golven met verschillende periodes".

Deining en windgolven hebben een aantal karakteristieke verschillen die hun uitwerking hebben in het sedimenttransport. Van beide golfsoorten is, onderstaand, een definitie gegeven om de verschillen duidelijk te maken.

Windgolven

Windgolven zijn door de wind opgewekte golven die zich in of in de buurt van het gebied bevinden waarin ze opgewekt zijn. Deze golven hebben een grillig en chaotisch spectrum. Met behulp van probabilistische technieken kan toch een beschrijving van een dergelijk golfveld gemaakt worden.

Deining

Deining zijn door wind opgewekte golven die het stormgebied waarin ze zijn opgewekt 'uitgelopen' zijn, dan wel de storm zich uit het gebied verplaatst heeft. Karakteristiek voor deze golven is dat:

- Ze in groepen symmetrische golven met relatief lange golfkammen voorkomen.

- Een goede beschrijving van het gedrag van deining met een enkelvoudige sinus te modelleren is.

Concreet houdt dit in dat de verschillen tussen deze golven tot uiting komen in een aantal fysische eigenschappen van de golven.

- De karakteristieke periode van deining, welke groter is dan de vergelijkbare periode bij windgolven.
- De breedte van het spectrum van windgolven veel groter is dan dat van deining. In deze studie zal uitsluitend de karakteristieke periode onder de loupe genomen worden en zal de breedte van het spectrum niet meegenomen worden.

Om deze verschillen en overeenkomsten onderling te kunnen vergelijken, is een methode bedacht waarop deze vergelijking gebaseerd is. In hoofdstuk 4.3.1 zal deze methode toegelicht worden op basis waarvan deze verschillende golfkarakteristieken met elkaar vergeleken worden.

2.3. Opzet onderzoek

Om het probleem, zoals beschreven in paragraaf 2.2, aan te kunnen pakken met als doel dat wat in paragraaf 2.1 aan de orde is gekomen, moet er een doelmatige opzet van het onderzoek gedefinieerd worden. Een analytische oplossing van dit soort problemen is niet mogelijk, maar met behulp van het numerieke softwarepakket Delft2D-MOR kan een goede beschrijving gegeven worden van de optredende verschijnselen. De keuze voor dit software pakket zal in hoofdstuk 3.1 nader toegelicht worden.

De opzet van het onderzoek kan het beste duidelijk gemaakt worden aan de hand van een stappenplan.

Stap 1

Het onderzoek wordt opgesplitst in twee delen. Allereerst zal een modelschematisatie gemaakt worden aan de hand van de Gold Coast gegevens, maar in een rechthoekig kustmodel (fictief). Hierin wordt uitgegaan van een rechte kust met evenwijdige dieptelijnen. Aan de hand van de Gold Coast omstandigheden zal een bijbehorend evenwichtsprofiel bepaald worden. Dit zal gedaan worden door middel van het uitvoeren van simulaties. Van deze modelschematisatie zal gebruik gemaakt worden in de eerste drie stappen van dit onderzoek.

Stap 2

In het verkregen evenwichtsprofiel zal een suppletie aangebracht worden, welke blootgesteld zal worden aan twee verschillende golfklimaten. De omvang van deze suppletie zal dezelfde zijn als die bij de Gold Coast is aangelegd.

Stap 3

De gedragsverschillen en -overeenkomsten van de suppletie onder de verschillende golven, zullen kwalitatief en waar mogelijk kwantitatief verklaard worden.

Stap 4

In het tweede deel (stap 4) zal aan de hand van de Gold Coast gegevens zal een kromlijnige kustmodel schematisatie plaatsvinden, welke de natuurlijke kustlijn van de Gold Coast zo goed mogelijk zal volgen. Het evenwichtsprofiel zoals dat in stap

1 gevonden is zal hierin geïmplementeerd worden. In deze casestudie zullen de bevindingen uit de vorige stappen geverifieerd worden.

De eerste drie stappen van dit onderzoek zullen gedaan worden aan de hand van een fictieve rechte kust, waar in hoofdstuk 2.1 ook over gesproken is. De laatste stap, de casestudie, zal gedaan worden aan de hand van de gegevens die verkregen zijn van lokale overheden.

3. Delft2D-MOR

In dit hoofdstuk zal de keuze en de werking van het simulatieprogramma nader toegelicht worden. Tevens zal een toelichting gegeven worden op de keuzes die gemaakt zijn met betrekking tot de modellering van de fictieve rechte kust. De veranderingen die noodzakelijk zijn voor de modellering van de casestudie zullen in paragraaf 6.2 behandeld worden. Het is niet de bedoeling een volledige beschrijving van de werking van dit programma te geven, maar een idee te geven van de werking van dit programma. Voor een uitgebreide beschrijving wordt verwezen naar de handleiding Delft2D-MOR van het WL|Delft Hydraulics.

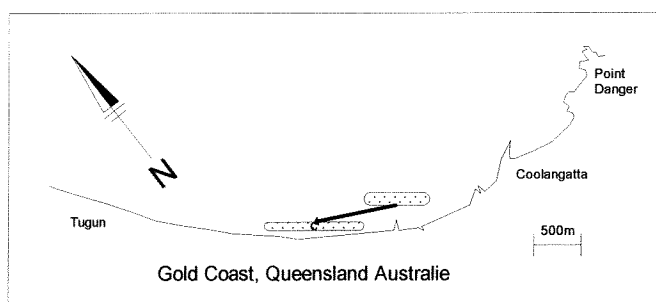
3.1. Keuze simulatie programma

De keuze voor het simulatie programma Delft2D-MOR, is afhankelijk van een aantal factoren:

- De aard van het onderzoek.
- Nauwkeurigheid van de beschikbare data.
- De relevantie van verschillende fysische verschijnselen.
- Beschikbaarheid van vergelijkbare simulatie programma's.

De aard van het onderzoek.

Zoals in hoofdstuk 1 aan de orde is gekomen heeft de suppletie, zoals deze eind jaren tachtig bij de Gold Coast uitgevoerd is, een translatie in meerdere richtingen ondergaan, figuur 3-1. In bijlage C1 en C2 staat de migratie zoals deze daadwerkelijk heeft plaatsgevonden weergegeven. Vanwege deze twee-dimensionale translatie mag verwacht worden dat meerdere fysische verschijnselen een belangrijke rol gespeeld hebben. Hierbij moet gedacht worden aan zowel dwars- als langstransport. Het is ook waarschijnlijk dat de brandingszone ter plaatse van de suppletie (tijdelijk) zal verschuiven. Hierdoor zouden drie-dimensionale stromingen kunnen ontstaan. Om al deze verschijnselen op te kunnen nemen in het onderzoek is het noodzakelijk een twee-dimensionaal morfologisch rekenprogramma te gebruiken. Dit is gevonden in het programma Delft2D-MOR.



figuur 3-1, migratie gedrag

Nauwkeurigheid van de beschikbare data.

In 1970 heeft het WL Delft een rapport geschreven voor het bestuur van Queensland, getiteld "Gold Coast, Queensland, Australia – Coastal Erosion and Related Problems" (Rapport R257). Hierin werden enkele oplossingen voorgesteld voor de problemen die bestonden bij de kust. Dit rapport was de basis voor een

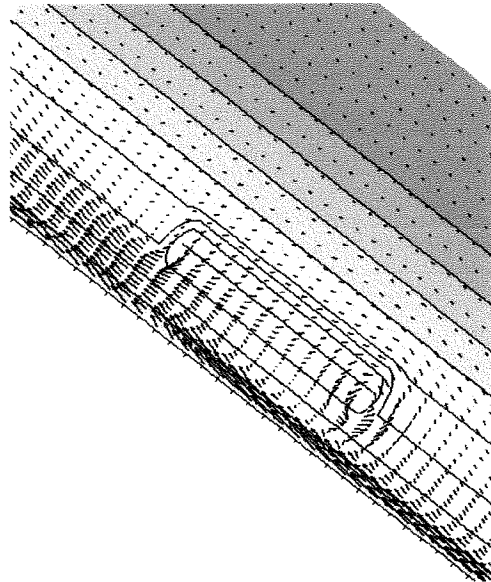
omvangrijk plan om de erosie bij de Gold Coast tegen te gaan. Dit geheel werd samengevat in het 1973 Coastal Management Plan van de Beach Protection Authority.

Sindsdien zijn er verscheidene studies naar kustprocessen aan de Gold Coast gedaan. Tevens zijn door de Beach Protection Authority en Council, uitgebreide databases van de kust opgezet.

Uit het voorgaande blijkt dat sinds de Gold Coast in 1973 volop in de onderzoektechnische belangstelling staat, er erg veel onderzoek gedaan is en daaraan gerelateerd uitgebreide databases opgezet zijn. Voor dit onderzoek geldt dat er vanuit gegaan kan worden dat deze data correct zijn. Deze twee factoren samen geven belangrijke nauwkeurige informatie over de morfologische ontwikkeling van het kustgebied.

Relevantie van de fysische verschijnselen

Wanneer een vooroeversuppletie aangebracht wordt, is deze in zo goed als alle gevallen van een eindige lengte. Dit heeft tot gevolg dat de complexe verstoringen die aan de randen en achter de suppletie op zullen treden, relatief van grote invloed kunnen zijn op het gedrag van de gehele suppletie. Tevens kan er vanuit gegaan worden dat bij een dergelijke situatie dermate complexe stromingsbeelden (figuur 3-2) ontstaan dat er sprake zal zijn van verschillende belangrijk fysische verschijnselen. Het model moet in staat zijn zoveel mogelijk van die verschijnselen mee te nemen in de berekeningen.



figuur 3-2, Stroombeeld bij een suppletie (initieel)

Beschikbaarheid van vergelijkbare simulatie programma's.

Deze twee-dimensionale benadering van het propleem is op dit moment niet mogelijk met andere morfologische rekenprogramma's, omdat deze niet bestaan.

3.2. Modellingering

Om de berekeningen, nodig voor dit onderzoek, te kunnen maken zijn twee modellen opgezet. Eén van een fictieve rechte kust en één voor de casestudie die de werkelijke situatie zo goed mogelijk beschrijft. Hierbij is gebruik gemaakt van zoveel mogelijk informatie. Het rapport van E. Meisner (1991) en data die belangenloos ter beschikking zijn gesteld door de Queensland Department of Transport en de Queensland Government Hydraulic Laboratory waren de voornaamste bronnen. Tevens is gebruik gemaakt van het modelleringsprogramma Delft2D-MOR. Wat betreft de redenen van deze keuze wordt verwezen naar paragraaf 3.1. In de volgende paragrafen van dit hoofdstuk zal de wijze waarop tot het model gekomen is nader uitgelegd worden en zullen de gedane aannamen toegelicht worden. Allereerst zal een korte beschrijving gegeven worden van het Delft2D-MOR modellering systeem, waarna verder ingegaan zal worden op de belangrijkste items voor het model dat opgezet is.

3.2.1. Delft2D-MOR modellering systeem

Het Delft2D-MOR modellering systeem is een flexibele applicatie, waarmee uiteenlopende morfologische situaties gemodelleerd kunnen worden. Enkele voorbeelden hiervan zijn:

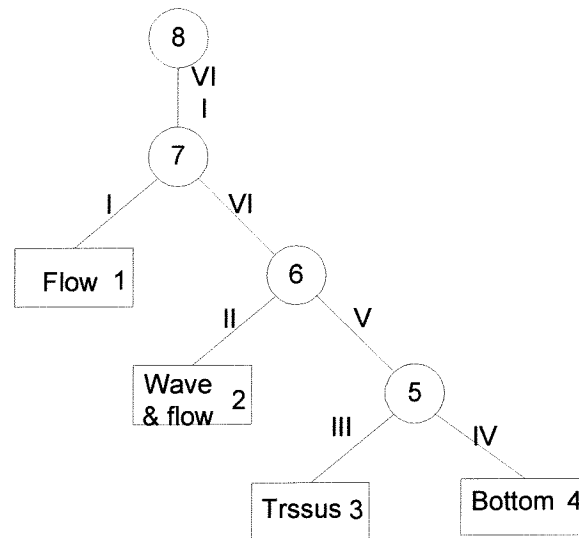
- Stromingen als gevolg van getij, golven, wind en dichtheidsgradiënten.
- Voortplanting van golven bij ongelijke bodemniveaus.
- Initiële en dynamische 2D-morfologische veranderingen (inclusief het effect van golven op het suspensie- en bodemtransport).

Het Delft2D-MOR modelleringsysteem bestaat uit in totaal zeven verschillende modules waarmee uiteenlopende soorten van modellen gemaakt kunnen worden. Voor deze studie is gebruik gemaakt van in totaal vijf modules waarvan vier de rekenmodules zijn en één de hoofdmodule is. De hoofdmodule, genaamd MAIN-module, wordt gebruikt om het simulatieproces te controleren. Dit wordt gedaan door middel van het opleggen van onder andere een rekenstructuur en start en stop criteria aan de vier gebruikte rekenmodules. Hierop wordt in paragraaf 3.2.2 terug gekomen. Deze vier gebruikte rekenmodules vormen de basis van het uitgevoerde simulatie proces. Deze modules staan hieronder weergegeven. Een korte beschrijving van die modules is te vinden in paragraaf 3.2.3.

- FLOW : hydrodynamische module
- WAVE : golf module
- TRSSUS : sedimenttransport module
- BOTTOM : morfologische module

3.2.2. Simulatie proces

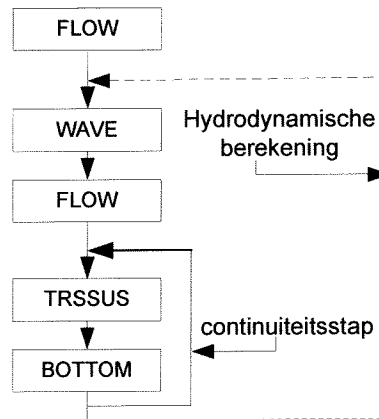
Het simulatie proces heeft een setup waarmee de verschillende fases van het rekenproces doorlopen worden. Een schematische weergave van deze setup is te zien in figuur 3-3, waarin de boomstructuur van het simulatie proces, zoals dat in dit geval gebruikt is, weergegeven staat.



figuur 3-3, boomstructuur

Met deze boomstructuur wordt een rekenproces in gang gezet. Allereerst wordt er een hydrodynamisch berekening gemaakt. De resultaten van deze berekening worden gebruikt om een golfberekening uit te voeren. Met de resultaten van deze berekening wordt opnieuw een hydrodynamische berekening uitgevoerd. De resultaten van deze berekening zijn dus inclusief de effecten als gevolg van golven. Na deze berekening wordt een sediment transportberekening uitgevoerd door de TRSSUS-module, welke hiervoor gebruik maakt van de resultaten uit de laatste hydrodynamische berekening. Als laatste binnen een cyclus wordt, door de BOTTOM-module, de bodemverandering bepaald als gevolg van de sedimenttransport gradiënten.

Vanwege de grote hoeveelheid rekentijd die de hydrodynamische berekeningen vergen, is gebruik gemaakt van de continuïteitsstap. Dit houdt in dat met de resultaten van de eerder genoemde hydrodynamische berekening en de aangepaste bodem, nieuwe snelheden per gridpunt berekend worden. Hiervoor wordt gebruik gemaakt van de eerder berekende debieten en de aangepaste diepte. Een diepteafname leidt hierdoor tot een toename van de snelheid en omgekeerd. Na een vast aantal continuïteitsstappen wordt een nieuwe hydrodynamische berekening uitgevoerd. Het aantal continuïteitsstappen is afhankelijk van de snelheid waarmee de bodem zich aanpast; In dit geval varieert het aantal stappen tussen de vijf en tien stappen. Geschematiseerd ziet dit er uit zoals weergegeven in figuur 3-4.



figuur 3-4, Schematisatie rekenproces

3.2.3. Rekenmodules Delft2D-MOR

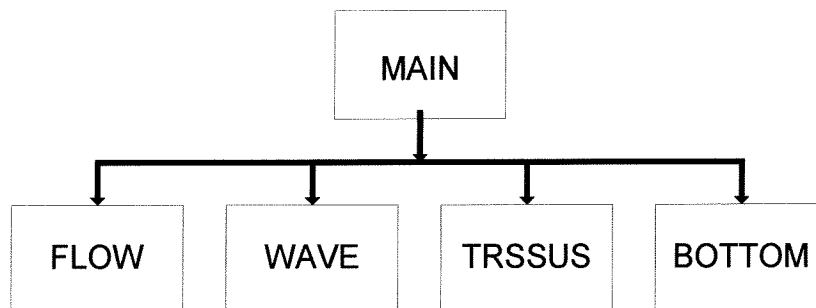
In deze paragraaf wordt een korte toelichting gegeven op de rekenmodules zoals ze in paragraaf 3.2.1 genoemd zijn. Tevens zal even kort stil worden gestaan bij de hoofdmodule, MAIN. Het is de bedoeling een korte impressie te geven van deze modules. Voor uitgebreide informatie hierover wordt verwezen naar de handleidingen geschreven door het WL | Delft Hydraulics.

Hoofdmodule (MAIN)

Zoals in paragraaf 3.2.1 al aan de orde is gekomen wordt het simulatie proces aangestuurd door de hoofdmodule MAIN. In deze module kan onder andere het volgende worden geregeld:

- De volgorde van de berekeningen.
- De representatieve periode van één (deel) berekening, bijvoorbeeld één getijperiode voor de hydrodynamische berekening.
- De stopcriteria voor een module, bijvoorbeeld maximaal één hydrodynamische berekening per rekenloop of een maximale relatieve bodemverandering.
- De tijdstap waarmee gerekend wordt.

Uit voorgaande blijkt duidelijk het controlerende karakter van deze module, geschematiseerd staat dit weergegeven in figuur 3-5



figuur 3-5, Controle door MAIN module

Hydrodynamische module (FLOW)

In deze module, ook wel TRISULA genoemd, worden de hydrodynamische berekeningen van Delft2D-MOR gemaakt. Het is een multidimensionaal

simulatieprogramma, waarin stromingsberekeningen gemaakt worden, welke opgewekt kunnen worden door getij, golven en wind. Van de eerste en laatst zal hier geen gebruik gemaakt worden. Het getij heeft hier immers alleen invloed op de plaats van het breken van de golven maar verder geen direct effect op het sedimenttransport. De getijstroom is verwaarloosbaar op deze afstand uit de kust, WL Delft 1970. (Rapport R257, Gold Coast, Queensland Australia, Coastal erosion and related problems) Deze berekeningen kunnen gedaan worden op zowel een rechthoekig als kromlijinig grid.

Golf module (WAVE)

In de wave module van Delft2D-MOR worden de golfberekeningen uitgevoerd. Deze module, beter bekend onder de naam HISWA, is een model waar golfopwekking en -voortplanting in berekend kunnen worden. Er wordt rij voor rij een berekening uitgevoerd, beginnend bij de rand waar de golfkarakteristieken bekend en opgelegd zijn. Met behulp van dit model kunnen zowel offshore als nearshore golfcondities berekend worden. De voortplanting van de golfenergie wordt bepaald met behulp van een energiebalans. Dit is inclusief termen voor de energietoename van het golfveld, als gevolg van wind en energiedissipatie door bodemwrijving en breken van golven.

Van de mogelijkheid voor het toepassen van energietoename aan het systeem als gevolg van wind is in dit geval geen gebruik gemaakt. Hiervoor zijn twee redenen:

- Het opnemen van de wind draagt niet bij tot een verbetering van het begrip met betrekking tot de gedragsverschillen van de golven (windgolven en deining) op de vooroeversuppletie.
- De gebruikte golven zijn vlak onder de kust gemeten, waardoor de wind over de kleine afstand tot de kust geen significante invloed op de golfhoogte zal hebben.

Sediment transport module (TRSSUS)

De sediment transport module in Delft2D-MOR kan gebruikt worden voor het modelleren van sediment transporten. Dit is mogelijk voor zowel cohesieve als niet-cohesieve materialen. Wanneer gebruik gemaakt wordt van deze module zijn sedimentatie en erosie patronen te bestuderen.

In feite bestaat deze module uit twee verschillende modules waaruit gekozen dient te worden, namelijk:

- TRSTOT : Totaal transport.
- TRSSUS : Bodem- en suspensie transport.

De module TRSTOT berekent een totaal transport en maakt geen onderscheid tussen bodem- en suspensie transport, dit in tegenstelling tot de module TRSSUS, welke dat wel doet.

In geval van een vooroever suppletie wordt er als het ware een zandbank aangelegd, een ondiepte. Dit betekent dat het breken van de golven kan verschuiven naar deze suppletie en de plaats kan variëren gedurende de simulatie als gevolg van de optredende bodemverandering. Het suspensie transport wordt sterk beïnvloed door het breken van de golven en is een groot

deel van het totale transport. Het is dus van groot belang dit suspensie transport zo goed mogelijk te modelleren. Zoals ook al in de titel van deze paragraaf en paragraaf 3.2.1 vermeld staat is in deze studie daarom gekozen voor het gebruik van TRSSUS.

Deze module berekent op gezette tijden de transporten voor een 2 dimensionaal horizontaal gebied. Om dit te kunnen, wordt gebruik gemaakt van de stroming- en golfgegevens die op de communicatie file staan. Door gebruik te maken van de door de gebruiker geselecteerde sediment langtransport formule (Bijker, hoofdstuk 4.1.1), wordt het bodem- en suspensie transport berekend. In dit onderzoek zal ook gebruik gemaakt worden van de dwarstransport formulering van Bailard (1981)(hoofdstuk 4.2.1). De berekende waarden voor zowel suspensie als bodem transport, van de Bailard formulering, worden vectorieel bij het bodemtransport, zoals dat voor het langtransport berekend is, opgeteld.

In de voorgaande alinea is vermeld dat voor de berekening van de sediment transporten gebruik wordt gemaakt van de stroming- en golfgegevens van de communicatie file. Om precies te zijn wordt er gebruik gemaakt van de debieten en waterstanden in plaats van de snelheden. Deze snelheden worden in de sedimenttransport module berekend, waarbij gebruik gemaakt wordt van het actuele bodemniveau. Dit maakt het mogelijk de snelheden opnieuw te berekenen zonder de stromingsberekeningen opnieuw te moeten maken. Dit wordt de continuïteitsstap genoemd. Deze procedure kan herhaald worden totdat de bodemveranderingen zo groot geworden zijn, dat een nieuwe stromingsberekening nodig is.

Morfologische module (BOTTOM)

In de morfologische module BOTTOM, wordt gebruik gemaakt van een sedimentbalans, waarmee de bodemverandering berekend wordt. Hierbij wordt weer gebruik gemaakt van het sedimenttransport dat in de module TRSSUS berekend is. In dit onderzoek is gebruik gemaakt van een variabele tijdsstap voor deze module. Deze wordt bepaald aan de hand van de waarden die uit de sedimenttransport berekeningen volgen (TRSSUS).

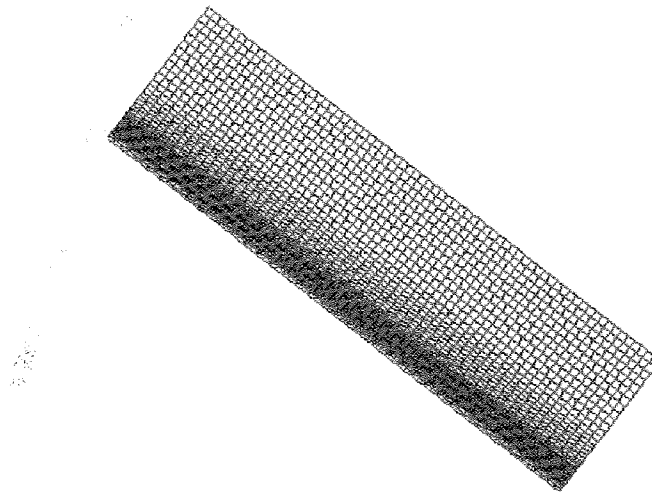
3.3. Model

In deze paragraaf en sub-paragrafen zal specifiek aandacht besteed worden aan de aspecten van het model die betrekking hebben op de berekeningen en niet zozeer op het proces. Alles wat in deze paragrafen behandeld wordt is op basis van het fictieve rechtlijnige kustvak model. De aanpassingen op het model, die voor de casestudie gedaan moeten worden, zullen in hoofdstuk 6.2 behandeld worden.

3.3.1. Rekengrid

Hydrodynamische module

Voor de uitgevoerde simulatie is een rechtlijnig rekengrid geconstrueerd. De gridcellen hiervan hebben niet overal een zelfde grootte. Dit is gedaan vanuit de overweging om rekentijd te besparen maar de vereiste nauwkeurigheid te behouden. Het resultaat is dat het grid fijnmazig is in het interesse gebied en grover buiten dit gebied. Een afbeelding van dit grid is te zien in figuur 3-6 en bijlage C3.



figuur 3-6, Rechthoekig rekengrid

De grootte van de cellen varieert van 25m in het interesse gebied tot 100m aan de randen.

Golf module

Voor de golfberekeningen, die in HISWA gedaan zijn, is het noodzakelijk dat er een rechthoekig grid gebruikt wordt. Het gebruikte grid moet behalve rechthoekig ook nog aan een aantal andere voorwaarden voldoen, namelijk:

- De hoek tussen invallende golfkam en de lijn loodrecht op de bovenstroomse rand van het grid, waar de golven in komen vallen, mag niet meer dan 15 graden zijn.
- Vanaf de rand waar de golven het grid binnen komen, 'loopt' er een verstoring het grid in, die een hoek van 30 graden met de zijranden maakt. Deze verstoring mag geen invloed hebben op het hydrodynamische grid, waarbinnen de stromings- transport- en morfologische berekeningen gedaan worden.

De uitgerekenende grootheden worden in de daaropvolgende hydro-dynamische berekening gebruikt om de stroming te berekenen. De locatie van de verschillende waarden van de grootheden moeten dus van het HISWA grid getransformeerd worden naar het hydrodynamische grid.

3.3.2. Bodem schematisatie

Voor de gegevens met betrekking tot de bodem is van twee bronnen gebruik gemaakt, te weten de Queensland Government Hydraulic Laboratory en het eindrapport van E.Meisner (augustus 1991). De Queensland Government Hydraulic Laboratory heeft surveydata vanaf september 1987 tot 1995 ter beschikking gesteld. Voor detail informatie zoals korrelgroottes is gebruik gemaakt van het rapport van E. Meisner. Een overzicht van de verschillende data staat weergegeven in tabel 3-1 en tabel 3-2

Surveydata

In het gebied van de Gold Coast zijn surveylijnen (Kirra lijnen, bijlage C4) uitgezet waarlangs enkele keren per jaar de diepte gemeten wordt. Helaas zijn niet elke keer alle surveylijnen gemeten. In tabel 3-1 staan de data waarop gemeten is met daarachter het aantal lijnen waarvan op die datum de diepte gemeten is, als alle lijnen gemeten zijn dan zijn dat er in totaal 49. Voor een volledig overzicht van datum en de locatie van de bijbehorende gemeten dieptes van de surveylijnen wordt verwezen naar bijlage C5.

| Datum | Surveylijnen gemeten | Datum | Surveylijnen gemeten |
|---------|----------------------|---------|----------------------|
| 09-1987 | 25 | 05-1990 | 14 |
| 09-1988 | 1 | 06-1990 | 38 |
| 10-1988 | 22 | 08-1990 | 39 |
| 11-1988 | 25 | 02-1991 | 18 |
| 12-1988 | 11 | 03-1991 | 31 |
| 01-1989 | 17 | 04-1991 | 8 |
| 03-1989 | 36 | 11-1991 | 37 |
| 04-1989 | 39 | 05-1992 | 27 |
| 07-1989 | 20 | 06-1992 | 12 |
| 08-1989 | 19 | 05-1993 | 30 |
| 09-1989 | 13 | 06-1993 | 8 |
| 11-1989 | 20 | 05-1994 | 32 |
| 12-1989 | 4 | 06-1994 | 6 |
| 01-1990 | 47 | 11-1994 | 1 |
| 02-1990 | 18 | 02-1995 | 3 |
| 03-1990 | 14 | 05-1995 | 30 |
| 04-1990 | 18 | 06-1995 | 7 |

tabel 3-1, Survey data

De coördinaten van deze surveylijnen zijn geleverd in het GCCC (Gold Coast City Council) coördinaten stelsel (E,N coördinaten). Voor dit onderzoek zijn deze coördinaten omgezet in coördinaten van een lokaal assenstelsel. Er is gebruik gemaakt van hetzelfde assenstelsel als E. Meisner gebruikt heeft in zijn studie naar de Gold Coast. Voor een beschrijving van dit assenstelsel en de berekeningswijze van de nieuwe coördinaten, wordt verwezen naar bijlage C6. De gedetailleerde bodem gegevens staan weergegeven in tabel 3-2.

| Symbol | Betekenis | Waarde | eenheid |
|-----------|---------------------------|---------------------|----------------------------|
| f_w | bodemwrijvings factor | 0.01 | [-] |
| k | bodem ruwheid | 0.1 | [m] |
| D_{50} | 50% korrel diameter | 225 | [μm] |
| D_{90} | 90% korrel diameter | 300 | [μm] |
| ρ_s | dichtheid sediment | 2650 | [kg/m^3] |
| w | valsnelheid in water | 0.025 | [m/s] |
| ν | viscositeit | $1.0 \cdot 10^{-6}$ | [m^2/s] |
| n | porositeit sediment | 0.40 | [-] |
| φ | hoek van interne wrijving | 32.2 | [$^\circ$] |

tabel 3-2, Detail gegevens bodem (E. Meisner, 1991)

Hydrodynamische module

De bodem die in dit onderzoek gebruikt wordt is verkregen uit de surveydata die verkregen zijn. De data die gebruikt zijn, zijn de data van de meting van september 1987, voor de uitvoering van de eerste vooroeveroppletie

(november 1988). In die periode bevond het kustvak bij de Gold Coast zich niet in een morfologisch dynamisch evenwicht. Er wordt voor deze studie aangenomen dat de vormen van de dwarsdoorsneden van de kust (september 1987) wel representatief zijn voor de vorm van dezelfde doorsneden wanneer die wel in morfologisch evenwicht zijn. Hieraan ligt ten grondslag de aanname dat bij een onevenwichtige morfologische situatie de erosie over de doorsnede gelijk verdeeld wordt, waardoor een stabilisatie van de contouren van de doorsnede optreedt.

Ondanks de grote hoeveelheid datapunten die beschikbaar zijn, is het niet mogelijk het gehele hydronamische grid van dieptes te voorzien, die ook daadwerkelijk in de buurt van elk punt gemeten waren. Op die plaats waar dat wel mogelijk was, is gebruik gemaakt van een driehoeksinterpolatie om de diepte op de gridpunten te bepalen uit de data. Dit gebied lag ongeveer in het midden van het hydrodynamische grid. Met name nabij de beide zijranden van het hydrodynamische grid was het niet mogelijk om via driehoeksinterpolatie de diepte op de gridpunten te bepalen. Als oplossing hiervoor is gekozen om dieptelijnen zoals deze aan de randen van het gebied, waar de driehoeksinterpolatie wel is toegepast, door te trekken en de overige dieptepunten hieraan gelijk te stellen. Dit is gerechtvaardigd omdat deze gebieden niet het interesse gebied betreffen.

Om vertroebeling van de resultaten te voorkomen is met de diepte, verkregen uit de metingen en de bewerking, een aantal simulaties uitgevoerd. Dit is gedaan om een evenwichtprofiel te verkrijgen, welke in de overige simulaties gebruikt is. Hierop zal in hoofdstuk 5.1.1 teruggekomen worden

Golf module

Voor de bathymetry modellering in het grid van de golfmodule is eveneens gebruik gemaakt van de dieptes zoals deze in het rekengrid van de hydronamische module voorkomen. Dit kan automatisch worden gedaan in Delft2D-MOR. Voor de gridpunten, van het rechthoekige grid in de golfmodule, waar geen dieptepunten 'beschikbaar' zijn vanuit het hydronamische model, is een uniforme diepte opgegeven van -20 meter. Deze diepte is zo gesteld, omdat dit eveneens de diepte is waarop de golven voor de Gold Coast gemeten zijn.

3.3.3. Randvoorwaarden

Voor elk van de modules moeten apart randvoorwaarden opgelegd worden. In deze paragraaf zullen deze in volgorde waarin de berekeningen gedaan worden, paragraaf 3.2.2, aan de orde komen.

Hydrodynamische module

In een model is het noodzakelijk dat aan de randen van het model voorwaarden worden opgelegd, waarbinnen het model zijn "rekenruimte" heeft. Dit model kent drie randen die in zee gelegd zijn en één rand die op land ligt. Om randverstoringen te voorkomen is een nieuwe applicatie van Delft2D-MOR gebruikt. Hiervoor is een nieuw type randvoorwaarden gebruikt, waarbij de gradiënten loodrecht op de rand op nul gesteld worden. Dit gebeurt onder de aanname dat de stroming en de waterstand langs de kust uniform zijn. Er is

voor gekozen de zeerand als randvoorwaarde een waterstandniveau te geven, welke gelijk gesteld zal worden aan het nul niveau zonder tijdsafhankelijk uitwijking. Een andere mogelijkheid zou zijn een snelheidsrand maar daarover is geen informatie beschikbaar. Wat betreft de rand die op het land gelegd is kan een vrij simpele randvoorwaarde opgelegd worden, namelijk een debiet dat eveneens gelijk gesteld wordt aan nul, maar dit wordt automatisch door Delft2D-MOR gedaan.

Golf module

In de golf module wordt aan de bovenstroomse rand van het grid een golfconditie als randvoorwaarde opgelegd. Hierbij moet erop worden gelet dat de hoek van inval van de golfkam niet meer dan 15 graden is ten opzicht van de bovenstroomse rand van het grid. De verschillende golfcondities die in deze studie als randvoorwaarden opgelegd zijn, staan in hoofdstuk 5.2 vermeld.

De zijranden van de golf module hebben dezelfde randvoorwaarde opgelegd gekregen als de bovenstroomse rand. Dit heeft tot gevolg dat een verstoring het grid binnen kan 'lopen', wanneer de golfrichting anders is dan parallel aan het grid. De golfkarakteristieken van deze verstoring kunnen anders zijn dan de waarden die aan de bovenstroomse rand opgelegd zijn. Het is dus van belang er voor te zorgen dat deze verstoringen niet in de buurt komen van het interesse gebied, in dit geval het hydronamische grid. Om dit te bewerkstelligen is ervoor gezorgd dat het golf grid veel groter is dan het hydrodynamische grid, zoals beschreven in paragraaf 3.3.1.

Sediment transport module

Voor elke rand, behalve de rand die aan de landzijde ligt, geldt dat er in- en uitstroom randvoorwaarden opgelegd moeten worden. De vraag of een rand een in- dan wel uitstroom rand is wordt door de module zelf beantwoord. Aan de instroomrand wordt de randvoorwaarde opgelegd dat de concentratie gelijk is aan de evenwichtsconcentratie, welke berekend is met behulp van de Bijker formule. Aan de uitstroom rand wordt de concentratie gelijk gehouden aan de stroomopwaarts aanwezige concentratie. De mogelijk aanwezige verstoring aan de randen wordt zeer klein geacht en acceptabel omdat de randen ver van het interesse gebied liggen.

Morfologische module

Ook voor de morfologische module is het noodzakelijk randvoorwaarden op te leggen. In deze studie is ervoor gekozen om de bodem niveaus voor alle randen onveranderd te laten. Wat betreft de verstoringen die aan de randen optreden kan gezegd worden dat deze acceptabel zijn vanwege de grote afstand van de randen tot het interesse gebied.

3.3.4. Beginvoorwaarde

De enige beginvoorwaarde die gesteld wordt, is dat de beginwaterstand 0.20m hoger is dan de maximaal optredende waterstand. Delft2D-MOR kan geen hydrodynamische berekeningen uitvoeren in die cellen waar vanaf het begin geen water heeft gestaan. Om er dus voor te zorgen dat in alle cellen waar theoretisch water zou moeten komen ook daadwerkelijk water zal komen,

wordt de beginwaterstand verhoogd. De gekozen waarde is arbitrair, maar kan ook niet heel groot zijn omdat dat de inspeeltijd onnodig zou verlengen.

4. Sediment transport

Zoals in hoofdstuk 2 al aan de orde is geweest wordt er in dit onderzoek gekeken naar de verschillen en overeenkomsten in de bodemverandering onder invloed van de verschillende golfsoorten. Het sedimenttransport dat aan deze bodemverandering ten grondslag ligt zal in dit hoofdstuk behandeld worden. Er is gebruik gemaakt van twee sedimenttransport relaties. Eén specifiek voor het langtransport (Bijker) en één speciaal voor het dwarstransport (Bailard). Beide zullen in respectievelijk hoofdstuk 4.1.1 en 4.2.1 aan de orde komen. In deze en volgende paragrafen zal eerst kort een beschrijving van de sedimenttransport relatie gegeven worden waarna vervolgens de invloed van een veranderde golfperiode aan de orde zal komen

4.1. Langtransport

In dit onderzoek zal gebruik gemaakt worden van de formules van Bijker inclusief de golfeffecten. In deze formules wordt rekening gehouden met het langtransport dat optreedt als gevolg van schuin invallende golven. In paragraaf 4.1.1 zal nader ingegaan worden op de formules waarna in paragraaf 4.1.2 de invloed van de golfperiode kwalitatief behandeld zal worden.

4.1.1. Bijker

Keuze voor de Bijker formule

Bruikbare modellen voor dit onderzoek zijn de modellen van Bijker en van Van Rijn & Ribberink. Belangrijk bij de keuze is dat de karakteristieke golfeigenschappen van deining- dan wel windgolven zo goed mogelijk in deze modellen naar voren zal komen. Dit omdat de golven de "motor" zijn, op deze locatie, achter alle processen die direct dan wel indirect het sedimenttransport zullen beïnvloeden. Vanwege de opzet van het onderzoek, waarbij naar verschillen dan wel overeenkomsten tussen beide golfsoorten gezocht wordt in relatie met het gedrag van een vooroever suppletie, is het van groot belang dat de golfbeweging zo goed mogelijk naar voren komt in het sedimenttransport model.

Ondanks het feit dat de specifieke golfeigenschappen het best naar voren komen in het sediment transportmodel van Van Rijn/Ribberink, is toch de keuze gevallen op het Bijker model met golfeffecten. De rede hiervoor is dat in recente validiteitsonderzoeken, op het gebied van de toepasbaarheid van de modellen in Delft2D-MOR, niet gekeken is naar het Van Rijn/Ribberink model, (www.ct.tudelft.nl/wbk/public/mor-valid) maar bijna alleen naar het Bijker model. Hieruit is gebleken dat het Bijker model goede resultaten geeft. Indien nodig is dit model in combinatie met Bailard (dwarstransporten) toe te passen. De toepasbaarheid van het Van Rijn/Ribberink model in Delft2D-MOR is nog onvoldoende onderzocht en zeker in combinatie met Bailard, om in dit onderzoek te gebruiken.

Bijker

Begin jaren zeventig van de vorige eeuw, heeft Bijker een model ontwikkeld dat het sedimenttransport onder invloed van golven goed in kaart kan brengen. Tot op de dag van vandaag wordt dit model nog veelvuldig gebruikt om sedimenttransport berekeningen in o.a. kustzones te berekenen.

Binnen het model wordt onderscheid gemaakt tussen twee delen, het bodemtransport en het suspensietransport. Hierbij is het suspensietransport een functie van het bodemtransport.

Vgl. 4-1 $S = S_b + S_s$ [m³/sm]

Waarin:

S_b : Bodemtransport

S_s : Suspensietransport

4.1.2. Invloed golfperiode

Wanneer de Bijker formule goed onder de loupe genomen wordt dan valt op dat de invloed van de verandering van de golfperiode zich manifesteert in de snelheden die in deze sedimenttransport relatie verwerkt zitten. Deze snelheden zijn:

- De amplitude van de orbitaalsnelheid van de golf
- De grootte van de langstrooming, parallel aan de kust.

De orbitaalsnelheid

De verandering van de orbitaalsnelheid is een direct gevolg van de verandering van de golfperiode. Dit betekent dat het in feite gaat om een aspect dat bekeken moet worden bij een vergelijking van de golven.

Binnen het model van Bijker wordt, waar het om de orbitaalbeweging gaat, alleen gerekend met de amplitude van de horizontale snelheid van de orbitaalbeweging en niet met de tijdsafhankelijkheid van de orbitaalbeweging. De waarde van deze grootte wordt berekend, uitgaande van de lineaire golftheorie. Binnen deze theorie wordt de amplitude van de horizontale orbitaal beweging bij de bodem berekend met behulp van Vgl. 4-2. De richting van de horizontale orbitaal beweging van de golven is afhankelijk van de fase van de golf.

Vgl. 4-2 $\hat{U}_b = \frac{1}{2} \frac{\omega H}{\sinh kh}$ [m/s]

Waarin:

| | | |
|-------------|--|---------|
| \hat{U}_b | = Amplitude horizontale snelheid van de orbitaalbeweging | [m/s] |
| ω | = hoekfrequentie (2π/T) | [rad/s] |
| k | = golfgetal (2π/L) | [rad/m] |
| h | = waterdiepte | [m] |
| H | = golfhoogte | [m] |

Uit vergelijking Vgl. 4-2 valt op te maken dat bij een verkleining van de golfperiode de amplitude van de orbitaalsnelheid ook af zal nemen, bij gelijke omstandigheden. Het is nu goed voor te stellen dat dit verschil in orbitaalsnelheid van invloed zal zijn op een vooroeversuppletie die in ondiep water gelegen is.

De langstroming

Wanneer alleen een verkleining van de golfperiode plaatsvindt gebeuren er in feite twee dingen.

- De golf bevat dezelfde golfenergie (E) maar in een kleinere golfperiode.
- De voortplantingssnelheid (nc) van de golf wordt kleiner.

Het gevolg hiervan is dat op één bepaalde plek de energieflex per seconde afneemt t.o.v. de lange golf. M.a.w. in een bepaalde vaste tijdsperiode is de hoeveelheid overgedragen energie voor de langere golf groter dan voor de kortere golf.

Vanuit de energie per golfperiode wordt de dissipatie van de golfenergie voor breken berekend. Deze dissipatie wordt berekend met vergelijking Vgl. 4-3.

$$\text{Vgl. 4-3} \quad D_w = \frac{\alpha}{4} Q_b \bar{f} \rho g H_m^2 \quad [\text{J/m}^2\text{s}]$$

Waarin:

| | | |
|-----------|--|----------------------|
| H_m | = hoogte waarbij golven breken gerelateerd aan de diepte (Miche criterium) | [m] |
| Q_b | = fractie van golven dat gebroken is in verhouding met H_{rms} . | |
| ρ | = dichtheid | [kg/m ³] |
| g | = zwaartekracht versnelling | [m/s ²] |
| \bar{f} | = golffrequentie | [s ⁻¹] |

In deze vergelijking wordt de energiedissipatie als gevolg van het breken van de golven gerelateerd aan die van een watersprong met vergelijkbare hoogte (Battjes & Janssen 1978). Een verkleining van de golfperiode heeft een vergroting van de dissipatie op een gegeven diepte voor de kust tot gevolg.

De aandrijving van de langstroming (R_x) wordt bepaald aan de hand van vergelijking Vgl. 4-4.

$$\text{Vgl. 4-4} \quad R_x = \frac{\sin \varphi_0}{c_0} D$$

Waarin:

| | | |
|-----|---------------------|----------------------|
| D | = energiedissipatie | [J/m ² s] |
|-----|---------------------|----------------------|

Een vergroting van de gedissipeerde energie op de gegeven plek heeft een vergroting van de aandrijving van de langstroming tot gevolg. Deze langstroming is een belangrijke parameter in het sedimenttransport. Het komt er dus op neer dat de energie(dissipatie) de mate bepaalt waarin het mogelijk is sediment te transporteren, als gevolg van het langstransport.

4.2. Dwarstransport

Over het algemeen zijn vooroeversuppleties vrij intensief onderhevig aan dwarstransporten. Tevens is in paragraaf 4.1.1 aan de orde geweest dat uit validiteitsonderzoek gebleken is dat een simulatie waarin een combinatie van de transportformule van Bijker met de dwarstransportformule van Bailard gebruikt wordt, goede resultaten oplevert. Dit zijn de twee redenen waarom de

dwarstransport formule van Bailard opgenomen is in dit onderzoek. In de paragraaf 4.2.1 zal een korte omschrijving van deze formule uiteen gezet worden, waarna in paragraaf 4.2.2 kwalitatief, ingegaan zal worden op de afhankelijkheid van de golfperiode.

4.2.1. Bailard (1981)

De formule van Bailard is een aangepaste versie van de formule van Bagnold (1963). Deze formule is aangepast voor oscillerende waterbewegingen en een constante retourstroom over een vlakke hellende bodem. Met de formule van Bailard wordt een, over de golfperiode gemiddeld, totaal transport berekend. Bailard maakt onderscheid binnen het totaal transport in een aandeel als gevolg van de golf-asymmetrie en retourstroom en een aandeel als gevolg van de bodemhelling. Dit staat weergegeven in vergelijking Vgl. 4-5

$$\text{Vgl. 4-5} \quad S = S_{b,asymmetrie / retourstroom} + S_{s,asymmetrie / retourstroom} + S_{b,helling} + S_{s,helling}$$

In deze vergelijking is te zien dat er tevens binnen de verschillende aandelen, waaruit het totaal transport opgebouwd is, ook onderscheid gemaakt wordt in bodem- en suspensietransport. Het totaal transport bestaat dus uit vier subonderdelen.

Uit een studie van Nipius (juni 1998) is gebleken dat voor elke kust, en het bijbehorende evenwichtsprofiel, een afregeling gevonden dient te worden van het aandeel van elk van de processen in het totaal dwarstransport. Hierbij is ervan uitgegaan dat de maatgevende processen in het dwarstransport veroorzaakt worden door:

- Golf-asymmetrie (facA)
- Retourstroom (facU)
- Bodemhelling (epsI)

Om dit mogelijk te maken zijn ijkfactoren opgenomen in het model. Voor elk van de bovengenoemde processen bestaat een ijkfactor. Deze staan tussen haakjes achter het proces vermeld. Op de afstelling van deze ijkfactoren zal in hoofdstuk 5.1.1 terug worden gekomen.

Helaas is het op dit moment nog niet mogelijk om in het simulatieprogramma Delft2D-MOR, de retourstroom te berekenen. Het is dus alleen mogelijk combinaties van ijkfactoren te berekenen met facU=0. Dit heeft een aantal gevolgen voor de processen die met dit model berekend worden.

- Bodemsnelheid
- Asymmetrie als gevolg van de asymmetrische orbitaalbeweging
- Asymmetrie als gevolg van een netto stroom

Bodemsnelheid

In de formule van Bailard is de tijdsafhankelijke stroomsnelheid bij de bodem ($u(t)$) opgenomen. Deze stroomsnelheid bestaat weer uit twee componenten, te weten de gemiddelde stroomsnelheid als gevolg van retourstroom en/of getijstroom en de oscillerende stroom component. In formule vorm ziet dat eruit als aangegeven in vergelijking Vgl. 4-6.

Vgl. 4-6 $u(t) = \bar{u} + \tilde{u}(t)$

waarin:

\bar{u} : gemiddelde stroomsnelheid als gevolg van de retourstroom en/of de getijstroom

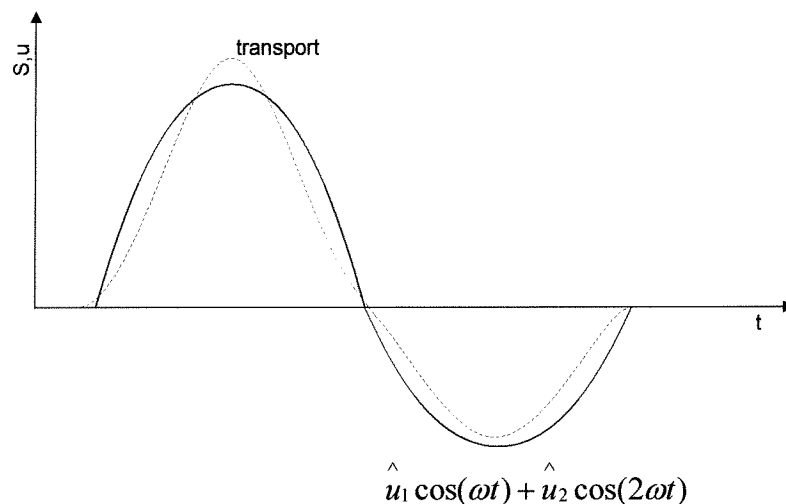
$\tilde{u}(t)$: oscillerende stroom component

De eerste component wordt in de modellering met Delft2D-MOR niet meegenomen. Het feit dat de retourstroom niet meegenomen wordt in de modellering heeft gevolgen voor de asymmetriecomponent. Deze asymmetrie is opgebouwd uit twee delen, namelijk:

- Asymmetrie als gevolg van de aanwezigheid van een netto stroom.
- Asymmetrie als gevolg van de asymmetrische orbitaal beweging.

Asymmetrische orbitaal beweging

Deze vorm van asymmetrie is van groot belang op die plaatsen waar de netto stroom relatief klein is en er asymmetrische golven ontstaan. Er ontstaat altijd een transport in de golfvoortplantingsrichting. Dit transport is op een niet-lineaire manier evenredig met de orbitaal beweging. In figuur 4-1 staat grafisch weergegeven wat het gevolg is van deze vorm van asymmetrie.



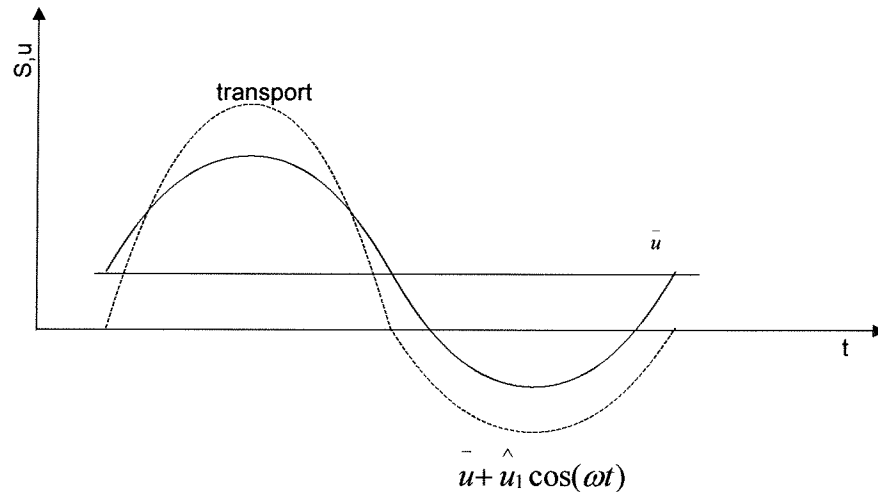
figuur 4-1, Golfasymmetrie door asymmetrische orbitaal beweging

De oppervlakte van de grafiek die het transport weergeeft, is boven en onder de tijdsas (kustwaarts en zeewaarts) niet aan elkaar gelijk. Het gevolg is een netto transport kustwaarts. Voor deze component heeft het weglaten van de modellering van de retourstroom geen effect.

Asymmetrie door een netto stroom

Deze vorm van asymmetrie staat aangegeven in figuur 4-2 en is voornamelijk van belang op dieper water. Hier zijn de golven nog vrijwel symmetrisch. De gegenereerde transport component kan zowel in de richting als in de

tegengestelde richting van de golfvoortplanting zijn. De oorzaak van deze vorm van asymmetrie, de retourstroom, kan in het



figuur 4-2, Golfasymmetrie door netto stroom

simulatie programma Delft2D-MOR nog niet meegenomen worden, waardoor deze vorm van asymmetrie niet meegenomen kan worden in de modellering. Om toch de invloed van dit effect mee te nemen is het hellingseffect (zeewaarts) vergroot. Dit is een grove benadering van het effect van de retourstroom zoals het op dit moment geïmplementeerd is in Delft2D-MOR.

4.2.2. Invloed golfperiode

In alle subonderdelen zoals deze in paragraaf 4.2.1 in vergelijking Vgl. 4-5 genoemd zijn, komen verschillende parameters voor. De enige parameter die beïnvloed wordt door de golfperiode is de tijdsafhankelijke bodemsnelheid welke in dit specifiek geval alleen bestaat uit de oscillerende stroom component. De dwarstransport formule van Bailard wordt geschreven als een macht van de lokale bodemsnelheid. In vereenvoudigde vorm ziet dat eruit als in vergelijking Vgl. 4-7

$$\text{Vgl. 4-7} \quad q(t) = A_1 \cdot u(t) |u(t)|^n + A_2 \cdot u(t) |u(t)|^m \cdot \tan \beta$$

Waarin:

| | |
|---|----------------------|
| $q(t)$: transport | [m ³ /sm] |
| $u(t)$: tijdsafhankelijke lokale bodemsnelheid | [m/s] |
| n : 2 en 3 | |
| m : 3 en 5 | |
| β : bodemhelling | [°] |

Het is duidelijk te zien, dat de invloed van de bodemsnelheid erg groot is als gevolg van de machten.

De oscillerende stroomcomponent

Bij de berekening van de stroomsnelheden door de golf-asymmetrie kan niet volstaan worden met de lineaire golftheorie. De invloed van de golf-asymmetrie in de Bailard transportformule is hiervoor veel te groot. Er wordt gebruik gemaakt van de niet-lineaire theorie van Rienecker en Fenton, welke gebruik maakt van de totale energie dichtheid. Hiermee is het mogelijk stroomsnelheden onder golf-asymmetrie te berekenen.

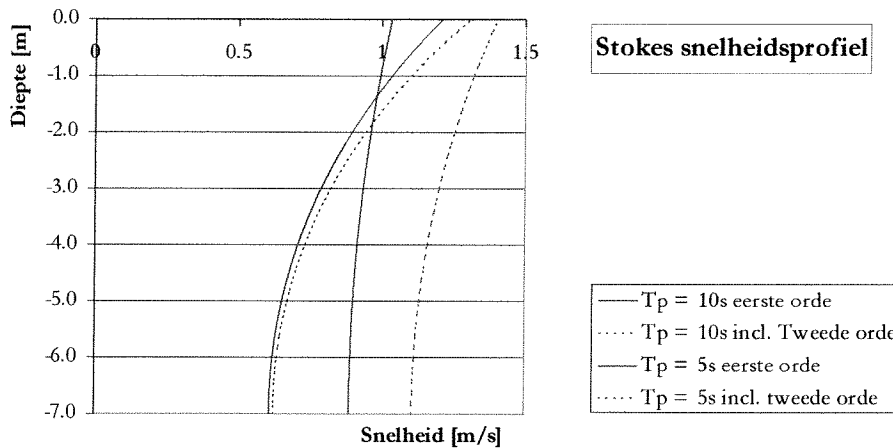
Rienecker en Fenton (Nipius (1998))

Het gaat hier om een Fourier-benaderingstechniek voor niet lineaire golven zoals deze door Rienecker en Fenton (1981) gegeven is. Formeel gezien is de onderliggende theorie alleen toepasbaar op lineaire golven op een vlakke niet hellende bodem, maar wordt hier voor het gehele golfveld toegepast. Voor niet brekende golven hebben Rienecker en Fenton aangetoond dat dit toelaatbaar is, maar voor brekende golven is dit dubieus. Bij gebrek aan een beter alternatief wordt nog steeds gebruik gemaakt van deze Fourier benadering door Delft2D-MOR. De eerste acht componenten worden gebruikt (zie vergelijking Vgl. 4-8). Hiermee wordt het gedrag van asymmetrische golven voldoende beschreven volgens Rienecker en Fenton.

Vgl. 4-8
$$\tilde{u} = \sum_{k=1}^8 \hat{u}_k \cos(k\omega_p t)$$

Zoals te zien is in de vergelijking bestaat de Fourier benadering uit een optelling van verschillende lineaire golven met verschillende snelheidsamplitudes en verschillende hoeksnelheden, welke allebei beïnvloed worden door de golfperiode. Ongeacht de golfperiode blijft deze benadering een optelling van superharmonische componenten bij de hoofdcomponent waarbij deze in fase zijn.

Om de invloed van de golfperiode, op de amplitude van de orbitaalsnelheid, van een niet-lineaire golf, te verduidelijken, is deze in figuur 4-3 weergegeven. Hierin is met behulp van de tweede orde Stokes golf theorie, de diepte afhankelijk amplitude van de orbitaalsnelheid uitgezet. Dit is gedaan voor een diepte van zeven meter. De golfhoogte (H_{sig}) waarvoor dit gedaan is 1.66m.



figuur 4-3, Tweede orde Stokes golf theorie

In de figuur is duidelijk het grote verschil in de snelheden te zien, welke naar de diepte toeneemt. Hieruit kan geconcludeerd worden dat de invloed van de tweede orde component van de beschrijving van de golfbeweging, bij deining van grotere invloed is dan bij windgolven. Er mag verwacht worden dat dit grote verschil duidelijk in de resultaten terug te vinden is, omdat dit ongetwijfeld invloed op het sedimenttransport zal hebben.

4.3. Vergelijking resultaten

De resultaten die verkregen zijn met deining simulatie zullen vergeleken worden met de resultaten verkregen met windgolven simulatie. Om dit mogelijk te maken moet een basis gecreëerd worden waarop een dergelijke vergelijking mogelijk is. Deze methode zal in paragraaf 4.3.1 worden toegelicht. Daarna zullen in paragraaf 4.4 de golfkarakteristieken aan de orde komen waarmee de simulaties uitgevoerd zijn en waarvan de keuze gebaseerd is op de methode die in paragraaf 4.3.1 behandeld is.

4.3.1. Methode

Bij het vergelijken van de resultaten is het interessant om dit op basis van twee verschillende criteria te doen.

- Op basis van de tijd. Hierbij is het mogelijk te kijken naar het gedragsverschil van een suppletie in het algemeen onder de verschillende omstandigheden.
- Op basis van gelijk energieflex. Hierbij is het mogelijk om het gedragsverschil van de suppletie, onder de verschillende golfomstandigheden, op basis van energie in plaats van tijd te vergelijken

Simulatietijd

Bij de vergelijking van de resultaten van de simulatie op basis van de tijd, zullen deze resultaten per drie maanden gesimuleerde tijd gepresenteerd worden met een maximum van 12 maanden.

Energieflex

Bij het vergelijken van het gedrag op basis van gelijke energieflex in een representatief jaar, zal hierbij alleen de totaal te simuleren tijd aangepast worden. In formule vorm:

$$\text{Vgl. 4-9} \quad E_{nc} \cdot \Delta t = \text{constant}$$

Waarin:

| | | |
|----|------------------------------|---------------------|
| E | = golfenergie | [J/m ²] |
| nc | = golfvoortplantingssnelheid | [m/s] |
| Δt | = simulatie periode | [s] |

De keuze voor een dergelijk vergelijking heeft een aantal gevolgen voor de simulatie en het vergelijken van de resultaten.

- Golfenergie (E) verandert niet omdat de golfhoogte (H) gelijk blijft en geen functie van de golfperiode (T) is. Hier wordt verderop in dit hoofdstuk nog op terug gekomen.

$$\text{Vgl. 4-10} \quad E = \frac{1}{8} \rho g \cdot H^2 \quad [\text{J/m}^2]$$

- De groepssnelheid (nc) is evenredig met de golfperiode (T). Een kleinere golfperiode brengt een kleinere golfvoortplantingssnelheid met zich mee

$$\text{Vgl. 4-11} \quad nc = f(T) \quad [m/s]$$

Hieruit is af te leiden dat de energieflex (Enc) voor de langere golf groter is dan voor de kortere golf. Met dit in het achterhoofd gehouden, moet dus de duur van de simulatie van één van de twee golfvelden aangepast worden, zodanig dat de energieflex in zo'n representatief jaar van het betreffende golfveld (1), gelijk is aan dat van het andere golfveld (2).

$$\text{Vgl. 4-12} \quad \frac{En_1c_1 \cdot \Delta t_1}{n_2c_2} = \frac{En_2c_2 \cdot \Delta t_2}{\Delta t_1}$$

Hoe tot vergelijkbare golfspectra gekomen is en de bijbehorende vergelijkende tijdsduur van de simulatie zal in paragraaf 4.4 behandeld worden.

Een andere manier om de energieflex voor beide simulaties gelijk te houden en met elkaar te kunnen vergelijken is het aanpassen van de golfhoogte. Echter een verandering van de golfhoogte brengt, naast een verandering van golfperiode, een tweede fundamentele verandering van de golfeigenschappen met zich mee. Een verandering van de golfhoogte heeft namelijk tot gevolg:

- dat de amplitude van de orbitaalbeweging van de golf verandert. Door een vergroting van de golfhoogte neemt de maximaal optredende orbitaalsnelheid toe. Hierdoor zal binnen een golfperiode de duur waarin de kritische snelheid overschreden wordt, verlengd worden. Dit heeft een nadelige invloed op het vergelijken van de morfologische effecten van deining en windgolven voor zowel het dwarstransport als het langstransport.
- dat de mate waarin de kritische snelheid overschreden wordt, verandert. Door een vergroting van de golfhoogte neemt de mate waarin de kritische snelheid overschreden wordt toe. Dit heeft een vergroting van het sedimenttransport tot gevolg.

Concluderend kan gesteld worden dat een verandering van de golfhoogte als nadelig effect voor het onderzoek heeft dat de verschillen en overeenkomsten in het morfologische gedrag van de suppleties onder de verschillende omstandigheden, niet zondermeer toe schrijven zijn aan het verschil in golfperiode.

4.4. Golfspectra

De twee verschillende golfspectra die gebruikt zijn in dit onderzoek zijn gehaald uit een eerder onderzoek. Het betrof hier het onderzoek van E. Meisner naar de Gold Coast Nearshore Nourishments (augustus 1991). De golfgegevens die in dat

onderzoek gebruikt zijn staan weergegeven in tabel 4-1. Dit klimaat is representatief voor één jaar en is gerangschikt in vijf richtingscategorieën.

| richting [° N] | H _{sig} [m] | T _p [s] | dagen/jaar | energieflux (jaar) [J] |
|----------------|----------------------|--------------------|------------|------------------------|
| 17.30 | 1.04 | 6 | 11.32 | 3.7*10 ⁹ |
| 24.21 | 0.97 | 8 | 17.48 | 7.3*10 ⁹ |
| 25.97 | 0.99 | 10 | 14.04 | 7.7*10 ⁹ |
| 29.18 | 0.98 | 12 | 4.22 | 2.6*10 ⁹ |
| 45.63 | 1.04 | 6 | 2.11 | 0.7*10 ⁹ |
| 47.39 | 1.05 | 12 | 1.31 | 0.9*10 ⁹ |
| 47.46 | 1.17 | 10 | 7.91 | 6.0*10 ⁹ |
| 47.65 | 1.14 | 8 | 8.63 | 5.0*10 ⁹ |
| 66.70 | 1.58 | 12 | 0.58 | 0.9*10 ⁹ |
| 71.07 | 1.99 | 10 | 9.17 | 20.2*10 ⁹ |
| 72.59 | 1.32 | 8 | 18.1 | 14.0*10 ⁹ |
| 74.58 | 1.15 | 6 | 2.93 | 1.2*10 ⁹ |
| 84.74 | 1.52 | 12 | 7.75 | 11.3*10 ⁹ |
| 87.93 | 1.66 | 10 | 18.34 | 28.1*10 ⁹ |
| 90.47 | 0.31 | 12 | 11.18 | 0.7*10 ⁹ |
| 91.26 | 0.86 | 12 | 4.97 | 2.3*10 ⁹ |
| 94.46 | 1.36 | 8 | 27.86 | 22.9*10 ⁹ |
| 96.00 | 0.71 | 10 | 22.14 | 6.2*10 ⁹ |
| 98.16 | 0.23 | 10 | 50.15 | 1.5*10 ⁹ |
| 100.61 | 1.11 | 6 | 5.38 | 2.0*10 ⁹ |
| 101.26 | 0.58 | 8 | 32.65 | 4.9*10 ⁹ |
| 106.85 | 0.22 | 6 | 7.91 | 0.1*10 ⁹ |
| | | | | 150.1*10 ⁹ |

tabel 4-1, Deining

Er zijn twee golven uit dit spectrum gekozen die gebruikt zullen worden in dit onderzoek, deze staan vermeld in tabel 4-2 en staan eveneens licht gearceerd weergegeven in tabel 4-1. De beide golven zijn gekozen omdat:

- De twee golven respectievelijk voor ruim 13% en bijna 19% verantwoordelijk zijn voor de totale energie overdracht in een jaar bij de Gold Coast.

Op deze manier is getracht om golven mee te nemen in de modellering die verantwoordelijk zijn voor een aanzienlijk deel van de totale energie. De reden dat de donker gemarkeerde golf in tabel 4-1 niet gebruikt is voor de simulaties is, ondanks het grote aandeel in de energieflux per jaar, dat de golfperiode kleiner is (8 seconden)

In tabel 4-2 staan de golven die uit het deiningklimaat gehaald zijn (tabel 4-1) dikgedrukt weergegeven. De twee windgolven, die daaronder vermeld staan, zijn verkregen door simpelweg de periode van de deininggolf te halveren. Zoals in hoofdstuk 4.3.1 aan de orde is gekomen, heeft dit en verlenging van het aantal dagen van voorkomen tot gevolg. Tot die kans van voorkomen van de betreffende windgolf is gekomen, door het aantal dagen van voorkomen van de deininggolf te vermenigvuldigen met een factor. De grootte van die factor is afhankelijk van de voortplantingssnelheid van de deininggolf en de bijbehorende windgolf welke voor beide golven verschillend is. Deze factor is een verhoudingsgetal tussen beide snelheden van de deining en windgolf. De waarde van die factor staat in tabel 4-2 vermeld achter het aantal dagen van voorkomen van de deininggolf en is berekend op basis van de voortplantingssnelheden zoals deze zich op de instroomrand

voordoen. Op diep water is de verhouding twee, waarna deze kustwaarts afneemt. Alleen in het gebied waar als gevolg van shoaling de golfhoogte aanvankelijk afneemt voor de deining en waar er geen sprake is van shoaling voor de windgolf kan deze factor groter dan twee worden. Het berust puur op toeval dat de rand van het model in dit gebied ligt. De golven zijn in dit gebied gemeten.

| richting [° N] | H _{sig} [m] | T _p [s] | dagen/jaar | energieflux (jaar) [J] |
|----------------|----------------------|--------------------|---------------------|----------------------------|
| 71.07 | 1.99 | 10 | 9.17 (2.10) | 20.2*10⁹ |
| 71.07 | 1.99 | 5 | 21.42 | 20.2*10 ⁹ |
| 87.93 | 1.66 | 10 | 18.34 (2.34) | 28.1*10⁹ |
| 87.93 | 1.66 | 5 | 42.85 | 28.1*10 ⁹ |

tabel 4-2, golven gebruikt in vergelijkingsonderzoek.

Er is voor gekozen om het windgolfklimaat aan te passen en het deiningklimaat ongemoeid te laten. De reden hiervoor is dat het deiningklimaat het golvenklimaat is dat daadwerkelijk representatief voor één jaar voor de modelkust (Gold Coast, Australie) is.

5. Berekeningen

In dit hoofdstuk zal nader ingegaan worden op de uitgevoerde berekeningen en de daaruit verkregen resultaten. Voordat de definitieve berekeningen gemaakt konden worden moest eerst het model gekalibreerd worden. Deze kalibratie zal in hoofdstuk 5.1 aan de orde komen waarna in hoofdstuk 5.2 de definitieve berekeningen behandeld zullen worden. Als laatste zullen in hoofdstuk 5.3 de resultaten beschreven worden.

5.1. Model kalibratie

Kalibratie van het model is noodzakelijk omdat het simulatieprogramma gebruik maakt van veel lokatie-afhankelijke inputvariabelen. Zodoende is elk model wat hierin gemaakt wordt anders. Dit betekent dat de default waarden van parameters die betrekking hebben op de nauwkeurigheid en stabiliteit van het programma, per model gecheckt en indien nodig aangepast dienen te worden. Het model is dan gekalibreerd zodat betrouwbare simulaties te maken zijn. Voor dit model was het nodig de volgende kalibraties uit te voeren:

- Kalibratie van de ijkfactoren (facA, facU en epsI) van het dwarstransportmodel van Bailard. Deze zijn in hoofdstuk 4.2.1 kwalitatief aan de orde geweest en zullen hier gekwantificeerd worden.
- Kalibratie van Alfa, factor die te maken heeft met de uitdemping van verstoringen met de eigenfrequentie van het model.
- Bepaling van de maximale tijdstap, met betrekking tot de nauwkeurigheid van de berekeningen.
- Bepaling van de waarde van het Courant getal van de transportmodule TRRSUS.
- Bepaling van de nauwkeurigheid van de automatische bodemtijdstap.

Deze verschillende kalibraties zullen in dezelfde volgorde in de onderstaande paragrafen afzonderlijk behandeld worden.

5.1.1. Ijkfactoren (Bailard)

De ijkfactoren zoals deze in de formule van Bailard opgenomen zijn voor het simulatieprogramma Delft2D-MOR zijn in hoofdstuk 4.2.1 kwalitatief besproken. In dit hoofdstuk zal kwantitatief ingegaan worden op deze ijkfactoren.

Zoals in hoofdstuk 4.2.1 besproken is, zijn de ijkfactoren model afhankelijk. Dit betekent dat de waarden per model bepaald dienen te worden en afhankelijk zijn van de inputwaarden van de parameters, die betrekking hebben op de lokale omstandigheden. Met deze ijkfactoren is het mogelijk elk evenwichtsprofiel te creëren wat gewenst is, afhankelijk van de onderlinge verhouding. Omgekeerd betekent dit dat bij een gegeven evenwichtsprofiel de juiste verhouding van ijkfactoren gevonden kan worden. Wanneer de onderlinge verhouding van de ijkfactoren bekend is, bepaalt de individuele grootte van de factoren (gelijk blijvende verhouding) de snelheid waarmee het evenwichtsprofiel bereikt wordt. Helaas is over de aanpassingssnelheid van de kust niet voldoende informatie beschikbaar. Deze is overigens ook niet zo van belang, omdat het hier om een vergelijkend onderzoek gaat. Er is dan ook voor gekozen om, na bepaling van de verhouding, de waarden van die ijkfactoren zodanig te kiezen dat deze in grote lijnen in de buurt van de waarden liggen

die Nipius (1998) heeft voorgesteld voor het profiel van de Bollen van de Ooster.

Evenwichtsprofiel

Om de verhouding van de ijkfactoren te bepalen is het belangrijk een evenwichtsprofiel te hebben. Uit de surveydata (hoofdstuk 3.3.2) en de geschiedenis van het gebied (Gold Coast, Australië) is af te leiden dat de reden voor de ingreep de instabiliteit van het kustvak was. Instabiliteit in de zin van erosie. Er wordt aangenomen dat bij een instabiel kustvak de erosie, in een individueel profiel over de gehele dwarsdoorsnede, gelijk verdeeld is. Dit betekent dat de positie van elk punt binnen een dergelijk profiel niet stabiel is, maar de vorm van het profiel in z'n geheel wel. Zodoende kan er logischerwijs gesteld worden dat de gemeten waarden van het kustprofiel een profiel weergeven dat qua vorm in evenwicht is. Met deze gemeten waarden zijn in het programma QUICKIN (onderdeel van Delft2D-MOR) via driehoeksinterpolatie de tussenliggende diepten bepaald. Met deze dieptewaarden is één dieptelijng gekozen ter hoogte van het midden van de toekomstige suppletie zoals deze in november 1988 uitgevoerd is. Met dit profiel als inputwaarde voor het bodemprofiel zijn verschillende simulaties uitgevoerd, elk met verschillende verhoudingen van de ijkfactoren. De ijkfactoren van de simulatie die na een duur van twee jaar het beste het oorspronkelijke evenwichtsprofiel benaderden, zijn gekozen als ijkfactoren voor de rest van de berekeningen.

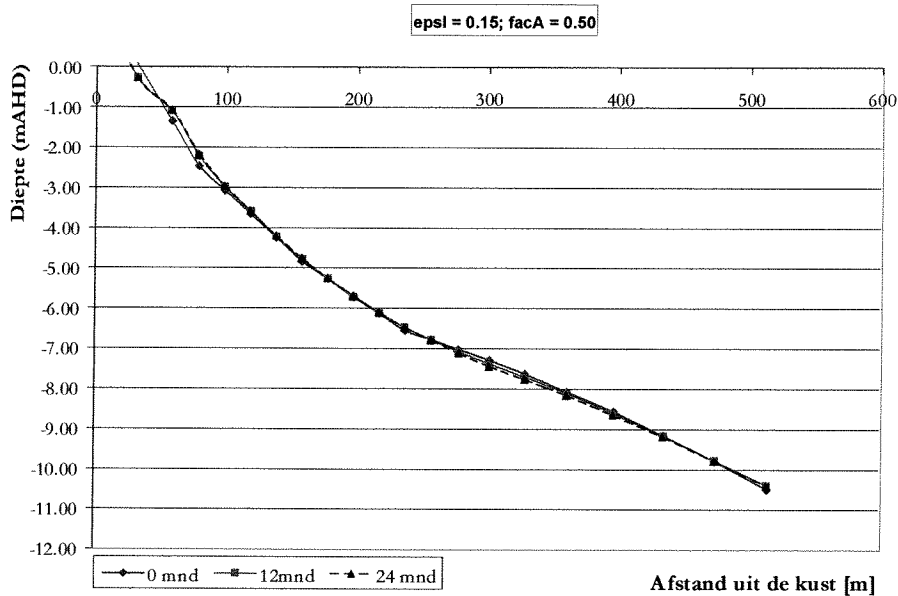
Berekeningen

Voor het bepalen van de waarden van de ijkfactoren zijn verschillende berekeningen uitgevoerd. De opgelegde "belasting" is één van de deining golven die ook voor de definitieve berekeningen gebruikt is. Deze staat als tweede deiningsgolf vermeld in tabel 4-2. Omdat de ijkfactoren enkel en alleen betrekking hebben op het dwarstransport, is er voor gekozen om te zorgen dat er alleen transport als gevolg van dwarstransport op kan treden. Dit wordt simpelweg bereikt door de hoek van inval van de golven loodrecht op de kust te kiezen. In tabel 5-1 staan de berekeningen die uitgevoerd zijn. In deze tabel staan de waarden van $facA$ en $epsI$ vermeld, met in de derde kolom de verhouding, zoals ze in de berekeningen voorkomen. De ijkfactor $facU$ komt niet voor, omdat deze in een simulatie met Delft2D-MOR niet meegenomen kan worden en daarom op nul gehouden wordt (hoofdstuk 4.2.1). In de vierde kolom staat vermeld in welke bijlage de betreffende doorsnede van die berekening te vinden is. Wanneer er in die kolom een X vermeld staat betekent dit dat de berekening is vastgelopen en tot onbetrouwbare resultaten heeft geleid.

| facA | epsI | verhouding | bijlage |
|------|------|------------|---------|
| 1 | 0.10 | 10 | X |
| 1 | 0.15 | $6^{2/3}$ | X |
| 1 | 0.20 | 5 | X |
| 1 | 0.25 | 4 | X |
| 1 | 0.30 | $3^{1/3}$ | E 1 |
| 1 | 0.40 | $2^{1/2}$ | E 2 |
| 1 | 0.50 | 2 | E 3 |
| 1 | 0.60 | $1^{2/3}$ | E 4 |
| 0.10 | 0.15 | $2^{1/3}$ | E 5 |
| 0.20 | 0.15 | $1^{1/3}$ | E 6 |
| 0.30 | 0.15 | 2 | E 7 |
| 0.40 | 0.15 | $2^{2/3}$ | E 8 |
| 0.50 | 0.15 | $3^{1/3}$ | E 10 |
| 0.60 | 0.15 | 4 | X |
| 0.70 | 0.15 | $4^{2/3}$ | E 9 |
| 0.80 | 0.15 | $5^{1/3}$ | X |

tabel 5-1, Berekeningen bepaling facA en epsI

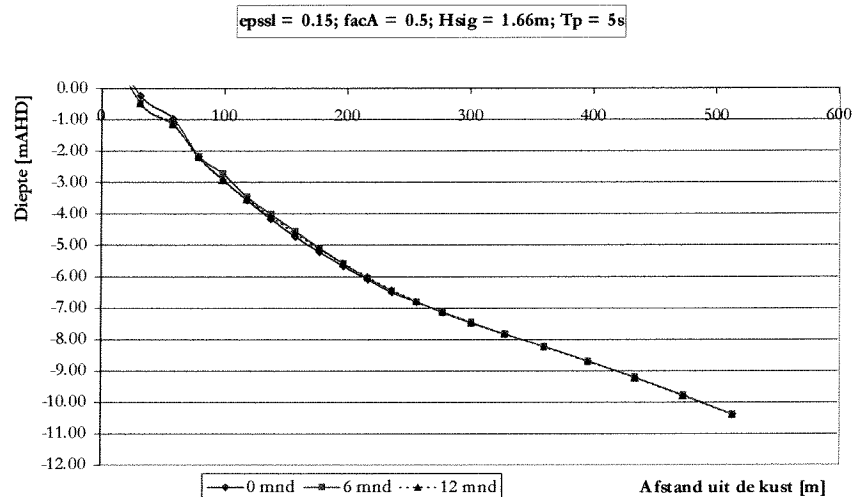
Na bestudering van de resultaten is ervoor gekozen om facA gelijk aan 0.5 te kiezen en epsI gelijk aan 0.15 te kiezen. De berekening met die waarden voor de ijkfactoren hebben geleid tot een nieuw profiel dat nauwelijks afwijkt van het evenwichtsprofiel, dat als input voor deze berekeningen gebruikt is. Dit is zowel weergegeven in figuur 5-1 als in bijlage E10.



figuur 5-1, Doorsnede evenwichtsprofiel $H_{sig} = 1.66m$ en $T_p = 10s$

In de definitieve berekeningen (paragraaf 5.2) is dit profiel dan ook als basis gebruikt voor het bodemprofiel waarop later de suppletie is aangebracht. Er is geen gebruik gemaakt van de waarden waarmee het profiel, dat in bijlage E1 vermeld staat, verkregen is. Deze heeft wel dezelfde verhouding als de gebruikte waarden, maar had toch een iets grotere afwijking van het inputprofiel. De gebruikte waarden liggen ook meer in de buurt van de waarden die door Nipius (1998) gebruikt zijn.

Om de ijkfactoren voor de andere golfomstandigheden (tabel 5-1) te controleren zijn enkele berekeningen uitgevoerd. Hierbij is gebruik gemaakt van het nieuwe evenwichtsprofiel en de eerder bepaalde ijkfactoren. Ook bij deze berekening is de voortplantingsrichting van de golf loodrecht op de kust. In figuur 5-2 staat de doorsnede voor de berekening met $H_{sig} = 1.66m$ en $T_p = 5s$ weergegeven. Deze beide figuren en de doorsneden voor de overige berekeningen staan weergegeven in bijlage E11 tot en met E13.

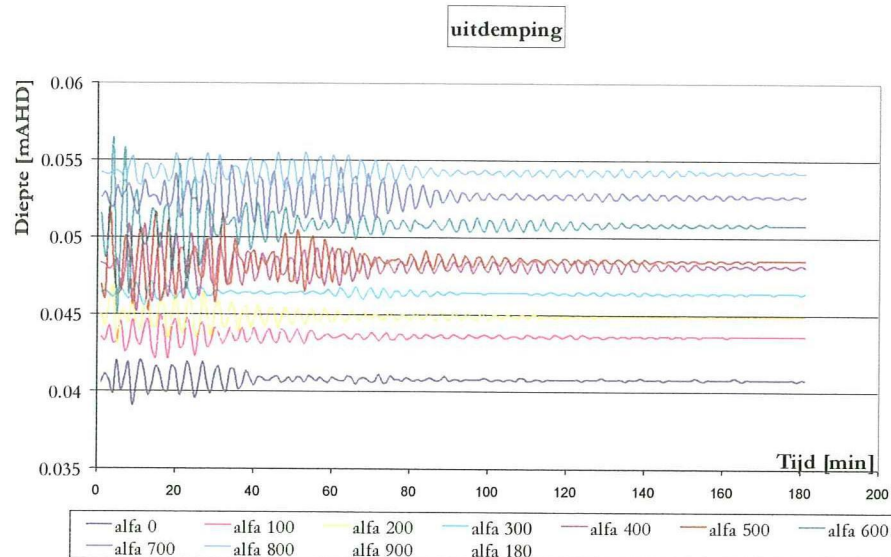


figuur 5-2, Doorsnede controle berekening $H_{sig} = 1.66m$ en $T_p = 5s$

In de figuren is te zien dat voor elk van de golfomstandigheden met $H_{sig} = 1.66m$ het nieuwe evenwichtsprofiel en de ijkfactoren voldoende zijn. De lichte afwijkingen die ontstaan zijn dermate klein in vergelijking tot de suppletie die aangebracht zal worden van 1.5 mln m^3 dat deze verwaarloosbaar zijn. In bijlage E12 en E13 zijn de doorsneden van beide golfomstandigheden met $H_{sig} = 1.99m$ te zien. Hieruit valt af te lezen dat de ijkfactoren voor de deining zeker voldoende zijn maar voor de windgolven zou enige verbetering noodzakelijk zijn. Echter deze golfomstandigheden zullen slechts ter illustratie toegevoegd worden. Daarom zullen hiervoor de ijkfactoren niet aangepast worden.

5.1.2. Dempingsfactor Alfa

De dempingsfactor alfa is een factor waarmee verstoringen die door het model dwars op de kust lopen, uitgedempt worden. Deze factor zorgt ervoor dat bij de open modelrand minder reflectie optreedt voor de verstoringen met de eigenfrequentie van het model. Dit wordt gedaan om de inspeeltijd van de berekening te reduceren. Het is van belang dat deze verstoringen zijn uitgedempt voordat de waarden van de stromingsberekening bepaald zijn, waarmee de transportberekening uitgevoerd zal worden. Om de waarde van deze factor te bepalen zijn een aantal berekeningen uitgevoerd. De resultaten van die berekeningen zijn weergegeven in figuur 5-3 en bijlage E14. In de legenda is te zien voor welke waarden van alfa deze berekeningen uitgevoerd zijn.

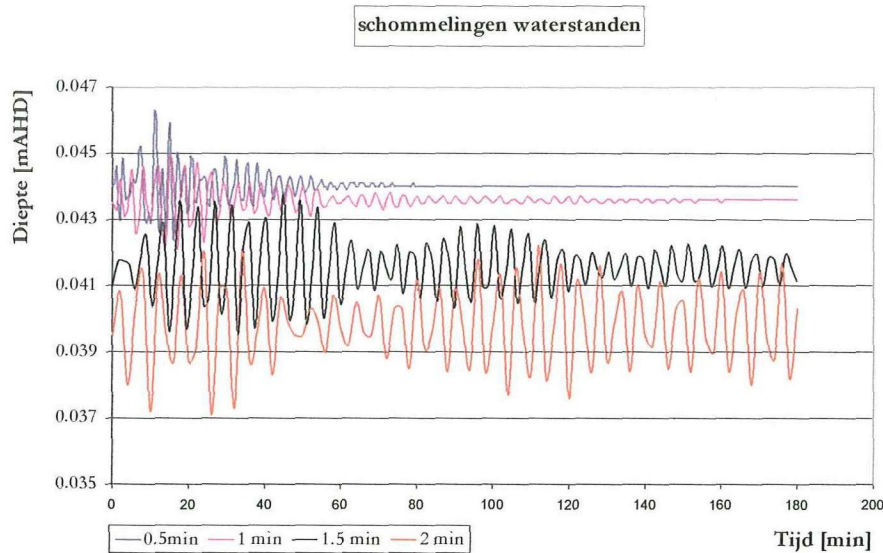


figuur 5-3, Dempingsfactor alfa

In deze figuur is te zien dat voor de hogere waarden van alfa een verstoring in het systeem aanwezig blijft. Dit geldt eveneens voor de berekening waarin alfa gelijk is aan nul, ondanks het feit dat dit slechts een hele kleine verstoring is. Voor de berekeningen met de waarden van alfa tussen de 100 en 300 is te zien dat een hogere waarde van alfa (voor $100 < \text{alfa} < 300$), weinig toegevoegde waarde heeft voor het uitdempen van verstoringen. Er is daarom voor gekozen om de waarde 100 aan te houden voor de overige berekeningen.

5.1.3. Simulatietijdstap

De tijdstap waarmee het programma door de totale te simuleren tijd gaat, is bepalend voor de nauwkeurigheid en de snelheid van de berekening. Een grotere tijdstap is om reden van de snelheid erg gunstig. Echter door het vergroten van de tijdstap kan de berekening onnauwkeurig worden. Hieruit is duidelijk op te maken dat hiertussen ergens een optimale tijdstap te vinden is. Om deze tijdstap te vinden zijn enkele berekeningen uitgevoerd. De berekeningen zijn hetzelfde als de berekening die uitgevoerd is voor het bepalen van de ijkfactoren met de gekozen waarden voor die factoren (paragraaf 5.1.1). Voor de waarde van alfa is de waarde genomen zoals deze in het uiteindelijke model opgenomen zal worden en bepaald in paragraaf 5.1.2. Het enige dat veranderd is, zijn de tijdstappen waarmee de simulatie doorlopen zal worden. De resultaten van deze berekeningen staan weergegeven in figuur 5-4 en bijlage E15. In de legenda van de figuur is te zien voor welke tijdstappen berekeningen zijn uitgevoerd.

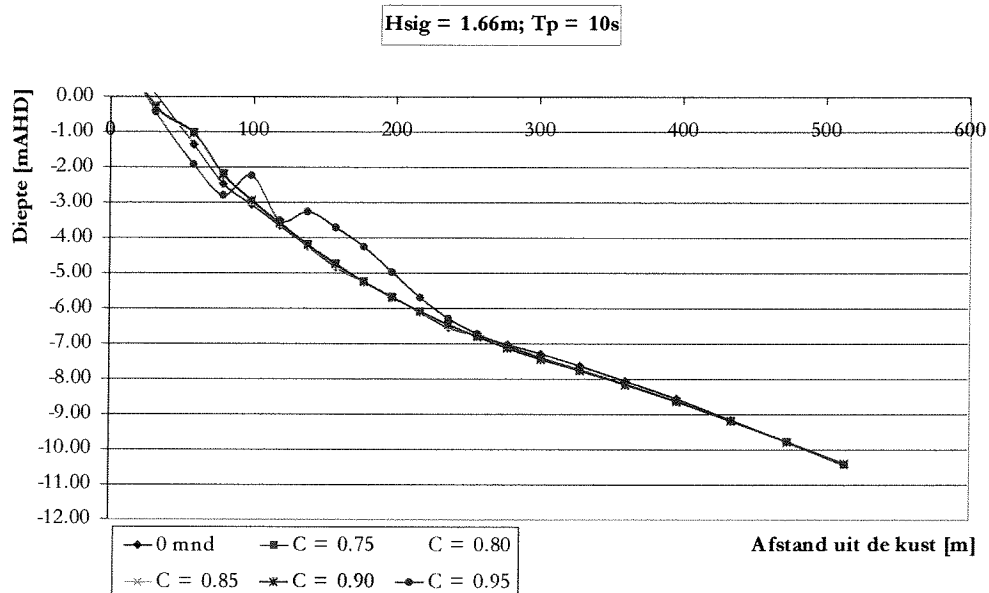


figuur 5-4, Tijdstappen

In de figuur is te zien dat de berekening met de tijdstappen 1,5 min en 2 min de berekening alles behalve nauwkeurig is. Tevens is te zien dat voor een tijdstap van 0,5 min de berekening het snelste naar een stabiele waarde convergeert. Vanuit het oogpunt van de snelheid waarmee de berekening uitgevoerd wordt, is toch gekozen voor een tijdstap van één minuut. De nauwkeurigheid gaat niet verloren omdat de berekening toch binnen de 180 minuten naar een vaste waarde convergeert. Met de laatste waarde zal de rest van de berekening voortgezet worden, totdat opnieuw een stromingsberekening gemaakt zal worden.

5.1.4. Courant getal

Het courant getal (C) van de transportmodule TRRSUS is bepalend voor de nauwkeurigheid van de uitgevoerde berekening. Simpel gezegd betekent een hoger courant getal (waarbij $C < 1$) een hogere nauwkeurigheid van de resultaten. Echter een hogere waarde voor dit courant getal betekent tevens een grotere kans dat het model niet convergent is en convergentie is een vereiste voor een goed model. Het is duidelijk dat zich hier een conflicterende situatie voordoet. Om voor de nauwkeurigheid van het model een zo groot mogelijke waarde van dit courant getal mogelijk te maken, zijn een aantal tests uitgevoerd met verschillende waarden voor dit getal.



figuur 5-5, Courant getallen

In figuur 5-5 en bijlage E16 is duidelijk te zien dat voor alle waarden waarbij de tests uitgevoerd zijn het bodemprofiel nagenoeg plaats- en vormvast is, behalve voor een courant getal van 0.95. Er is daarom voor gekozen om in het model een waarde van 0.90 aan te houden. Dit is overigens een hele gebruikelijke waarde.

5.1.5. Bodemtijdstep

Om de nauwkeurigheid van de berekening, waarbij gebruik gemaakt wordt van de automatisch bodemtijdstep, te controleren is één controleberekening uitgevoerd. Er is een berekening gemaakt waarbij gebruik gemaakt is van een vaste bodemtijdstep, welke de grootte had van de kleinste bodemtijdstep die voorkwam in de simulatie met de automatische bodemtijdstep. Hieruit is gebleken dat de nauwkeurigheid niet verloren was gegaan bij de berekening met de automatische bodemtijdstep. Er is daarom voor gekozen om in de simulaties gebruik te maken van een automatische bodemtijdstep.

5.2. Uitgevoerde berekeningen

Voor deze studie zijn in totaal vier definitieve berekeningen met een suppletie uitgevoerd. De suppletie die aangebracht is, is van dezelfde omvang als er november 1988 ter hoogte van de Gold Coast is aangelegd, 1.5 miljoen m³ zand. De hoek van inval is gekozen op 20 graden. Deze uitgevoerde berekeningen bevatten allen dezelfde inputwaarden op enkele uitzonderingen na. De inputwaarden van de parameters die verschillen staan weergegeven in tabel 5-2.

| Berekening | H _{sig} [m] | T _p [s] | Simulatieduur [dagen] |
|------------|----------------------|--------------------|-----------------------|
| Set 1 | 1.66 | 10 | 365 |
| | 1.66 | 5 | 854 |
| Set 2 | 1.99 | 10 | 365 |
| | 1.99 | 5 | 767 |

tabel 5-2, berekeningen

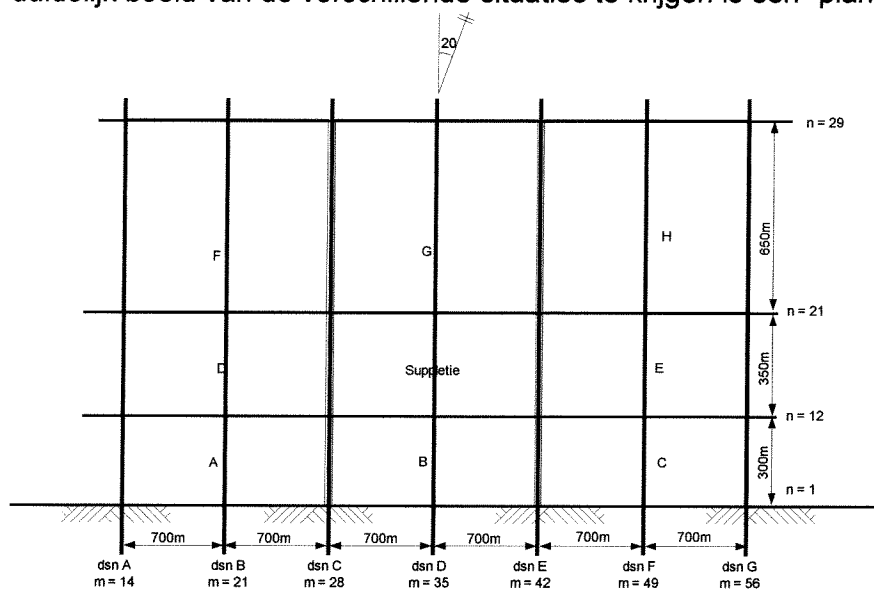
Zoals in deze tabel te zien is, is in feite twee maal dezelfde berekening uitgevoerd. Per set berekeningen kan op die manier dezelfde analyse uitgevoerd worden, om vervolgens de resultaten van elke afzonderlijke set te kunnen vergelijken. In deze tabel is ook duidelijk de verschillende duur van de simulaties te zien. De redenen hiervoor zijn gegeven in hoofdstuk 4.3.1

Naast deze berekening is er een simulatie gemaakt van het gedrag van een werkelijk uitgevoerde vooroeversuppletie bij de Gold Coast, Australië. Aan de hand van de resultaten en conclusies van de twee sets berekeningen, zal het resultaat van de simulatie van Gold Coast suppletie, in kwalitatieve zin beschreven worden. Dit zal gedaan worden in hoofdstuk 6.3

5.3. Resultaten

In dit hoofdstuk zullen de resultaten van de simulaties besproken worden. In de onderstaande paragrafen zullen de aspecten waarop de verschillende berekeningen beoordeeld worden apart behandeld worden. De interpretatie van de resultaten zal gebeuren aan de hand van de eerste berekeningsset. Ter ondersteuning zijn de resultaten van de tweede berekeningsset in de bijlage toegevoegd.

Om de interpretatie van de resultaten geordend uit te voeren en daarmee een duidelijk beeld van de verschillende situaties te krijgen is een "plan" gemaakt.



figuur 5-6, Doorsneden & meetvakken

In dit "plan", waarvan een bovenaanzicht in figuur 5-6 en bijlage E17 te zien is, zijn op vaste strategische plaatsen verschillende langsdorsneden (n-lijnen),

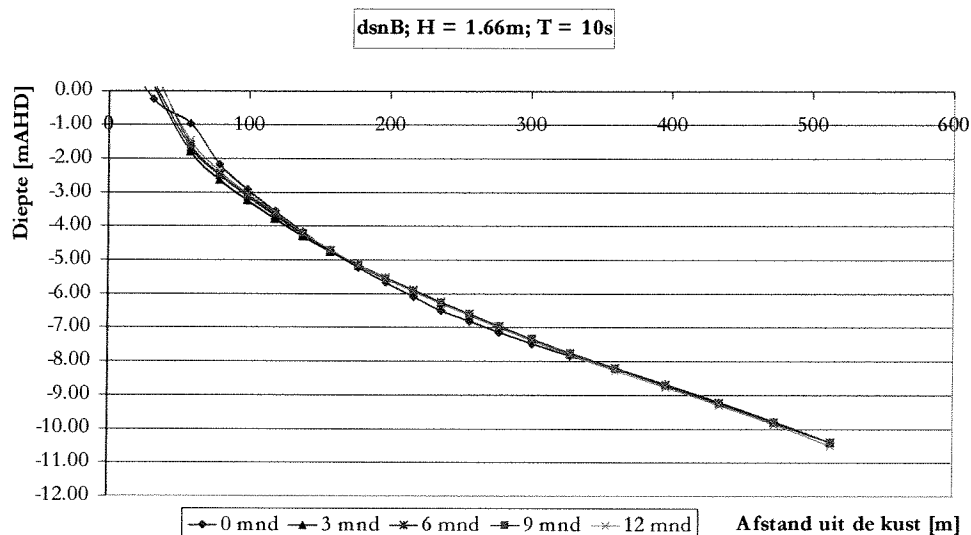
dwarsdoorsnedes (m-lijnen) en meetvakken gekozen. Deze lijnen komen overeen met de m en n-coördinaten in het rekengrid van de stromingsmodule, figuur 3-6.

5.3.1. Bodemligging

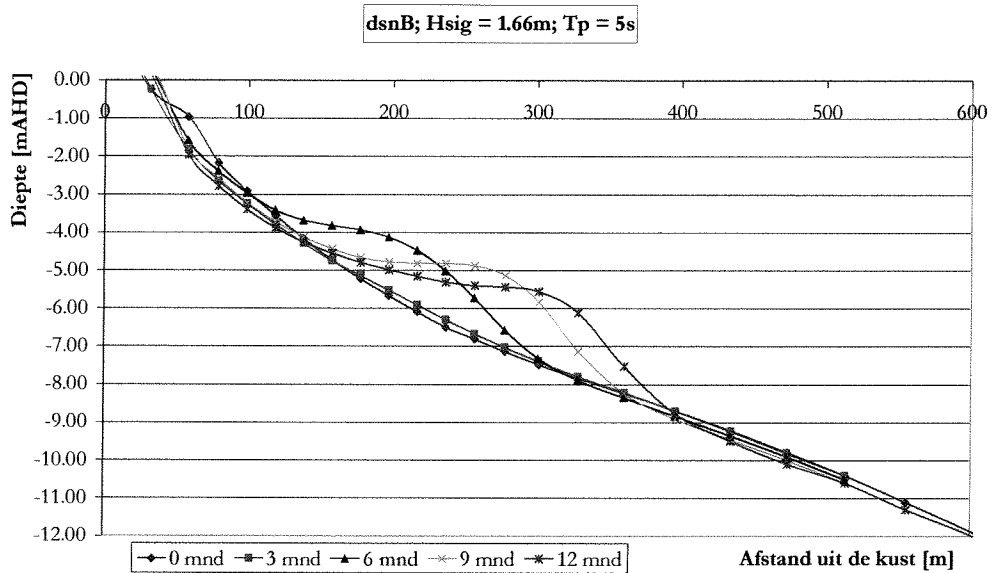
In figuur 5-6 staan enkele m en n-lijnen aangegeven. Op deze lijnen zijn op verschillende tijdstippen dwarsdoorsnedes en langsdoorsnedes genomen. Dit is per berekeningsset gebeurd voor de verschillende golfperiodes. Per golfperiode zijn doorsnedes opgenomen op verschillende tijdstippen. In de legenda's van de figuren zijn de tijdstippen te zien waarop die doorsnedes genomen zijn. Omdat de vergelijking van de deining met de windgolf zowel op basis van gelijke energieflex als op basis van tijd gebeurt, hoofdstuk 4.3.1, zijn de tijdstippen die vermeld staan bij de legenda's van dwarsdoorsnedes van windgolven (bijschrift energieflex vergelijking) niet de feitelijke tijdstippen van die simulatie. De legenda's geven aan met welke doorsnede van de deining die specifieke doorsnede te vergelijken is. De tijdstippen zoals deze in de legenda's vermeld staan bij de windgolven met bijschrift "tijdsvergelijking" komen wel overeen met de werkelijke tijdstippen.

Dwarsdoorsnede

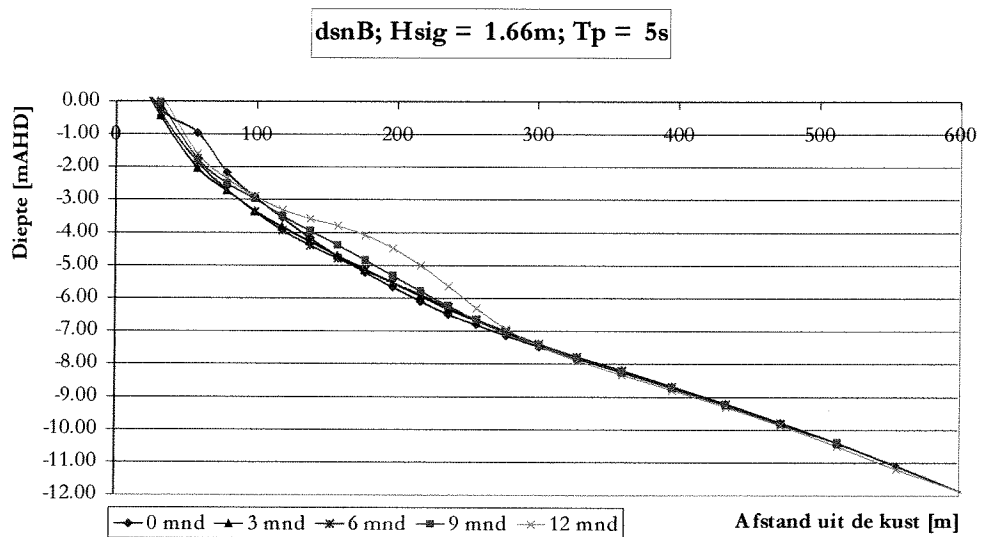
Zoals in voorgaande alinea vermeld staat, zijn op verschillende locaties dwarsdoorsnedes genomen. Van enkele van deze doorsnedes zullen figuren worden opgenomen in dit hoofdstuk. Voor de overige doorsnedes wordt verwezen naar bijlage E18a tot en met E31c. In figuur 5-7, figuur 5-8 en figuur 5-9 is doorsnede B opgenomen



figuur 5-7, Dwarsdoorsnede B, deining



figuur 5-8, Dwarsdoorsnede B, windgolven Energieflux vergelijking

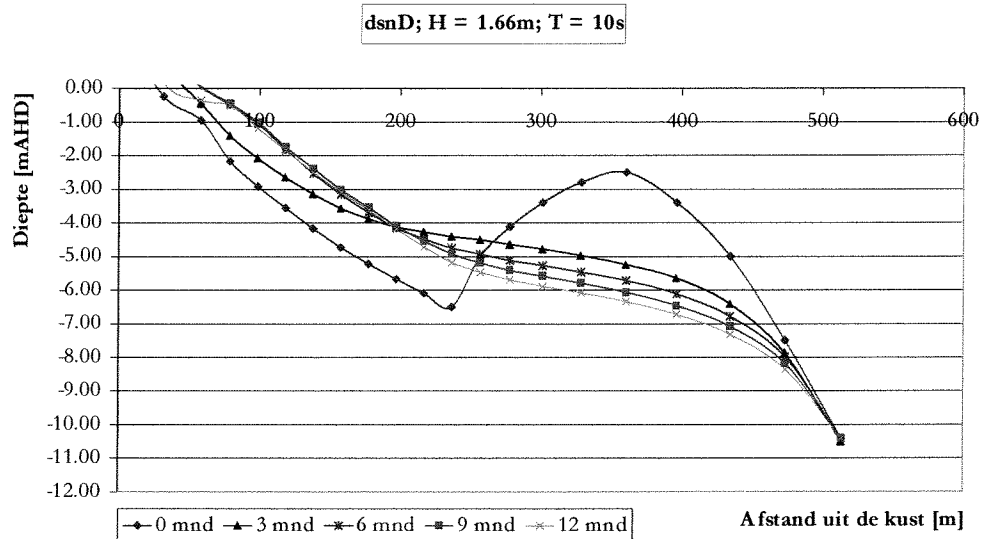


figuur 5-9; Dwarsdoorsnede B, windgolven Tijdsvergelijking

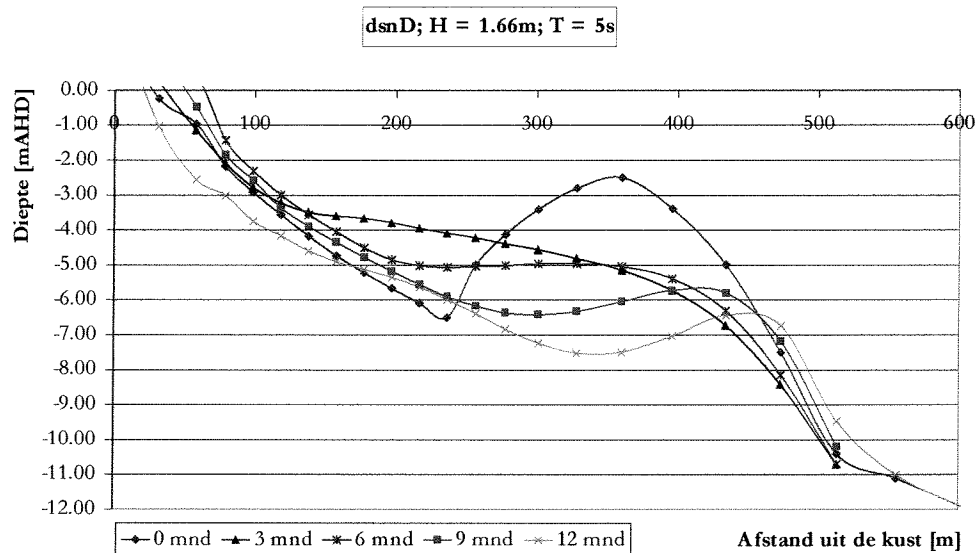
Bij de vergelijking van deze doorsneden vallen twee aspecten op:

- Bij de deininggolf verandert de doorsnede vrijwel niet
- Bij de windgolf vormt zich een zandbank, welke aanvankelijk kustwaarts van de oorspronkelijke suppletie aanwezig is, maar zich vervolgens in zeewaartse richting verplaatst. (Energieflux vergelijking)
- Op basis van de tijdsvergelijking is te zien dat in doorsnede B na 12 maanden bij de windgolf simulatie een bodemverandering merkbaar is terwijl dit bij deining niet het geval is.

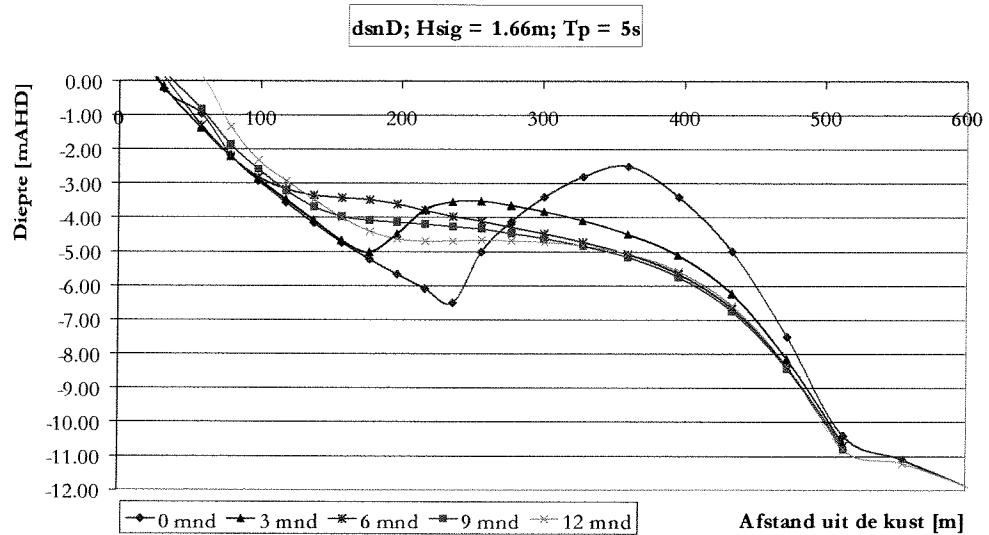
In figuur 5-10, figuur 5-11 en figuur 5-12 is doorsnede D opgenomen. Zoals te zien is in figuur 5-6 correspondeert dit met de doorsnede over het midden van de suppletie.



figuur 5-10, Dwarsdoorsnede D, deining



figuur 5-11, Dwarsdoorsnede D, windgolven Energieflux vergelijking

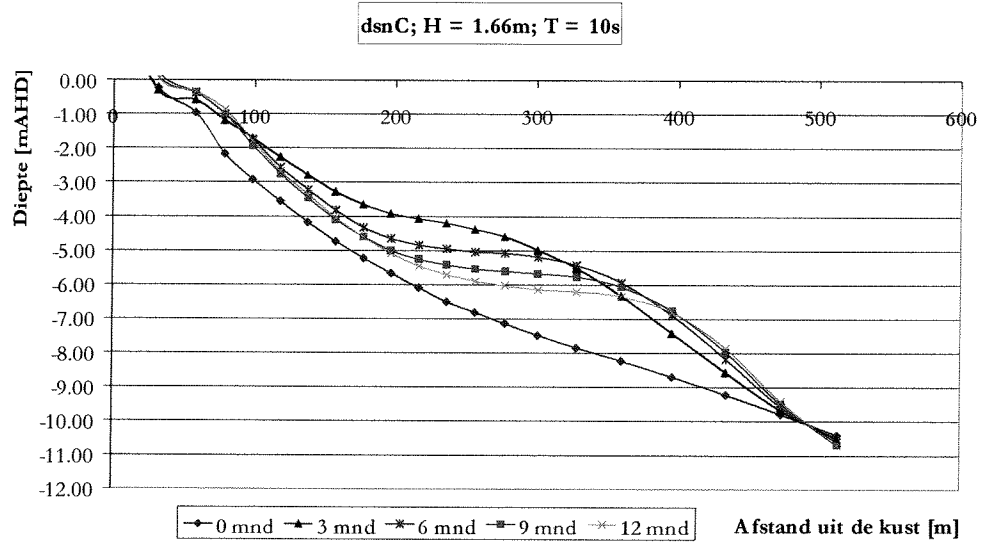


figuur 5-12, Dwarsdoorsnede D, Windgolven Tijdsvergelijking

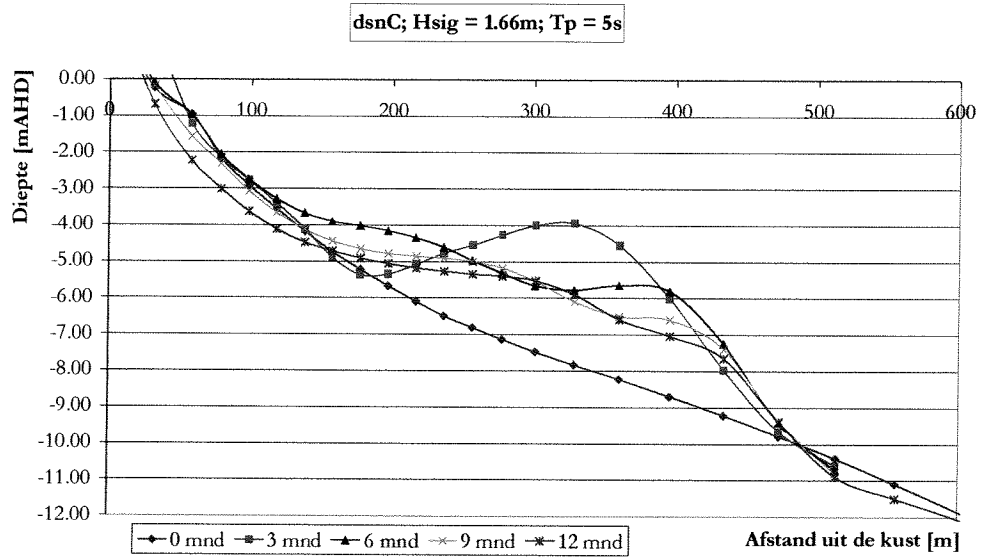
Wanneer deze doorsneden vergeleken worden zijn duidelijk twee verschillen te zien:

- In de doorsnede van de deininggolf is te zien dat er een verplaatsing van de kustlijn zeewaarts optreedt, terwijl de kustlijn voor de doorsnede van de windgolf nauwelijks verplaatst.
- In de doorsnede van de deininggolf is duidelijk de gelijkmatige afvlakking van het profiel te zien ter hoogte van de suppletie. Dit in tegenstelling tot het profiel van de windgolf waar zich meer een zandbank vormt.

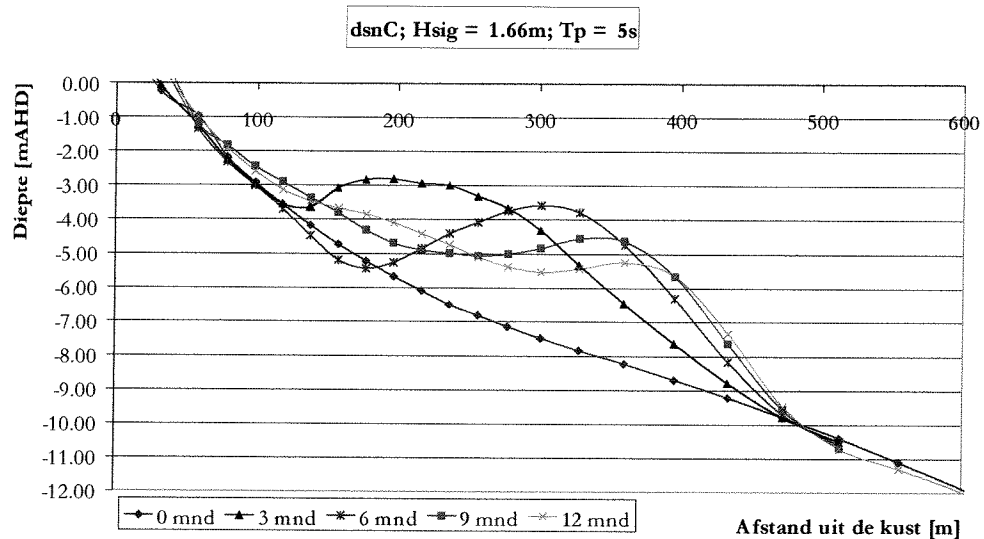
In figuur 5-13, figuur 5-14 en figuur 5-15 staan respectievelijk de doorsneden van de deining en windgolf afgebeeld in doorsnede C.



figuur 5-13, Dwarsdoorsnede C, deining



figuur 5-14, Dwarsdoorsnede C, windgolven, Energieflux vergelijking

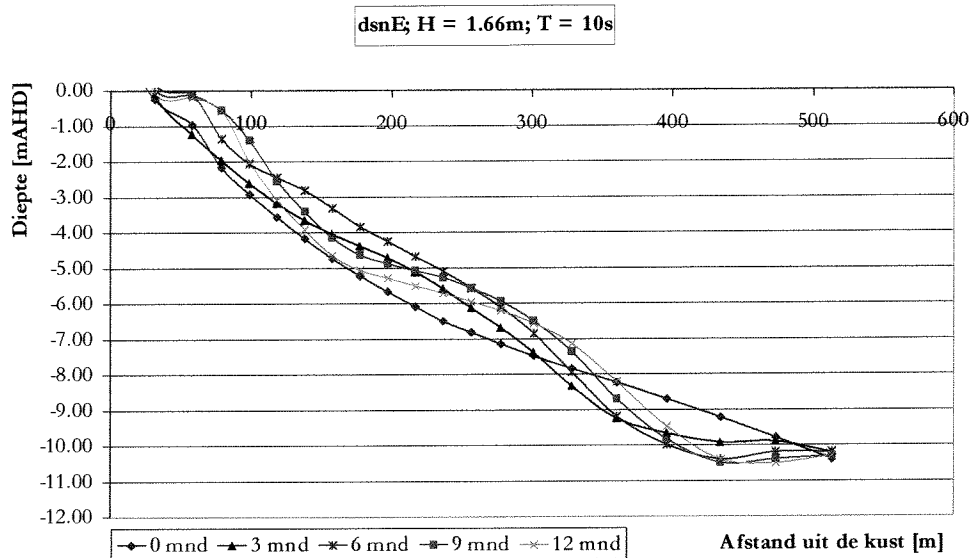


figuur 5-15, Dwarsdoorsnede C, Windgolven, Tijdsvergelijking

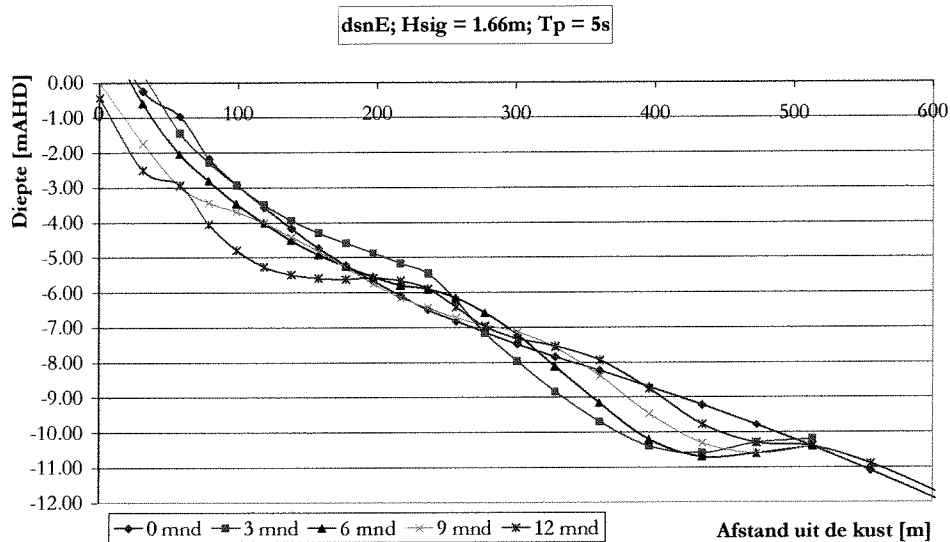
Wanneer deze drie doorsneden met elkaar vergeleken worden dan valt op dat de verschijnselen die eerder bij doorsnede B en D afzonderlijk geconstateerd zijn hier allebei tegelijk voorkomen.

- In figuur 5-13 is te zien dat de kustlijn zich hier ook in zeewaarste richting verplaatst.
- In deze figuur is tevens te zien dat er een geleidelijke afvlakking plaatsvindt van de zandbank die zich in de eerste drie maanden van de simulatie gevormd heeft.
- In figuur 5-14 en figuur 5-15 is eveneens te zien dat er zich een zandbank vormt. In deze doorsnede ontstaat zowel voor de deininggolf als voor de windgolf een zandbank. Het verschil zit in het tijdelijk karakter die de zandbank bij de deininggolf heeft.

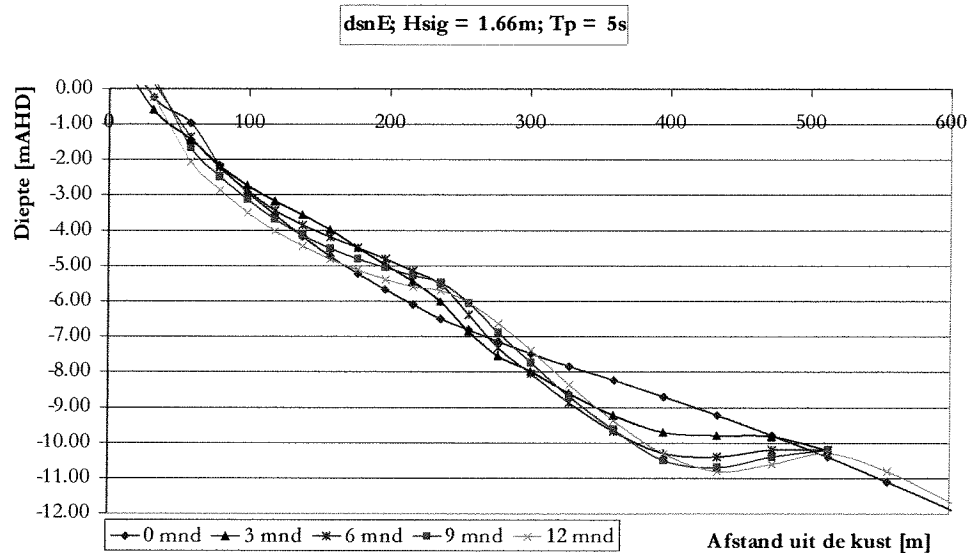
In figuur 5-16, figuur 5-17 en figuur 5-18 staat doorsnede E afgebeeld, welke direct stroom opwaarts van de suppletie ligt.



figuur 5-16, Dwarsdoorsnede E, deining



figuur 5-17, Dwarsdoorsnede E, windgolven, Energieflux vergelijking



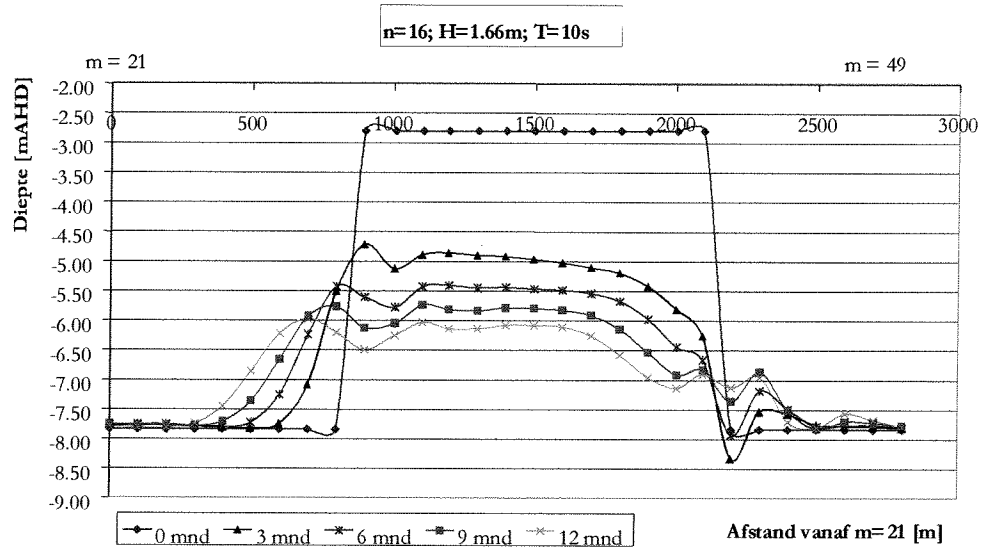
figuur 5-18, Dwarsdoorsnede E, Windgolven, Tijdsvergelijking

Hierin is duidelijk het ontstaan van een ontgrondingskuil te zien, zowel in het geval van de deininggolf als van de windgolf. Het verschil zit alleen in de grootte van deze kuil in de tijd. De ontgrondingskuil in het geval van de windgolven is veel groter, ontwikkelt zich veel sneller en blijft vervolgens langer op een bepaald niveau hangen dan die in het geval van de deining. Tevens is ook hier een lichte vorm van de zeewaartse verplaatsing van de kustlijn bij de deining te zien. Deze is bij de windgolven niet terug te vinden.

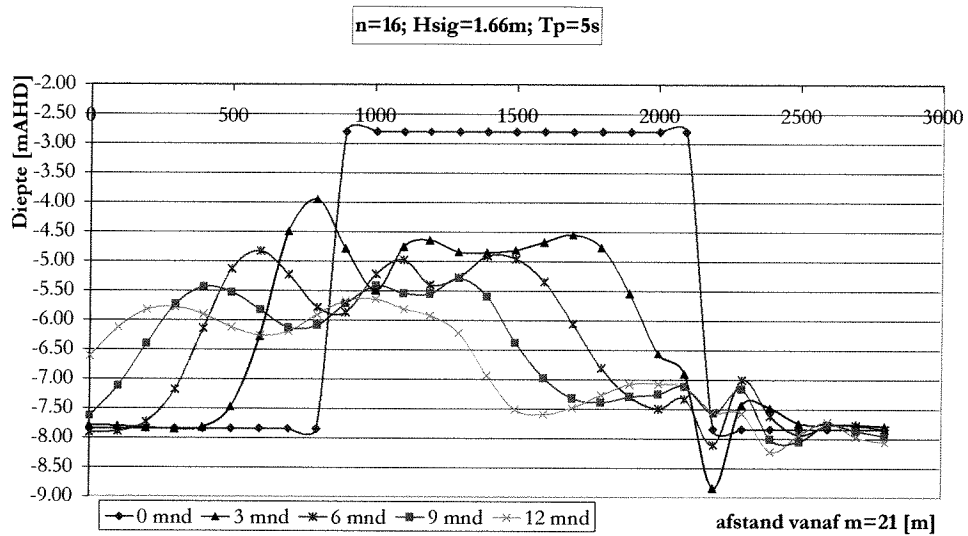
Langsdoorsnede

Behalve dwarsdoorsneden zijn eveneens langsdoorsneden gemaakt op verschillende lokaties. Deze doorsneden zijn niet over de gehele modelbreedte gemaakt maar van slechts een deel. De langsdoorsneden beginnen bij het snijpunt van de betreffende n-lijn met $m=21$ en eindigen bij het snijpunt met $m=49$. De redenen hiervoor zijn dat op deze manier het onderscheid tussen de verschillende tijdstippen beter tot uiting komt (i.v.m. schaal van de grafiek) en dat verstoringen aan de rand geen "vervuild" beeld van de bodemligging geven. Enkele van deze doorsneden zijn behalve in de bijlage ook als figuur opgenomen in dit hoofdstuk. Dit om het een en ander te verduidelijken. Voor de overige langsdoorsneden wordt verwezen naar bijlage E32a tot en met E37c.

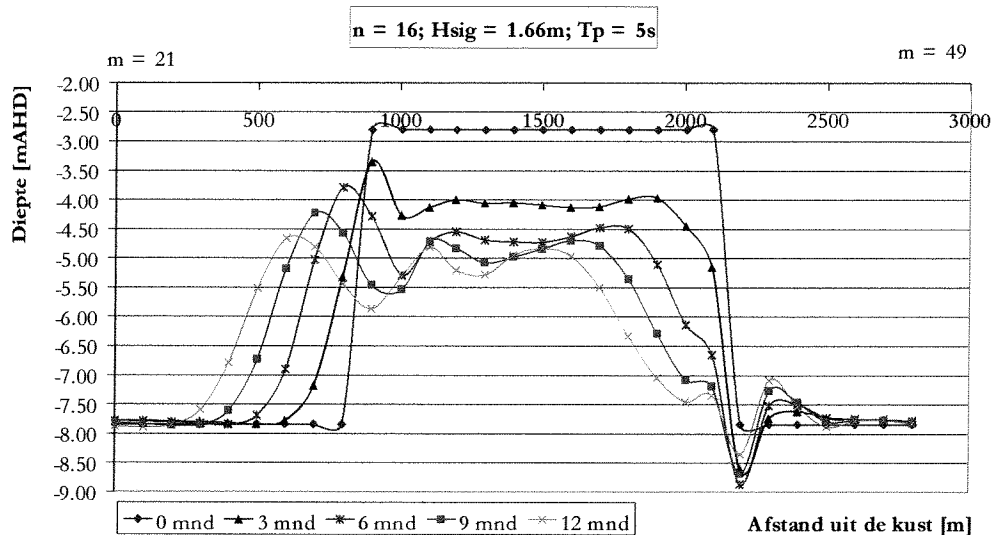
In figuur 5-19, figuur 5-20 en figuur 5-21 zijn afbeeldingen opgenomen van een langsdoorsnede $n=16$.



figuur 5-19, Langsdoorsnede n=16, deining



figuur 5-20, Langsdoorsnede n=16, windgolven, Energieflux vergelijking



figuur 5-21, Langsdoorsnede n=16, windgolven, Tijdsvergelijking

Bij het vergelijken van deze drie figuren vallen vier aspecten op:

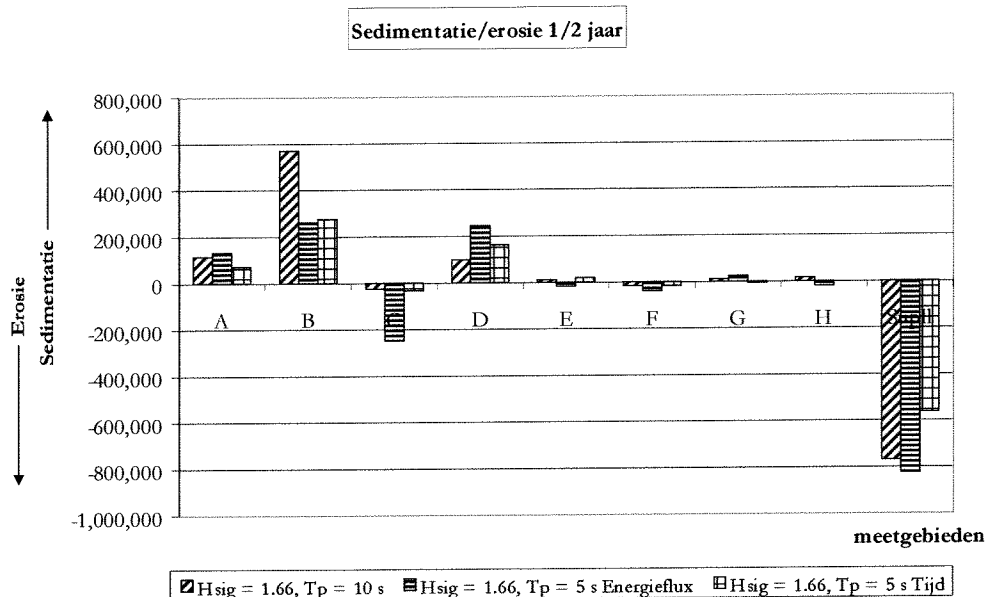
- De langsspreiding (richting $m=21$) is voor de windgolf veel groter dan voor deining, zowel vergeleken op basis van gelijke energieflex als op basis van de tijd.
- Voor beide golven ziet het vervormde patroon van de suppletie er in grote lijnen hetzelfde uit, maar wel conform het eerst genoemde aspect.
- In beide gevallen ontstaat stroomopwaarts van de suppletie een ontgrondingskuil, welke na verloop van tijd weer verdwijnt. Dit was ook in dwarsdoorsnede E duidelijk te zien.
- De hoogte afname van de suppletie vindt bij deining veel sneller plaats dan bij windgolven.

Uit voorgaande is gebleken dat van beide soorten doorsneden op zichzelf een vergelijking gemaakt kan worden tussen het gedrag van deining en windgolven op een vooroeversuppletie. Alles bij elkaar valt uit deze doorsneden op te maken dat deining voornamelijk een verplaatsing van het zand van de suppletie kustwaartst tot gevolg heeft, terwijl in het geval van windgolven de suppletie meer in langsrichting getransporteerd wordt. Het dwarstransport is in de tijd voor deining veel groter dan voor windgolven, terwijl het langstransport voor windgolven in de tijd iets groter lijkt te zijn dan voor deining. Bij vergelijking op basis van gelijke energieflex in de simulatieperiode, valt op dat deining ook hier verhoudingsgewijs veel meer dwarstransport kent. Hier staat tegenover dat windgolven verhoudingsgewijs veel meer langstransport kent. Hierop zal in paragraaf 5.3.5 terug gekomen worden.

5.3.2. Zand volumes

In figuur 5-6 zijn eveneens meetvakken te zien (A t/m H en de suppletie). In deze vakken is op verschillende momenten het watervolume onder het nul niveau gemeten. Uit het volumeverschil valt het sedimentatie/erosie patroon af te lezen. De volumes van de sedimentatie en erosie na een half jaar deining,

een half jaar windgolven en windgolven met gelijke energieflex als de deining, staan uitgezet in figuur 5-22.



figuur 5-22, Zandvolumes meetvakken, 1/2 jaar

In deze grafiek zijn een aantal verschillen en overeenkomsten duidelijk waarneembaar. Deze zullen puntsgewijs worden beschreven.

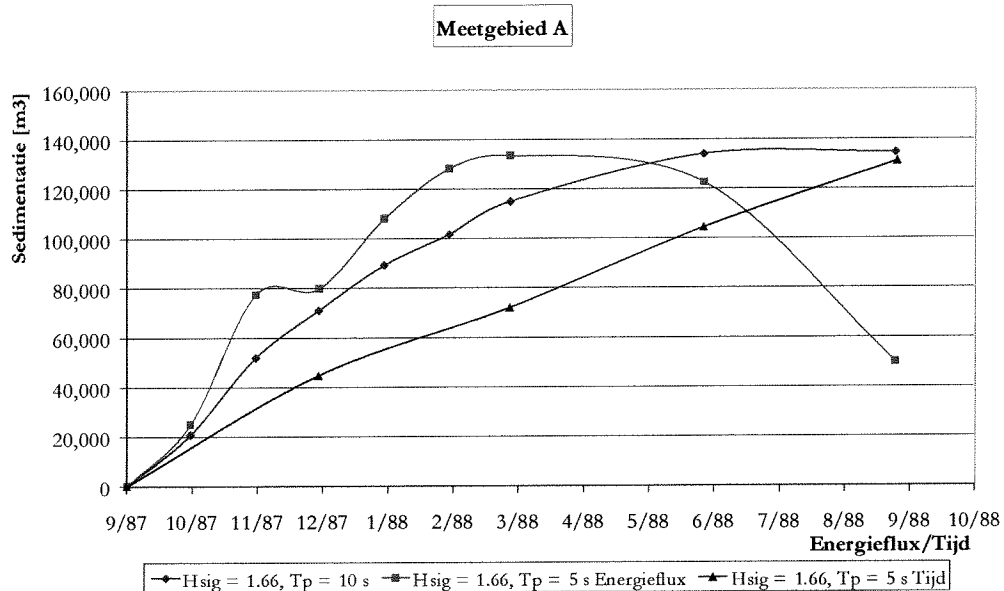
- Er is duidelijk te zien dat de erosie die optreedt in het gebied waar de suppletie aangelegd is nagenoeg gelijk is voor beide golfsoorten, bij vergelijkbare energieflex. In de tijd is de erosie bij deining veel groter.
- In meetgebied A zijn voor deze momentopname geen duidelijke verschillen te zien, op basis van gelijke energieflex. In de tijd is de sedimentatie bij deining twee maal zo groot vergeleken met windgolven.
- In meetgebied B is de sedimentatie voor deining ongeveer twee maal zo groot vergeleken met windgolven. Opvallend is dat dit zowel voor de vergelijking op basis van gelijke energieflex als op basis van tijd geldt. Hierop zal bij de behandeling van het tijdsverloop van het sedimentatie en erosieproces teruggekomen worden.
- In meetgebied C treedt in het geval van de windgolf (energieflex) bijna net zoveel erosie op als er sedimentatie in gebied B optreedt door de windgolf (energieflex). Dit terwijl er voor de deining nagenoeg geen erosie optreedt. In de tijd is er geen verschil tussen deining en windgolven.
- In meetgebied D gebeurt het tegenovergestelde van wat er in meetgebied B gebeurt. Er treedt bijna twee maal zoveel sedimentatie op voor de windgolfberekening vergeleken met de deiningberekening. Ook in de tijd blijkt de sedimentatie voor de windgolven groter te zijn dan bij de deining.
- In de overige meetgebieden (E, F, G, H) gebeurt in beide gevallen vrijwel niets.

Deze staafdiagram laat een momentopname zien van het sedimentatie- en erosieproces dat zich afspeelt. Het is natuurlijk interessant om dit voor de actieve meetgebieden A, B, C, D en de suppletie in een tijdsverband te

plaatsen. In figuur 5-23 tot en met figuur 5-26 is dit in eerder genoemde volgorde weergegeven.

Tijdsverloop sedimentatie/erosie

In figuur 5-23 staat de sedimentatie weergegeven die vanaf het begin van de simulatie in meetgebied A plaats heeft gevonden. Net zoals in de eerdere grafieken zijn de data die op de x-as uitgezet zijn, data die corresponderen met de punten voor de deining en windgolven, bij vergelijking op basis van tijd. De punten van de grafiek voor de windgolf, bij vergelijking op basis van gelijk energieflux () staan eveneens in de grafiek weergegeven.

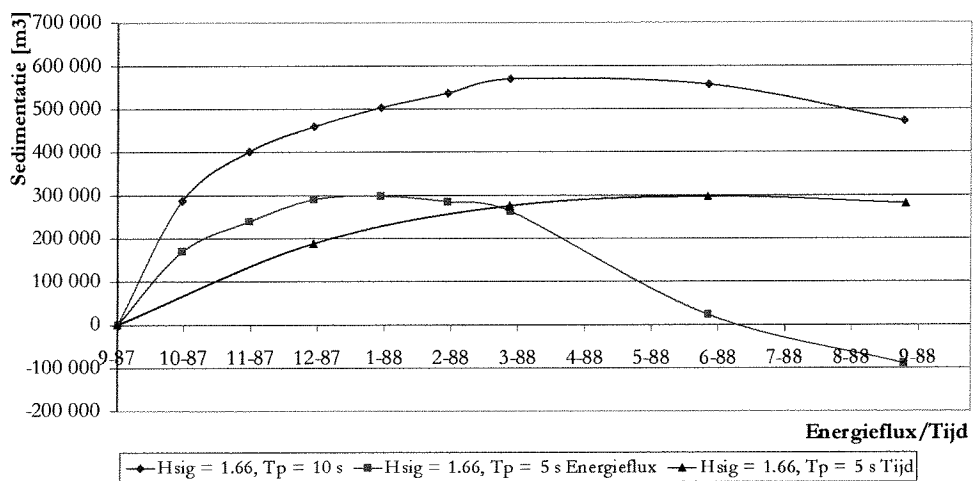


figuur 5-23, Sedimentatie/erosie meetgebied A

In de grafiek is te zien dat in het geval voor de windgolf de grafiek op een parabool kromme lijkt, terwijl de grafiek voor deining meer de vorm van een wortelgrafiek aanneemt, bij vergelijking op basis van energieflux. Hierbij gaat het sedimentatieproces bij de windgolf in het begin sneller dan bij deining, maar treedt er na verloop van tijd erosie op. Bij vergelijking op basis van tijd is het tegenovergestelde waarneembaar. Na één jaar is duidelijk te zien dat het niveau van sedimentatie voor windgolven en deining gelijk is maar dat dit niveau door deining eerder bereikt wordt.

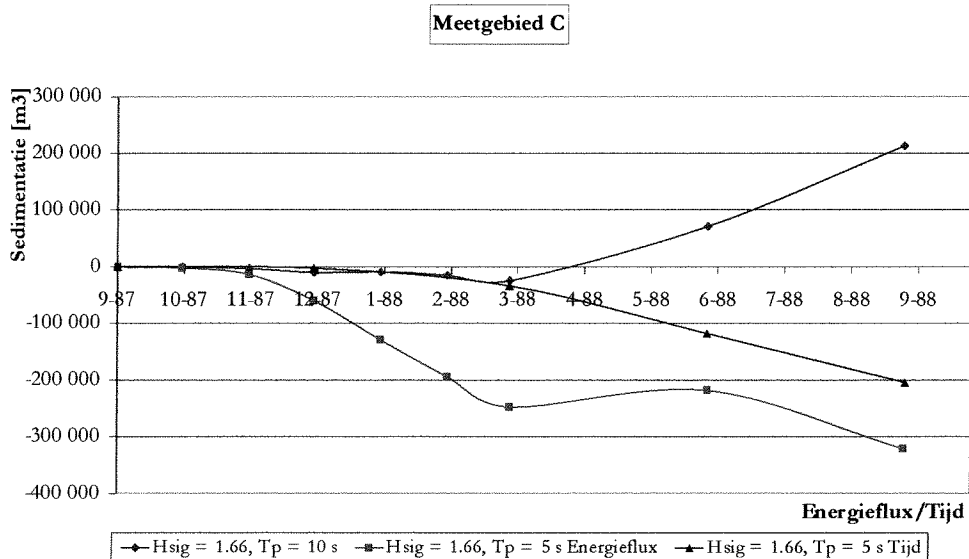
In figuur 5-24 is dezelfde grafieksoort te zien maar dan voor meetgebied B. Hierin is te zien dat de kwantiteit van de sedimentatie in het geval van deining bijna twee maal zo groot is, vergeleken bij de windgolf. De sedimentatie lijkt een maximum te bereiken waarna vervolgens weer een lichte vorm van erosie optreedt. Dit illustreert dat deining meer dwarstransport met zich meebrengt dan windgolven. En dat het langstransport bij windgolven van groter belang is. Bij de vergelijking op basis van gelijke energieflux in de gesimuleerde periode, is te zien dat het maximum in tijd dus na negen maanden bereikt wordt, maar dat voor windgolven bij gelijke energieflux forse erosie optreedt die bij deining mee lijkt te vallen. Dit illustreert dat het langstransport bij windgolven van veel grotere invloed is dan bij deining.

Meetgebied B



figuur 5-24, Sedimentatie/erosie meetgebied B

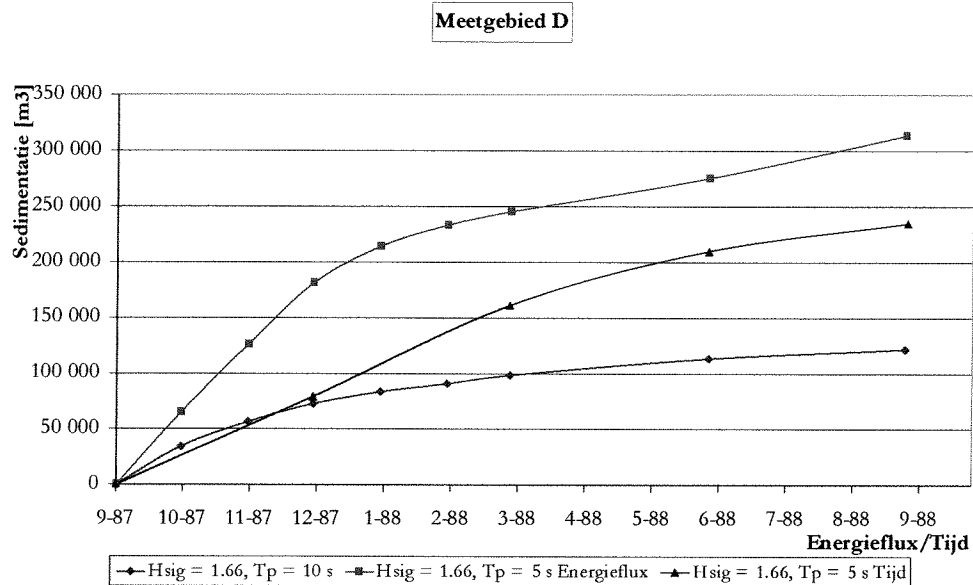
De grafiek zoals deze afgebeeld is in figuur 5-25 geeft het sedimentatie en erosie proces in meetgebied C weer.



figuur 5-25, Sedimentatie/erosie meetgebied C

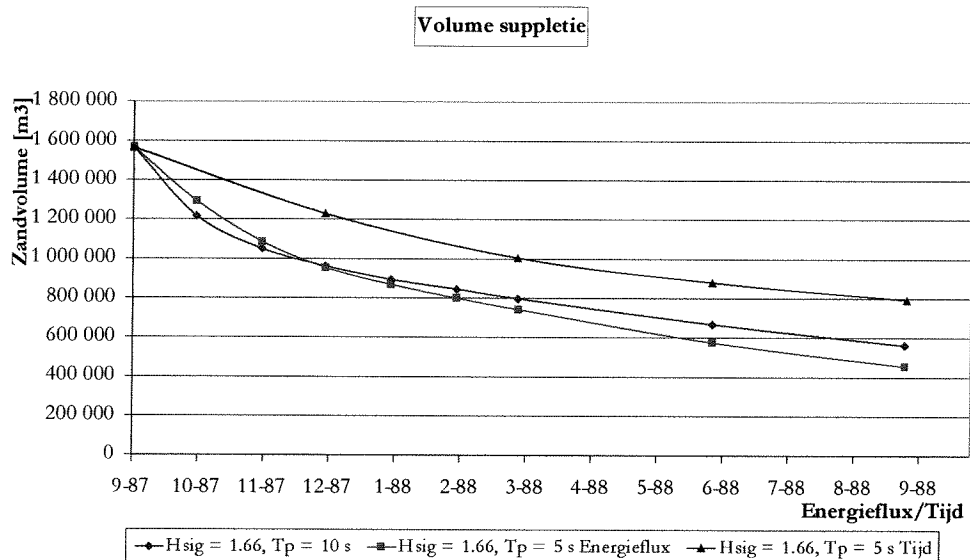
In deze grafiek is te zien dat er grote verschillen zijn tussen de deining en de windgolven. Wanneer dit in relatie gebracht wordt met doorsnede E (figuur 5-16 tot en met figuur 5-18) dan is te zien dat dit deels het gevolg is van de grotere erosie aan de teen van de suppletie onder windgolven. En deels het gevolg van de grotere omvang van de sedimentatie onder deining kustwaarts van de ontgrondingskuil. Zoals uit de resultaten met het dwarstransport zal blijken treedt er in dit gebied ook veel kustwaarts gericht dwarstransport op terwijl dit voor de windgolven sterk zeewaarts gericht is. Tevens is te zien dat een verstoring het systeem van de bovenstroomse rand "binnengekomen" is die na negen maanden (energieflux vergelijking) doorsnede E bereikt heeft (simulatie duur ruim 2½ jaar). Dit maakt de laatste twee punten van de grafiek, die de windgolf weergeeft bij de vergelijking op basis van gelijke energieflux, onbetrouwbaar.

Het verloop van het sedimentatieproces zoals zich dat in meetgebied D voordoet, staat weergegeven in figuur 5-26. Dit meetgebied ligt stroomafwaarts van de suppletie op gelijke afstand uit de kust, figuur 5-6. In deze grafiek is heel duidelijk te zien dat als gevolg van de windgolven duidelijk veel meer sedimentatie optreedt dan als gevolg van deining. Dit geldt zowel bij vergelijking op basis van energieflux als op basis van tijd. Hieruit valt af te leiden dat het transport parallel aan de kust bij de windgolven veel groter is dan bij deining.



figuur 5-26, Sedimentatie/erosie meetgebied D

In figuur 5-27 staat het erosieproces voor de suppletie weergegeven in grafiekvorm. Het wordt meteen duidelijk dat er vrijwel geen verschil zit in de totale erosie en er ook nauwelijks verschil zit in het verloop. Dit is zo wanneer vergeleken wordt op basis van gelijke energieflux in de gesimuleerde periode. Wanneer op basis van tijd vergeleken wordt dan valt direct op dat deining veel meer erosie met zich meebrengt dan windgolven en dat dit al na hele korte tijd het geval is.

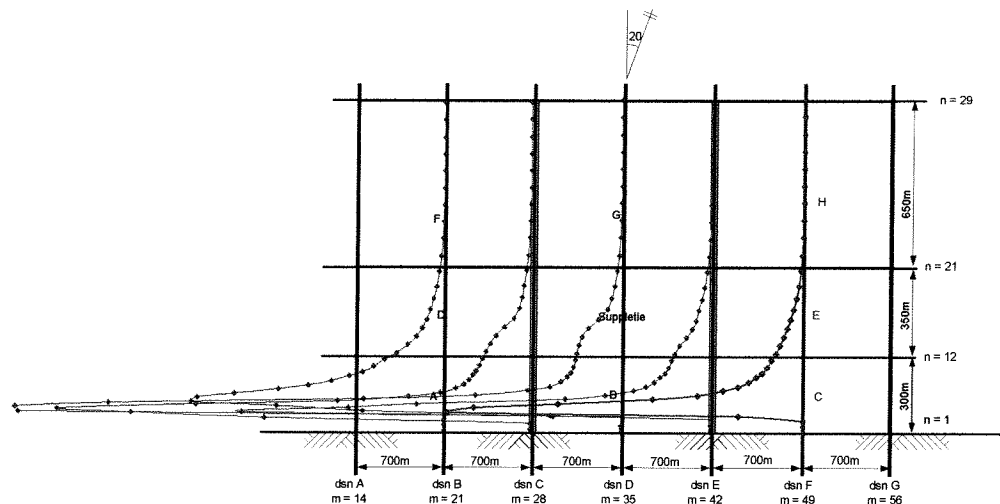


figuur 5-27, Sedimentatie/erosie meetgebied Suppletie

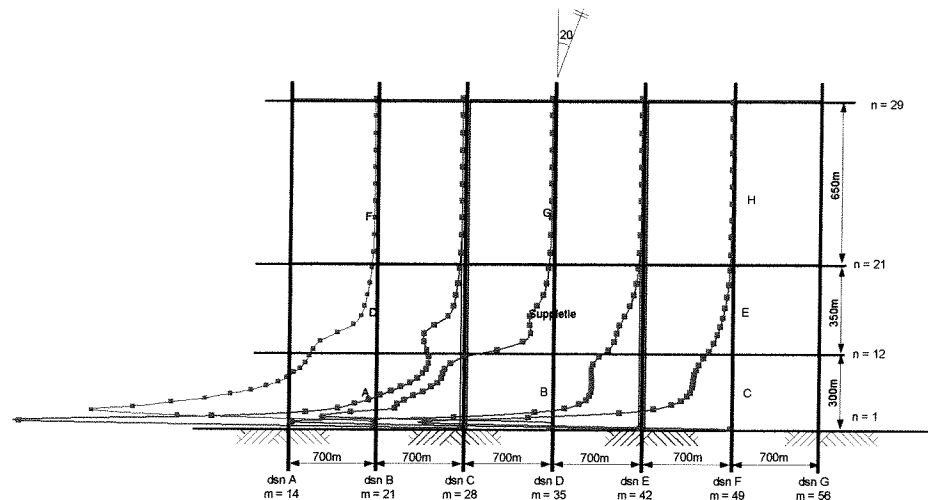
5.3.3. Langstransporten

In dit hoofdstuk zal een vergelijking gemaakt worden tussen de langstransporten die optreden bij deining en bij windgolven. In figuur 5-28 en

figuur 5-29 staan de langtransporten in een bovenaanzicht weergegeven. De transporten zijn een gemiddelde over de gesimuleerde tijd. Bij de verwerking van de berekende waarden voor de dwarstransporten worden deze transporten vectoriëel bij de bodemtransporten, zoals deze als gevolg van langtransport voorkomen, opgeteld. Dit geldt zowel voor de bodem- als voor de suspensietransporten van het dwarstransport. Om een vertekend beeld te voorkomen, is daarom gekozen voor het weergeven van de totaal transporten in deze figuren. Dit geldt zowel voor de langtransporten als voor de dwarstransporten.



figuur 5-28, Langtransport, deining



figuur 5-29, Langtransport, windgolven

De grafieken van deze transporten staan per doorsnede weergegeven in bijlage E44a en b.

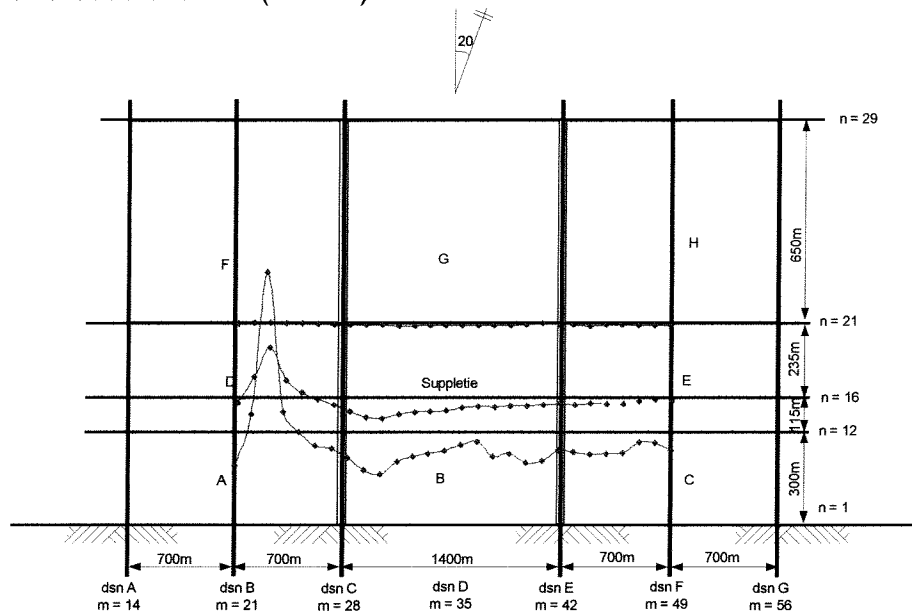
Bij het vergelijken van deze gemiddelde transporten vallen een aantal aspecten op.

- Het belangrijkste wat opvalt is dat het transport van sediment per seconde voor beide golven vrijwel gelijk is.

- De piek van het transport ligt voor de windgolven meer naar de kust dan voor deining.
- Met name bij doorsnede D achter de suppletie, zijn de transporten anders over de doorsnede verdeeld. Bij de windgolven zie je een hele brede band van sedimenttransport, terwijl bij deining hetzelfde patroon zichtbaar is stroomopwaarts en stroomafwaarts van de suppletie.
- Het beeld dat in doorsnede D zichtbaar is voor windgolven, de brede band waarover transport plaatsvindt, is in elke doorsnede zichtbaar. Het sedimenttransport vindt bij deining meer plaats binnen een smalle strook.

5.3.4. Dwarstransporten

In dit hoofdstuk zullen de dwarstransporten aan de orde komen. Deze dwarstransporten zijn berekend met behulp van de formule van Bailard (1981), waarbij de ijkfactoren vastgesteld zijn op $facA = 0.5$ en $epsI = 0.15$ (hoofdstuk 4.2.1). Vanwege de reden die in de vorige paragraaf aan de orde is geweest, zullen ook hier de totaal transporten weergegeven worden. In figuur 5-30 en figuur 5-31 staan respectievelijk de dwarstransporten voor deining en voor windgolven weergegeven. Deze staan eveneens weergegeven in bijlage 45a en b. Deze transporten zijn uitgezet vanaf dwarsdoorsnede B ($m = 21$) tot dwarsdoorsnede F ($m = 49$).



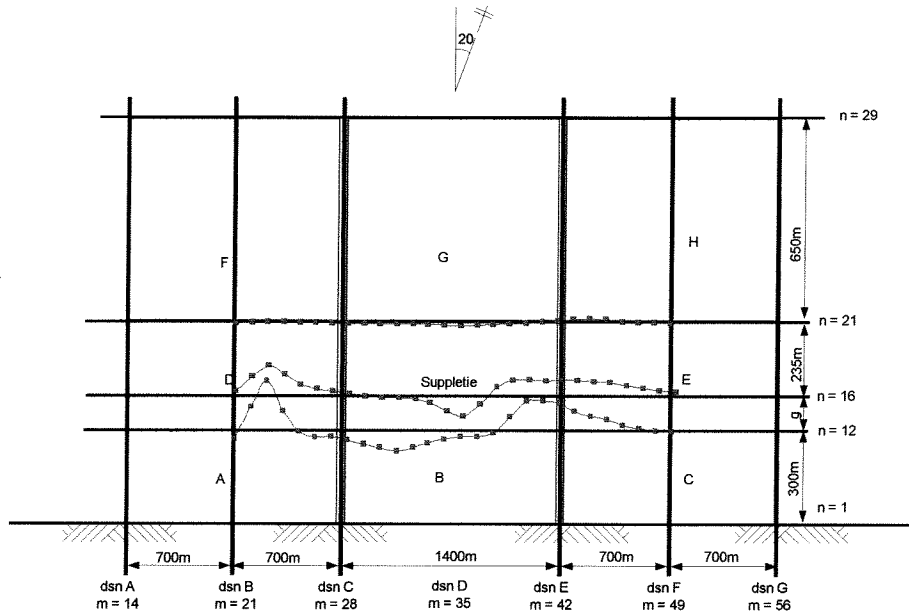
figuur 5-30, Dwarstransport, deining

Er zijn een aantal opvallende zaken waarneembaar in deze grafiek voor deining.

- Ter hoogte van de suppletie ($n=16$) vindt alleen dwarstransport kustwaarts plaats.
- Tussen de doorsneden B en C is er veel transport in zeevaartse richting, deze neemt meer naar de kust toe.
- Stroomopwaarts van de suppletie, tussen de doorsneden E en F, vindt het transport kustwaarts plaats.

Wanneer deze zaken vergeleken worden met figuur 5-31, zijn opvallende verschillen waarneembaar.

- Ter hoogte van de suppletie vindt in veel minder mate dwarstransport plaats in kustwaartse richting dan bij deining, op een piek in het midden van de suppletie na. Aan de stroomopwaartse zijde van de suppletie vindt zelfs veel transport in zeewaartse richting plaats.
- Tussen de doorsneden B en C is dezelfde trend te zien als bij deining, alleen in mindere mate.
- Stroom opwaartst vindt transport zeewaarts plaats terwijl dit bij deining juist kustwaarts is.

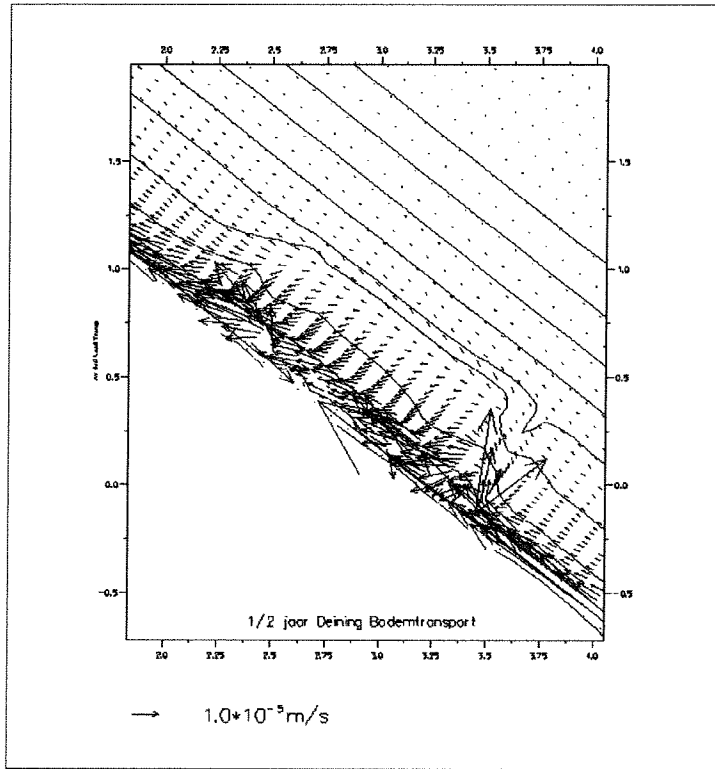


figuur 5-31, Dwarstransport, windgolven

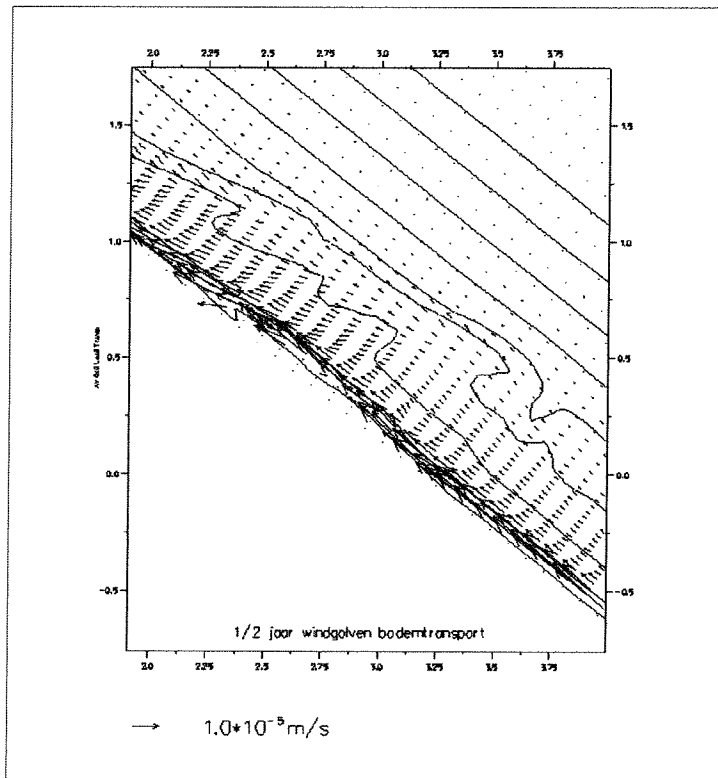
Al deze zaken op een rij geven duidelijk het beeld dat het dwarstransport bij deining veel meer kustwaartst gericht is dan het geval is bij windgolven.

5.3.5. Conclusie

- Uit de dwarsdoorsneden en de volumeberkeningen is duidelijk te zien dat er zandbankvorming optreedt bij de windgolven, terwijl bij de deining voornamelijk een gelijkmatige afvlakking van het profiel optreedt.
- De dwarstransporten zijn bij deining veel groter dan bij de windgolven, dit blijkt uit de volumeberekeningen en de dwarsdoorsneden. Dit wordt bevestigd door *figuur 5-32 en*
- *figuur 5-34* (bijlage E46a en b), waarin het bodemtransport van deining en windgolven te zien is op het tijdstip van een half jaar.



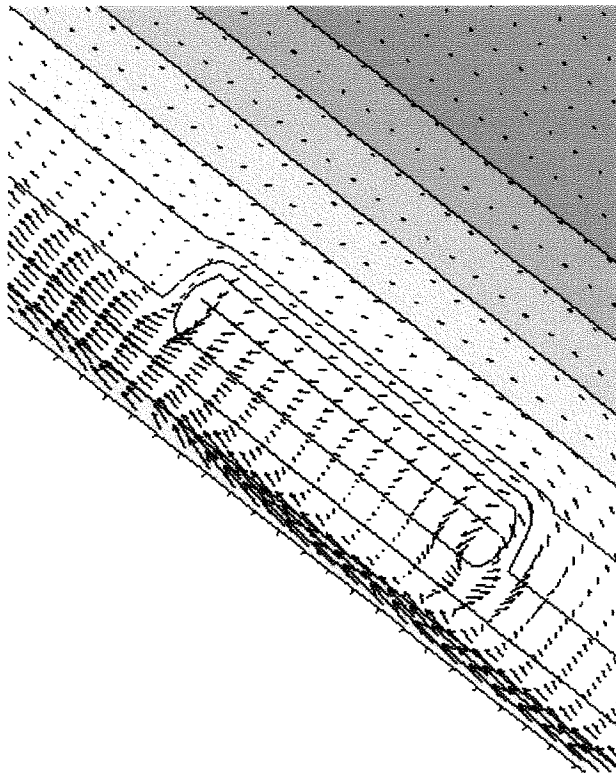
figuur 5-32, Bodemtransport deining



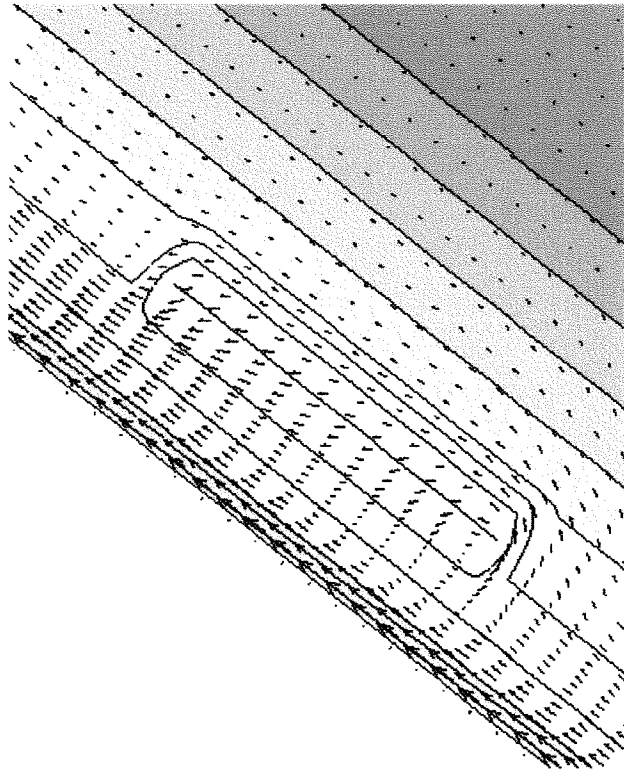
figuur 5-34, Bodemtransport windgolven

De reden dat het bodemtransport is uitgezet, is dat het dwarstransport, dat berekend wordt met de formule van Bailard, vectoriëel bij het bodemtransport, dat berekend wordt met de formule van Bijker, wordt opgeteld. Hierin is te zien dat erg veel zand kustwaarts getransporteerd wordt bij deining en erg weinig bij windgolven.

- De langstransporten bij de windgolven is verhoudingsgewijs veel groter dan bij deining. Dit is af te leiden uit de langstranporten, de langs- en dwarsdoorsneden en de volume berekeningen. De reden hiervoor is relatief eenvoudig. Een kleinere golfperiode levert een kleinere golfvoortplantingsnelheid op in diep water. Een kleinere golfvoortplantingsnelheid heeft een grotere aandrijfkraft voor de stroomsnelheid parallel aan de kust tot gevolg. Een grotere stroomsnelheid leidt logischerwijs tot meer sedimenttransport.
- Aan de bovenstroomse zijde van de suppletie ontstaat een ontgrondingskuil. Dit blijkt uit de dwars- en langsdoorsneden en uit de volume berekeningen. De reden voor het ontstaan van de ontgrondingskuil is gevonden in de neer die direct stroom opwaarts van de suppletie ontstaat. Deze staat weergegeven in figuur 5-36 voor het begin van de simulatie in het geval van deining. Voor windgolven staat deze weergegeven in figuur 5-37



figuur 5-36, Neer, stroomsnelheden, deining



figuur 5-37, Neer, stroomsnelheden, windgolven

6. Casestudie Gold Coast, Australië

In dit hoofdstuk zal de casestudie die gedaan is, behandeld worden. In paragraaf 6.1 zal de keuze van de locatie nader toegelicht worden, waarna in paragraaf 6.2 de aanpassingen die gedaan zijn aan het vorige model voor dit model behandeld worden. Als laatste zullen in paragraaf 6.3 de resultaten van de simulatie behandeld worden.

6.1. Locatiekeuze

Voor dit onderzoek is een fictief model opgezet, waarop het onderzoek en de voorlopige conclusies gebaseerd zijn. Het testen van deze conclusies wordt gedaan aan de hand van een casestudie. Vooraf is een locatiekeuze gemaakt om zodoende in het fictieve model de lokale waarde van de benodigde parameters in te kunnen vullen. In dit hoofdstuk zal de keuze voor de basiskust toegelicht worden.

In paragraaf 6.1.1. worden de gronden waarop de motivatie gebaseerd is kort duidelijk gemaakt waarna deze in de sub-paragrafen nader toegelicht zullen worden.

6.1.1. Keuze motivatie

De motivatie van de keuze voor de Gold Coast in Australië is tweeledig:

- Fysisch
- Organisatorisch

Fysisch

De morfologische ontwikkeling van een kust is afhankelijk van een scala aan verschillende factoren. De belangrijkste "motoren" achter deze stabiele dan wel instabiele ontwikkeling zijn de getijstroom en de golven. In dit onderzoek wordt een vergelijking gemaakt van het morfologisch gedrag van een vooroeversuppletie onder golven met verschillende periodes. Bij de vergelijking moet er voor worden gezorgd dat een van de twee "motoren" geen rol speelt (de getijstroom), zodat alle verschillen en overeenkomsten in morfologisch gedrag direct aan de verschillen en overeenkomsten van golfeigenschappen toegeschreven kunnen worden. De Gold Coast in Australië is een stuk kust waar de getijstroom in het interessegebied, ondiep water, verwaarloosbaar is. Pas bij de 30 meter dieptelijn is er sprake van een merkbare getijstroom (WL Delft, 1992).

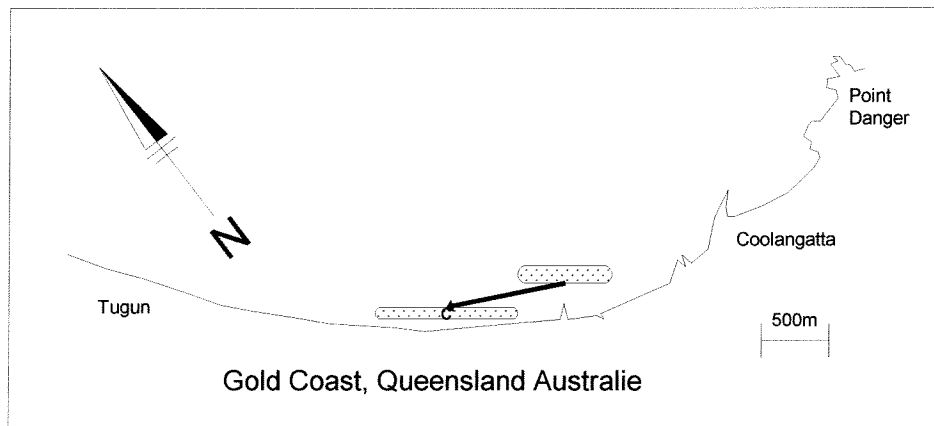
Een tweede fysische reden om deze kust te gebruiken als basiskust voor de uit te voeren simulaties, is dat het heersende golfklimaat bij de Gold Coast gekarakteriseerd kan worden als deining en dus als één van de twee te onderzoeken golfklimaten gebruikt kan worden. Met dit golfklimaat en de profielen van de kust kan een evenwichtsprofiel bepaald worden dat niet veel afwijkt van het gemeten profiel.

Organisatorisch

Om goede simulaties uit te kunnen voeren is het van belang om over goede data te beschikken. Dit betreft zowel geometrische data als golfdata. Sinds 1966 worden er door de Gold Coast City Council (GCCC) surveys gedaan.

Tevens zijn in de periode van december 1988 tot januari 1990 met behulp van een "waverider" boei 1500 metingen gedaan door de Beach Protection Authority (BPA). Tegelijkertijd met de uitvoering van de eerste vooroeversuppletie (1988) is een monitoring programma opgezet om de kust in de gaten te houden.

De suppletie zoals deze in figuur 6-1 is afgebeeld heeft na constructie een transformatie ondergaan. Behalve dat deze de beoogde verplaatsing dwars op de kust heeft ondergaan, heeft deze ook een verplaatsing parallel aan de kust ondergaan. Deze verplaatsing in twee dimensies is kenmerkend voor de destijds uitgevoerde suppletie en zal in de berekeningen tot uiting moeten komen. Enkele gedetailleerdere figuren van dit migratie gedrag zijn opgenomen in figuur 6-14 en figuur 6-15

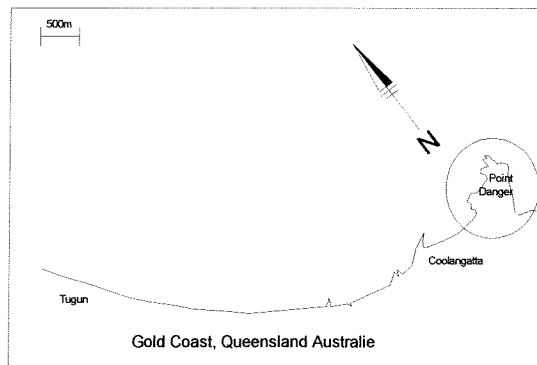


figuur 6-1, migratie gedrag

6.2. Gold Coast model

6.2.1. Lokatie

Voordat het model opgezet kon worden moest eerst de locatie nader bestudeerd worden. Belangrijk om te weten zijn de ligging, de kustlijn, de eventuele aanwezigheid van kunstmatige dan wel natuurlijke barrières in het gebied die van invloed op het zandtransport kunnen zijn en het getij, zowel horizontaal als verticaal.



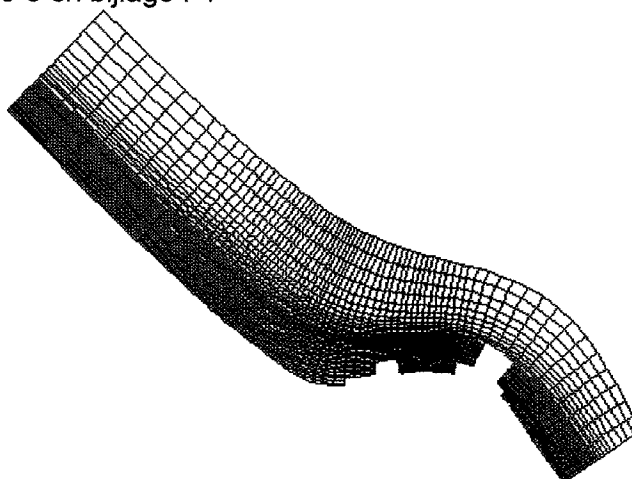
figuur 6-2, Point Danger

In figuur 6-2 is een kaartje te zien van het gebied, welke in vergrote versie te zien is in bijlage F1. De Gold Coast (153° oosterlengte, 27° zuiderbreedte) ligt in het meest zuid oostelijke puntje van de staat Queensland, een staat die aan de oostkust van Australië ligt. Op het kaartje is te zien dat Point Danger een niet te verwaarlozen barrière vormt in de modellering van de kust. Gezien het grillige verloop van de kustlijn en het uitstekende karakter van dit punt, zal worden aangenomen dat het hier om een rotsachtige kust gaat waarvan wordt aangenomen dat deze dus (in vergelijking met de zandige kust) ongevoelig voor erosie is.

6.2.2. Rekengrid

Hydrodynamische module

Voor de uitgevoerde simulatie is een kromlijinig rekengrid geconstrueerd. De gridcellen hiervan hebben niet overal dezelfde grootte. Dit is gedaan om rekentijd te besparen en toch de vereiste nauwkeurigheid in het interessegebied te behouden. Het resultaat is dat het grid fijnmazig is in het interesse gebied en grover buiten dit gebied. Een afbeelding van dit grid is te zien in figuur 6-3 en bijlage F1



figuur 6-3, Kromlijinig rekengrid

In figuur 6-3 is te zien dat er enkele stukken uit het grid genomen zijn. Hiervoor zijn twee redenen:

- Point Danger en andere rotspunten vormen niet te verwaarlozen natuurlijke barrières, welke in het model opgenomen dienen worden.
- De kust bij Point Danger is een rotsachtige kust welke als niet erodeerbaar in het model opgenomen dient te worden.

Door het stuk uit het grid te 'knippen' is aan beide eisen voldaan. Tevens heeft dit een gunstig effect op de rekentijd.

Bij het maken van het grid is speciale aandacht uitgegaan naar de orthogonaliteit en naar een geleidelijke overgang tussen de verschillende gridcellen. De orthogonaliteit is de mate waarin de vorm van een gridcel overeenkomt met die van een vierkant. Deze factor mag niet meer zijn dan 0.4 en in het interessegebied niet meer dan 0.2.

Een geleidelijke overgang tussen de verschillende gridcellen vermindert de fout die bij de berekeningen gemaakt wordt. Deze factor mag niet groter zijn dan 1.4 en wordt voor beide richtingen (M en N) bepaald.

Ook in de sedimenttransport module en de morfologische module wordt gerekend aan de hand van dit kromlijnige grid.

Golf module

Als gevolg van de voorwaarden die aan het rekengrid gesteld worden met betrekking tot de golfval (hoofdstuk 3.3.1), wordt in dit model gebruik gemaakt van één of twee geneste grids. Bij een te groot richtingsverschil tussen golfval en laatste rekengrid zal een tweede rekengrid aangebracht. Dit wordt gedaan om de overgang van de invallende golf richting naar het laatste rekengrid soepel te laten verlopen zonder optreden van energieverlies.

6.2.3. Bodem schematisatie

In hoofdstuk 5.1.1 staat vermeld dat na de kalibratie van het model een "nieuw" evenwichtsprofiel gevonden is, vervolgens is daar een vooroeversuppletie in aangebracht. Dit profiel, inclusief de suppletie, is in dit model aangebracht waarna de zijranden van de beschikbare dieptefile doorgetrokken zijn naar de randen van het rekengrid van dit model. Dit was noodzakelijk omdat het Gold Coast model een stuk groter is dan het rechthoekige model. Zodoende is exact dezelfde suppletie in dit model aanwezig als er aanwezig was in het rechthoekige model.

6.2.4. Randvoorwaarden

De randvoorwaarden zoals deze in het rechthoekige model gebruikt zijn, worden ook in het kromlijnige model van de Gold Coast gebruikt. Dit geldt voor de stromingsmodule, de sedimenttransport module en de morfologische module. Het getij is niet meegenomen in de berekeningen om een tweetal redenen:

- De invloed van het getij zal de algemene trend van de morfologische veranderingen niet beïnvloeden, omdat het hier geen invloed heeft op de stroming alleen op de waterstand.
- Vermindering van de rekentijd.

Voor de golf module zijn echter andere randvoorwaarden toegepast wat betreft de bovenstroomse rand. In het rechthoekige model is gebruik gemaakt van slechts één golfconditie. Voor dit model wordt gebruik gemaakt van alle golfcondities zoals deze in tabel 6-1 genoemd staan. De volgorde van deze golven waarin ze op het model "losgelaten" worden is echter van groot belang voor het uiteindelijke resultaat. Vanwege het gedragverschil tussen de deining en de windgolven op een vooroeversuppletie, is het goed voor te stellen dat de volgorde van belang is. Wanneer het model eerst doorgerekend wordt met de windgolven en vervolgens met de deining zal dit hoogst waarschijnlijk een ander resultaat opleveren dan wanneer dit in omgekeerde volgorde gedaan wordt. Er is daarom voor gekozen de kleine en grote golven af te wisselen in de berekening. De volgorde waarin dit gebeurt is staat weergegeven in tabel 6-1

| richting [° N] | H _{sig} [m] | T _p [s] | dagen/jaar | energieflux (jaar) [J] |
|----------------|----------------------|--------------------|--------------|-----------------------------|
| 17.30 | 1.04 | 6 | 11.32 | 3.7*10 ⁹ |
| 29.18 | 0.98 | 12 | 4.22 | 2.6*10 ⁹ |
| 24.21 | 0.97 | 8 | 17.48 | 7.3*10 ⁹ |
| 25.97 | 0.99 | 10 | 14.04 | 7.7*10 ⁹ |
| 45.63 | 1.04 | 6 | 2.11 | 0.7*10 ⁹ |
| 47.39 | 1.05 | 12 | 1.31 | 0.9*10 ⁹ |
| 47.65 | 1.14 | 8 | 8.63 | 5.0*10 ⁹ |
| 47.46 | 1.17 | 10 | 7.91 | 6.0*10 ⁹ |
| 74.58 | 1.15 | 6 | 2.93 | 1.2*10 ⁹ |
| 66.70 | 1.58 | 12 | 0.58 | 0.9*10 ⁹ |
| 72.59 | 1.32 | 8 | 18.1 | 14.0*10 ⁹ |
| 71.07 | 1.99 | 10 | 9.17 | 20.2*10⁹ |
| 94.46 | 1.36 | 8 | 27.86 | 22.9*10 ⁹ |
| 84.74 | 1.52 | 12 | 7.75 | 11.3*10 ⁹ |
| 87.93 | 1.66 | 10 | 18.34 | 28.1*10⁹ |
| 90.47 | 0.31 | 12 | 11.18 | 0.7*10 ⁹ |
| 91.26 | 0.86 | 12 | 4.97 | 2.3*10 ⁹ |
| 100.61 | 1.11 | 6 | 5.38 | 2.0*10 ⁹ |
| 96.00 | 0.71 | 10 | 22.14 | 6.2*10 ⁹ |
| 106.85 | 0.22 | 6 | 7.91 | 0.1*10 ⁹ |
| 98.16 | 0.23 | 10 | 50.15 | 1.5*10 ⁹ |
| 101.26 | 0.58 | 8 | 32.65 | 4.9*10 ⁹ |
| | | | | 150.1*10⁹ |

tabel 6-1, Volgorde golven

6.2.5. Beginvoorwaarden

De beginvoorwaarden zoals deze in het rechtlijnige model gebruikt zijn zullen ook in dit model gebruikt worden.

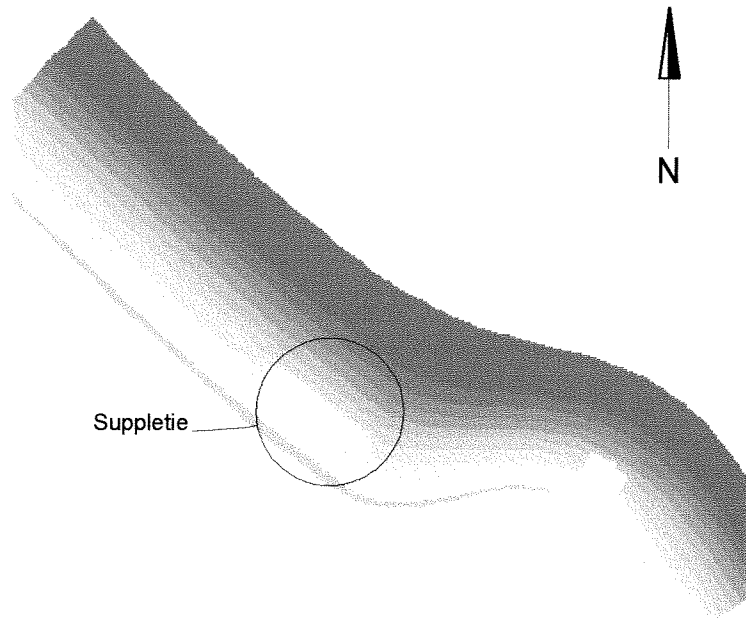
6.3. Resultaten model

De resultaten van deze casestudie zullen vergeleken worden met de gegevens die verkregen zijn bij de Gold Coast City Council (GCCC). Overigens zijn alle figuren die in dit hoofdstuk staan eveneens in bijlage F2 tot en met F9 opgenomen in dezelfde volgorde.

6.3.1. Bodemligging

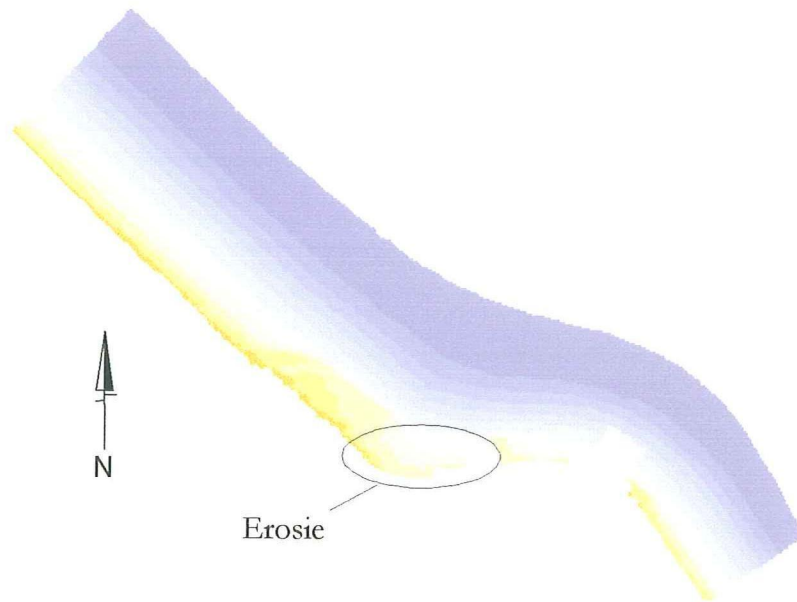
Onvolkomenheid

In figuur 6-4 is een bovenaanzicht van het simulatie gebied te zien, waarin de initiële diepte is opgenomen. Hierin is duidelijk de suppletie van 1.5 mln m³ zand te zien die daarin opgenomen is.



figuur 6-4, Suppletie

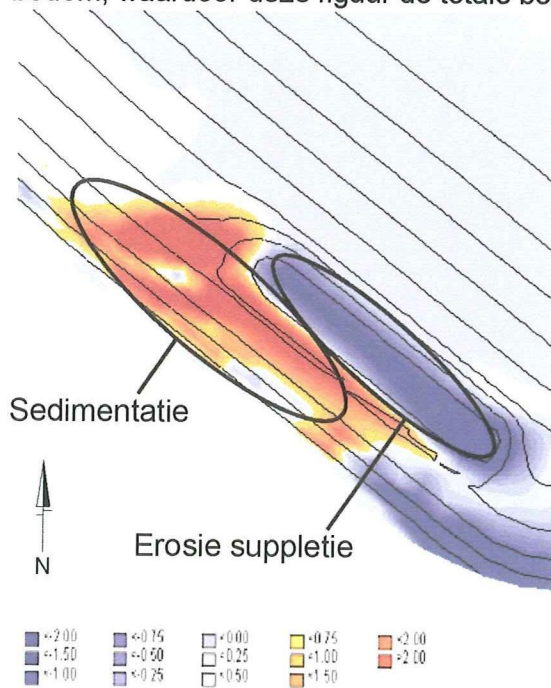
In figuur 6-5 is hetzelfde gebied te zien na uitvoering van de simulatie met alle golven. Hierin is één gebied omcirkeld. Het sterke erosiepatroon dat hier optreedt, is geen gevolg van de suppletie die aan gebracht is maar is een onvolkomenheid in het model. Dit proces heeft ongetwijfeld invloed op het gedrag van de suppletie maar deze zal voornamelijk te maken hebben met de snelheid waarmee de suppletie zich aanpast. Het gevolg hiervan is dat uit deze simulatie alleen de algemene trend valt af te leiden die het gedrag van de suppletie beschrijft. De meest waarschijnlijke oorzaak van deze onvolkomenheid is het feit dat de grote kliffen en rotspunten, zoals deze in werkelijkheid voorkomen, niet voldoende nauwkeurig in het model opgenomen zijn. Dit is niet gedaan omdat daarover onvoldoende informatie beschikbaar is.



figuur 6-5, Model fout

Resultaten suppletie

In figuur 6-6 is een overzicht gegeven van de erosie en sedimentatie die optreedt bij de suppletie en omliggende gebieden na de totale simulatieduur. De bodemligging aan het eind van de simulatie is afgetrokken van de initiële bodem, waardoor deze figuur de totale bodemverandering laat zien



figuur 6-6, Sedimentatie en erosie patroon

De dieptelijnen die eveneens in de figuur te zien zijn, geven de oorspronkelijke diepte aan. Zoals in deze figuur duidelijk te zien is treedt er een sterke erosie van de suppletie op. Tevens is te zien dat het sediment zich in noordwestelijke richting, kustwaarts verplaatst.

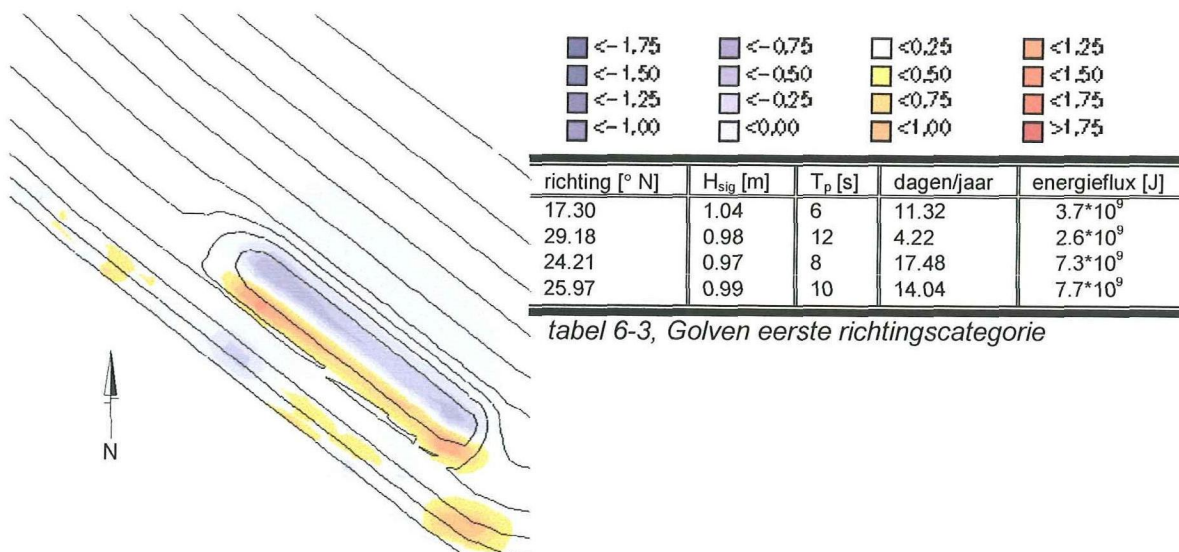
figuur 6-7 tot en met figuur 6-13 laat vijf afbeeldingen zien van hetzelfde gebied. Elke figuur laat de verandering van de bodem zien na een simulatie van een richtingscategorie van het golfklimaat.

Bijvoorbeeld: In figuur 6-7 is de verandering van de bodem te zien ten opzichte van de initiële bodem na een simulatie met de golven uit de eerste richtingscategorie zoals deze in tabel 6-2 aangegeven zijn. De daarop volgende figuur is de bodemverandering na de simulatie met de tweede richtingscategorie ten opzichte van het eindresultaat van de simulatie met de eerste richtingscategorie. De golven waarmee die berekening gedaan is staan eveneens in de tabel naast de figuur.

| richting [° N] | H _{sig} [m] | T _p [s] | dagen/jaar | energieflux (jaar) [J] |
|----------------|----------------------|--------------------|------------|------------------------|
| 17.30 | 1.04 | 6 | 11.32 | 3.7*10 ⁹ |
| 29.18 | 0.98 | 12 | 4.22 | 2.6*10 ⁹ |
| 24.21 | 0.97 | 8 | 17.48 | 7.3*10 ⁹ |
| 25.97 | 0.99 | 10 | 14.04 | 7.7*10 ⁹ |

tabel 6-2, Golven eerste richtingscategorie

Per figuur is te zien welke invloed de golven hebben die in de tabel ernaast vermeld staan. Dezelfde trend, die ook te zien is in figuur 6-6, is hier ook te zien maar dan ingedeeld naar richtingscategorie. Per richtingscategorie kan bepaald worden wat de invloed van de golven op de suppletie is. Dezelfde trend die gevonden is bij de resultaten uit het fictieve model uit hoofdstuk 5, zijn hier terug te vinden. De belangrijkste conclusie van dat hoofdstuk is dat de invloed van het dwarstransport op het zandtransport in z'n algemeenheid voor deining veel groter is dan voor windgolven.

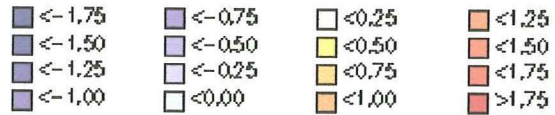
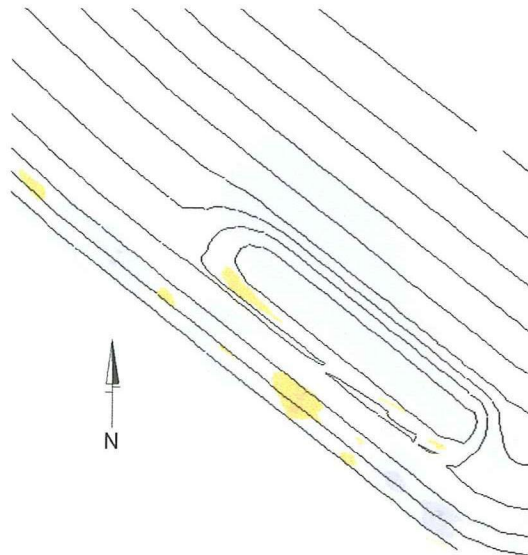


tabel 6-3, Golven eerste richtingscategorie

figuur 6-7, Resultaat t.o.v. initieel

Richtingscategorie één

In deze richtingscategorie is de energieflex vrij evenwichtig verdeeld tussen de langere en kortere golven. Op basis daarvan valt een sedimentatie en erosie patroon te verwachten waarbij zowel de invloed van het dwarstransport als die van het langstransport duidelijk zichtbaar zijn. Echter als gevolg van het feit dat de hoek van inval, op één uitzondering na, vrijwel loodrecht is, is hier voornamelijk dwarstransport zichtbaar



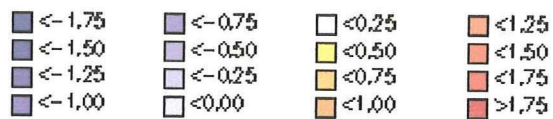
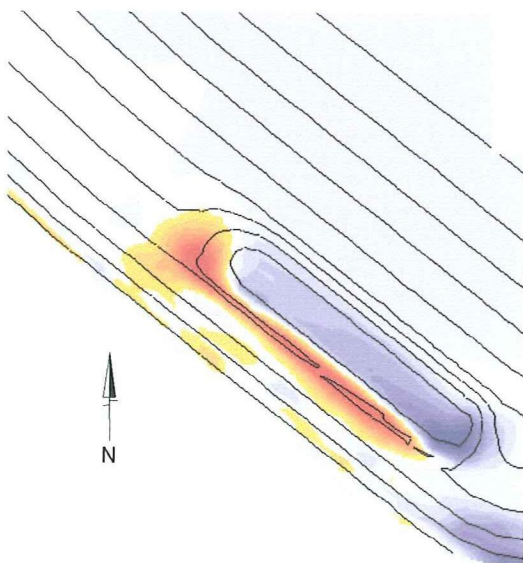
| richting [° N] | H _{sig} [m] | T _p [s] | dagen/jaar | energieflux [J] |
|----------------|----------------------|--------------------|------------|---------------------|
| 45.63 | 1.04 | 6 | 2.11 | 0.7*10 ⁹ |
| 47.39 | 1.05 | 12 | 1.31 | 0.9*10 ⁹ |
| 47.65 | 1.14 | 8 | 8.63 | 5.0*10 ⁹ |
| 47.46 | 1.17 | 10 | 7.91 | 6.0*10 ⁹ |

tabel 6-4, Golven tweede richtingscategorie

figuur 6-8, Resultaat t.o.v. figuur 6-7

Richtingscategorie twee

Bij de berekening met deze richtingscategorie is de bodemverandering dermate weinig dat hieraan geen conclusie verbonden kunnen worden.



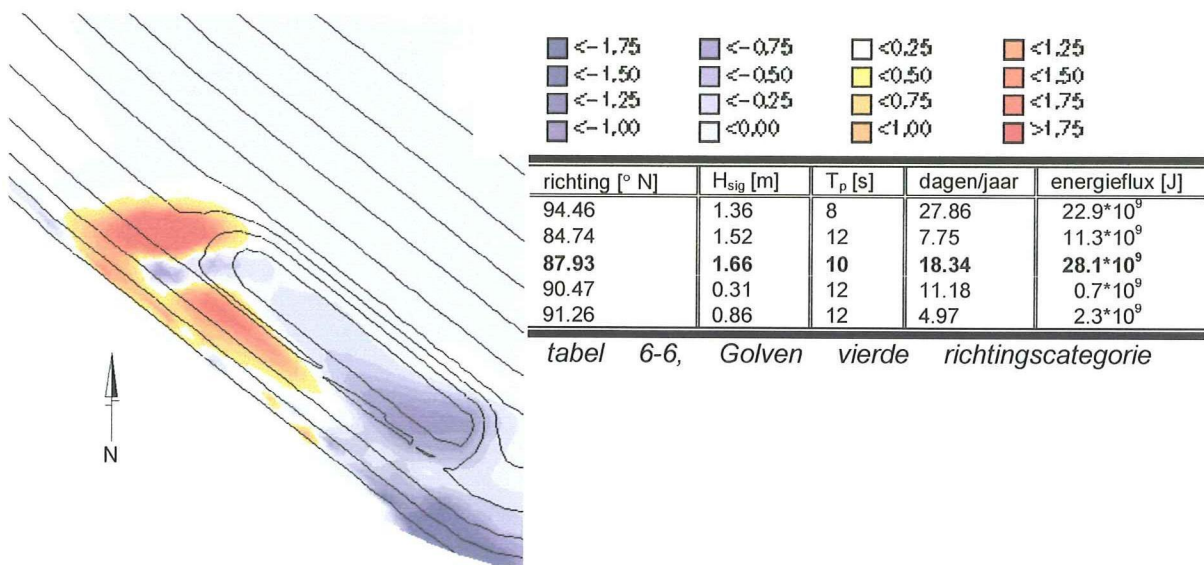
| richting [° N] | H _{sig} [m] | T _p [s] | dagen/jaar | energieflux [J] |
|----------------|----------------------|--------------------|------------|----------------------|
| 74.58 | 1.15 | 6 | 2.93 | 1.2*10 ⁹ |
| 66.70 | 1.58 | 12 | 0.58 | 0.9*10 ⁹ |
| 72.59 | 1.32 | 8 | 18.1 | 14.0*10 ⁹ |
| 71.07 | 1.99 | 10 | 9.17 | 20.2*10 ⁹ |

tabel 6-5, Golven derde richtingscategorie

figuur 6-9, Resultaat t.o.v. figuur 6-8

Richtingscategorie drie

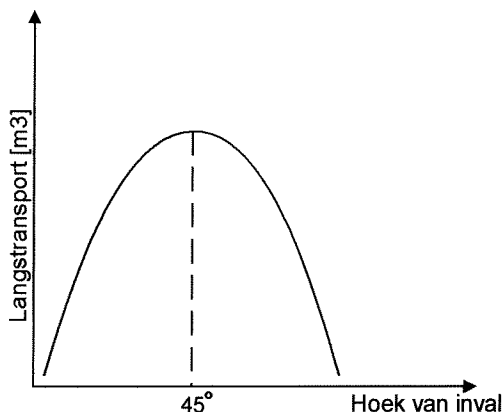
Wanneer de resultaten van de derde richtingscategorie bekeken worden dan is het dwarstransport duidelijk terug te vinden. In deze richtingscategorie wordt het overgrote merendeel van de energieflex overgedragen door de golven die getypeerd kunnen worden als deining. In de bijbehorende figuur 6-9 is duidelijk het sedimentatiepatroon kustwaarts van de suppletie te zien en de bijbehorende erosie van de suppletie. Hierbij is ook duidelijk zichtbaar dat er nauwelijks sedimentatie noordelijk van de oorspronkelijke suppletie plaatsvindt, wat aangeeft dat het langstransport van minder belang is dan het dwarstransport.



figuur 6-10, Resultaat t.o.v. figuur 6-9

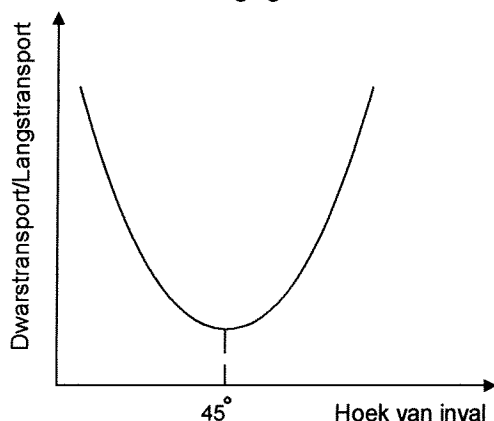
Richtingscategorie vier

In figuur 6-10 is te zien dat hier zowel tekenen van dwarstransport als van langstransport duidelijk zichtbaar zijn. Uit de resultaten zoals deze verkregen zijn uit de simulaties met het fictieve kustmodel was gebleken dat deining relatief veel dwarstransport tot gevolg heeft. Wanneer naar het golfklimaat gekeken wordt, tabel 6-6, waarmee deze berekening uitgevoerd is, is te zien dat elke golf getypeerd kan worden als deining. Het feit dat er toch relatief veel langstransport opgetreden is, is gevonden in de invloed van de hoek van inval op het langstransport. De invloed van de hoek van inval is schematisch weergegeven in figuur 6-11.

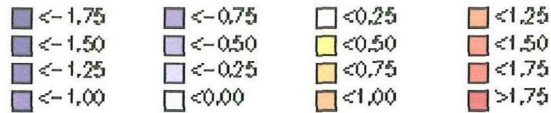
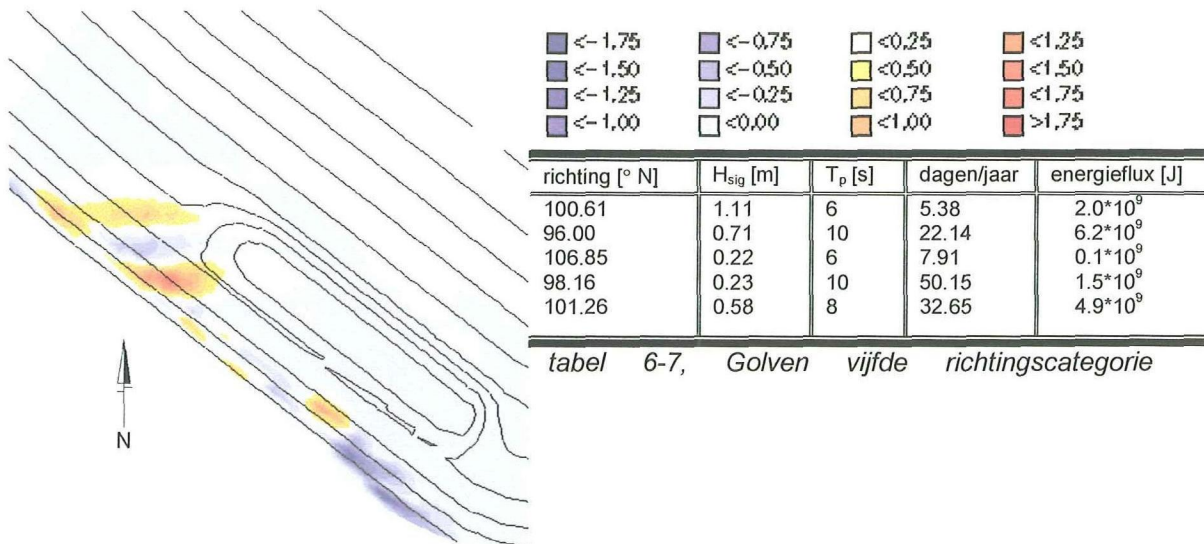


figuur 6-11, Invloed hoek van inval op het langstranport

Het langstransport heeft z'n maximum bij een hoek van inval rond de 45 graden. De golven die in deze berekening gebruikt zijn, maken een hoek met het noorden van ongeveer 90 graden. De kustlijn maakt een hoek met het noorden van ongeveer 40 graden waardoor de hoek van inval van de golven op plusminus 50 graden komt. In figuur 6-11 is te zien dat bij deze hoek van inval het langstransport dat op kan treden, z'n maximum bereikt. Samengevat wil dit dus zeggen dat als gevolg van de deining, het dwarstransport relatief groot is t.o.v. het langstransport, maar als gevolg van de optredende hoek van inval, van de golven, is die verhouding wel minimaal. In figuur 6-12 is dit schematisch weergegeven.



figuur 6-12, Verhouding dwars/langstransport als functie van hoek van inval



| richting [° N] | H_{sig} [m] | T_p [s] | dagen/jaar | energieflux [J] |
|----------------|---------------|-----------|------------|------------------|
| 100.61 | 1.11 | 6 | 5.38 | $2.0 \cdot 10^9$ |
| 96.00 | 0.71 | 10 | 22.14 | $6.2 \cdot 10^9$ |
| 106.85 | 0.22 | 6 | 7.91 | $0.1 \cdot 10^9$ |
| 98.16 | 0.23 | 10 | 50.15 | $1.5 \cdot 10^9$ |
| 101.26 | 0.58 | 8 | 32.65 | $4.9 \cdot 10^9$ |

tabel 6-7, Golven vijfde richtingscategorie

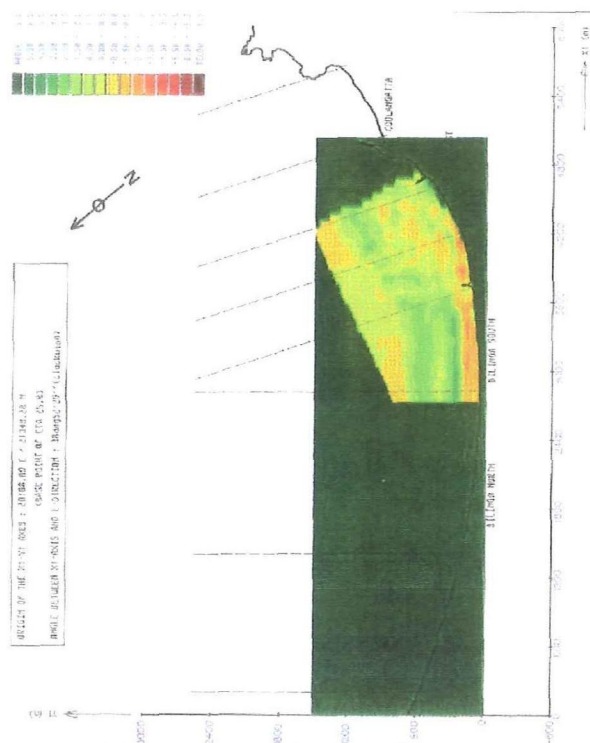
figuur 6-13, Resultaat t.o.v. figuur 6-10

Richtingscategorie vijf

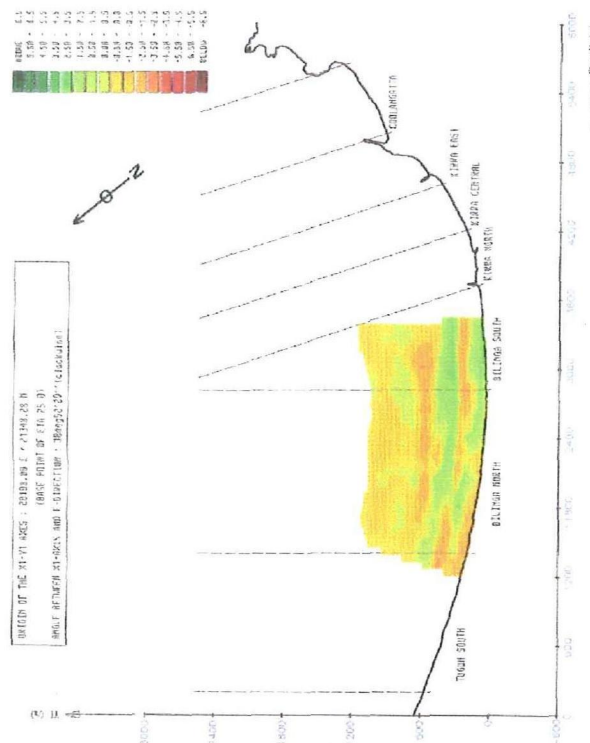
Voor deze categorie geldt eigenlijk hetzelfde als wat voor richtingscategorie twee geldt. De bodemverandering is ook bij deze berekening erg klein, waardoor geen harde conclusie getrokken kan worden. Toch is er wel te zien dat er stroomafwaarts van de oorspronkelijke suppletie een lichte vorm van sedimentatie opgetreden is. Hieruit kan de voorzichtige conclusie getrokken worden dat de invloed van het langtransport groter is dan van het dwarstransport. Dit beeld wordt bevestigd door het erosiepatroon. Er treedt vrijwel geen erosie ter hoogte van de suppletie op, vrijwel alle erosie gebeurt ten zuiden van de suppletie, te zien in de zuidoosthoek van de figuur. Het sediment dat neerslaat vindt zijn oorsprong logischerwijs in het gedeelte waar erosie optreedt. Met andere woorden het sediment dat ten zuidoosten erodeert, slaat noordwestelijk van het erosiegebied neer. Hieruit kan geconcludeerd worden dat het langtransport, in deze berekening, erg groot is ten opzichte van het dwarstransport. Gezien het relatief grote aandeel van de kortere golven in deze berekening, kan daaruit geconcludeerd worden dat de invloed van het langtransport t.o.v het dwarstransport relatief groter is voor de kortere golven.

6.3.2. Conclusie

Concluderend kan gesteld worden dat bij de simulatie met het gehele golfveld de algemene trend is, een verplaatsing van de suppletie zowel in dwarsrichting als in langsrichting. Dit is eveneens het beeld dat verkregen is in de werkelijke situatie bij de Gold Coast in Australië. Het beeld dat daar werkelijk opgetreden is, is weergegeven in figuur 6-14 en figuur 6-15 en bijlage C1 en C2



figuur 6-14, Aangebrachte suppletie



figuur 6-15, Bodemverandering na één jaar

Hierbij geeft de eerste figuur de bodemverandering weer tussen het moment direct voor het aanbrengen van de suppletie en het moment direct na aanbrengen van de suppletie. De tweede figuur geeft de bodemverandering weer tussen het moment direct na aanbrengen van de suppletie en één jaar later.

De oorzaak van de verplaatsing van de suppletie in langsricting lijkt uit twee componenten te bestaan.

- De optredende windgolven zorgen voor het nodige langstransport.
- De deining die uit het zuidoosten komt levert verhoudingsgewijs veel langstransport. Hiervoor is de hoek van inval erg gunstig.

Om de trend van de veranderingen die de suppletie ondergaat en de bijbehorende gevolgen zoals die bij de Gold Coast waargenomen zijn beter te simuleren, zal het model verbeterd moeten worden. Het vermoeden bestaat dat de erosie ter hoogte van Point Danger en iets westelijk daarvan, invloed heeft op het erosie en sedimentatie proces dat zich rondom de suppletie afspeelt. Dit zou betekenen dat wanneer dit niet in de simulatie zou voorkomen, het morfologisch gedrag van de suppletie beter gesimuleerd zou worden.

7. Conclusies

In dit hoofdstuk zullen de conclusies behandeld worden die naar aanleiding van dit onderzoek getrokken kunnen worden. Dit zal opgesplitst worden in de conclusies naar aanleiding van de berekeningen met het fictieve model en de conclusies naar aanleiding van de case-studie.

Fictief model gebonden conclusies

- De dwarstransporten zijn in geval van deining veel groter dan in geval van windgolven. Bovendien zijn deze dwarstransporten bij deining kustwaartsgericht, behalve direct benedenstrooms van de oorspronkelijke suppletie. De dwarstransporten bij windgolven zijn daarentegen wisselend kustwaarts en zeewaarts gericht.
- Het langstransport is voor deining en windgolven nagenoeg gelijk, maar in verhouding tot het dwarstransport is dit voor windgolven veel groter dan voor deining.
- Bij deining vindt een sterke afvlakking van de suppletie plaats, terwijl bij windgolven zich een zandbank vormt die lange tijd aanwezig blijft. De suppletie heeft bij deining een sterk tijdelijk karakter in tegenstelling tot windgolven.
- Bij deining vindt een verplaatsing van de kustlijn in zeewaartse richting plaats. Terwijl dit in geval van de windgolven zich niet tot nauwelijks voordoet.
- Stroomafwaarts van de oorspronkelijk suppletie is ook na langere simulatietijd bij deining geen invloed merkbaar van die suppletie. Dit in tegenstelling tot de simulatie met de windgolven waarbij deze invloed wel merkbaar is in de vorm van het ontstaan van een zandbank.
- De snelheid waarmee de vooroeversuppletie erodeert is voor deining veel groter dan voor windgolven.
- Een juiste beantwoording van de vraag of het toepassen van een vooroeversuppletie in een bepaalde situatie doeltreffend zal zijn, kan alleen gebeuren aan de hand van het beoogde doel van de vooroeversuppletie.
Voorbeeld 1:
Wanneer het doel van de vooroeversuppletie is het verminderen van de golfkrachten op de kust om daarmee de kustlijn te behouden, dan zal dit bij een kust die gedomineerd wordt door windgolven een nuttige oplossing zijn. Dit in tegenstelling tot een kust die gedomineerd wordt door deining. In het laatste geval is de vooroeversuppletie in korte tijd kustwaarts getransporteerd, waardoor er van de oorspronkelijke suppletie weinig tot niets over is.
Voorbeeld 2:
Wanneer het doel van de suppletie is het verbreden van het strand voor bijvoorbeeld recreatieve doeleinden, dan kan bij een kust, gedomineerd door deining, gebruik gemaakt worden van de deining. De suppletie wordt als vooroeversuppletie aangebracht waarna de deining dit zand kustwaarts transporteert. Op deze manier kan op goedkopere wijze een strandsuppletie uitgevoerd worden.

- Uit de verkregen resultaten van de simulaties die met Delft2D-MOR gedaan zijn kan geconcludeerd worden dat het heel goed mogelijk is met dit simulatieprogramma kleinschalige projecten te simuleren. Op deze manier zijn vooraf de gevolgen van de ingreep in te schatten en daarmee de onzekerheden en dus de risico's te verkleinen.

Case-studie gebonden conclusies

- De translatie van de vooroeversuppletie zoals deze in de jaren na constructie waargenomen is, is voor het deel loodrecht op de kust veroorzaakt door de deininggolven en de loodrecht invallende golven.
- Voor de translatie in langsrichting is de oorzaak deels gevonden in windgolven, maar ook in de deining. De hoek van inval van de deining ligt namelijk tussen de 45° en de 50°. Bij deze hoek van inval treedt maximaal mogelijke langstransport op.

8. Aanbevelingen

De modellen die voor dit onderzoek opgezet zijn, geven een benadering van de werkelijkheid. Hiervoor is gebruik gemaakt van een combinatie, van formules die de fysische werkelijkheid zo goed mogelijk beschrijven en locatie gebonden gegevens. De aanbevelingen zijn daarom opgesplitst in aanbevelingen met betrekking tot het model en aanbevelingen met betrekking tot noodzakelijk onderzoek.

Model gebonden aanbevelingen, algemeen

- De ijkfactoren zoals deze in dit onderzoek zijn afgesteld, zijn gebaseerd op de situatie die in Australië aan de Gold Coast geldt. Gebaseerd op een deining gedomineerde kust. De waarde die hiervoor gevonden zijn liggen vrij dicht in de buurt van de waarde die Nipius(1998) gevonden heeft bij een studie waarbij de Nederlandse kust (windgolf gedomineerd) als basis gebruikt is. Er wordt dan ook aanbevolen om bij een juiste afstelling van de ijkfactoren voor het dwarstransport uit te gaan van de conclusies van dat rapport.
- Op dit moment wordt de golf-asymmetrie als gevolg van de retourstroom niet gemodelleerd in Delft2D-MOR. Het modelleren van het dwarstransport met behulp van Bailard in Delft2D-MOR waarbij de retourstroom en de bijbehorende golf-asymmetrie wel meegenomen worden, kan tot nieuwe en eventueel andere inzichten leiden.
- Ditzelfde onderzoek zou ook eens gedaan moeten worden met het langstransport model van Van Rijn/Ribberink in combinatie met Bailard. Hierin wordt namelijk rekening gehouden met de tijdsafhankelijkheid van de snelheden in de orbitaalbewegingen en niet alleen met de amplitude en momenten van deze orbitaalsnelheid. Hierdoor kan een beter inzicht verkregen worden in de verhouding tussen het dwarstransport en het langstransport. Dit is interessant zowel op proces niveau als in een wat breder perspectief.

Model gebonden aanbevelingen, case-studie

- Bij het model dat opgezet is voor de case-studie is het getij niet opgenomen. Op deze locatie heeft het getij geen invloed op de stroming, echter het getij is wel een periodieke golf die een waterstandsverandering met zich meebrengt. Aangezien de waterstand van invloed is op de plaats van het breken van de golven, betekent dit een verschuiving van de brekerszone gedurende een getijcyclus. Voor dit onderzoek betekent dit, dat de plaats van breken van de golven niet noodzakelijkerwijs ter hoogte van de suppletie zal liggen. Het zou een verbetering van het model zijn om het getij wel hierin op te nemen.
- In dit model is eveneens gerekend met de dwarstransportformule van Bailard, hoofdstuk 4.2.1. Zoals in dit hoofdstuk te lezen is, bepaalt de verhouding tussen de ijkfactoren het te verkrijgen evenwichtsprofiel, echter de individuele grootte bepaalt de snelheid waarmee dit evenwichtsprofiel bereikt wordt. Om het model van de case-studie realistischer te maken verdient het aanbeveling een betere individuele afstelling van deze ijkfactoren te vinden.
- Het case-studiemodel bevat de eerder genoemde modelfout, figuur 6-5. Deze onvolkomenheid in het model heeft ongetwijfeld invloed op het gesimuleerde

gedrag van de suppletie. Met andere woorden wanneer deze fout niet in het model zou zitten, zal het eindresultaat van de morfologische verandering van de suppletie er anders uitzien dan dat het er nu uitziet. Om het gedrag beter te reconstrueren zullen alle rotspunten en kliffen die in de werkelijke situatie aanwezig zijn in het model opgenomen moeten worden.

Algemene aanbevelingen

- Het zou erg interessant zijn om ook de invloed van het spectrum, deiningsspectrum vs windgolfspectrum, op een vooroeversuppletie te onderzoeken.
- Het verdient aanbeveling dit onderzoek te combineren met een onderzoek waarbij gekeken wordt naar de dieptelijnen waarop de vooroeversuppletie aangebracht wordt.
- In dit onderzoek is de invloed van het getij niet meegenomen. De invloed van het getij manifesteert zich in een verandering van de waterstand en het mogelijk optreden van een getijstroom. De invloed van beide zijn interessant om op te nemen in een volgend onderzoek.

Literatuurlijst

- Ackers, P. & White, W.R.:
Journal of hydraulic division, vol 99, no HY11, p 2041-2060: Sediment transport: New approach and analysis.
- Battjes, J.A.:
Communications on hydraulic and geotechnical engineering: Energy dissipation in breaking solitary and periodic waves. Published 1986, written 1978.
- Battjes, J.A.
Dictaat: Korte golven
- Battjes, J.A. & Janssen, J.P.F.M.:
Proc. Of 16th Int. Conf. On Coastal Engineering: Energy loss and set-up due to braking of random waves.
- Bijker, E.W.:
Journal of the waterways harbors and coastal engineering division, vol 97, no WW4, p 687-701: Longshore transport computations.
- Birkemeier, W.A.:
Journal of Waterways, Port, Coastal and Ocean Engineering, vol 111, 1985, no 3, p 598-602: Field data on seaward limit of profile change
- Charlier, R.H. & De Meyer, C.P.
Coastal erosion, response and management
- Coastal engineering research center
Shore protection manual vol I, 1984
- Delft Hydraulics
Gold Coast, Queensland Australia; Final report vol II
- Delft2D-MOR MOR user manual
- Engelund, Frank and Hansen, Eggert:
A monograph on sediment transport in alluvial streams, teknisk forslag Copenhagen 1967
- Frijlink, H.C.:
Discussion of bedload movement formulas of Kalunské, Einstein and Meyer-Peter and Muller and their application to recent measurements of bedload movement in de rivers of Holland, June 1952
- Halbertsma, B.
Afstudeerrapport: Morfologisch gedrag van vooroeversuppleties
- HISWA user manual

- Houston, J.R.:
Journal of Waterways, Port, Coastal and Ocean Engineering, vol 122, 1996, no 3, p 143-146: Simplified Deab's method for beach-fill design.
- Meisner, E.
Afstudeerrapport: Gold Coast nearshore nourishments
- Ministerie van verkeer en waterstaat, Rijkswaterstaat:
Handboek strandsuppleties, 1988
- Ribberink, J.S.:
Coastal Engineering 34, 1998 p 59-82: Bed-load transport for steady flows and unsteady oscillatory flows
- Rijn van, L.C.
Principles of coastal morphology
- Roelvink, D. & Boutmy, A. & Stam J.M.
A simple method to predict long-term morpohological changes
- Sawaragi, T.:
Coastal engineering waves, beaches, wavestructure interaction
- Tucker, M.J.:
Waves in ocean engineering, 1991
- Velden van der, E.T.J.M.
Dictaat: Coastal engineering volume II
- www.ct.tudelft.nl/wbk/public/mor-valid

Figurenlijst

| | |
|---|------|
| figuur 1-1, Gold Coast, Australië | 1-9 |
| figuur 1-2, Aangebrachte suppletie..... | 1-10 |
| figuur 1-3, Erosie sedimentatie na 1 jaar | 1-10 |
| figuur 3-1, migratie gedrag | 3-15 |
| figuur 3-2, Stroombeeld bij een suppletie (initieel)..... | 3-16 |
| figuur 3-3, boomstructuur | 3-18 |
| figuur 3-4, Schematisatie rekenproces | 3-19 |
| figuur 3-5, Controle door MAIN module..... | 3-19 |
| figuur 3-6, Rechthoekig rekengrid..... | 3-22 |
| figuur 4-1, Golfasymmetrie door asymmetrische orbitaal beweging..... | 4-31 |
| figuur 4-2, Golfasymmetrie door netto stroom | 4-32 |
| figuur 4-3, Tweede orde Stokes golf theorie..... | 4-33 |
| figuur 5-1, Doorsnede evenwichtsprofiel $H_{sig} = 1.66m$ en $T_p = 10s$ | 5-41 |
| figuur 5-2, Doorsnede controle berekening $H_{sig} = 1.66m$ en $T_p = 5s$ | 5-42 |
| figuur 5-3, Dempingsfactor alfa | 5-43 |
| figuur 5-4, Tijdstappen | 5-44 |
| figuur 5-5, Courant getallen..... | 5-45 |
| figuur 5-6, Doorsneden & meetvakken | 5-46 |
| figuur 5-7, Dwarsdoorsnede B, deining | 5-47 |
| figuur 5-8, Dwarsdoorsnede B, windgolven Energieflux vergelijking | 5-48 |
| figuur 5-9, Dwarsdoorsnede B, windgolven Tijdsvergelijking | 5-48 |
| figuur 5-10, Dwarsdoorsnede D, deining | 5-49 |
| figuur 5-11, Dwarsdoorsnede D, windgolven Energieflux vergelijking..... | 5-49 |
| figuur 5-12, Dwarsdoorsnede D, Windgolven Tijdsvergelijking | 5-50 |
| figuur 5-13, Dwarsdoorsnede C, deining | 5-51 |
| figuur 5-14, Dwarsdoorsnede C, windgolven, Energieflux vergelijking..... | 5-51 |
| figuur 5-15, Dwarsdoorsnede C, Windgolven, Tijdsvergelijking | 5-52 |
| figuur 5-16, Dwarsdoorsnede E, deining | 5-53 |
| figuur 5-17, Dwarsdoorsnede E, windgolven, Energieflux vergelijking | 5-53 |
| figuur 5-18, Dwarsdoorsnede E, Windgolven, Tijdsvergelijking | 5-54 |
| figuur 5-19, Langsdoorsnede n=16, deining | 5-55 |
| figuur 5-20, Langsdoorsnede n=16, windgolven, Energieflux vergelijking..... | 5-55 |
| figuur 5-21, Langsdoorsnede n=16, windgolven, Tijdsvergelijking..... | 5-56 |
| figuur 5-22, Zandvolumes meetvakken, 1/2 jaar..... | 5-57 |
| figuur 5-23, Sedimentatie/erosie meetgebied A..... | 5-58 |
| figuur 5-24, Sedimentatie/erosie meetgebied B..... | 5-59 |
| figuur 5-25, Sedimentatie/erosie meetgebied C..... | 5-60 |
| figuur 5-26, Sedimentatie/erosie meetgebied D..... | 5-61 |
| figuur 5-27, Sedimentatie/erosie meetgebied Suppletie | 5-61 |
| figuur 5-28, Langstransport, deining..... | 5-62 |
| figuur 5-29, Langstransport, windgolven | 5-62 |
| figuur 5-30, Dwarstransport, deining | 5-63 |
| figuur 5-31, Dwarstransport, windgolven | 5-64 |
| figuur 5-32, Bodemtransport deining | 5-65 |
| figuur 5-33, Bodemtransport windgolven | 5-65 |
| figuur 5-34, Neer, stoomsnelheden, deining | 5-66 |
| figuur 5-35, Neer, stroomsnelheden, windgolven | 5-67 |
| figuur 6-1, migratie gedrag | 6-70 |
| figuur 6-2, Point Danger | 6-70 |

| | |
|--|------|
| figuur 6-3, Kromlijng rekengrid | 6-71 |
| figuur 6-4, Suppletie | 6-74 |
| figuur 6-5, Model fout | 6-75 |
| figuur 6-6, Sedimentatie en erosie patroon | 6-75 |
| figuur 6-7, Resultaat t.o.v. initieel | 6-76 |
| figuur 6-8, Resultaat t.o.v. figuur 6-7 | 6-77 |
| figuur 6-9, Resultaat t.o.v. figuur 6-8 | 6-77 |
| figuur 6-10, Resultaat t.o.v. figuur 6-9 | 6-78 |
| figuur 6-11, Invloed hoek van inval op het langstranport | 6-79 |
| figuur 6-12, Verhouding dwars/langstranport als functie van hoek van inval | 6-79 |
| figuur 6-13, Resultaat t.o.v. figuur 6-10 | 6-80 |
| figuur 6-14, Aangebrachte suppletie | 6-81 |
| figuur 6-15, Bodemverandering na één jaar | 6-81 |

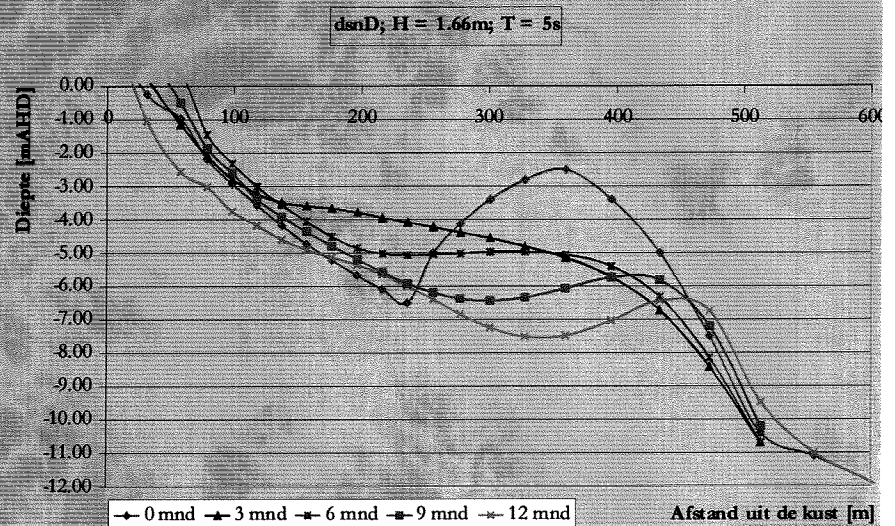
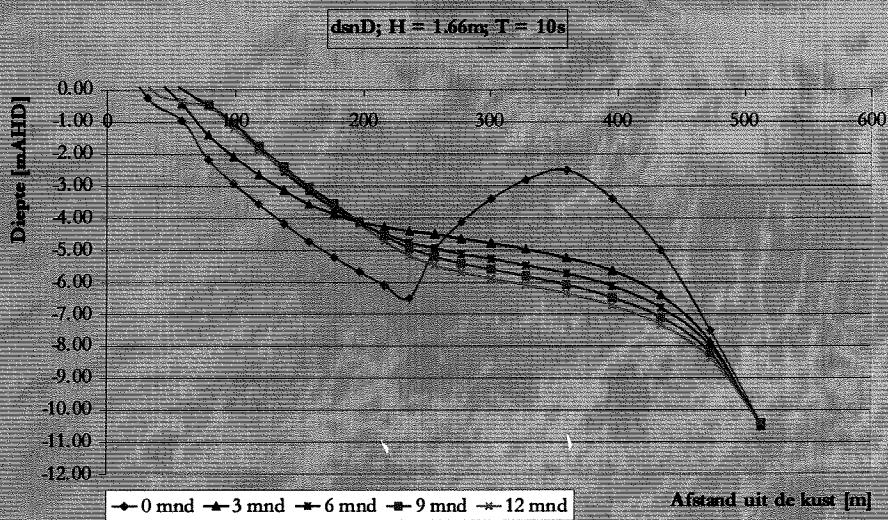
Tabellenlijst

| | |
|--|------|
| tabel 3-1, Survey data | 3-23 |
| tabel 3-2, Detail gegevens bodem (E. Meisner, 1991) | 3-23 |
| tabel 4-1, Deining | 4-36 |
| tabel 4-2, golven gebruikt in vergelijkingsonderzoek. | 4-37 |
| tabel 5-1, Berekeningen bepaling facA en epsl | 5-41 |
| tabel 5-2, berekeningen | 5-46 |
| tabel 6-1, Volgorde golven | 6-73 |
| tabel 6-2, Golven eerste richtingscategorïe | 6-76 |
| tabel 6-3, Golven eerste richtingscategorïe | 6-76 |
| tabel 6-4, Golven tweede richtingscategorïe | 6-77 |
| tabel 6-5, Golven derde richtingscategorïe | 6-77 |
| tabel 6-6, Golven vierde richtingscategorïe | 6-78 |
| tabel 6-7, Golven vijfde richtingscategorïe | 6-80 |

Vooroeversuppleties onder deining en windgolven

Toegepast op de Gold Coast, Queensland Australië

Bijlagen



Titelpagina

Titel : Vooroeversuppletie onder deining en windgolven

Subtitel : Bijlage afstudeerverslag

Opleiding : Technische Universiteit Delft, faculteit civiele techniek
en geowetenschappen, afdeling kustwaterbouwkunde

Bedrijf : Hollandsche Aannemings Maatschappij
Bagger- en waterbouwkundige werken

Afdeling : Engineering & Research

Begeleiders : Prof. ir. K. d'Angremond
dr. ir. J.A. Roelvink
ir. G.L.M. van der Schrieck
ir. G. Klopman
ir. J. Brakel

Student : T.A. Joustra

Inhoudsopgave bijlage

Bijlage Hoofdstuk 3

| | |
|---|----|
| Bijlage C1, Werkelijke suppletie november 1988 Gold Coast, Queensland Australië | 5 |
| Bijlage C2, November 1989 Gold Coast, Queensland Australië | 6 |
| Bijlage C3, Rekengrid fictieve model | 7 |
| Bijlage C4, Kirra surveylijnen | 8 |
| Bijlage C5, Tabel surveydata | 9 |
| Bijlage C6, Assenstelsel | 10 |

Bijlage Hoofdstuk 5

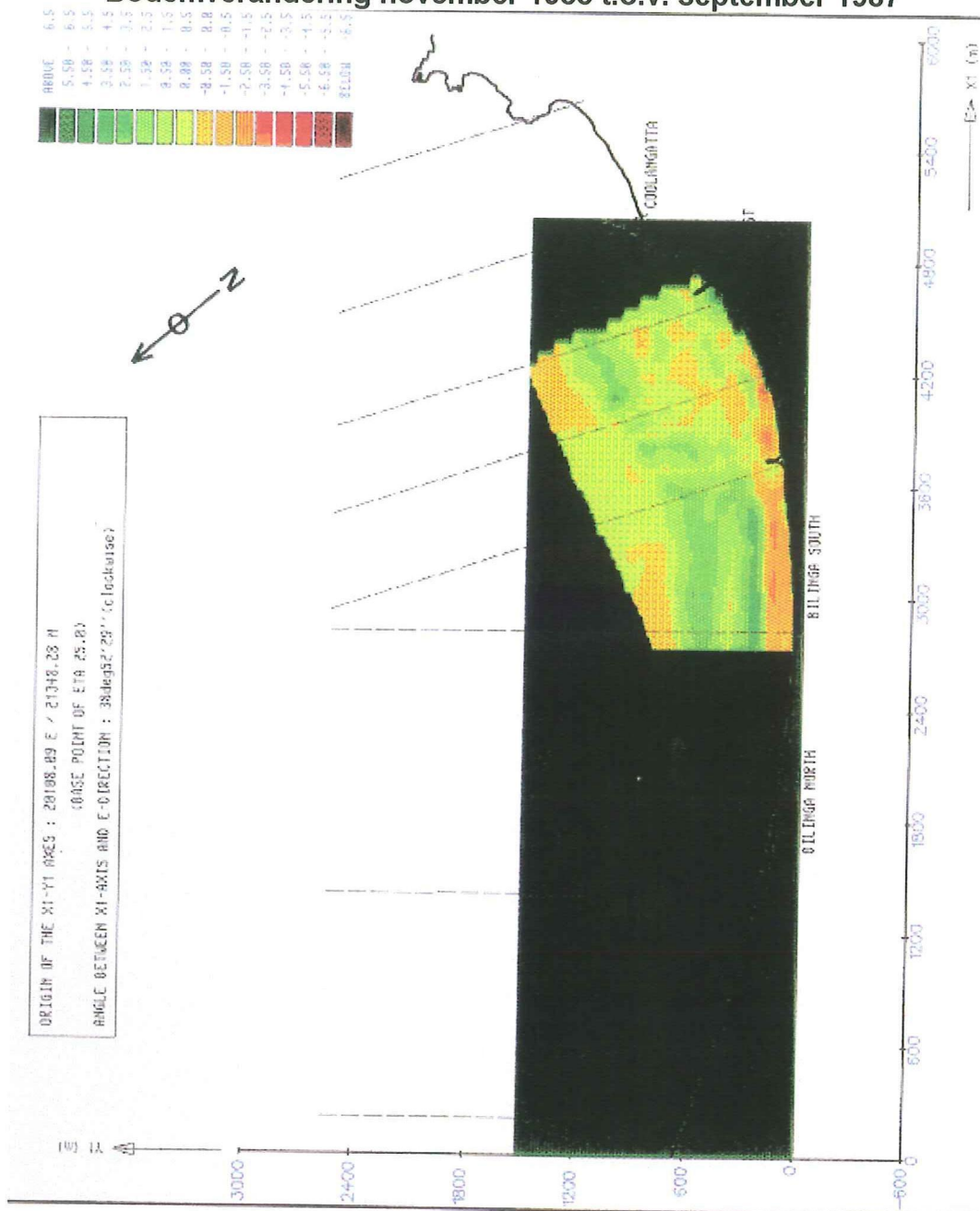
| | |
|--|----|
| Bijlage E1, Bepaling ijkfactoren $facA=1$ en $epsI=0.30$ | 12 |
| Bijlage E2, Bepaling ijkfactoren $facA=1$ en $epsI=0.40$ | 12 |
| Bijlage E3, Bepaling ijkfactoren $facA=1$ en $epsI=0.50$ | 13 |
| Bijlage E4, Bepaling ijkfactoren $facA=1$ en $epsI=0.60$ | 13 |
| Bijlage E5, Bepaling ijkfactoren $facA=0.1$ en $epsI=0.15$ | 14 |
| Bijlage E6, Bepaling ijkfactoren $facA=0.20$ en $epsI=0.15$ | 14 |
| Bijlage E7, Bepaling ijkfactoren $facA=0.30$ en $epsI=0.15$ | 15 |
| Bijlage E8, Bepaling ijkfactoren $facA=0.40$ en $epsI=0.15$ | 15 |
| Bijlage E9, Bepaling ijkfactoren $facA=0.70$ en $epsI=0.15$ | 16 |
| Bijlage E10, Evenwichtsprofiel $facA=0.50$ en $epsI=0.15$ | 17 |
| Bijlage E11, Evenwichtsprofiel $H_{sig} = 1.66m$ $T_p = 5s$ | 17 |
| Bijlage E12, Evenwichtsprofiel $H_{sig} = 1.99m$ $T_p = 10s$ | 18 |
| Bijlage E13, Evenwichtsprofiel $H_{sig} = 1.99m$ $T_p = 5s$ | 18 |
| Bijlage E14, Alfa | 19 |
| Bijlage E15, Tijdstappen | 19 |
| Bijlage E16, Courant getal (TRSSUS) | 20 |
| Bijlage E17, Doorsneden & Meetvakken | 20 |
| Bijlage E18a, Dwarsdoorsneden A ($H_{sig} = 1.66m$), deining | 21 |
| Bijlage E18b, Dwarsdoorsneden A ($H_{sig} = 1.66m$), windgolven, Energieflux | 21 |
| Bijlage E18c, Dwarsdoorsneden A ($H_{sig} = 1.66m$), windgolven, Tijd | 22 |
| Bijlage E19a, Dwarsdoorsneden A ($H_{sig} = 1.99m$), deining | 23 |
| Bijlage E19b, Dwarsdoorsneden A ($H_{sig} = 1.99m$), windgolven, Energieflux | 23 |
| Bijlage E19c, Dwarsdoorsneden A ($H_{sig} = 1.99m$), windgolven, Tijd | 24 |
| Bijlage E20a, Dwarsdoorsneden B ($H_{sig} = 1.66m$), deining | 25 |
| Bijlage E20b, Dwarsdoorsneden B ($H_{sig} = 1.66m$), windgolven, Energieflux | 25 |
| Bijlage E20c, Dwarsdoorsneden B ($H_{sig} = 1.66m$), windgolven, Tijd | 26 |
| Bijlage E21a, Dwarsdoorsneden B ($H_{sig} = 1.99m$), deining | 27 |
| Bijlage E21b, Dwarsdoorsneden B ($H_{sig} = 1.99m$), windgolven, Energieflux | 27 |
| Bijlage E21c, Dwarsdoorsneden B ($H_{sig} = 1.99m$), windgolven, Tijd | 28 |
| Bijlage E22a, Dwarsdoorsneden C ($H_{sig} = 1.66m$), deining | 29 |
| Bijlage E22b, Dwarsdoorsneden C ($H_{sig} = 1.66m$), windgolven, Energieflux | 29 |
| Bijlage E22c, Dwarsdoorsneden C ($H_{sig} = 1.66m$), windgolven, Tijd | 30 |
| Bijlage E23a, Dwarsdoorsneden C ($H_{sig} = 1.99m$), deining | 31 |
| Bijlage E23b, Dwarsdoorsneden C ($H_{sig} = 1.99m$), windgolven, Energieflux | 31 |
| Bijlage E23c, Dwarsdoorsneden C ($H_{sig} = 1.99m$), windgolven, Tijd | 32 |
| Bijlage E24a, Dwarsdoorsnede D ($H_{sig} = 1.66m$), deining | 33 |
| Bijlage E24b, Dwarsdoorsnede D ($H_{sig} = 1.66m$), windgolven, Energieflux | 33 |
| Bijlage E24c, Dwarsdoorsnede D ($H_{sig} = 1.66m$), windgolven, Tijd | 34 |
| Bijlage E25a, Dwarsdoorsnede D ($H_{sig} = 1.99m$), deining | 35 |
| Bijlage E25b, Dwarsdoorsnede D ($H_{sig} = 1.99m$), windgolven, Energieflux | 35 |

| | |
|--|----|
| Bijlage E25c,Dwarsdoorsnede D ($H_{sig} = 1.99m$), windgolven, Tijd | 36 |
| Bijlage E26a,Doorsnede E ($H_{sig} = 1.66m$), deining | 37 |
| Bijlage E26b,Dwarsdoorsnede E ($H_{sig} = 1.66m$), windgolven, Energieflux | 37 |
| Bijlage E26cDwarsdoorsnede E ($H_{sig} = 1.66m$), windgolven, Tijd..... | 38 |
| Bijlage E27a,Dwarsdoorsnede E ($H_{sig} = 1.99m$), deining | 39 |
| Bijlage E27b,Dwarsdoorsnede E ($H_{sig} = 1.99m$), windgolven, Energieflux | 39 |
| Bijlage E27c,Dwarsdoorsnede E ($H_{sig} = 1.99m$), windgolven, Tijd..... | 40 |
| Bijlage E28a,Dwarsdoorsnede F ($H_{sig} = 1.66m$), deining..... | 41 |
| Bijlage E28b,Dwarsdoorsnede F ($H_{sig} = 1.66m$), windgolven, Energieflux | 41 |
| Bijlage E28c,Dwarsdoorsnede F ($H_{sig} = 1.66m$), windgolven, Tijd | 42 |
| Bijlage E29a,Dwarsdoorsnede F ($H_{sig} = 1.99m$), deining..... | 43 |
| Bijlage E29b,Dwarsdoorsnede F ($H_{sig} = 1.99m$), windgolven, Energieflux | 43 |
| Bijlage E29cDwarsdoorsnede F ($H_{sig} = 1.99m$), windgolven, Tijd..... | 44 |
| Bijlage E30aDwarsdoorsnede G ($H_{sig} = 1.66m$), deining | 45 |
| Bijlage E30b,Dwarsdoorsnede G ($H_{sig} = 1.66m$), windgolven, Energieflux..... | 45 |
| Bijlage E30c,Dwarsdoorsnede G ($H_{sig} = 1.66m$), windgolven, Tijd | 46 |
| Bijlage E31a,Dwarsdoorsnede G ($H_{sig} = 1.99m$), deining | 47 |
| Bijlage E31b,Dwarsdoorsnede G ($H_{sig} = 1.99m$), windgolven, Energieflux..... | 47 |
| Bijlage E31c,Dwarsdoorsnede G ($H_{sig} = 1.99m$), windgolven, Tijd | 48 |
| Bijlage E32a,Langsdoorsnede $n = 12$, $H_{sig} = 1.66m$, deining | 49 |
| Bijlage E32b,Langsdoorsnede $n = 12$, $H_{sig} = 1.66m$, windgolven, Energieflux | 49 |
| Bijlage E32c,Langsdoorsnede $n = 12$, $H_{sig} = 1.66m$, windgolven, Tijd | 50 |
| Bijlage E33a,Langsdoorsnede $n = 12$, $H_{sig} = 1.99m$, deining | 51 |
| Bijlage E33b,Langsdoorsnede $n = 12$, $H_{sig} = 1.99m$ windgolven, Energieflux | 51 |
| Bijlage E33c,Langsdoorsnede $n = 12$, $H_{sig} = 1.99m$, windgolven, Tijd | 52 |
| Bijlage E34a,Langsdoorsnede $n = 16$, $H_{sig} = 1.66m$, deining | 53 |
| Bijlage E34b,Langsdoorsnede $n = 16$, $H_{sig} = 1.66m$, windgolven, Energieflux | 53 |
| Bijlage E34c,Langsdoorsnede $n = 16$, $H_{sig} = 1.66m$, windgolven, Tijd | 54 |
| Bijlage E35a,Langsdoorsnede $n = 16$, $H_{sig} = 1.99m$, deining | 55 |
| Bijlage E35b,Langsdoorsnede $n = 16$, $H_{sig} = 1.99m$ windgolven, Energieflux | 55 |
| Bijlage E35c,Langsdoorsnede $n = 16$, $H_{sig} = 1.99m$, windgolven, Tijd | 56 |
| Bijlage E36a,Langsdoorsnede $n = 21$, $H_{sig} = 1.66m$, deining | 57 |
| Bijlage E36b,Langsdoorsnede $n = 21$, $H_{sig} = 1.66m$, windgolven, Energieflux | 57 |
| Bijlage E36c,Langsdoorsnede $n = 21$, $H_{sig} = 1.66m$, windgolven, Tijd | 58 |
| Bijlage E37a,Langsdoorsnede $n = 21$, $H_{sig} = 1.99m$, deining | 59 |
| Bijlage E37b,Langsdoorsnede $n = 21$, $H_{sig} = 1.99m$ windgolven, Energieflux | 59 |
| Bijlage E37c,Langsdoorsnede $n = 21$, $H_{sig} = 1.99m$, windgolven, Tijd | 60 |
| Bijlage E38,Staafdiagram zandvolumes meetgebieden, ½ jaar | 61 |
| Bijlage E39,Volume toename/afname meetgebied A..... | 61 |
| Bijlage E40,Volume toename/afname meetgebied B..... | 62 |
| Bijlage E41,Volume toename/afname meetgebied C..... | 62 |
| Bijlage E42,Volume toename/afname meetgebied D..... | 63 |
| Bijlage E43,Volume toename/afname meetgebied suppletie | 63 |
| Bijlage E44a,Langstransport deining ($H_{sig} = 1.66m$)..... | 64 |
| Bijlage E44b,Langstransport windgolven ($H_{sig} = 1.66m$)..... | 64 |
| Bijlage E45a,Dwarstransport deining ($H_{sig} = 1.66m$)..... | 65 |
| Bijlage E45b,Dwarstransport windgolven ($H_{sig} = 1.66m$) | 65 |
| Bijlage E46a,Bodemtransport deining ($H_{sig} = 1.66m$) | 66 |
| Bijlage E46b,Bodemtransport windgolven ($H_{sig} = 1.66m$) | 67 |

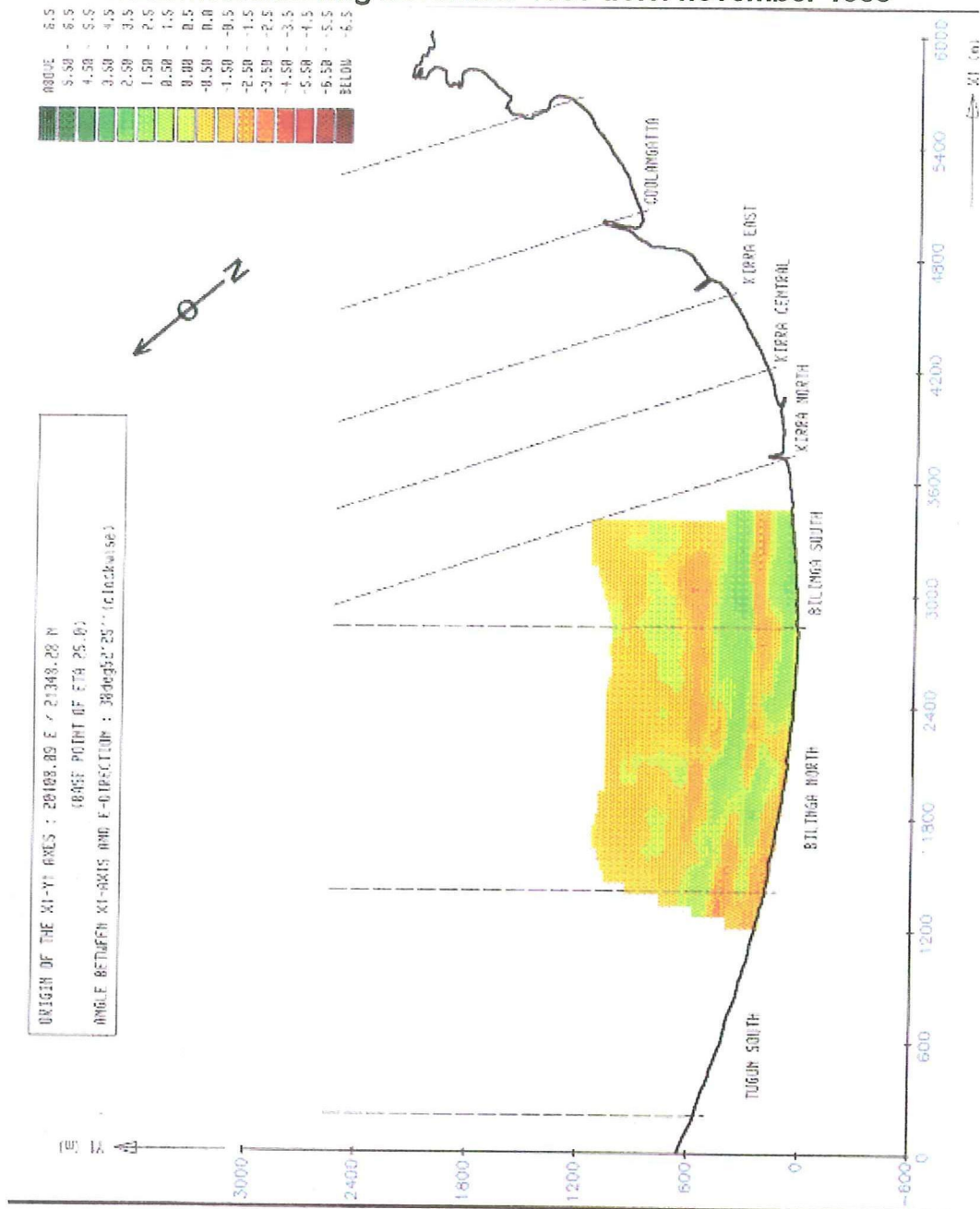
Bijlage Hoofdstuk 6

| | |
|--|----|
| Bijlage F1, Kromlijng rekengrid | 68 |
| Bijlage F2, Simulatiemodel Gold Coast, initiële diepte | 69 |
| Bijlage F3, Simulatiemodel Gold Coast, diepte na 1 jaar simulatie | 69 |
| Bijlage F4, Sedimentatie/Erosie patroon na gehele simulatie (1 jaar) | 70 |
| Bijlage F5, Sedimentatie/Erosie patroon t.o.v. initieel na berekening tabel | 71 |
| Bijlage F6, Sedimentatie/Erosie patroon t.o.v. eind situatie bijlage F5, na berekening tabel | 72 |
| Bijlage F7, Sedimentatie/Erosie patroon t.o.v. eind situatie bijlage F6, na berekening tabel | 73 |
| Bijlage F8, Sedimentatie/Erosie patroon t.o.v. eind situatie bijlage F7, na berekening tabel | 74 |
| Bijlage F9, Sedimentatie/Erosie patroon t.o.v. eind situatie bijlage F8, na berekening tabel | 75 |

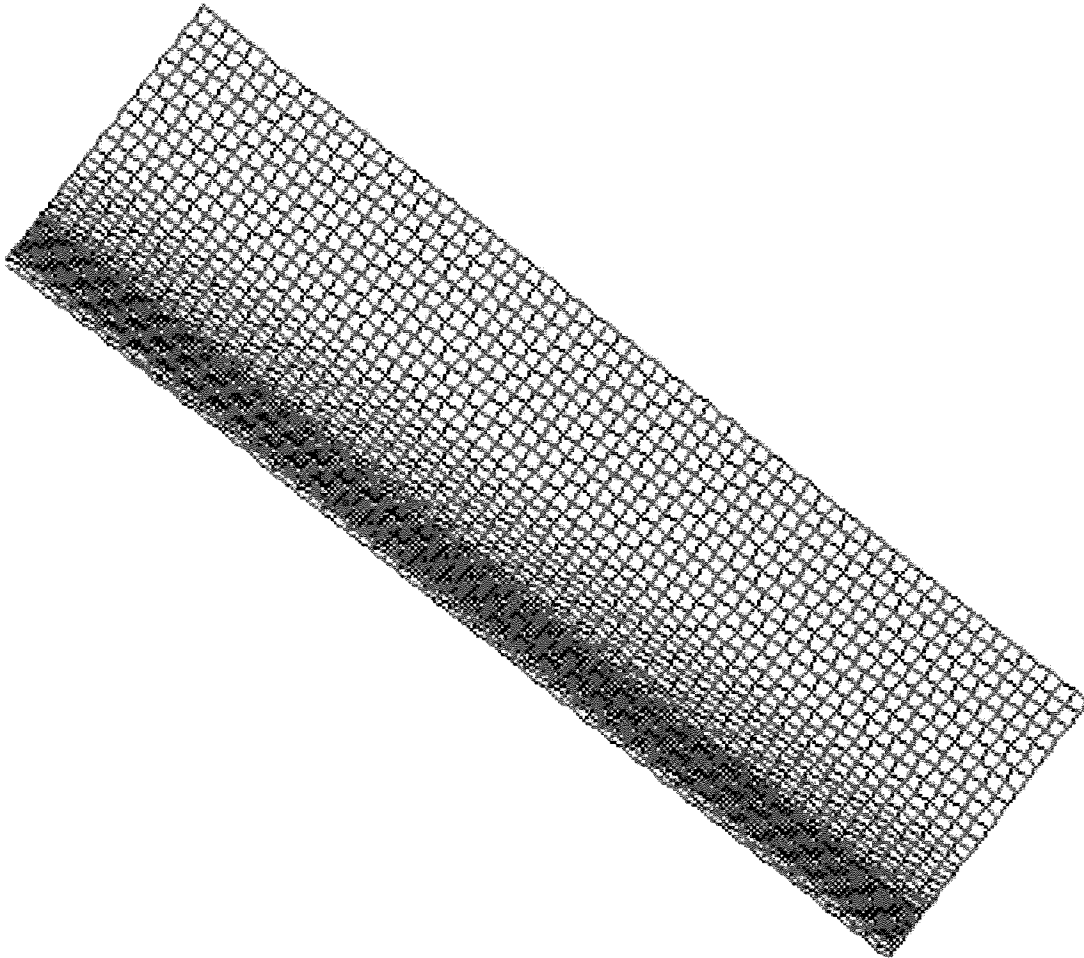
**Bijlage C1, Werkelijke suppletie november 1988 Gold Coast, Queensland Australië
Bodemverandering november 1988 t.o.v. september 1987**



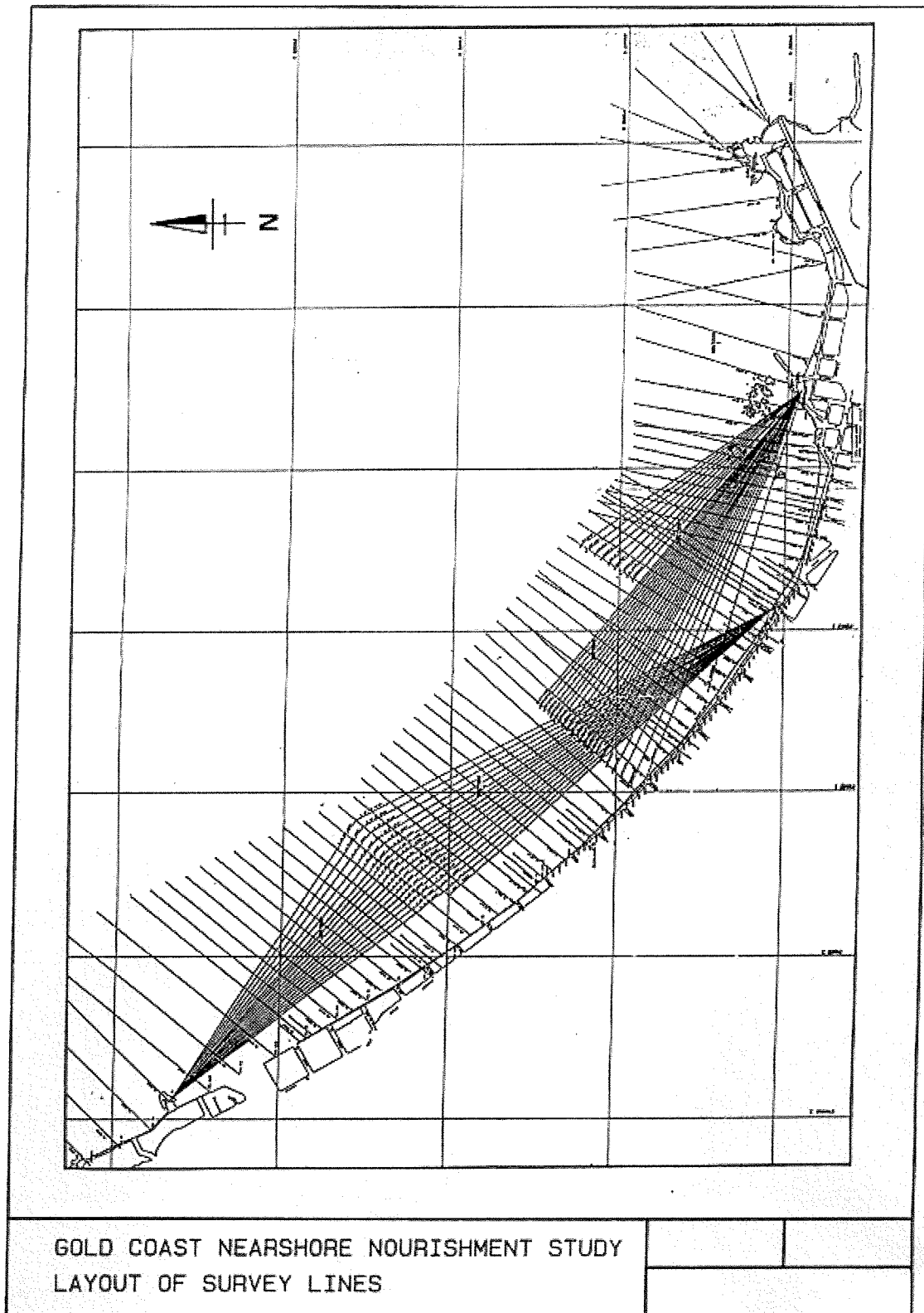
**Bijlage C2, November 1989 Gold Coast, Queensland Australië
Bodemverandering november 1989 t.o.v. november 1988**



Bijlage C3,,Rekengrid fictieve model



Bijlage C4, Kirra surveylijnen



Bijlage C6, Assenstelsel

Om het maken van diepte files mogelijk te maken, moeten de gemeten data geïnterpoleerd worden naar een regelmatig assenstelsel. Dit grid moet het volledige studiegebied bedekken.

Er is voor gekozen om de oorsprong van surveylijn Eta25.0 ook te gebruiken als oorsprong voor het nieuwe assenstelsel. De surveylijn Eta25.0 valt samen met de nieuwe y-as (positief in zeewaartse richting). De nieuwe x-as staat loodrecht op de y-as en heeft z'n positieve richting, richting Point Danger.

De surveydata waren allen gegeven in het GCCC coördinaten stelsel (E, N coördinaten) t.o.v. de oorsprong van de betreffende surveylijn (D) en z'n hoek met het noorden (β). Hiermee kan elk punt in de dataset bepaald worden met:

$$E(i) = E(base) + \sin(\beta) \cdot D(i)$$

$$N(i) = N(base) + \cos(\beta) \cdot D(i)$$

De oorsprong van surveylijn Eta25.0 (E_0, N_0), is (20108.09, 21348.28) en maakt een hoek met het noorden van 38.8747° ($=0.6784919$ rad). In het nieuwe assenstelsel moeten de coördinaten van de datapunten hieraan gerelateerd worden. Een punt met de coördinaten $E(i), N(i)$ krijgt in zijn nieuwe assenstelsel de coördinaten $X(i), Y(i)$. Dit gebeurt op onderstaande wijze:

$$X(i) = X'(i) \cdot \cos(\alpha) - Y'(i) \cdot \sin(\alpha)$$

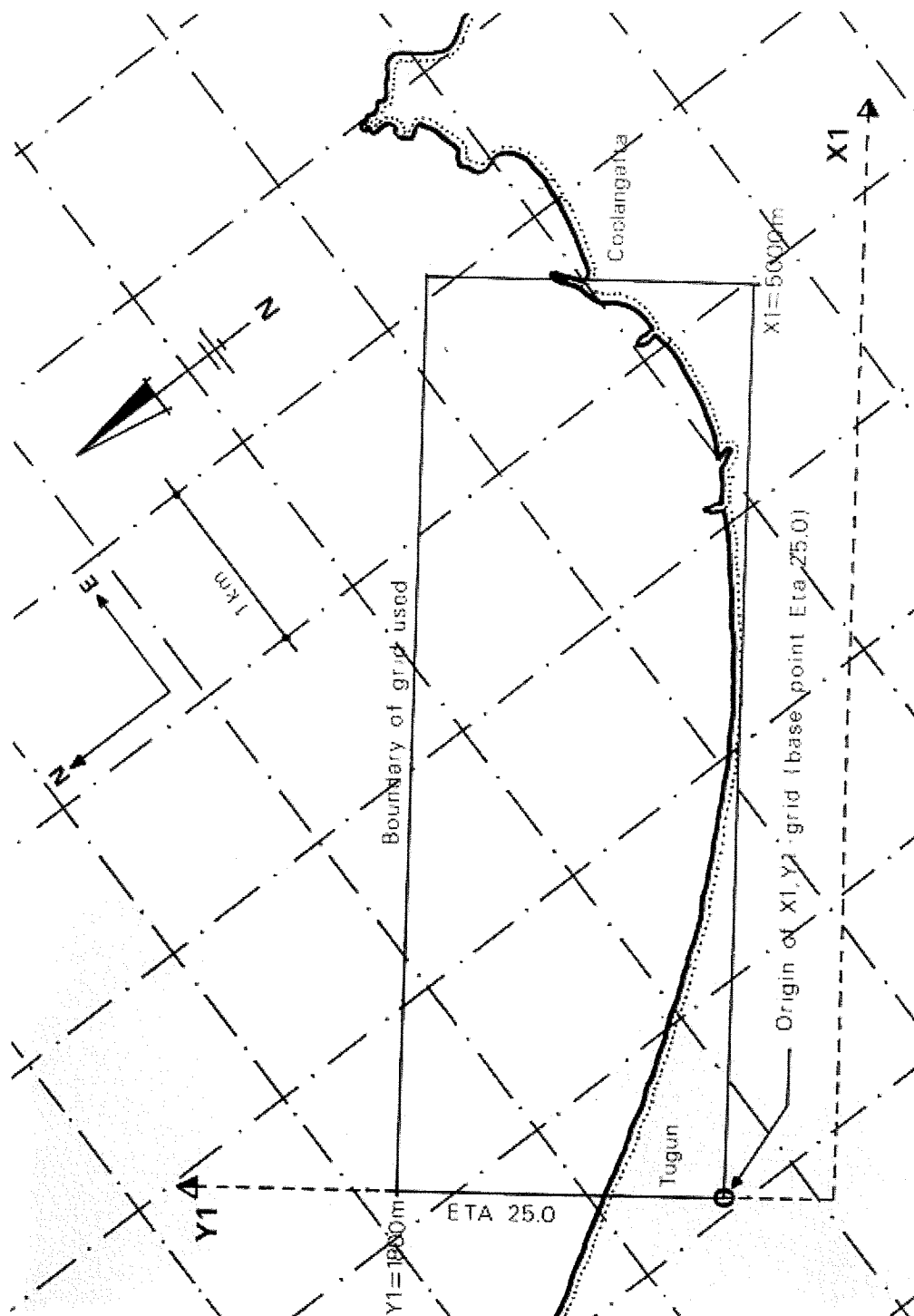
$$Y(i) = X'(i) \cdot \sin(\alpha) + Y'(i) \cdot \cos(\alpha)$$

Waarin :

$$X'(i) = E(i) - E_0$$

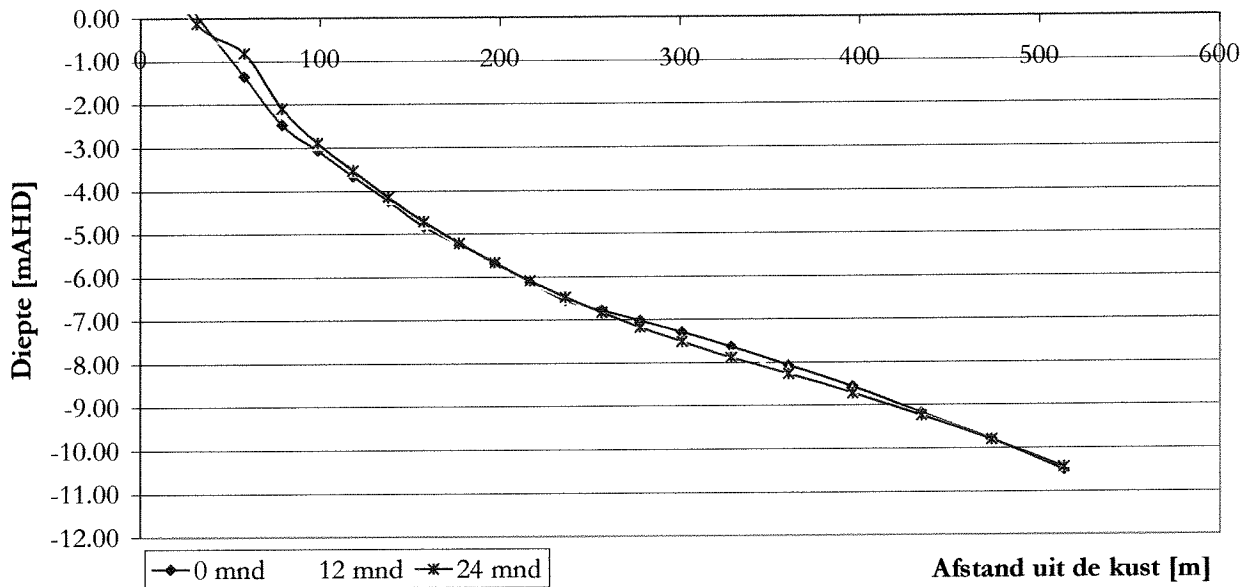
$$Y'(i) = N(i) - N_0$$

Met behulp van enkele EXCEL-sheets zijn de data-punten omgerekend naar het nieuwe assenstelsel. Deze nieuwe coördinaten kunnen vervolgen direct in Delft2D-MOR gebruikt worden.



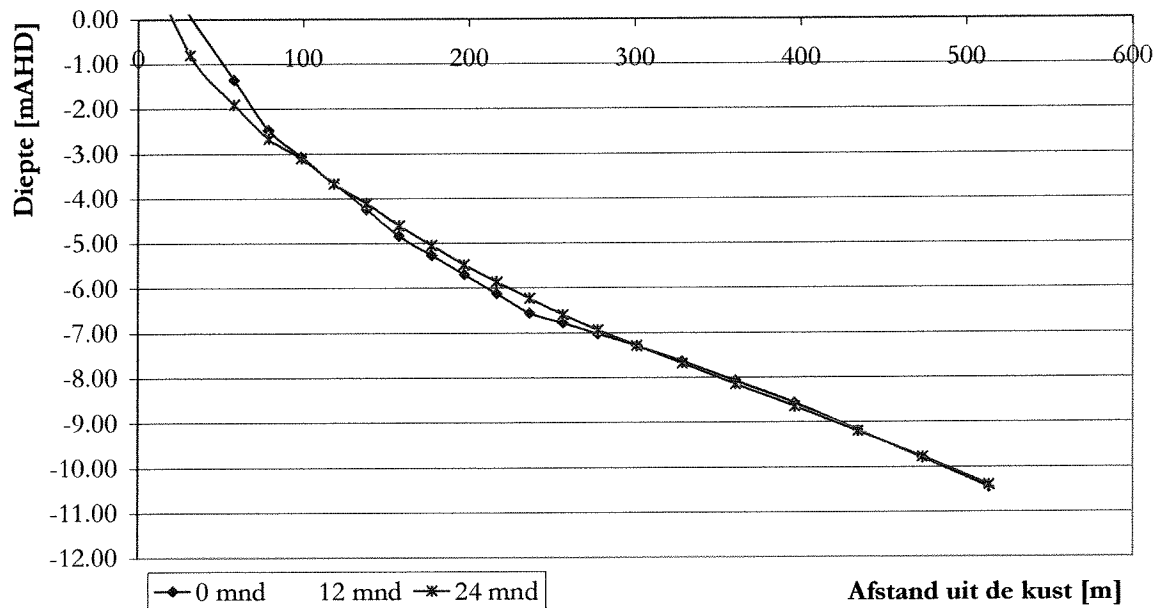
Bijlage E1, Bepaling ijkfactoren $facA=1$ en $eps1=0.30$
 ($H_{sig} = 1.66m$ $T_p = 10s$)

$facA = 1; eps1 = 0.30$



Bijlage E2, Bepaling ijkfactoren $facA=1$ en $eps1=0.40$
 $H_{sig} = 1.66m$ $T_p = 10s$

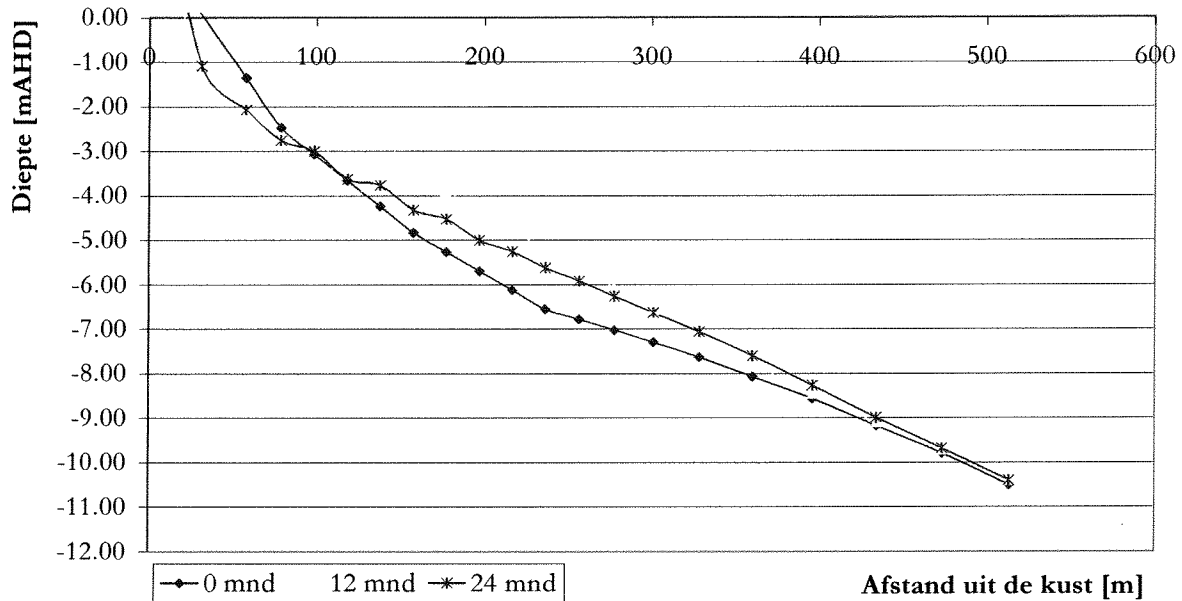
$facA = 1; eps1 = 0.40$



Bijlage E3, Bepaling ijkfactoren facA=1 en epsl=0.50

$H_{sig} = 1.66m$ $T_p = 10s$

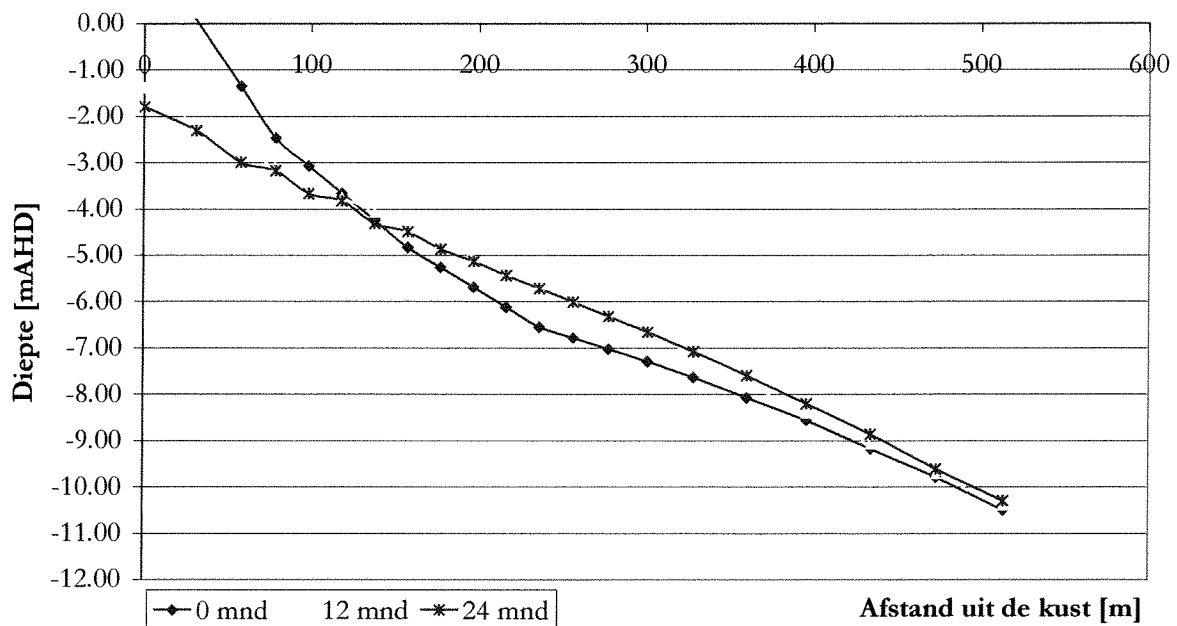
facA = 1; epsl = 0.50



Bijlage E4, Bepaling ijkfactoren facA=1 en epsl=0.60

$H_{sig} = 1.66m$ $T_p = 10s$

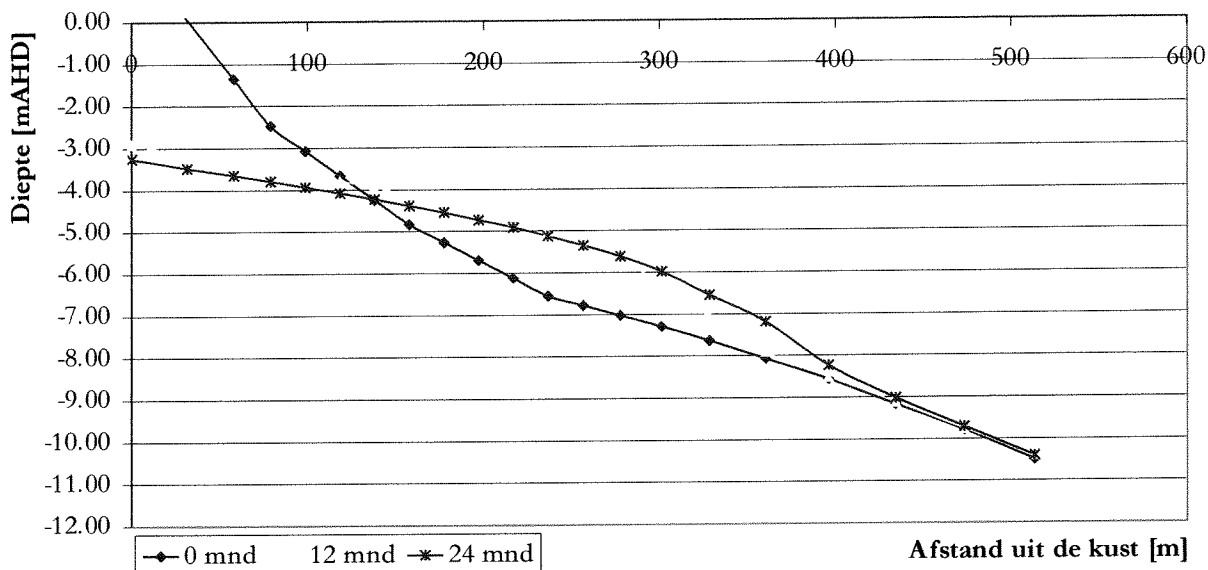
facA = 1; epsl = 0.60



Bijlage E5, Bepaling ijkfactoren $facA=0.1$ en $epsI=0.15$

$H_{sig} = 1.66m$ $T_p = 10s$

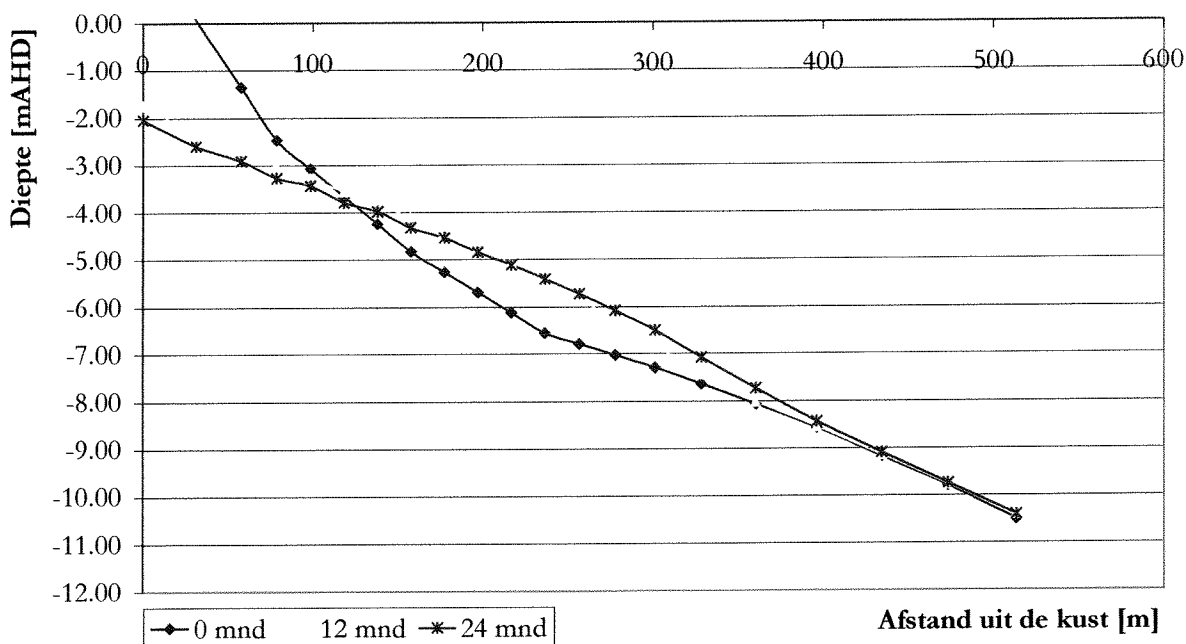
$epsI = 0.15$; $facA = 0.1$



Bijlage E6 Bepaling ijkfactoren $facA=0.20$ en $epsI=0.15$

$H_{sig} = 1.66m$ $T_p = 10s$

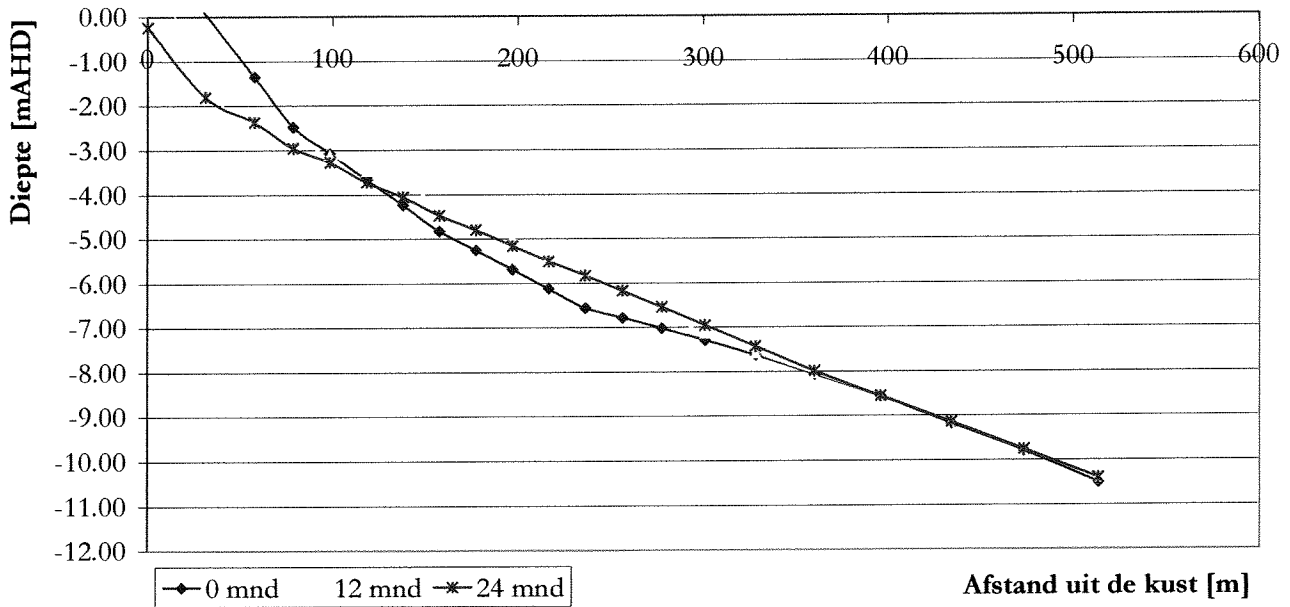
$epsI = 0.15$; $facA = 0.20$



Bijlage E7, Bepaling ijkfactoren $facA=0.30$ en $epsI=0.15$

$H_{sig} = 1.66m$ $T_p = 10s$

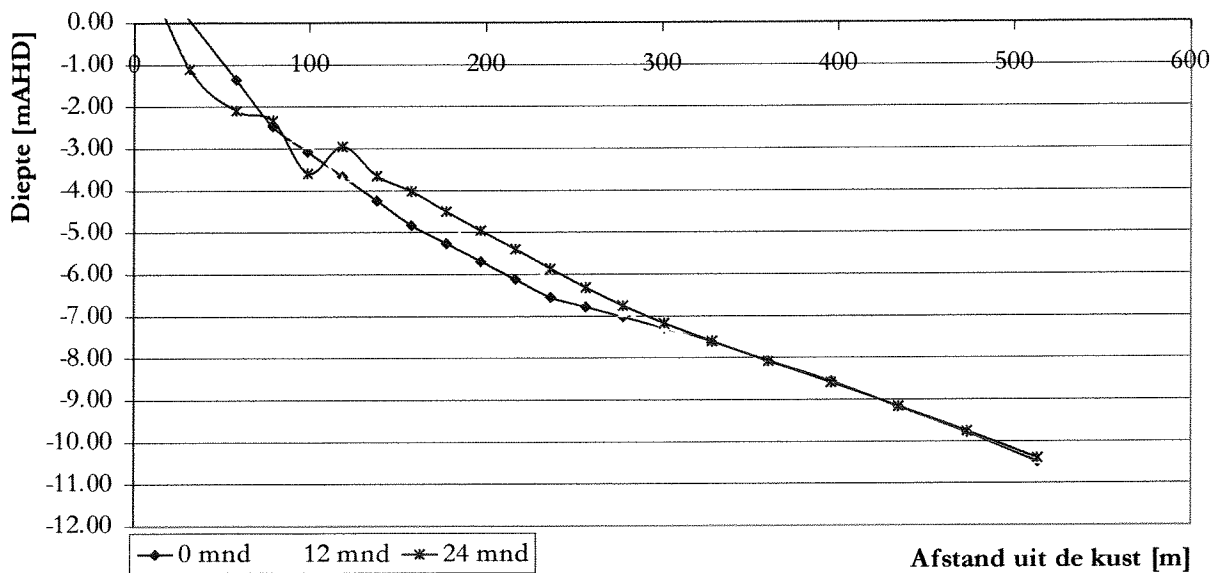
$epsI = 0.15; facA = 0.30$



Bijlage E8, Bepaling ijkfactoren $facA=0.40$ en $epsI=0.15$

$H_{sig} = 1.66m$ $T_p = 10s$

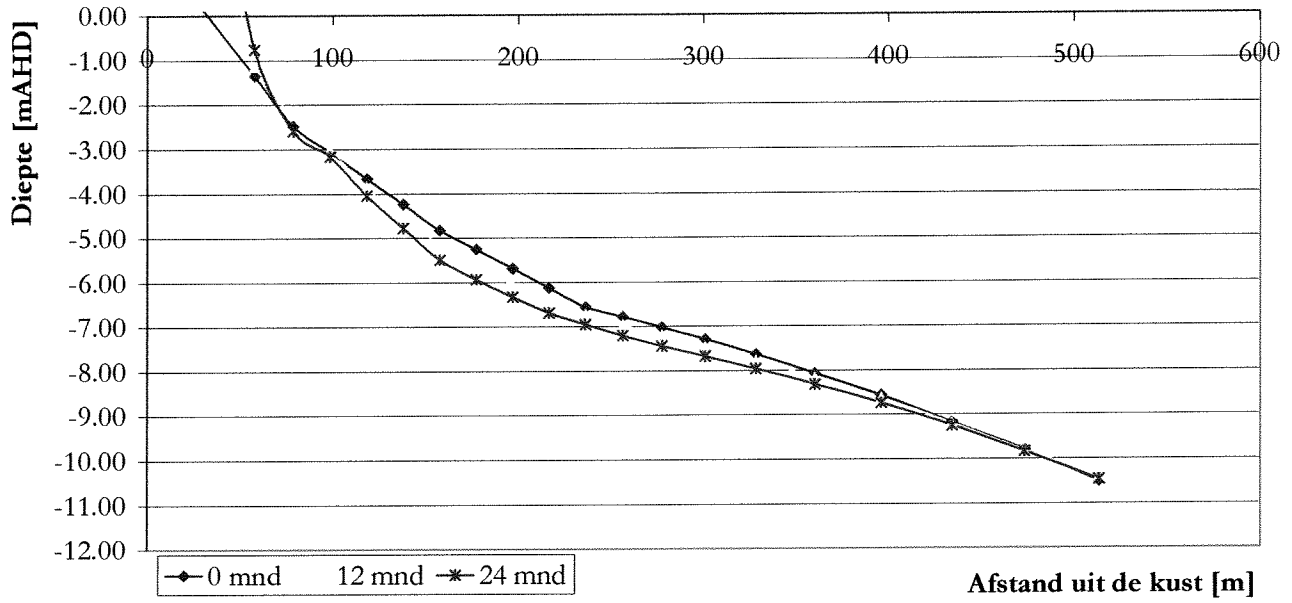
$epsI = 0.15; facA = 0.40$



Bijlage E9, Bepaling ijkfactoren $facA=0.70$ en $epsI=0.15$

$H_{sig} = 1.66m$ $T_p = 10s$

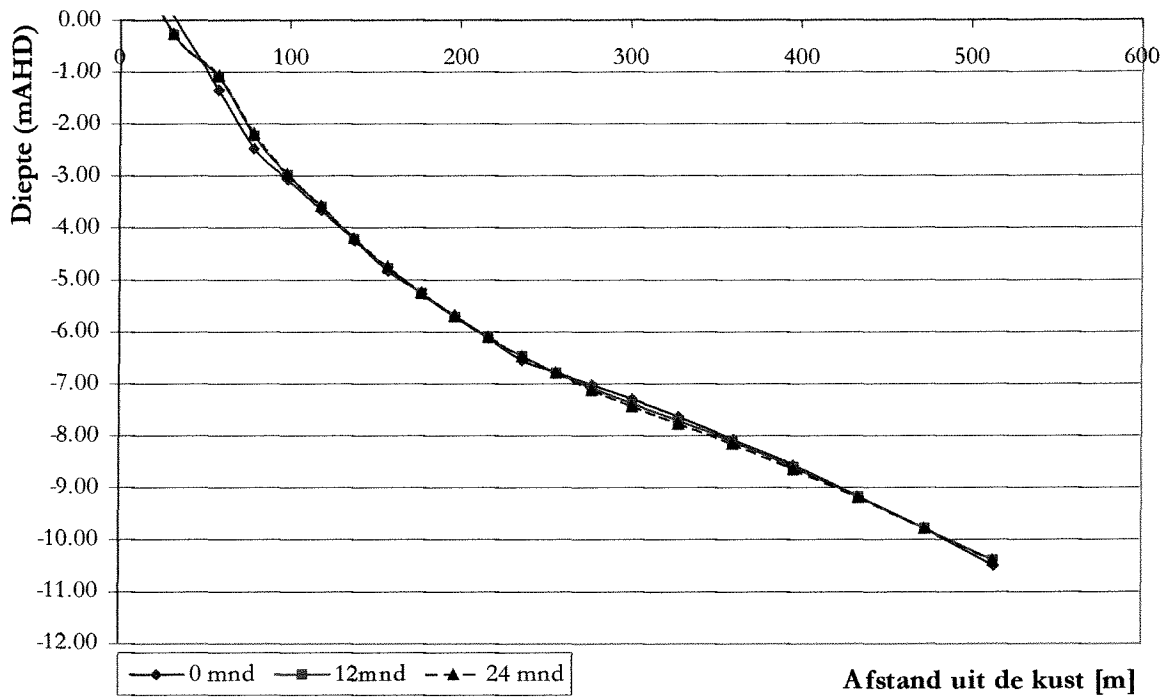
$epsI = 0.15; facA = 0.7$



Bijlage E10, Evenwichtsprofiel $facA=0.50$ en $epsI=0.15$

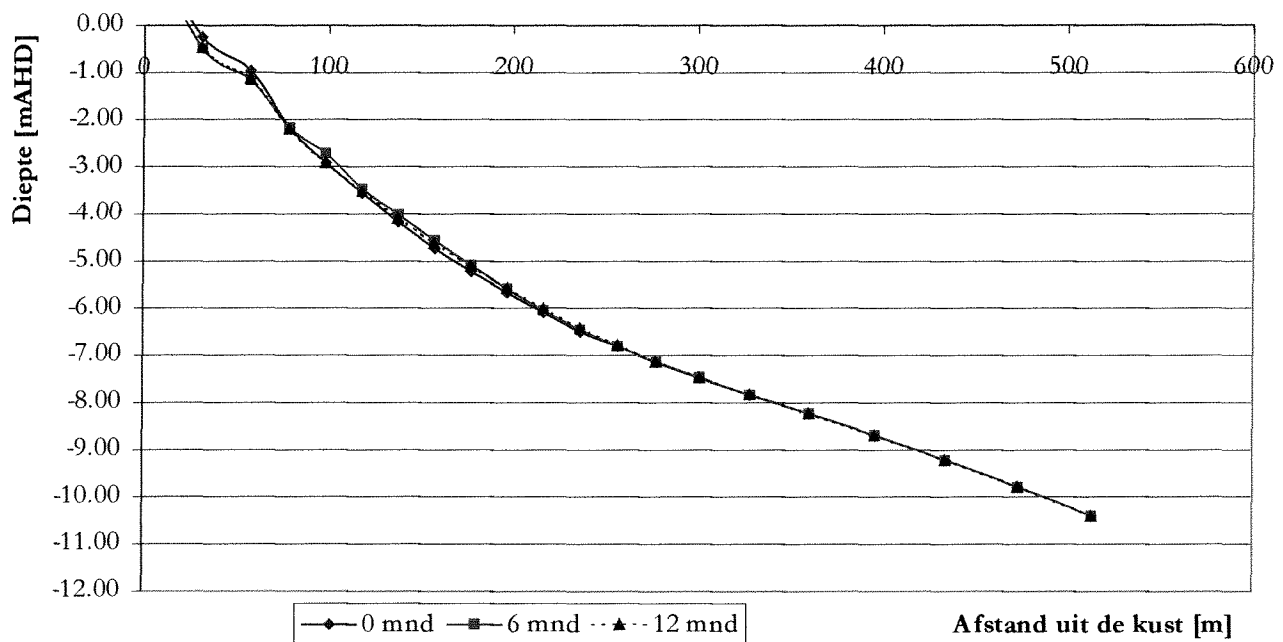
$H_{sig} = 1.66m$ $T_p = 10s$

$epsI = 0.15$; $facA = 0.50$



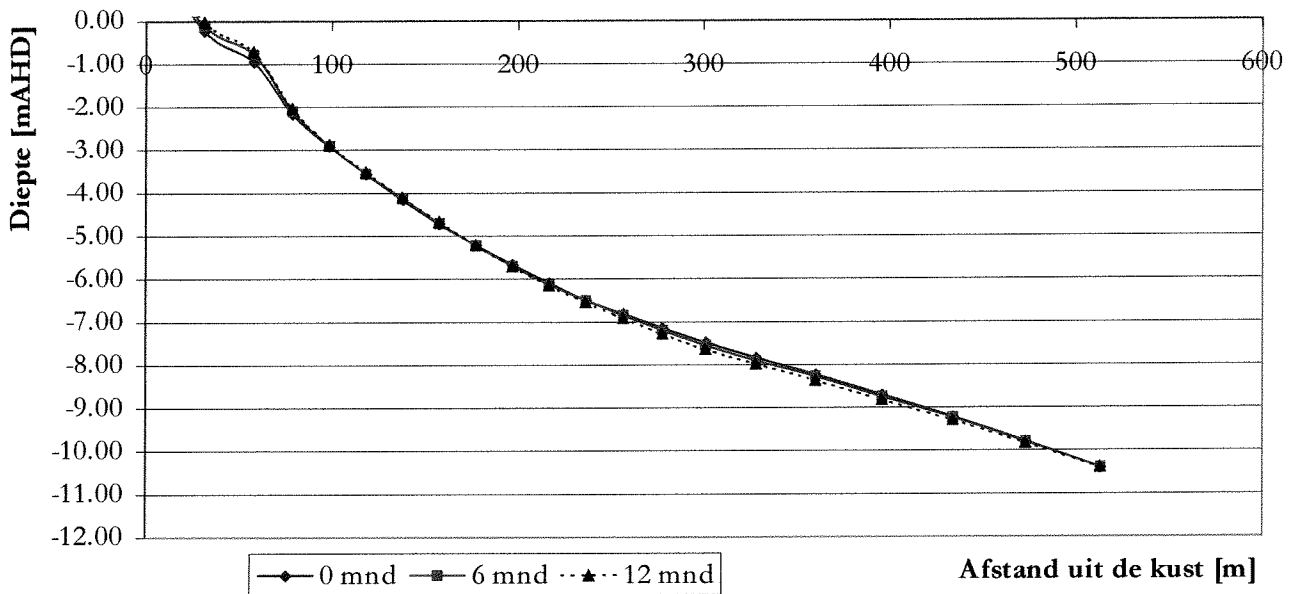
Bijlage E11, Evenwichtsprofiel $H_{sig} = 1.66m$ $T_p = 5s$

$epsI = 0.15$; $facA = 0.5$; $H_{sig} = 1.66m$; $T_p = 5s$



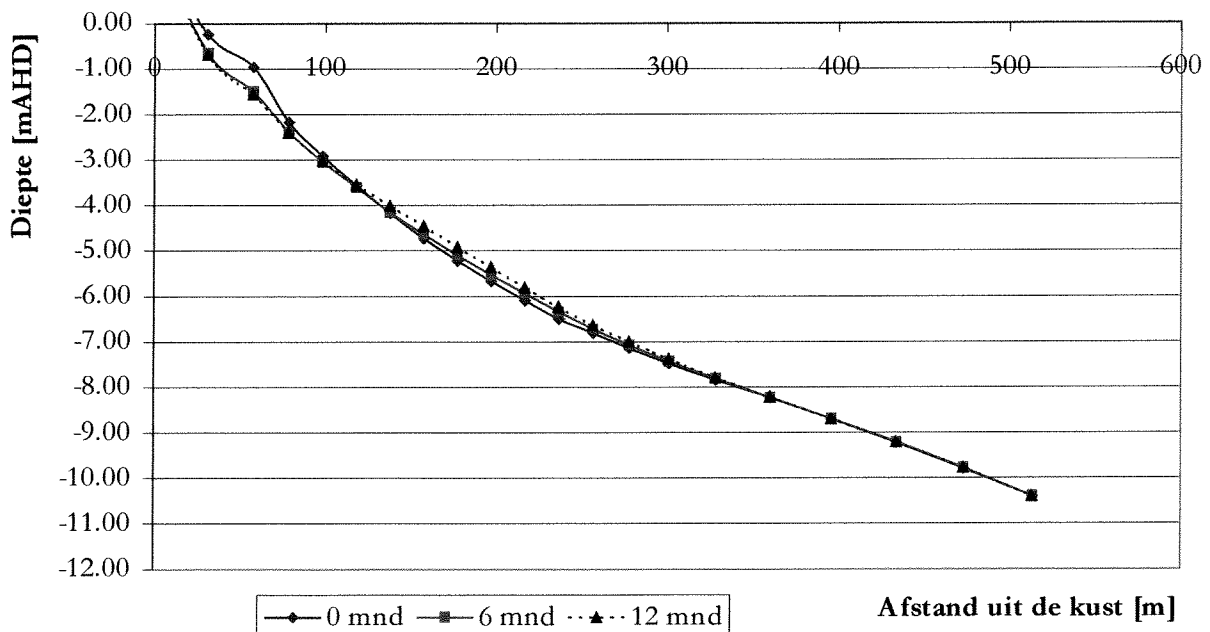
Bijlage E12, Evenwichtsprofiel $H_{sig} = 1.99m$ $T_p = 10s$

$eps_l = 0.15$; $facA = 0.5$; $H_{sig} = 1.99m$; $T_p = 10s$



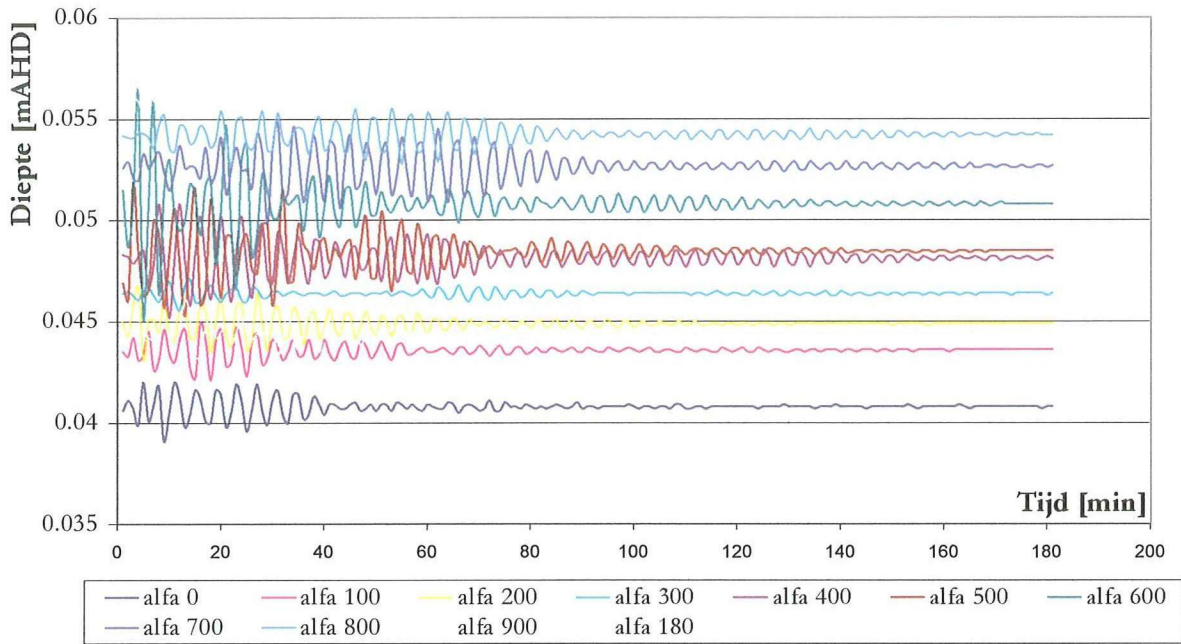
Bijlage E13, Evenwichtsprofiel $H_{sig} = 1.99m$ $T_p = 5s$

$eps_l = 0.15$; $facA = 0.50$; $H_{sig} = 1.99m$; $T_p = 5s$



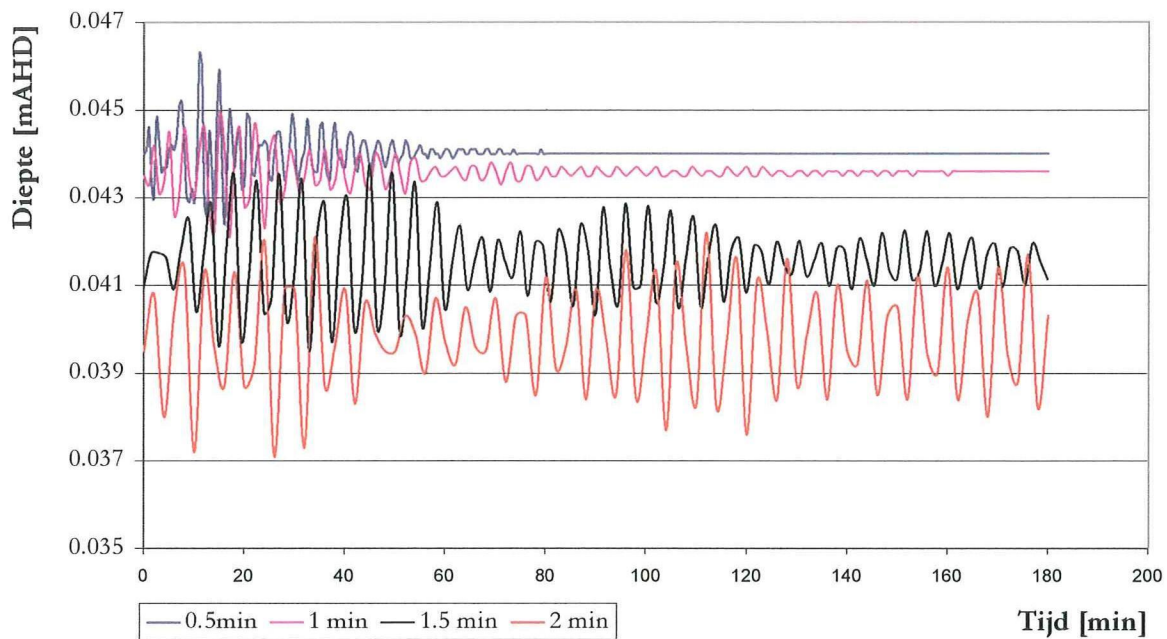
Bijlage E14, Alfa

uitdemping



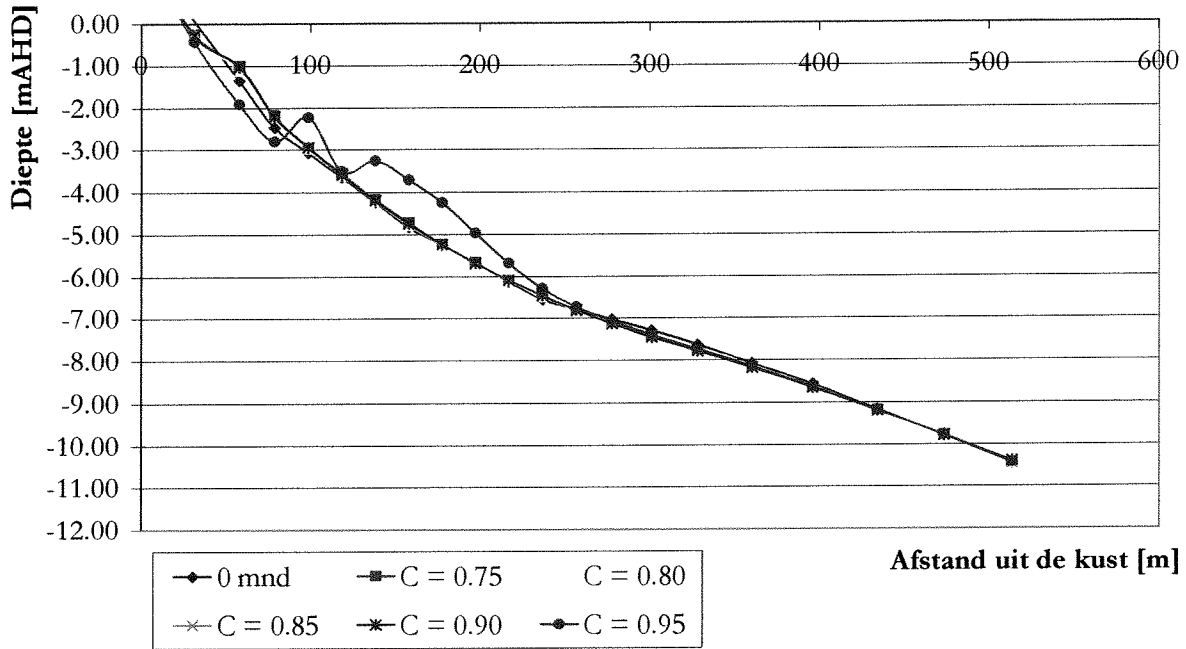
Bijlage E15, Tijdstappen

schommelingen waterstanden

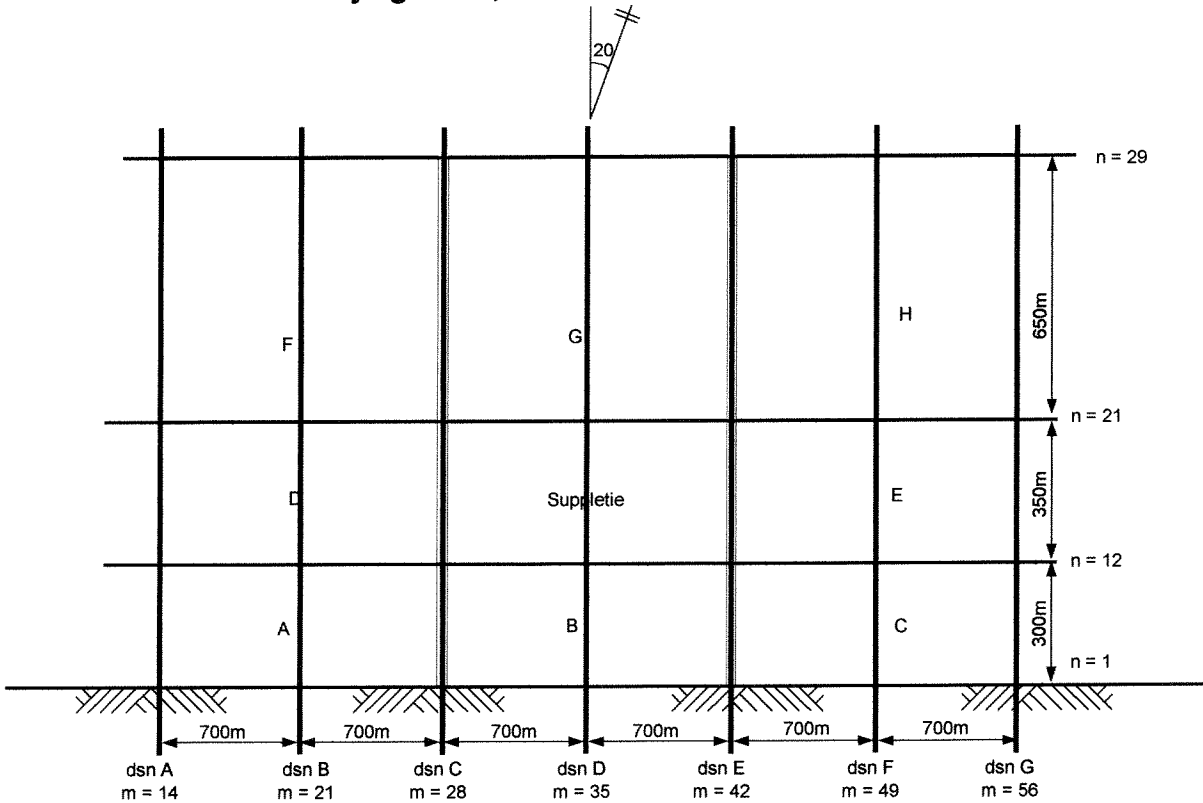


Bijlage E16, Courant getal (TRSSUS)

$H_{sig} = 1.66m; T_p = 10s$

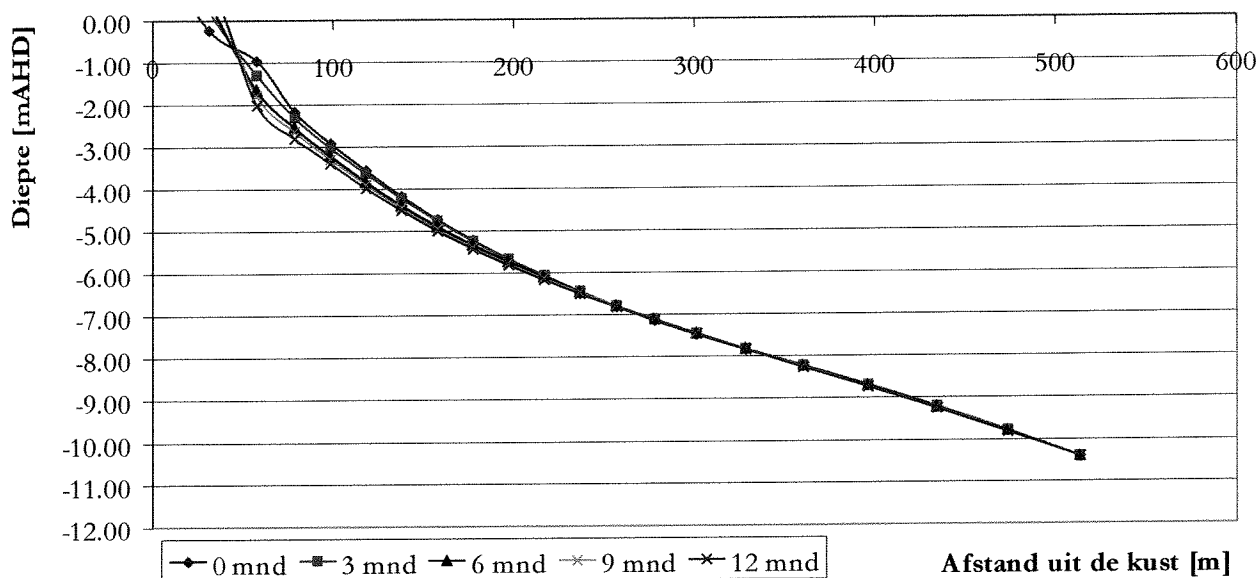


Bijlage E17, Doorsneden & Meetvakken



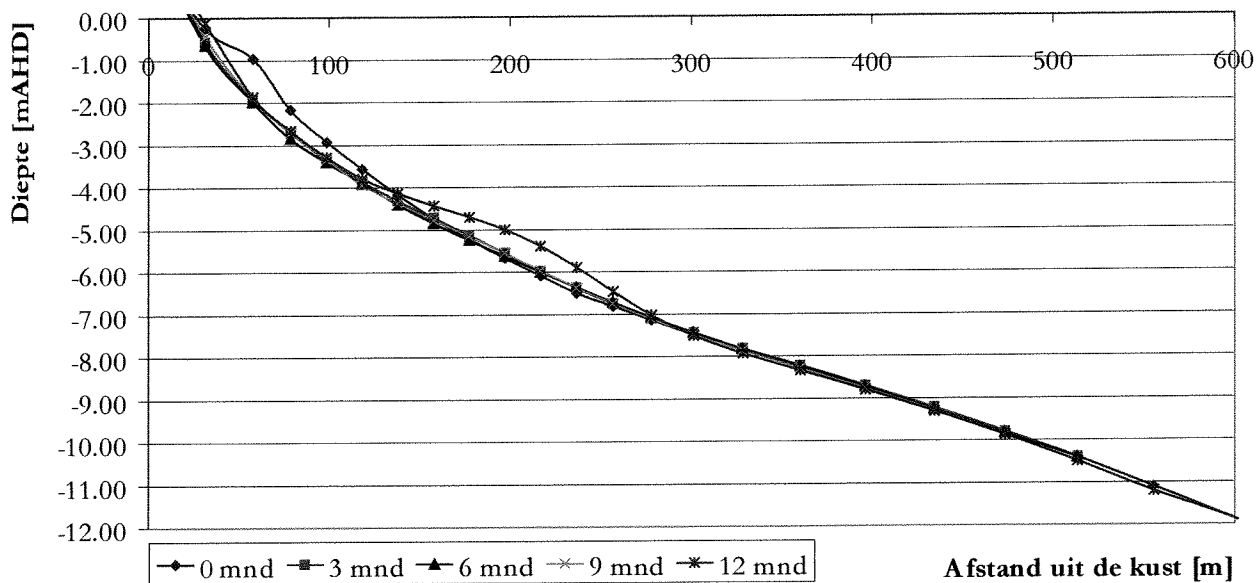
Bijlage E18a, Dwarsdoorsneden A ($H_{sig} = 1.66m$), deining

dsnD; $H_{sig} = 1.66m$; $T_p = 10s$



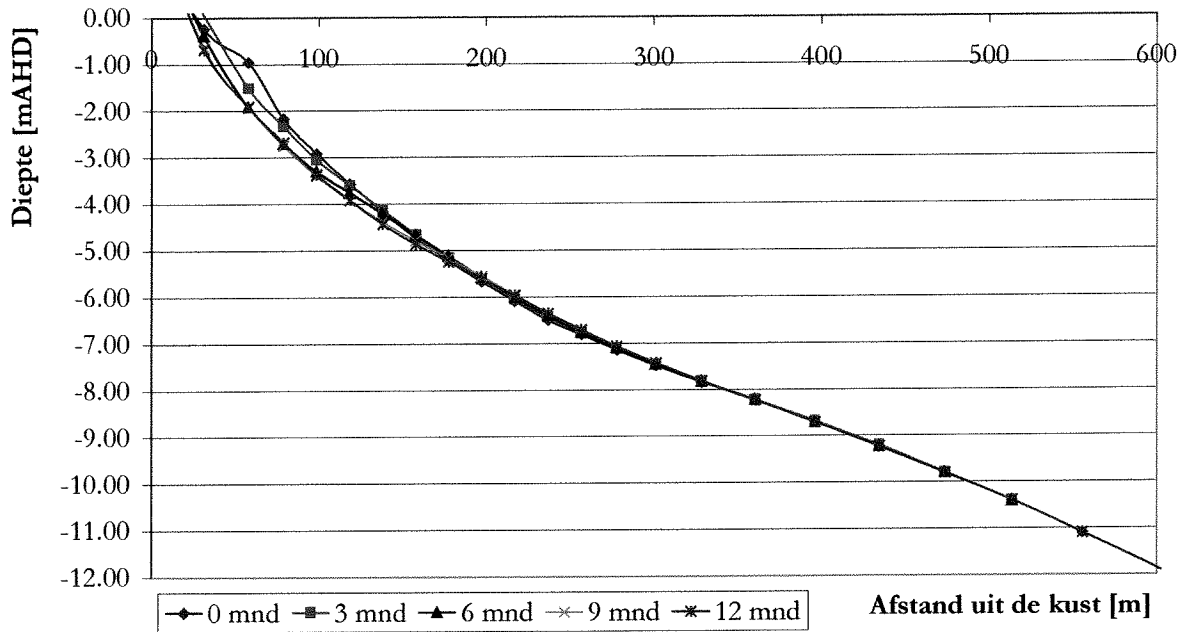
Bijlage E18b, Dwarsdoorsneden A ($H_{sig} = 1.66m$), windgolven, Energieflux

dsnD; $H_{sig} = 1.66m$; $T_p = 5s$



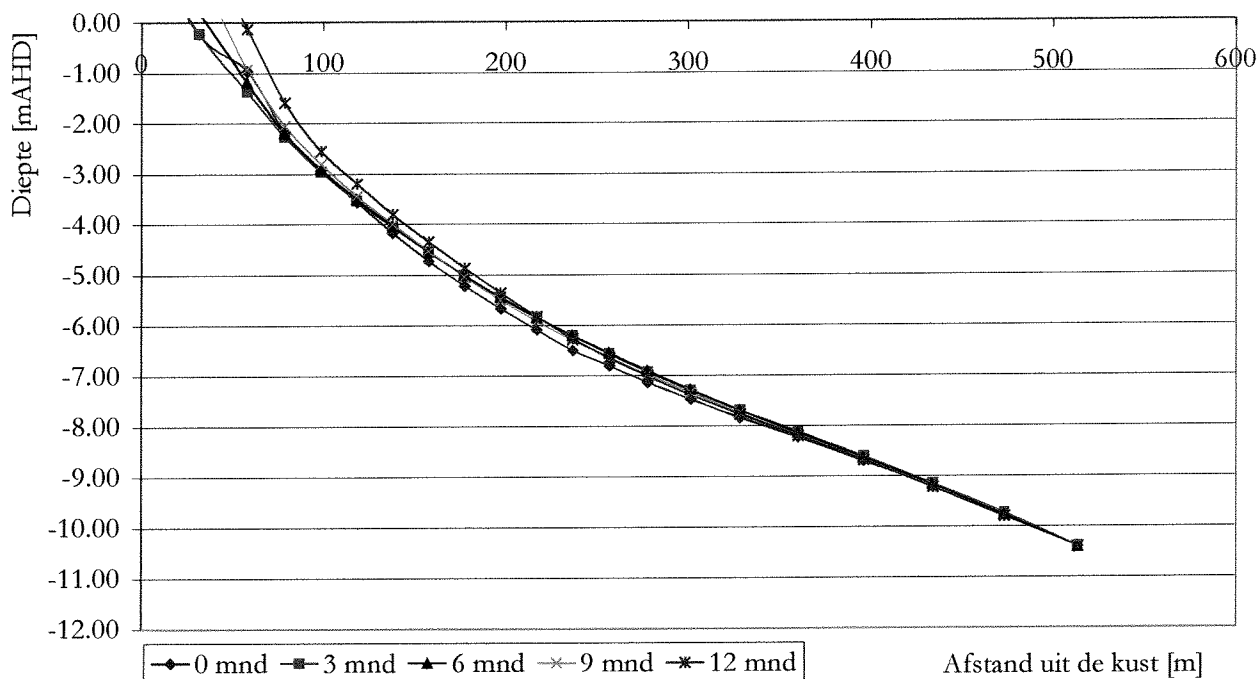
Bijlage E18c, Dwarsdoorsneden A ($H_{sig} = 1.66m$), windgolven, Tijd

dsnA; $H_{sig} = 1.66m$; $T_p = 5s$



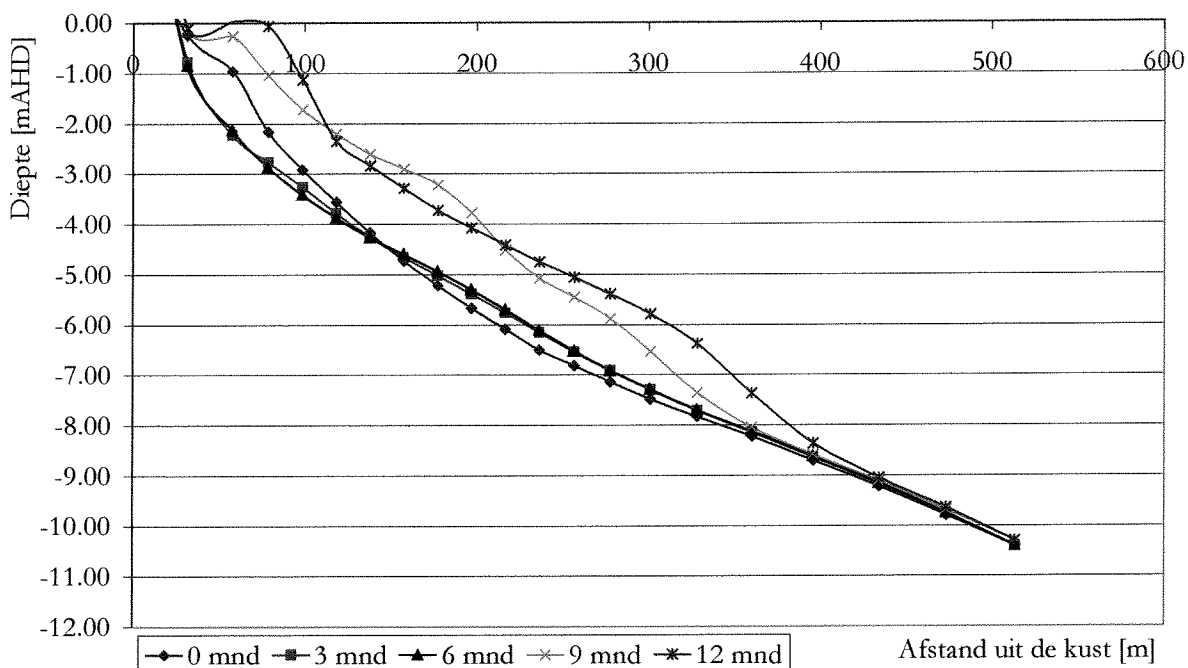
Bijlage E19a, Dwarsdoorsneden A ($H_{sig} = 1.99m$), deining

d_{snA} ; $H_{sig} = 1.99m$; $T_p = 10s$



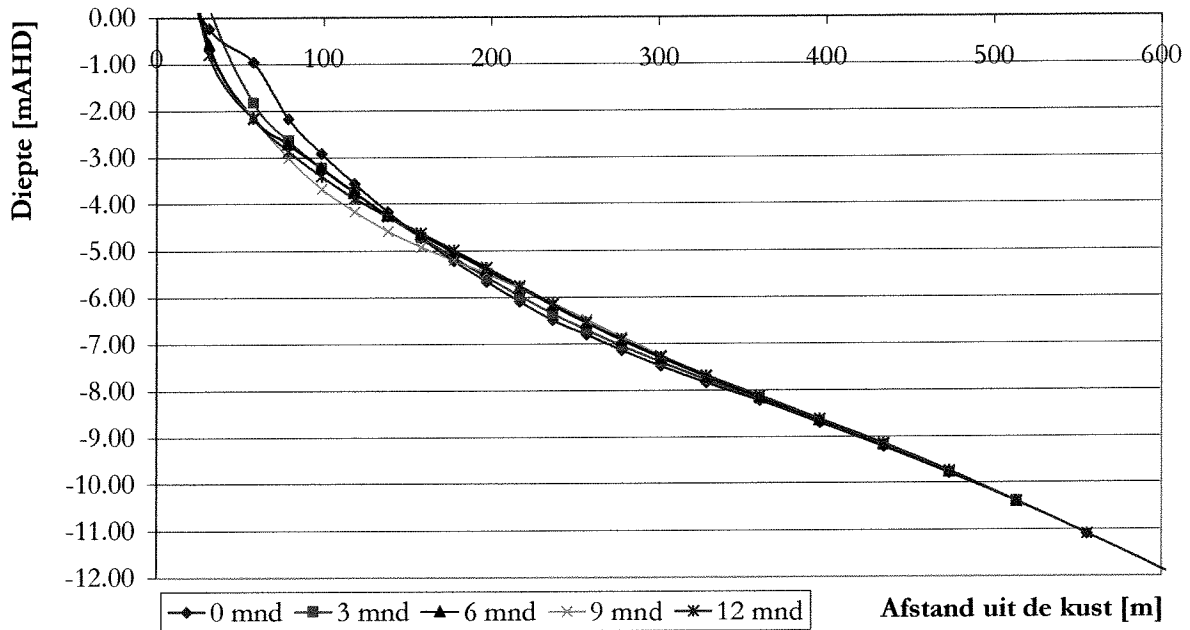
Bijlage E19b, Dwarsdoorsneden A ($H_{sig} = 1.99m$), windgolven, Energieflux

D_{snA} ; $H_{sig} = 1.99m$; $T_p = 5s$



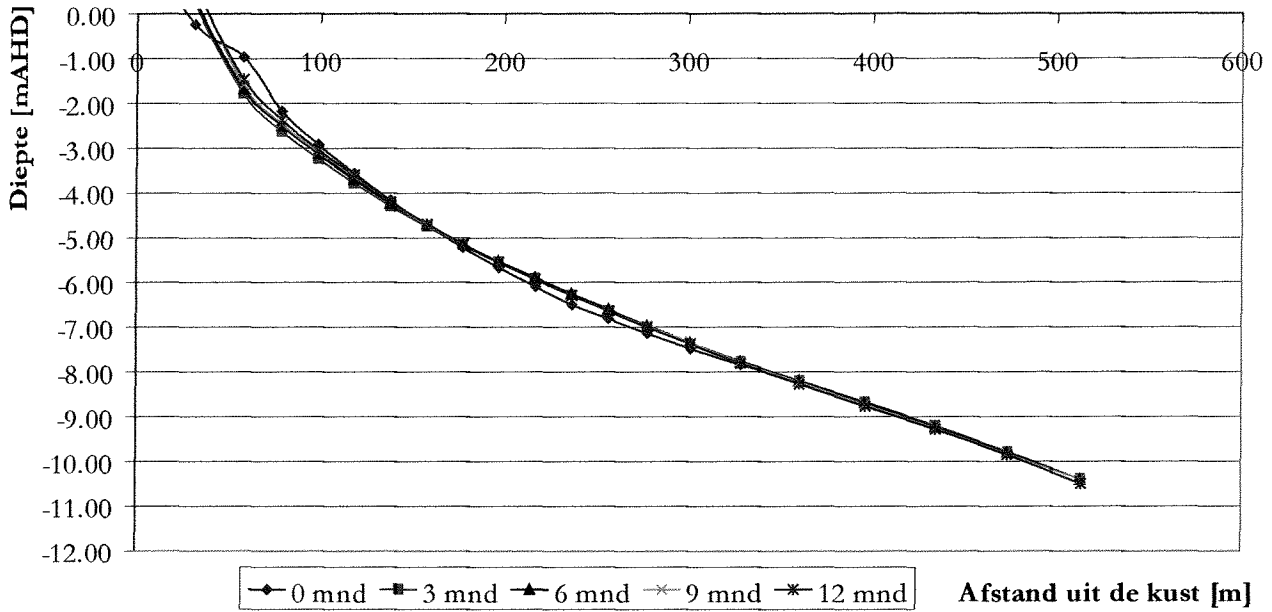
Bijlage E19c, Dwarsdoorsneden A ($H_{sig} = 1.99m$), windgolven, Tijd

dsnA; $H_{sig} = 1.99m$; $T_p = 5s$



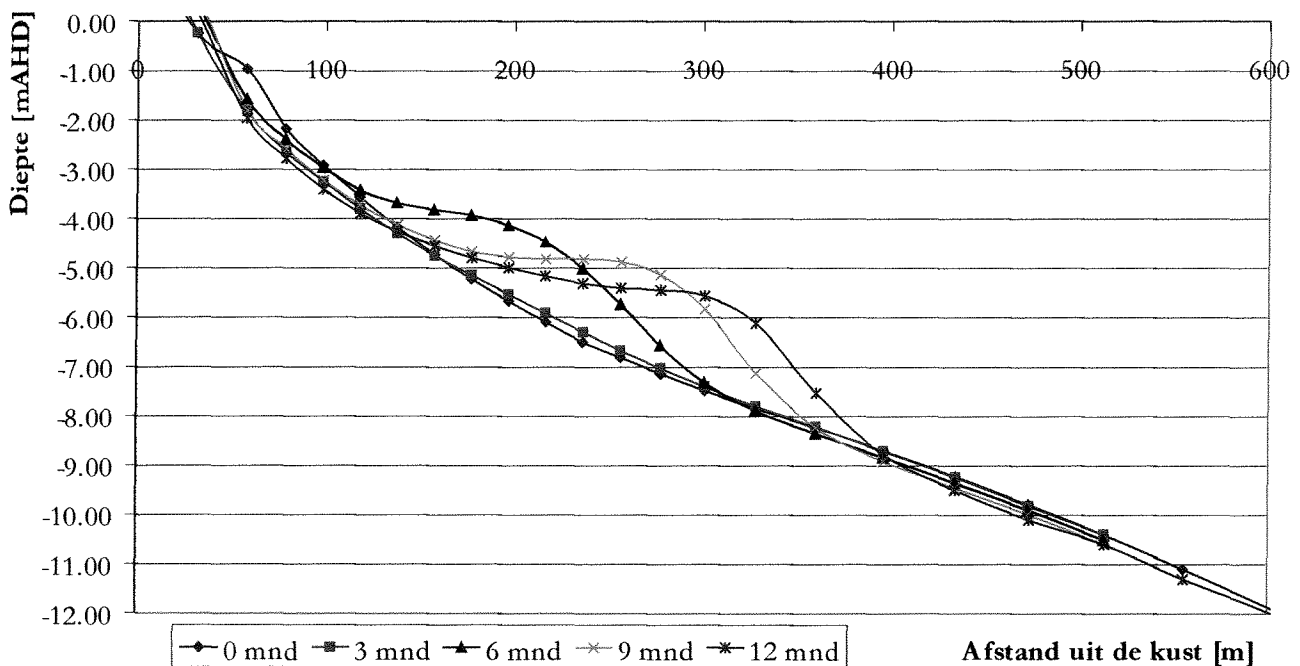
Bijlage E20a, Dwarsdoorsneden B ($H_{sig} = 1.66m$), deining

dsnB; $H_{sig} = 1.66m$; $T_p = 10s$



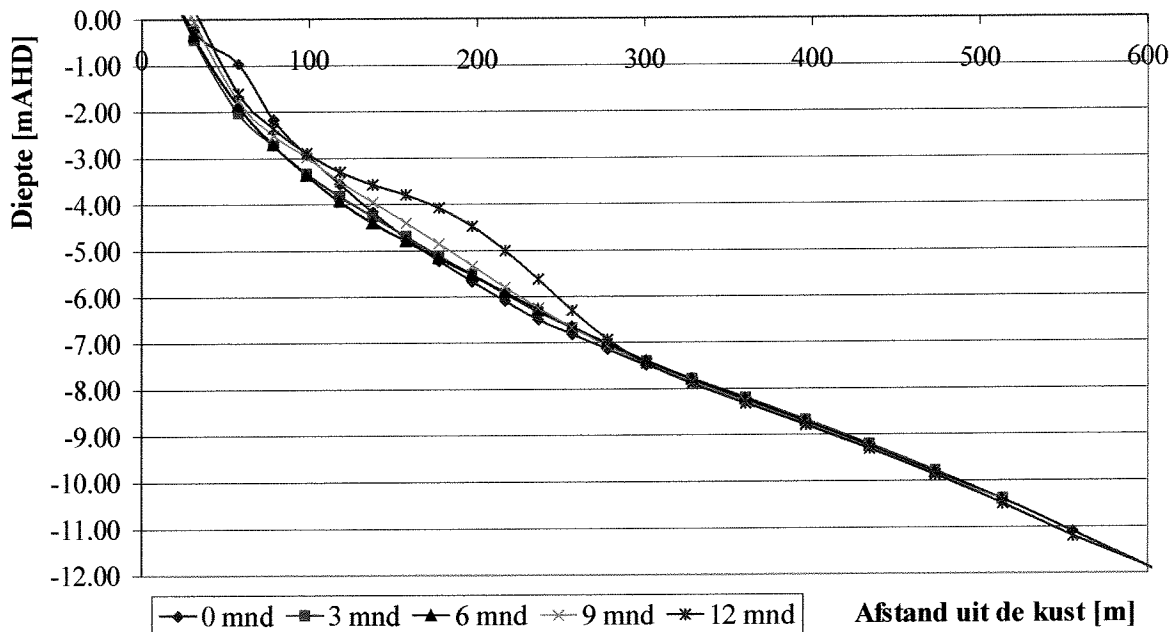
Bijlage E20b, Dwarsdoorsneden B ($H_{sig} = 1.66m$), windgolven, Energiflux

dsnB; $H_{sig} = 1.66m$; $T_p = 5s$



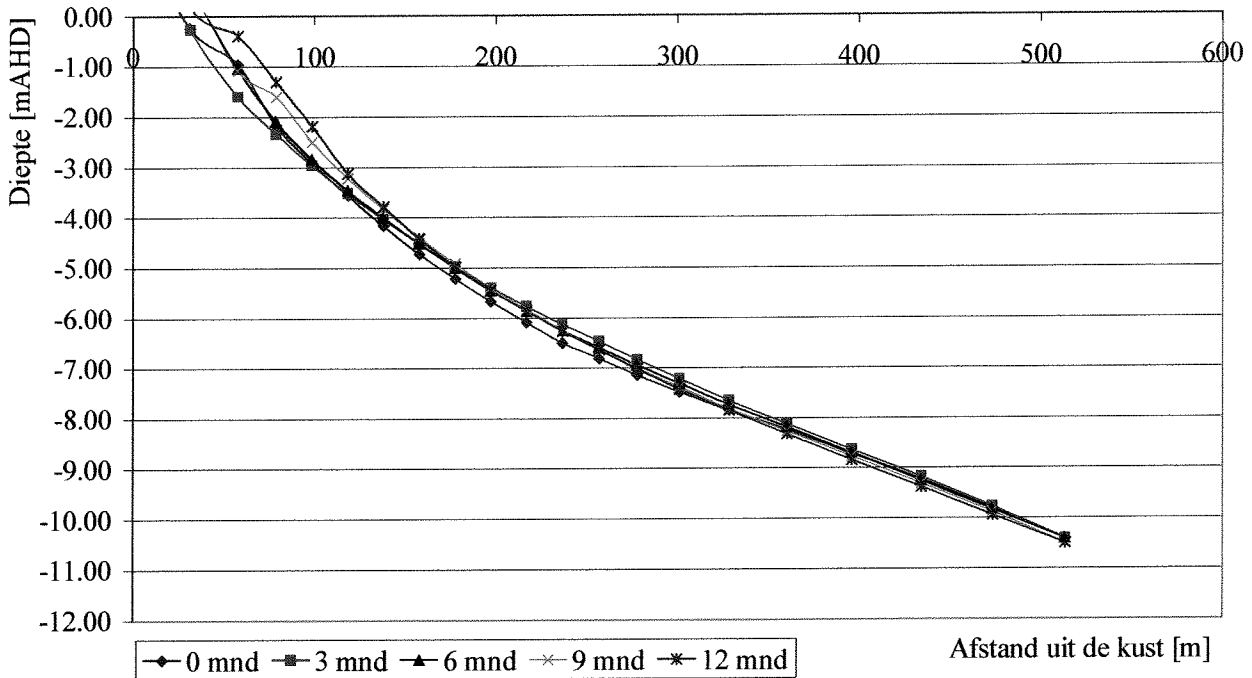
Bijlage E20c, Dwarsdoorsneden B ($H_{sig} = 1.66m$), windgolven, Tijd

dsnB; $H_{sig} = 1.66m$; $T_p = 5s$



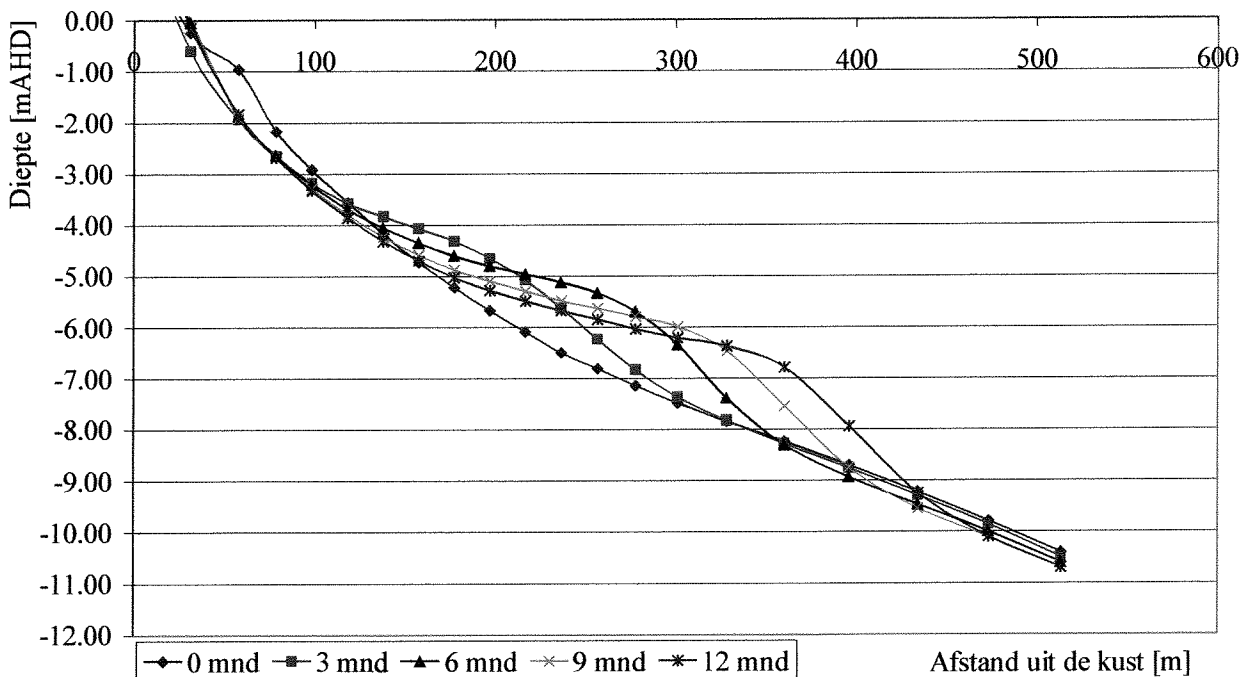
Bijlage E21a, Dwarsdoorsneden B ($H_{sig} = 1.99m$), deining

dsnB; $H_{sig} = 1.99m$; $T_p = 10s$



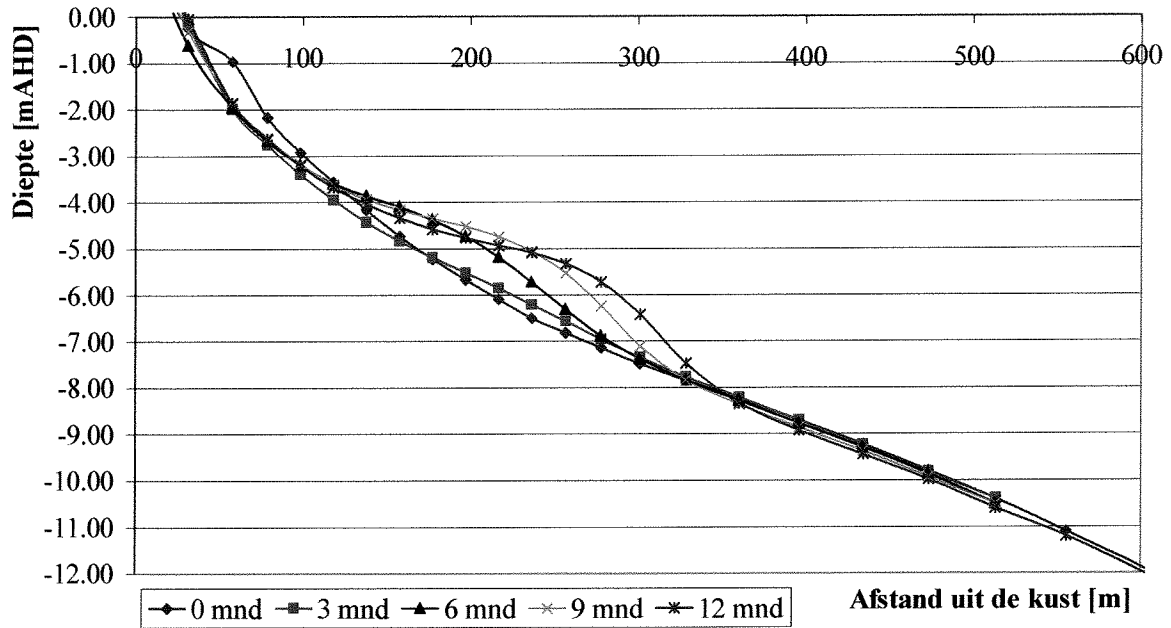
Bijlage E21b, Dwarsdoorsneden B ($H_{sig} = 1.99m$), windgolven, Energieflux

dsnB; $H_{sig} = 1.99m$; $T_p = 5s$



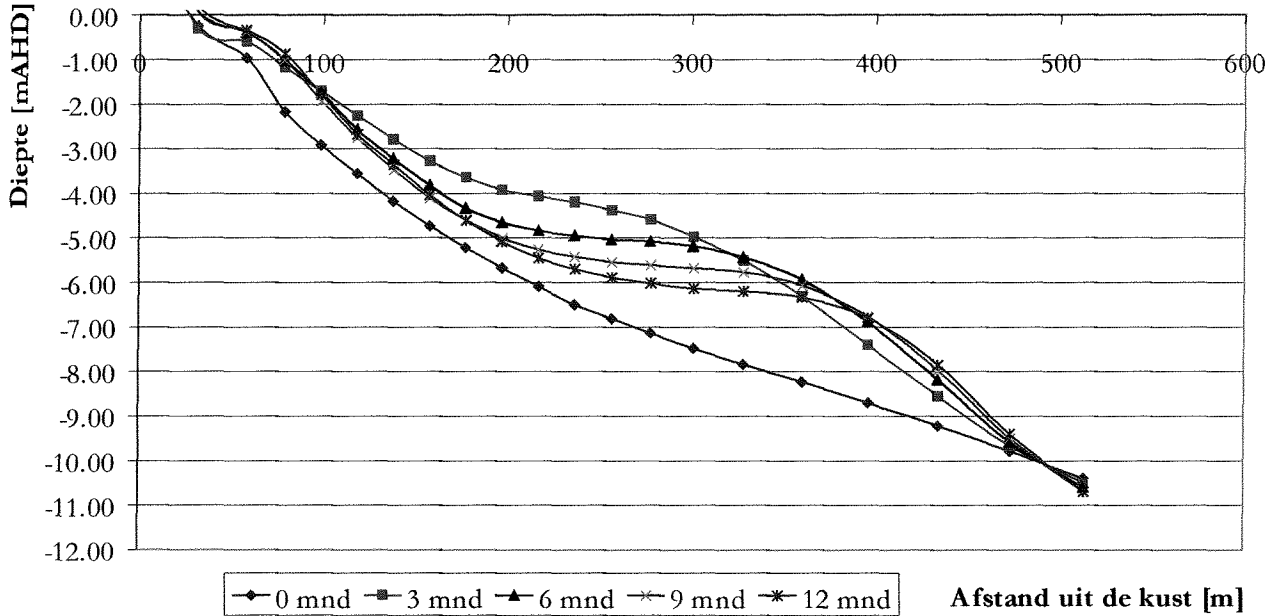
Bijlage E21c, Dwarsdoorsneden B ($H_{sig} = 1.99m$), windgolven, Tijd

dsnB; $H_{sig} = 1.99m$; $T_p = 5s$



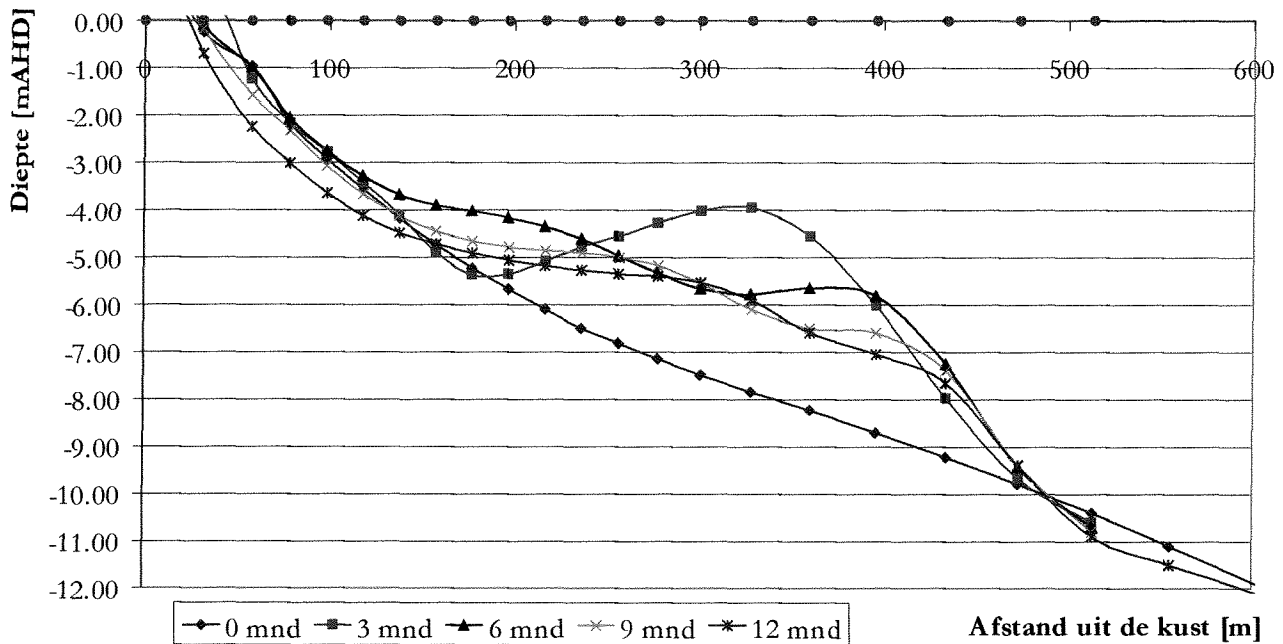
Bijlage E22a, Dwarsdoorsneden C ($H_{sig} = 1.66m$), deining

dsnC; $H_{sig} = 1.66m$; $T_p = 10s$



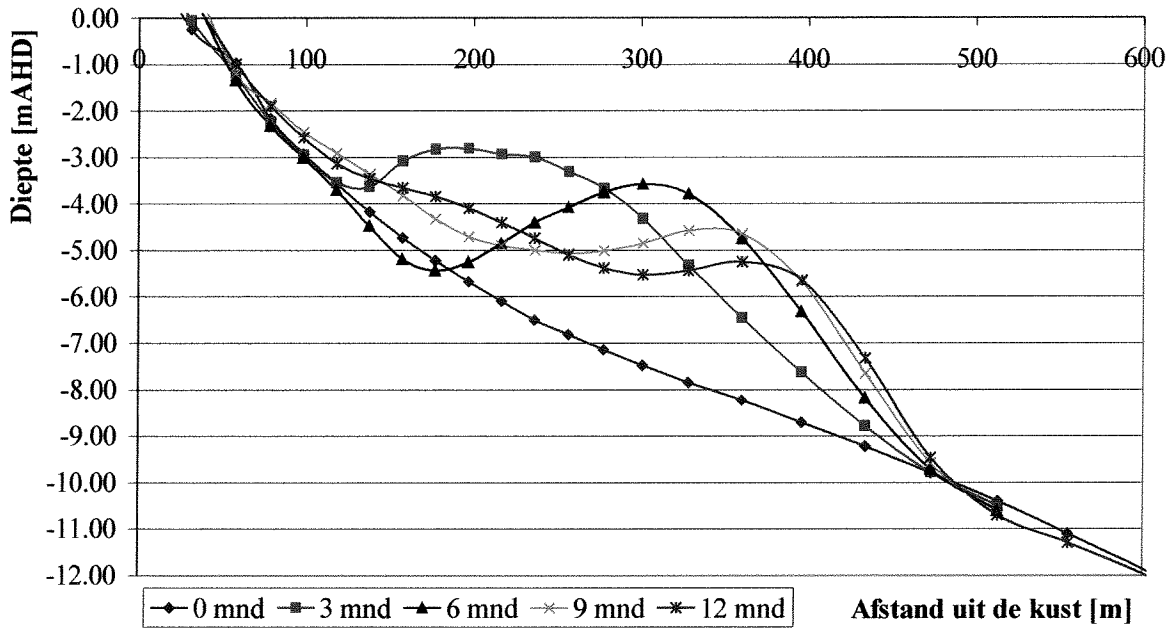
Bijlage E22b, Dwarsdoorsneden C ($H_{sig} = 1.66m$), windgolven, Energieflux

dsnC; $H_{sig} = 1.66m$; $T_p = 5s$



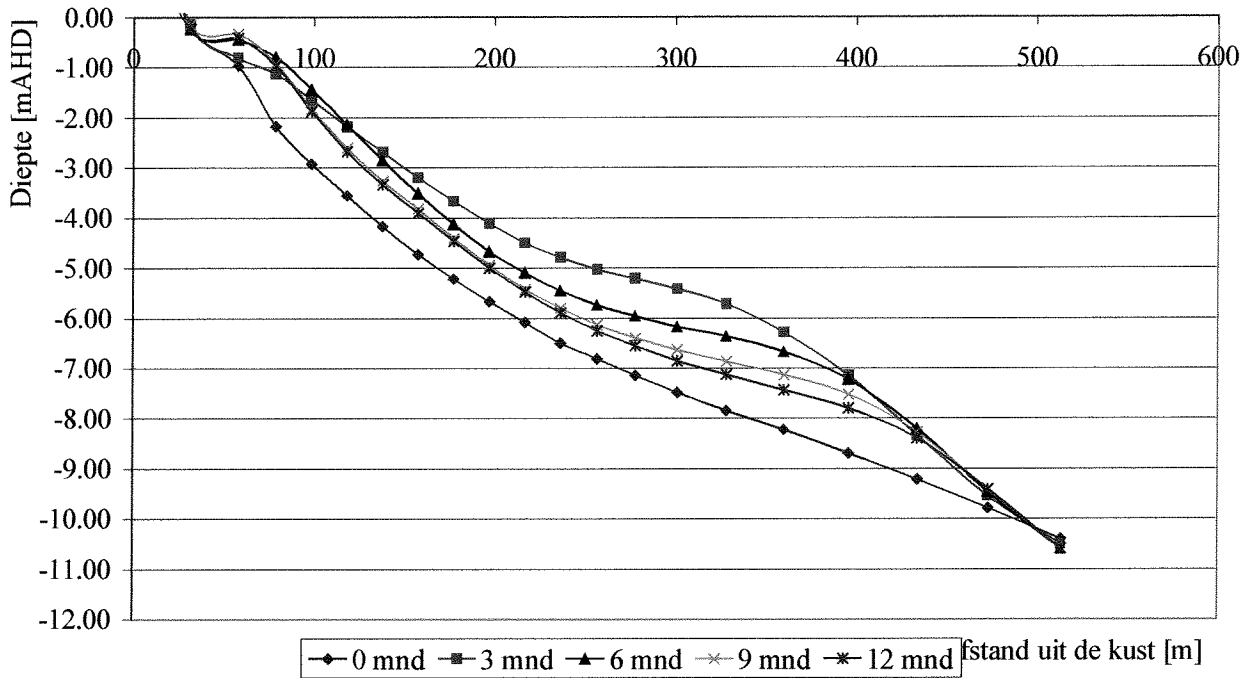
Bijlage E22c, Dwarsdoorsneden C ($H_{sig} = 1.66m$), windgolven, Tijd

dsnC; $H_{sig} = 1.66m$; $T_p = 5s$



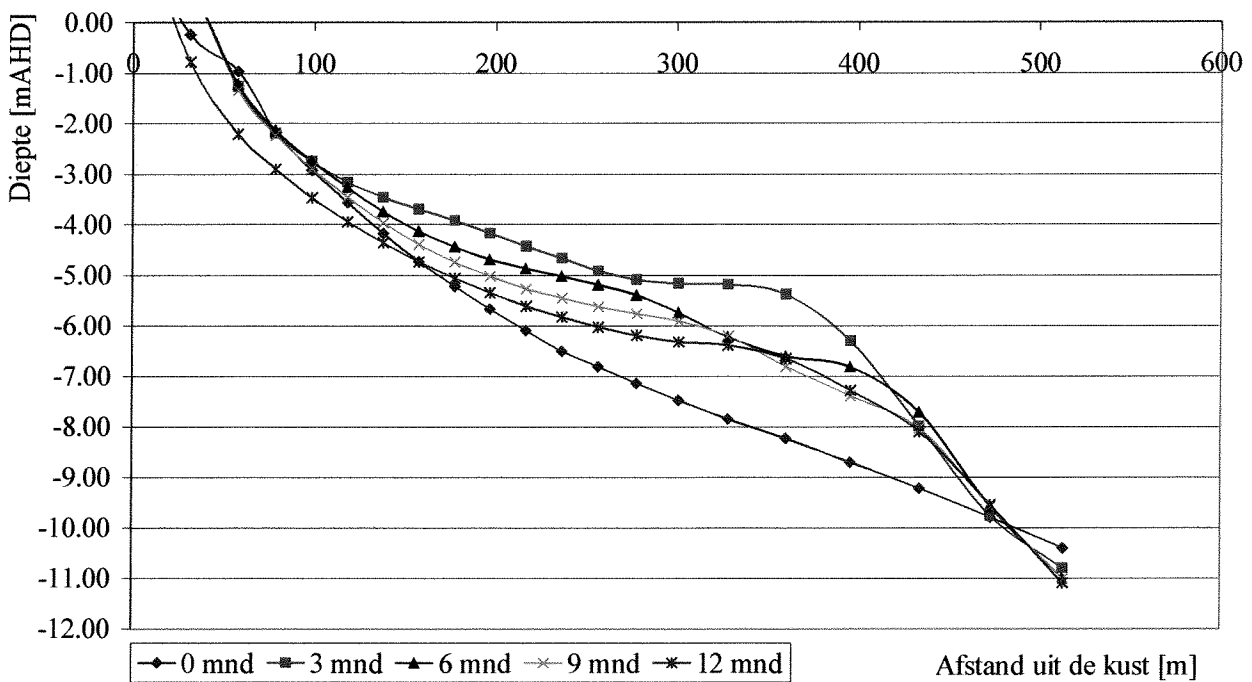
Bijlage E23a, Dwarsdoorsneden C ($H_{sig} = 1.99m$), deining

dsnC; $H_{sig} = 1.99m$; $T_p = 10s$



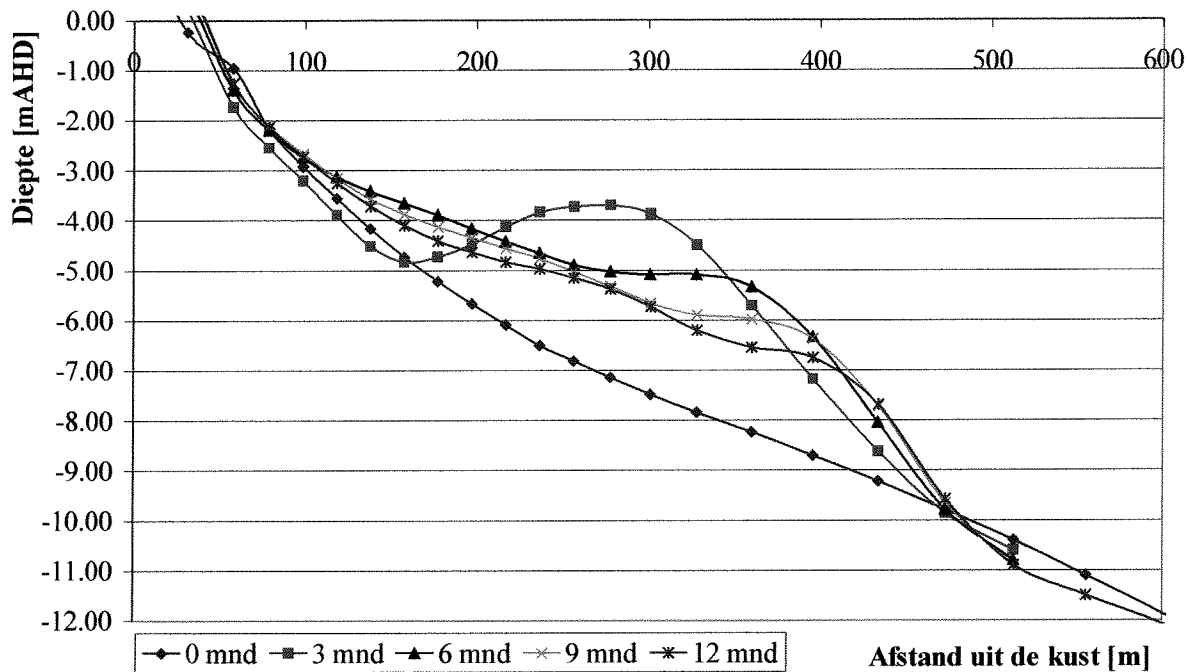
Bijlage E23b, Dwarsdoorsneden C ($H_{sig} = 1.99m$), windgolven, Energieflux

dsnC; $H_{sig} = 1.99m$; $T_p = 5s$



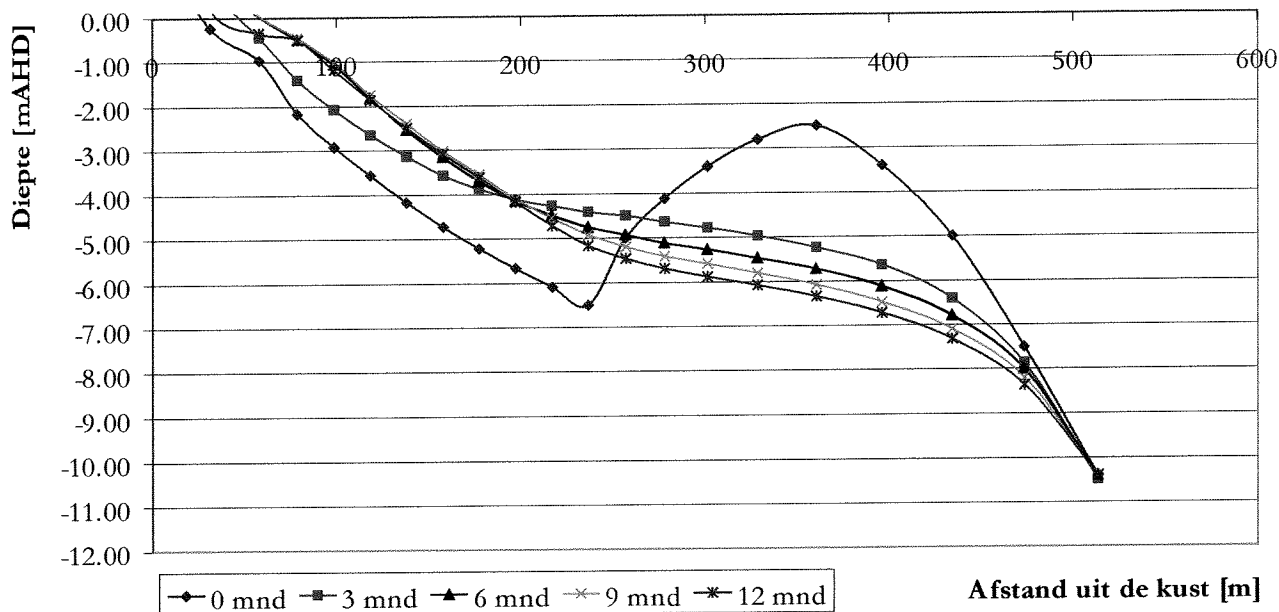
Bijlage E23c, Dwarsdoorsneden C ($H_{sig} = 1.99m$), windgolven, Tijd

dsnC; $H_{sig} = 1.99m$; $T_p = 5s$



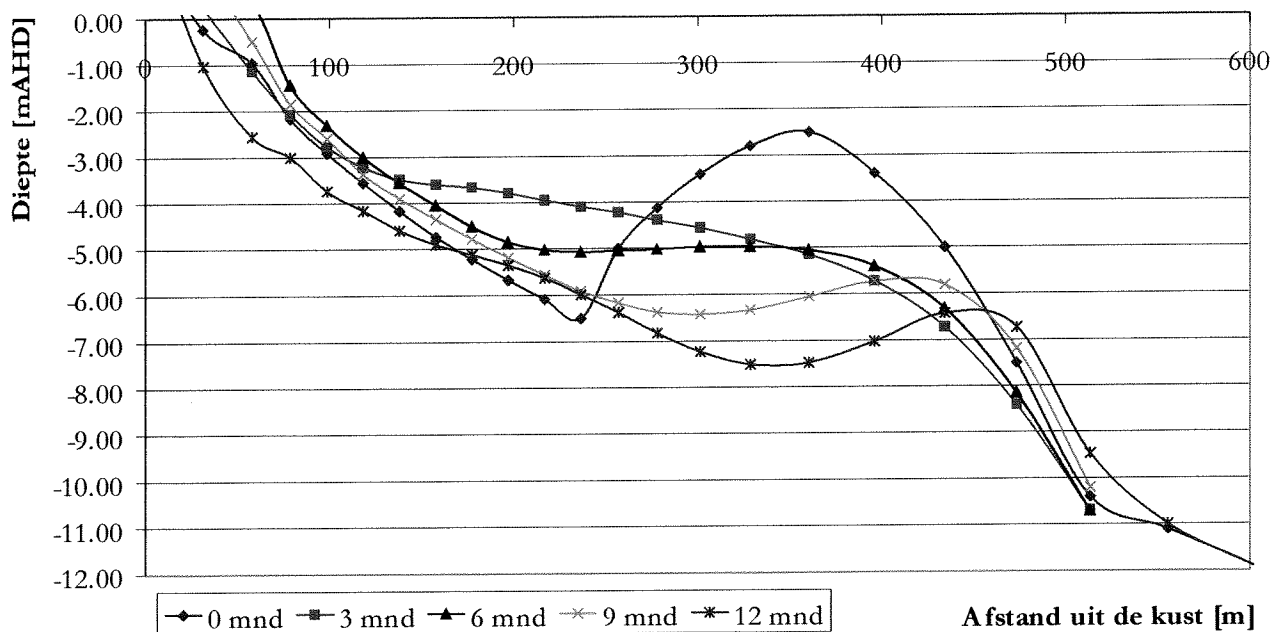
Bijlage E24a, Dwarsdoorsnede D ($H_{sig} = 1.66m$), deining

dsnD; $H_{sig} = 1.66m$; $T_p = 10s$



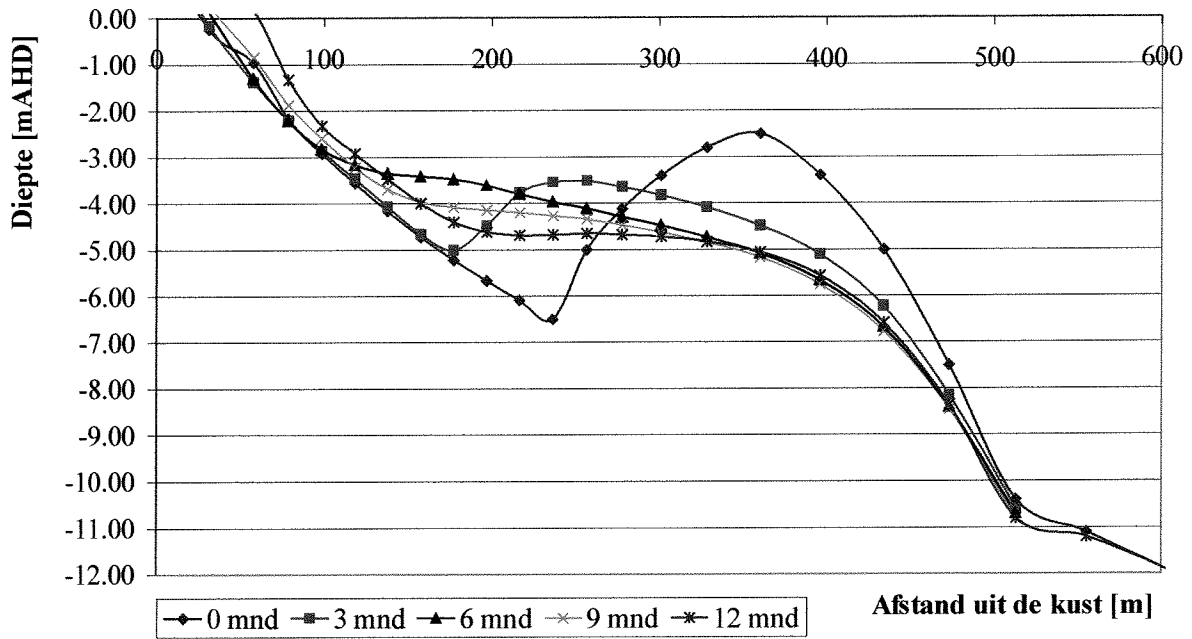
Bijlage E24b, Dwarsdoorsnede D ($H_{sig} = 1.66m$), windgolven, Energieflux

dsnD; $H_{sig} = 1.66m$; $T_p = 5s$



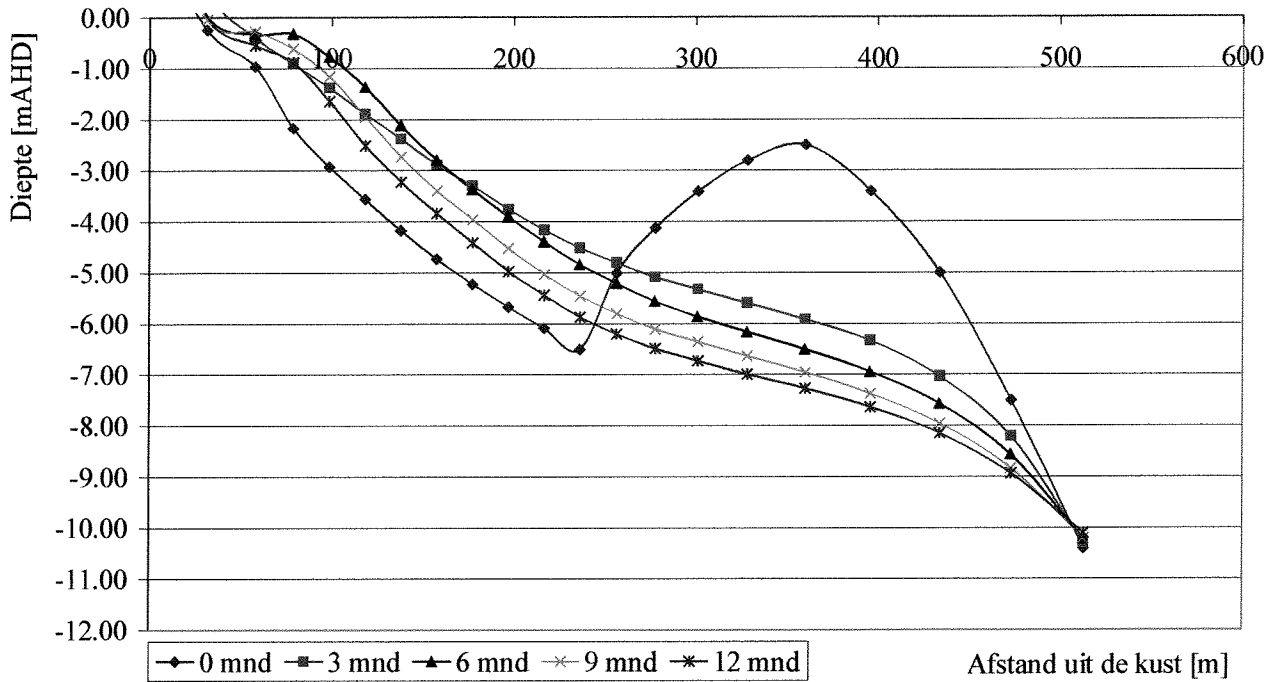
Bijlage E24c, Dwarsdoorsnede D ($H_{sig} = 1.66m$), windgolven, Tijd

dsnD; $H_{sig} = 1.66m$; $T_p = 5s$



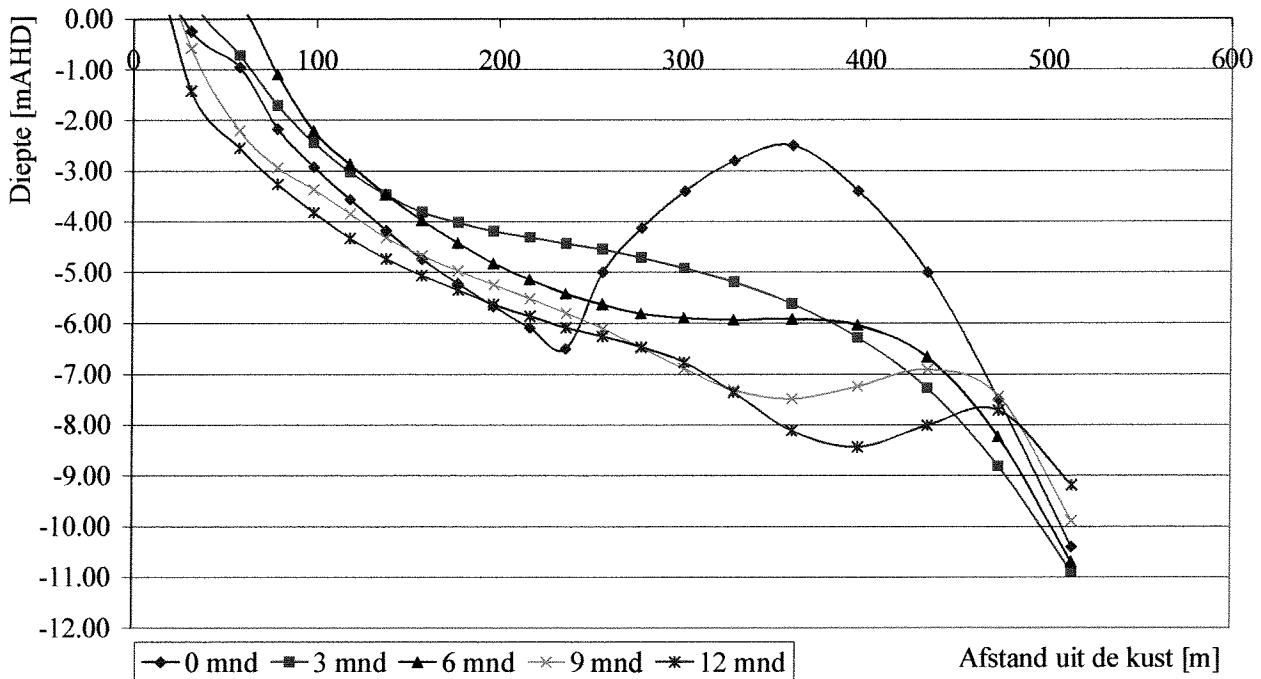
Bijlage E25a, Dwarsdoorsnede D ($H_{sig} = 1.99m$), deining

dsnD; $H_{sig} = 1.99m$; $T_p = 10s$



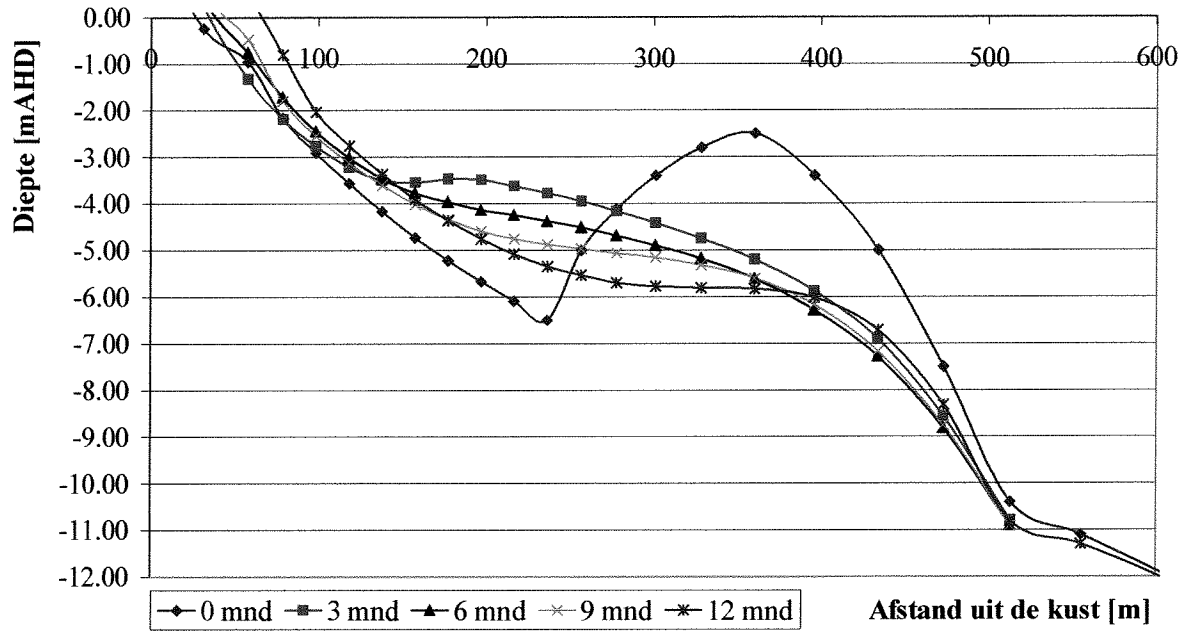
Bijlage E25b, Dwarsdoorsnede D ($H_{sig} = 1.99m$), windgolven, Energieflux

dsnD; $H_{sig} = 1.99m$; $T_p = 5s$



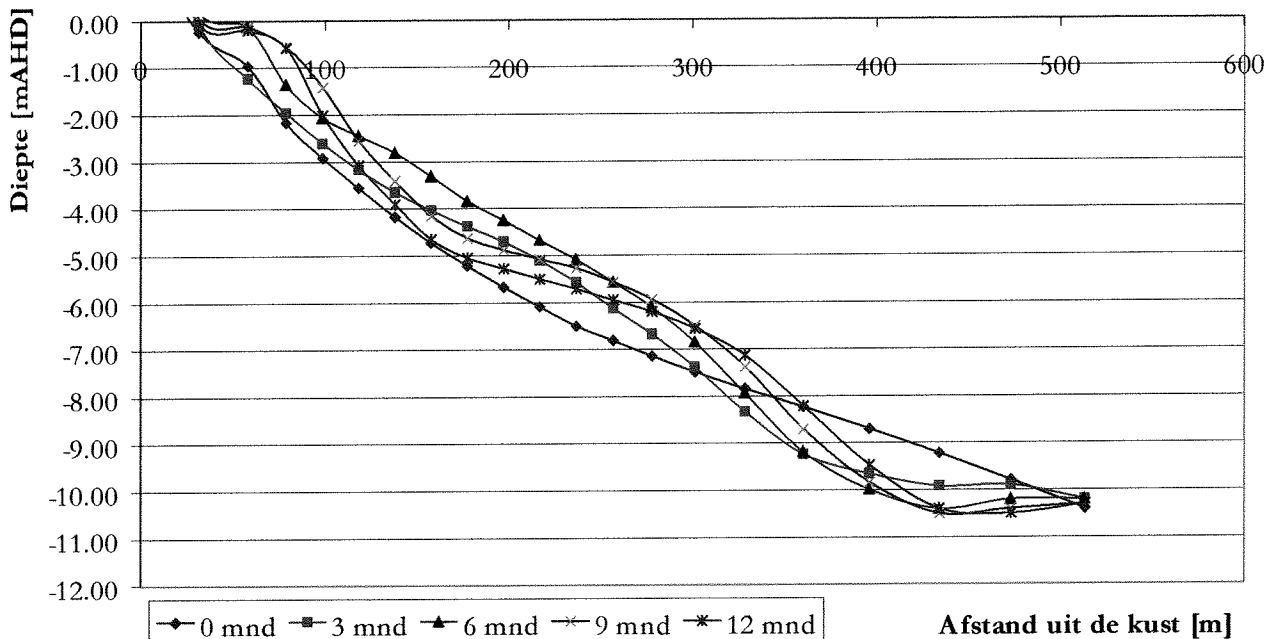
Bijlage E25c, Dwarsdoorsnede D ($H_{sig} = 1.99m$), windgolven, Tijd

dsnD; $H_{sig} = 1.99m$; $T_p = 5s$



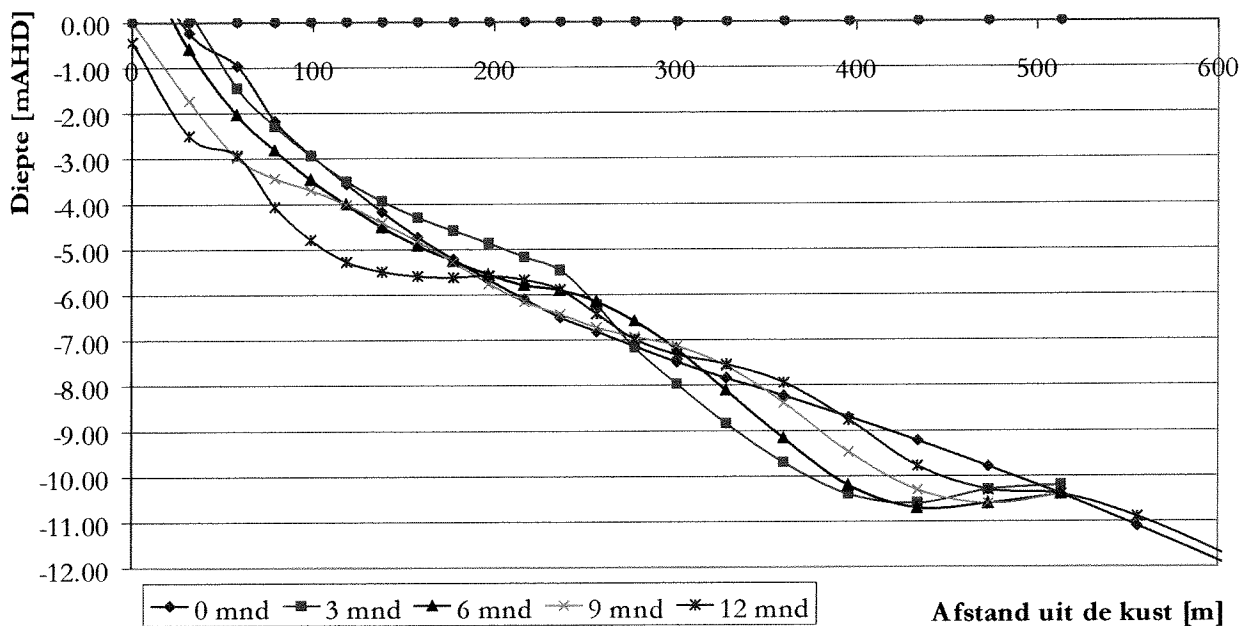
Bijlage E26a, Doorsnede E ($H_{sig} = 1.66m$), deining

dsnE; $H_{sig} = 1.66m$; $T_p = 10s$



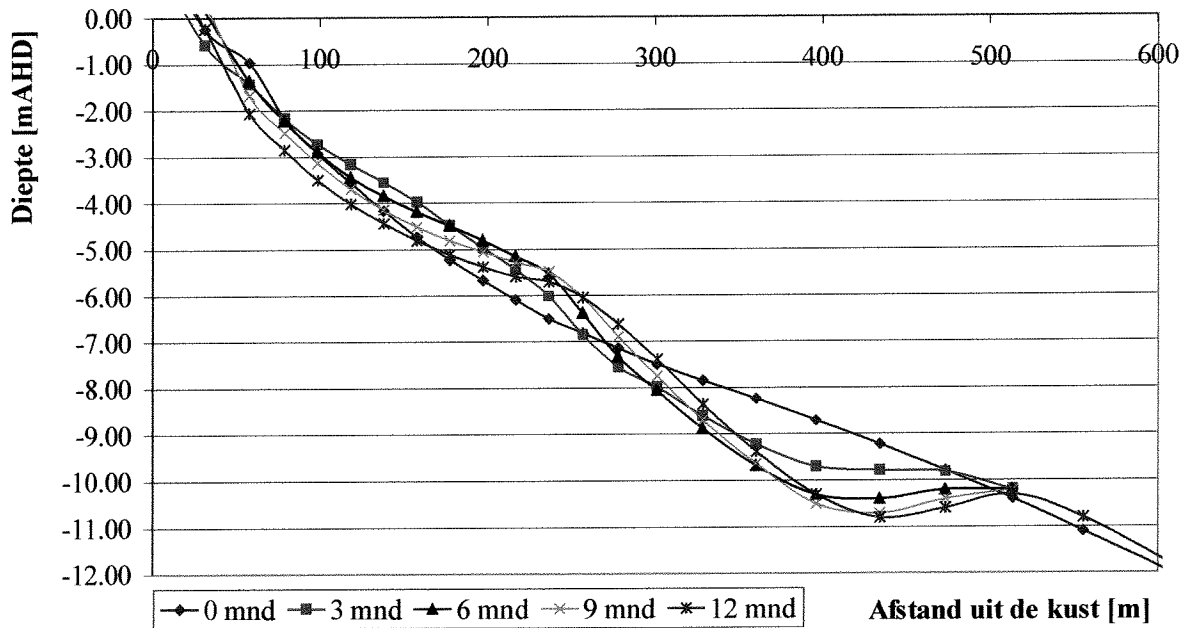
Bijlage E26b, Dwarsdoorsnede E ($H_{sig} = 1.66m$), windgolven, Energieflux

dsnE; $H_{sig} = 1.66m$; $T_p = 5s$



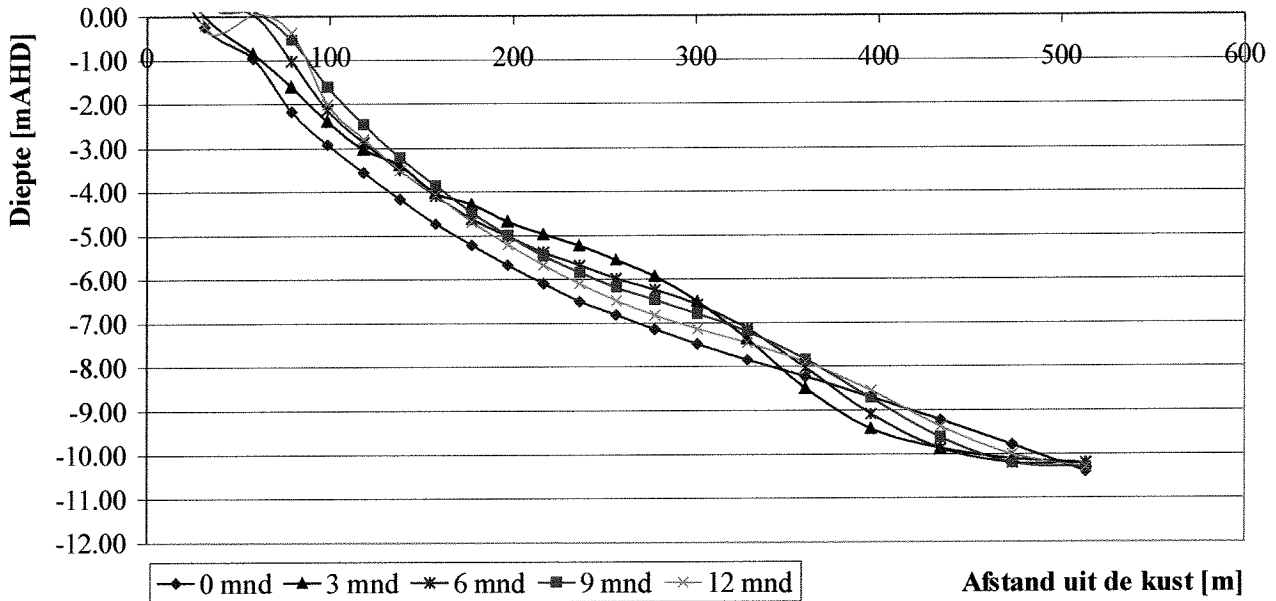
Bijlage E26cDwarsdoorsnede E ($H_{sig} = 1.66m$), windgolven, Tijd

dsnE; $H_{sig} = 1.66m$; $T_p = 5s$



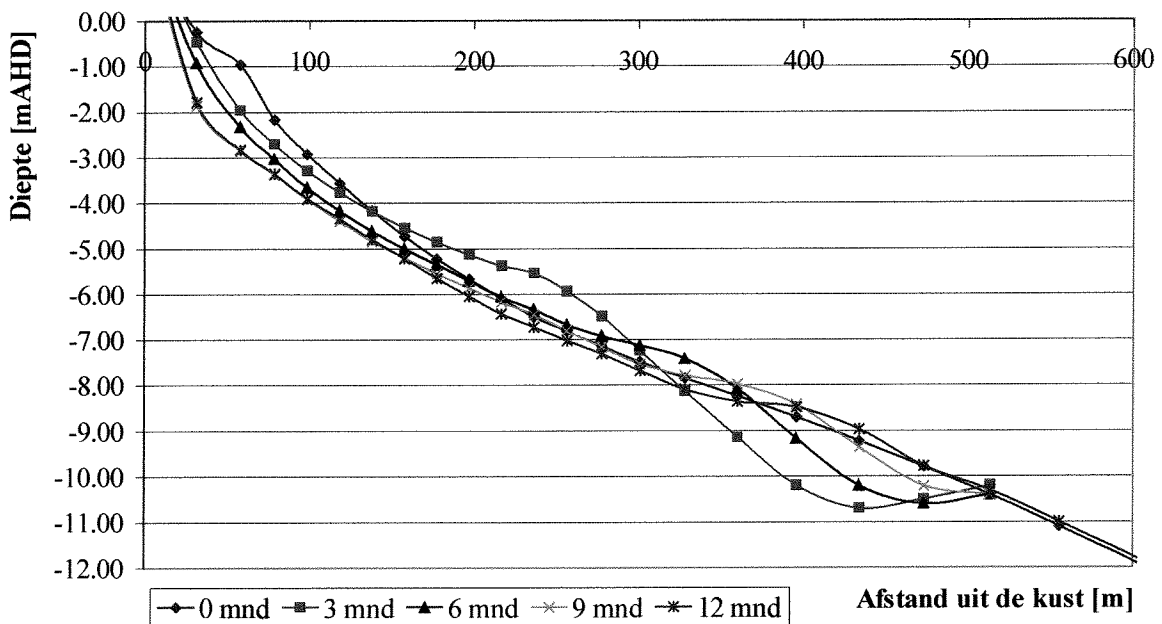
Bijlage E27a, Dwarsdoorsnede E ($H_{sig} = 1.99m$), deining

dsnE; $H_{sig} = 1.99m$; $T_p = 10s$



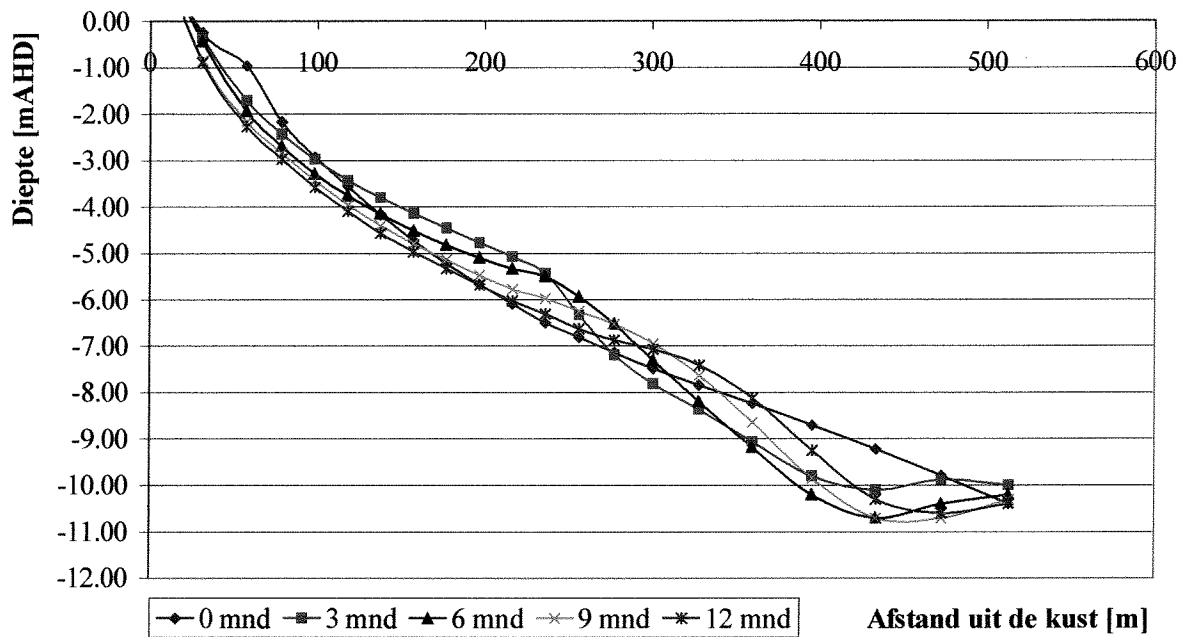
Bijlage E27b, Dwarsdoorsnede E ($H_{sig} = 1.99m$), windgolven, Energieflux

dsnE; $H_{sig} = 1.99m$; $T_p = 5s$



Bijlage E27c, Dwarsdoorsnede E ($H_{sig} = 1.99m$), windgolven, Tijd

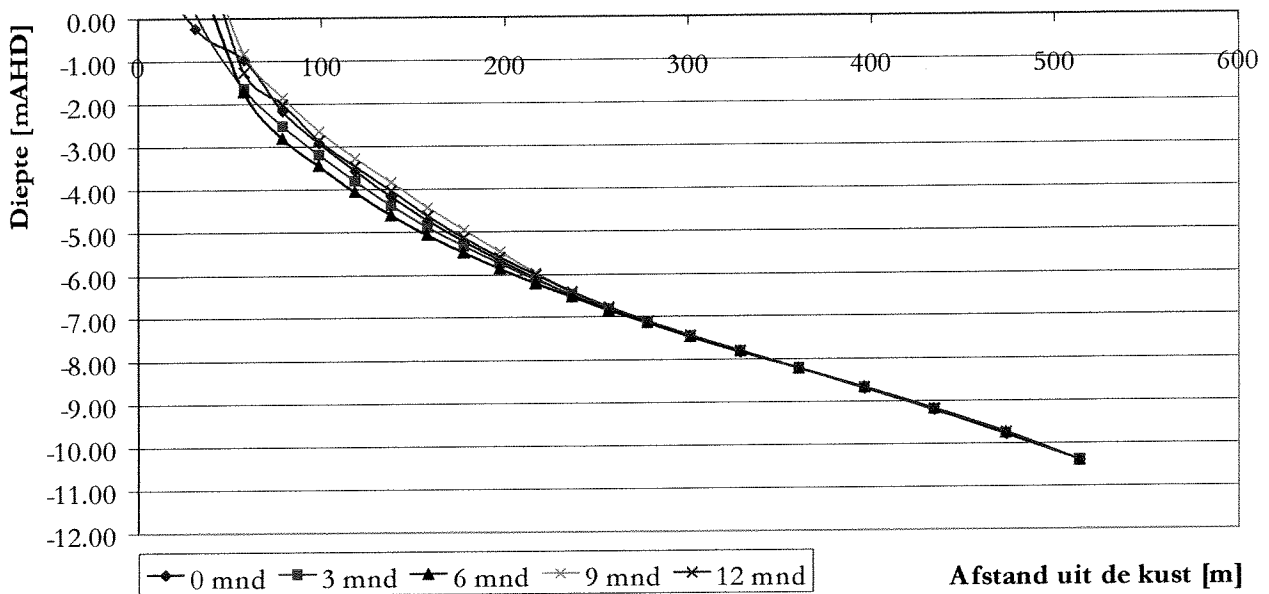
dsnE; $H_{sig} = 1.99m$; $T_p = 5s$



B

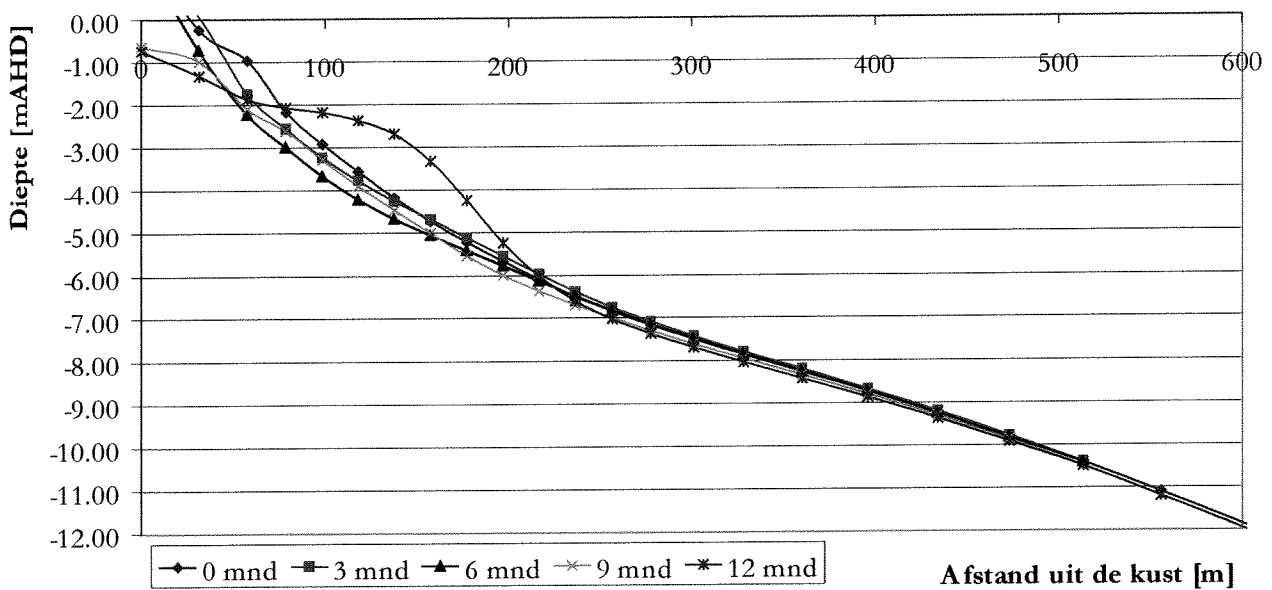
Bijlage E28a, Dwarsdoorsnede F ($H_{sig} = 1.66m$), deining

dsnF; $H_{sig} = 1.66m$; $T_p = 10 s$



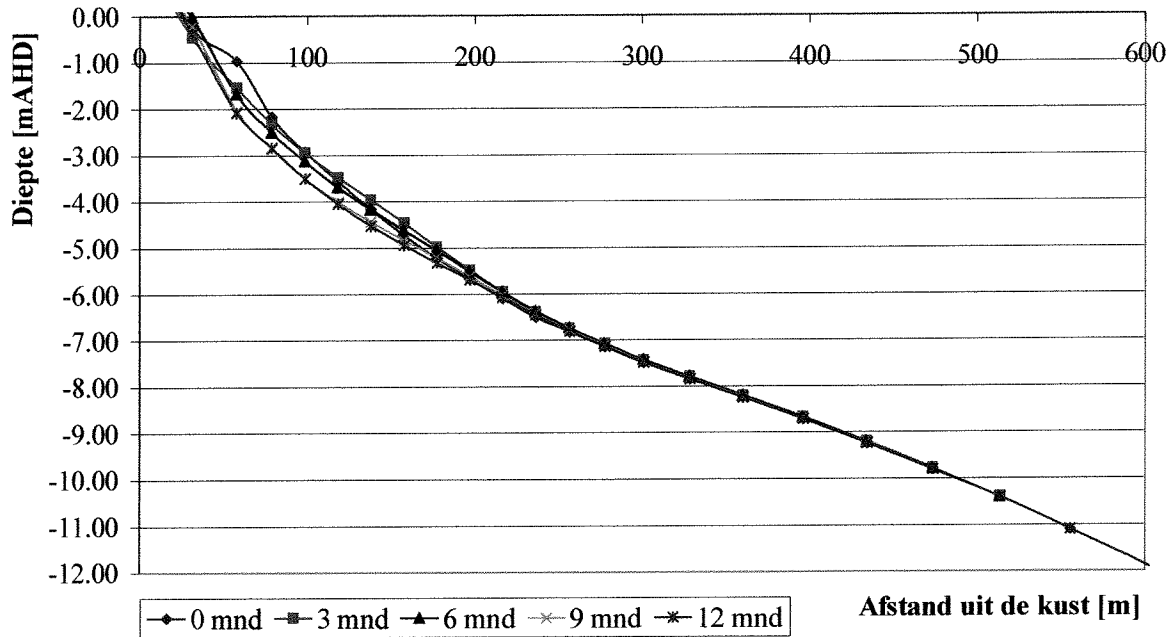
Bijlage E28b, Dwarsdoorsnede F ($H_{sig} = 1.66m$), windgolven, Energieflux

dsn F; $H_{sig} = 1.66m$; $T_p = 5s$



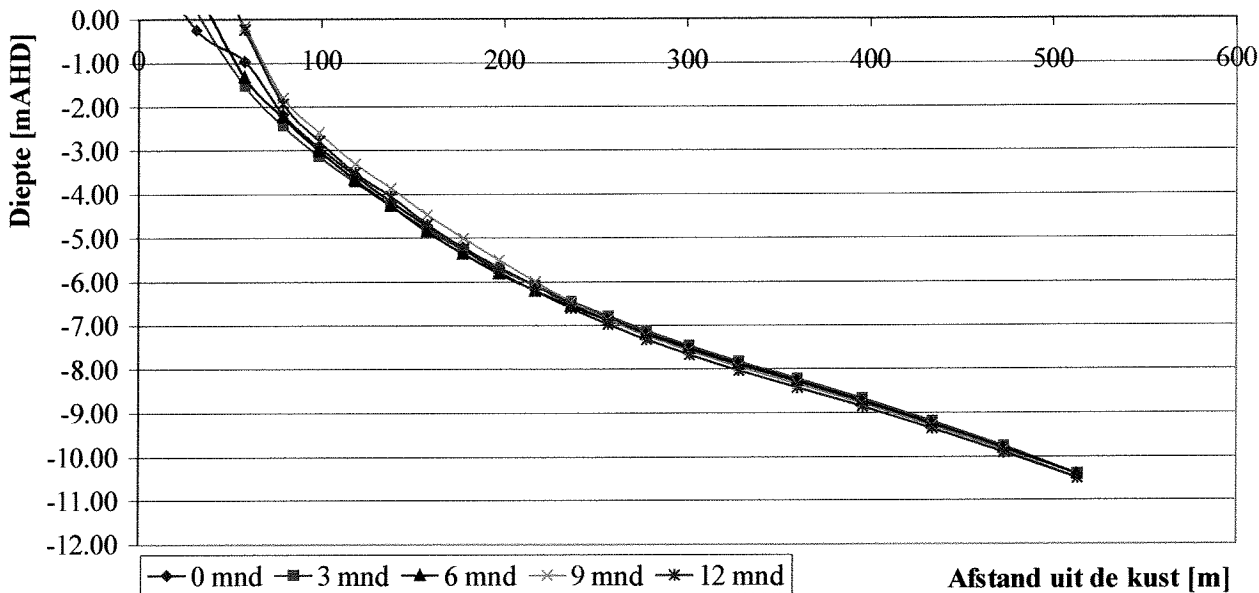
Bijlage E28c, Dwarsdoorsnede F ($H_{sig} = 1.66m$), windgolven, Tijd

dsnF; $H_{sig} = 1.66m$; $T_p = 5s$



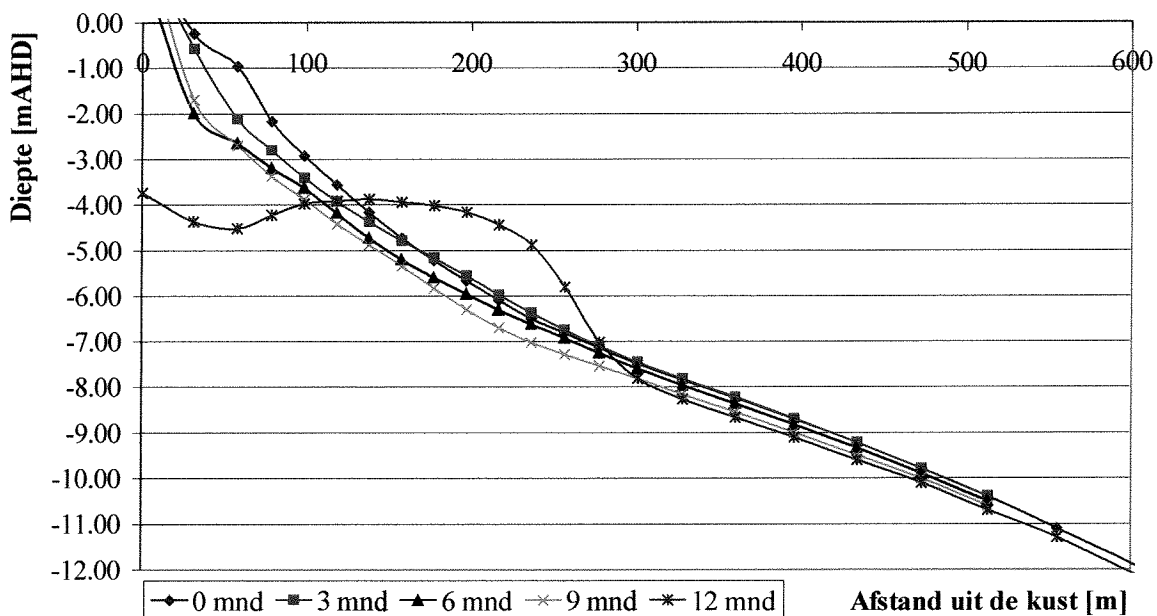
Bijlage E29a, Dwarsdoorsnede F ($H_{sig} = 1.99m$), deining

$dsnF; H_{sig} = 1.99m; T_p = 10s$



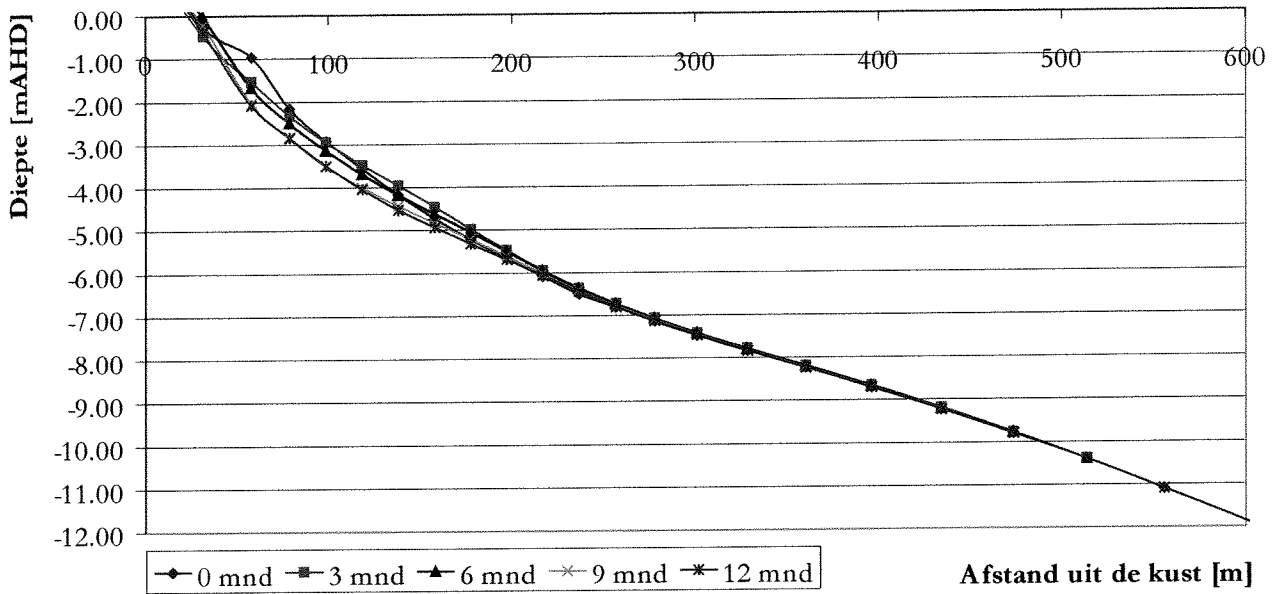
Bijlage E29b, Dwarsdoorsnede F ($H_{sig} = 1.99m$), windgolven, Energieflux

$dsnF; H_{sig} = 1.99m; T_p = 5s$



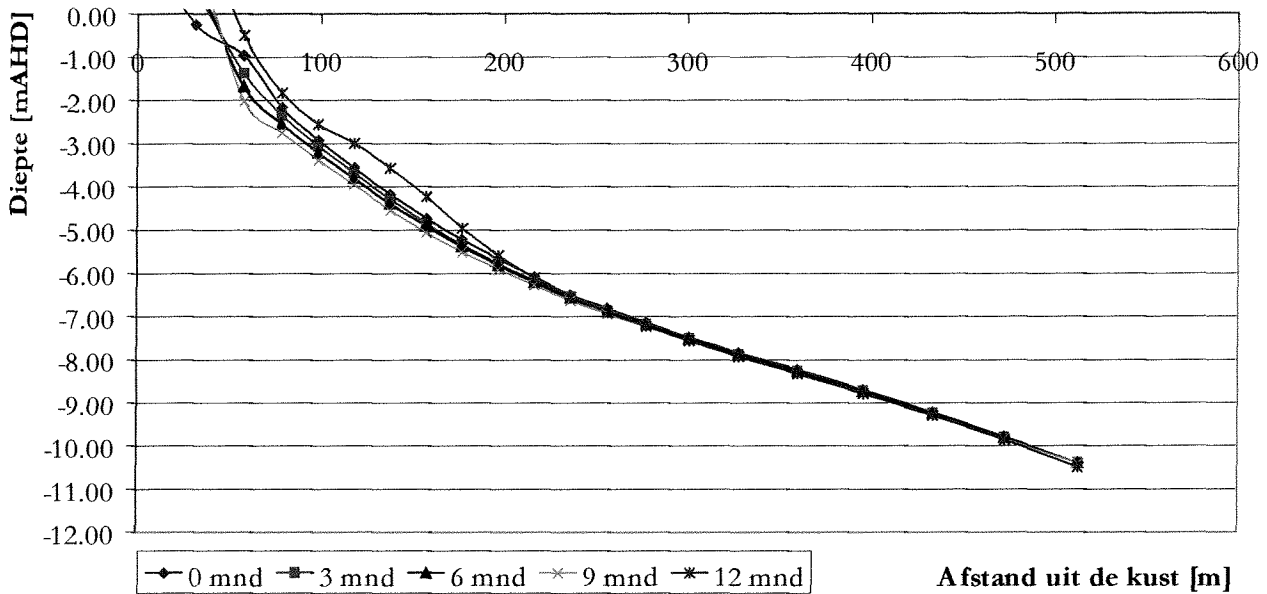
Bijlage E29c Dwarsdoorsnede F ($H_{sig} = 1.99m$), windgolven, Tijd

dsnF; $H_{sig} = 1.99m$ $T_p = 5s$



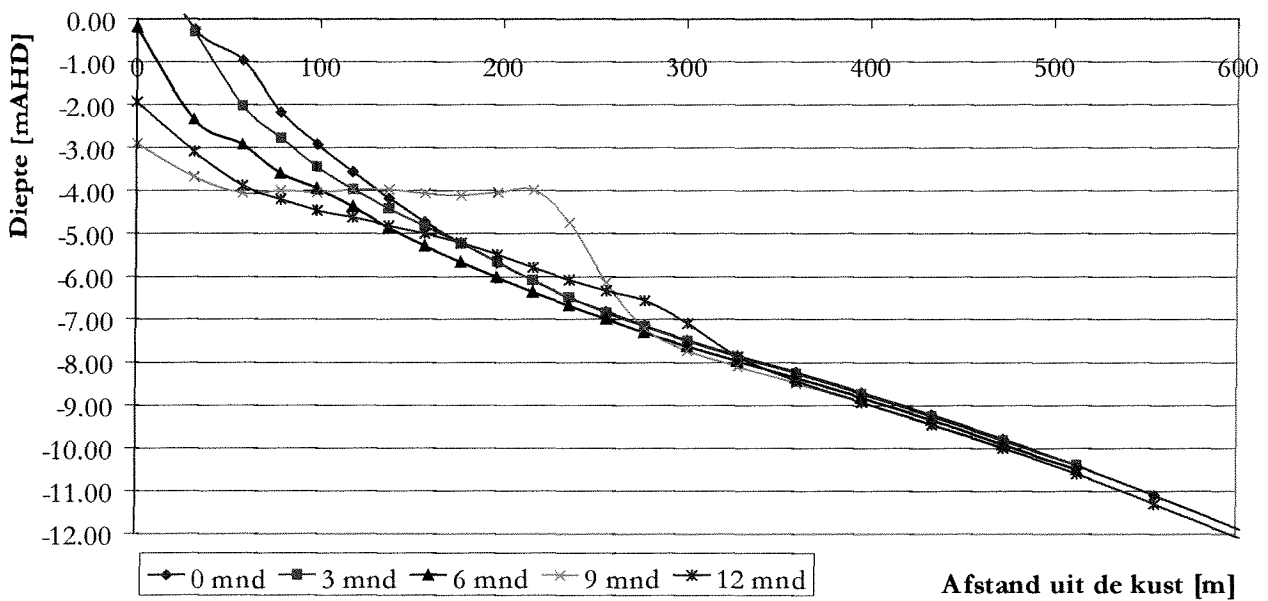
Bijlage E30a Dwarsdoorsnede G ($H_{sig} = 1.66\text{m}$), deining

d_{snG} ; $H_{sig} = 1.66\text{ m}$; $T_p = 10\text{ s}$



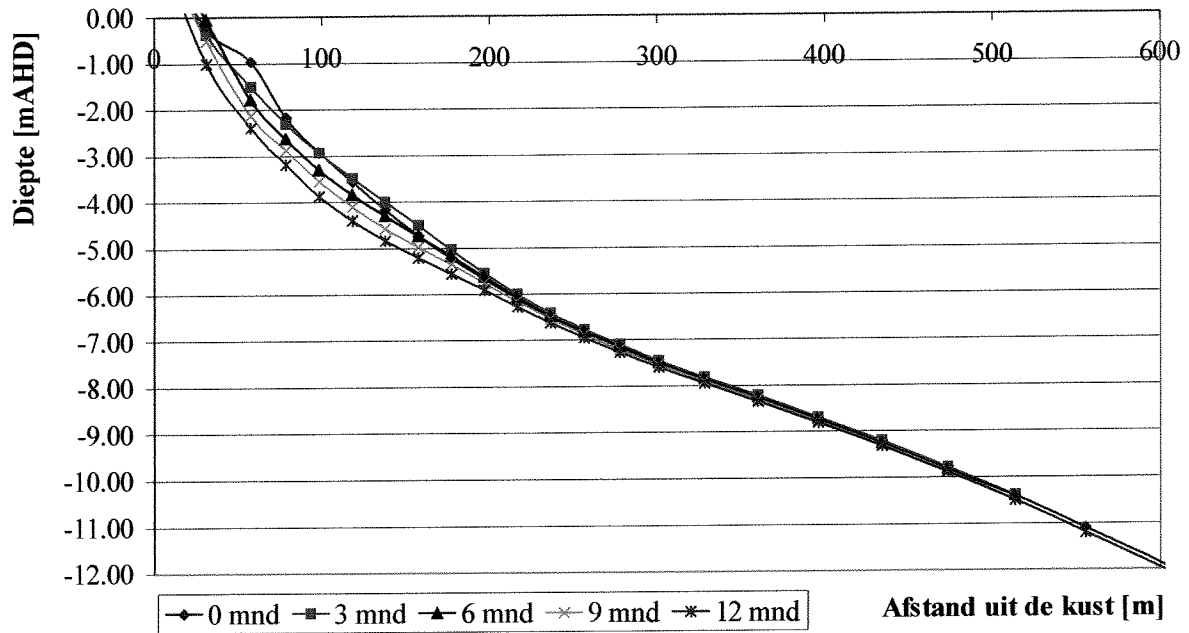
Bijlage E30b, Dwarsdoorsnede G ($H_{sig} = 1.66\text{m}$), windgolven, Energieflux

d_{snG} ; $H_{sig} = 1.66\text{m}$; $T_p = 5\text{ s}$



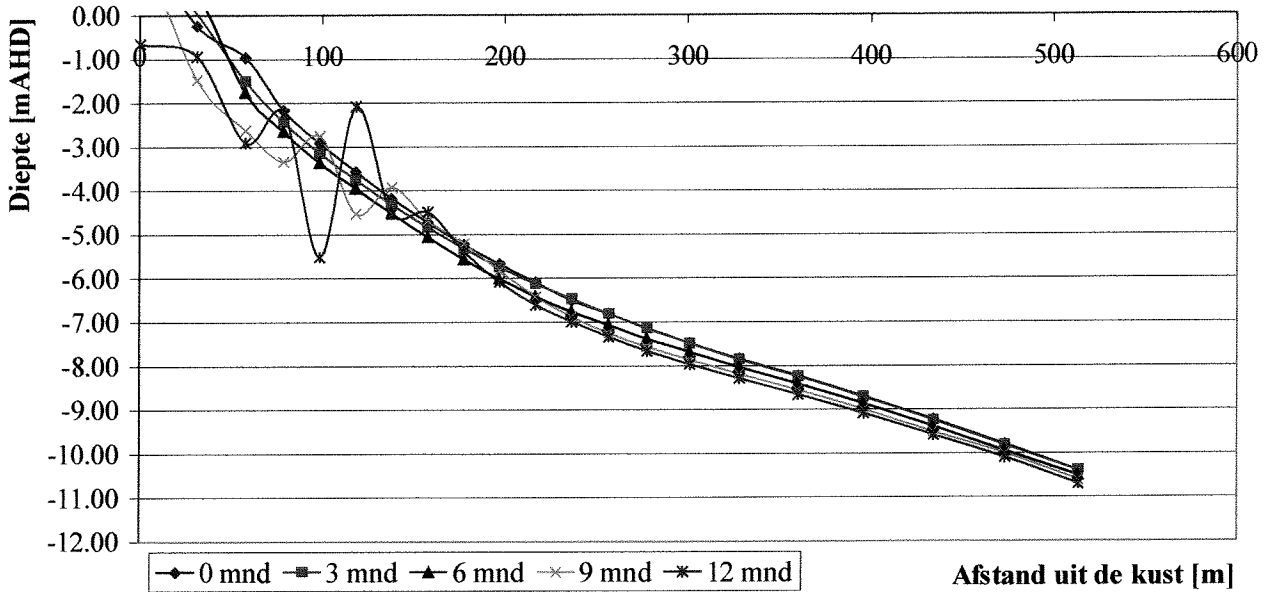
Bijlage E30c, Dwarsdoorsnede G ($H_{sig} = 1.66\text{m}$), windgolven, Tijd

dsnG; $H_{sig} = 1.66\text{m}$; $T_p = 5\text{s}$



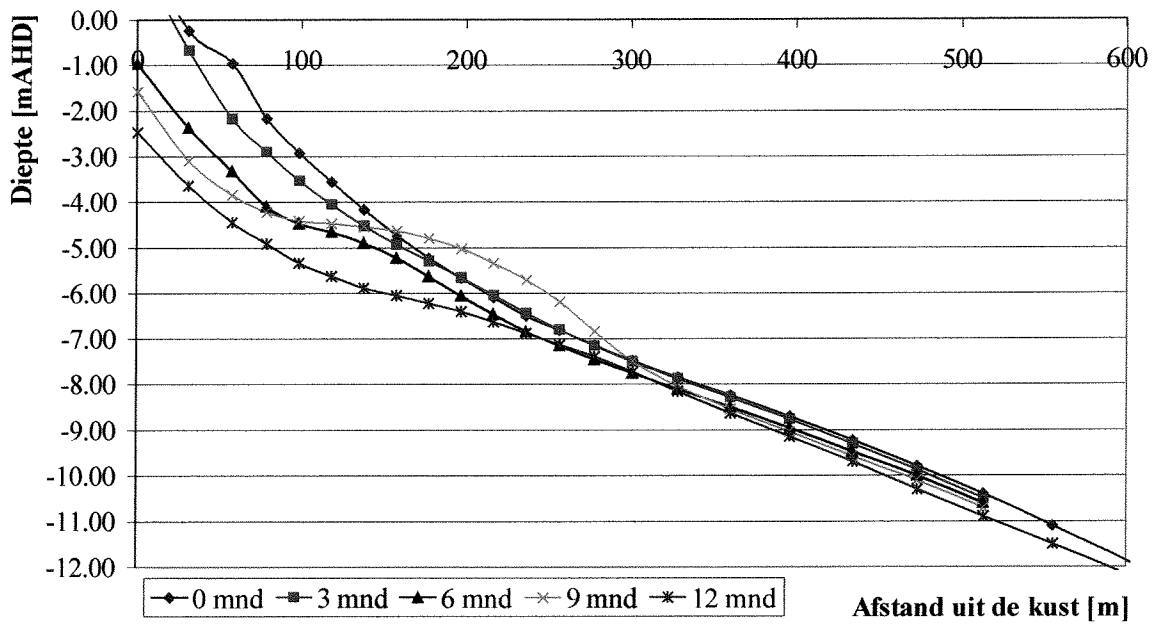
Bijlage E31a, Dwarsdoorsnede G ($H_{sig} = 1.99m$), deining

dsnG; $H_{sig} = 1.99m$; $T_p = 10s$



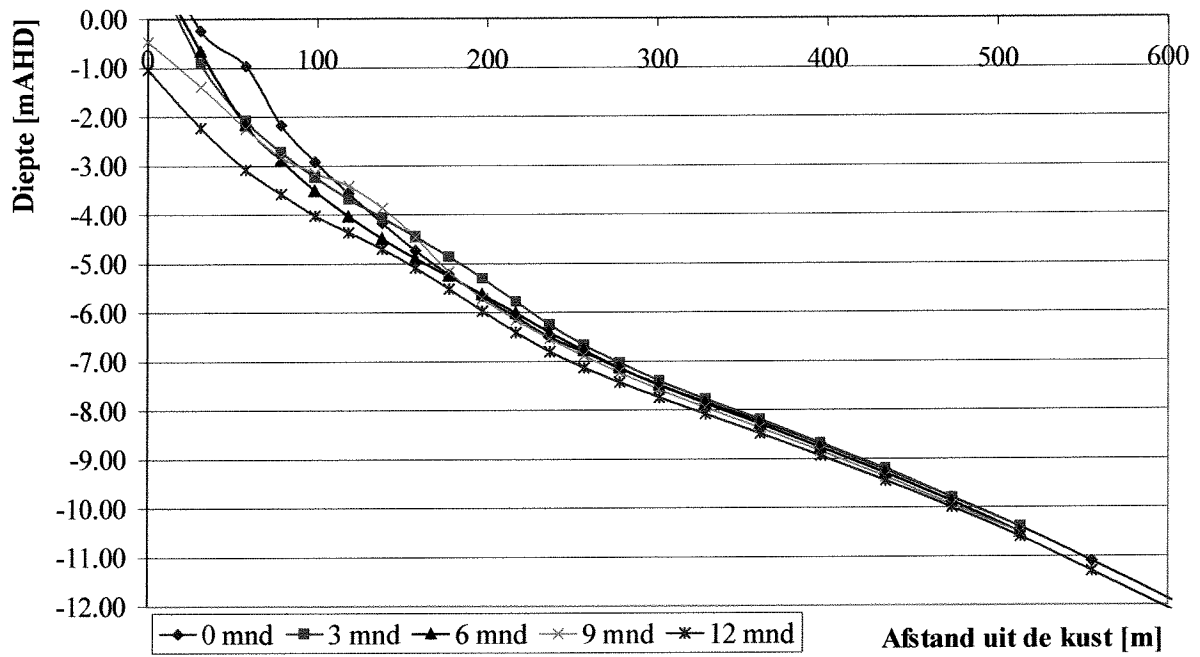
Bijlage E31b, Dwarsdoorsnede G ($H_{sig} = 1.99m$), windgolven, Energieflux

dsnG; $H_{sig} = 1.99m$; $T_p = 5s$



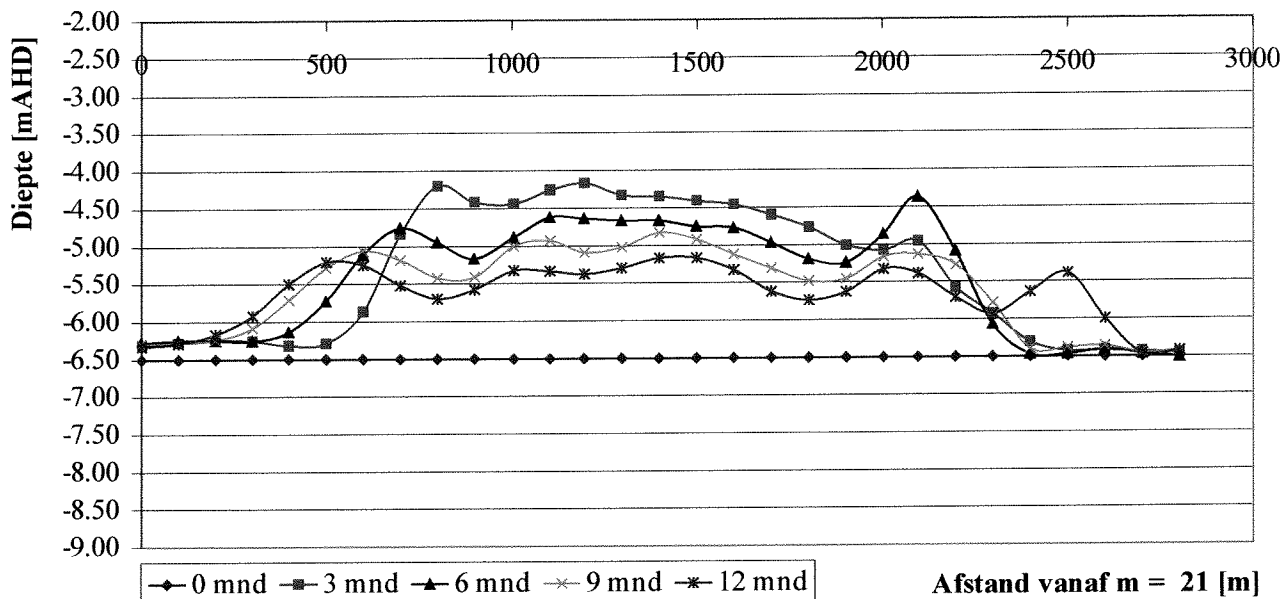
Bijlage E31c, Dwarsdoorsnede G ($H_{sig} = 1.99m$), windgolven, Tijd

dsnG; $H_{sig} = 1.99m$; $T_p = 5s$



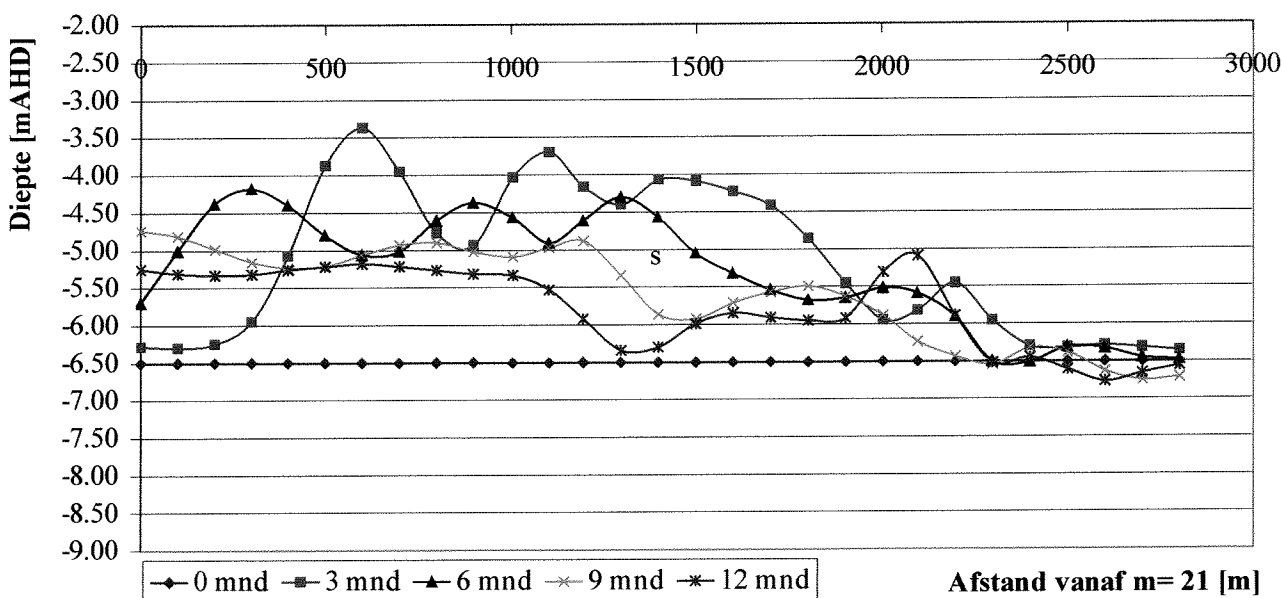
Bijlage E32a, Langsdoorsnede n = 12, H_{sig} = 1.66m, deining

n = 12; H_{sig} = 1.66m; T_p = 10s



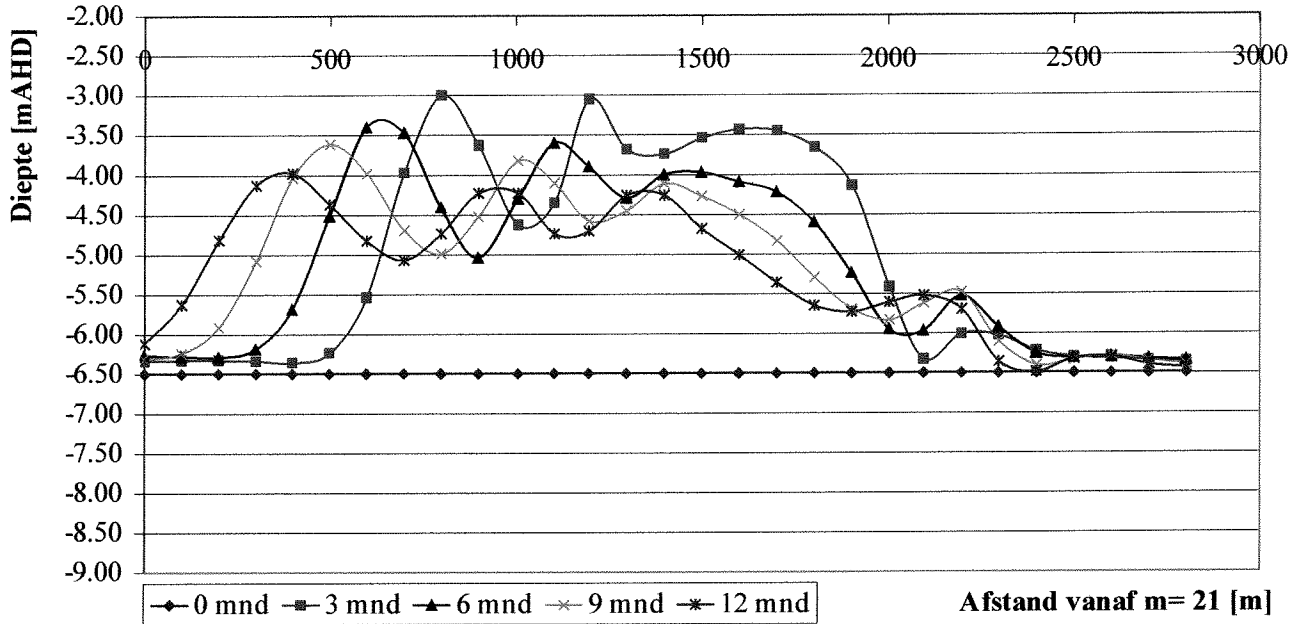
Bijlage E32b, Langsdoorsnede n = 12, H_{sig} = 1.66m, windgolven, Energieflux

n = 12; H_{sig} = 1.66m; T_p = 5s



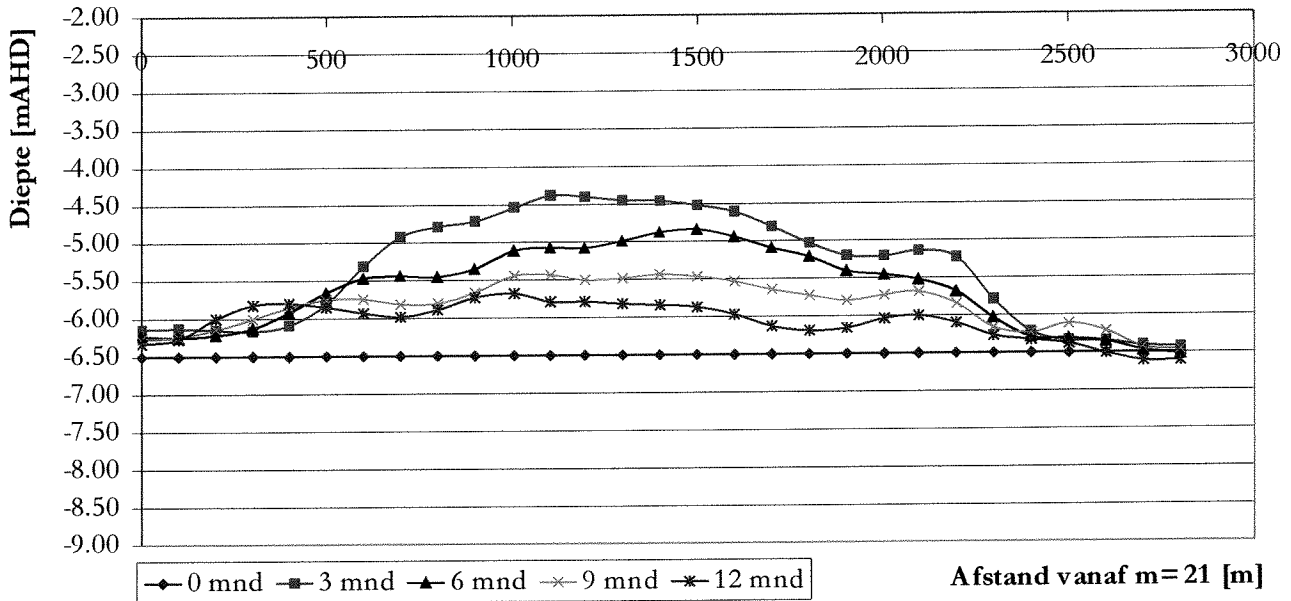
Bijlage E32c, Langsdoorsnede n = 12, $H_{sig} = 1.66m$, windgolven, Tijd

n = 12; $H_{sig} = 1.66m$; $T_p = 5s$



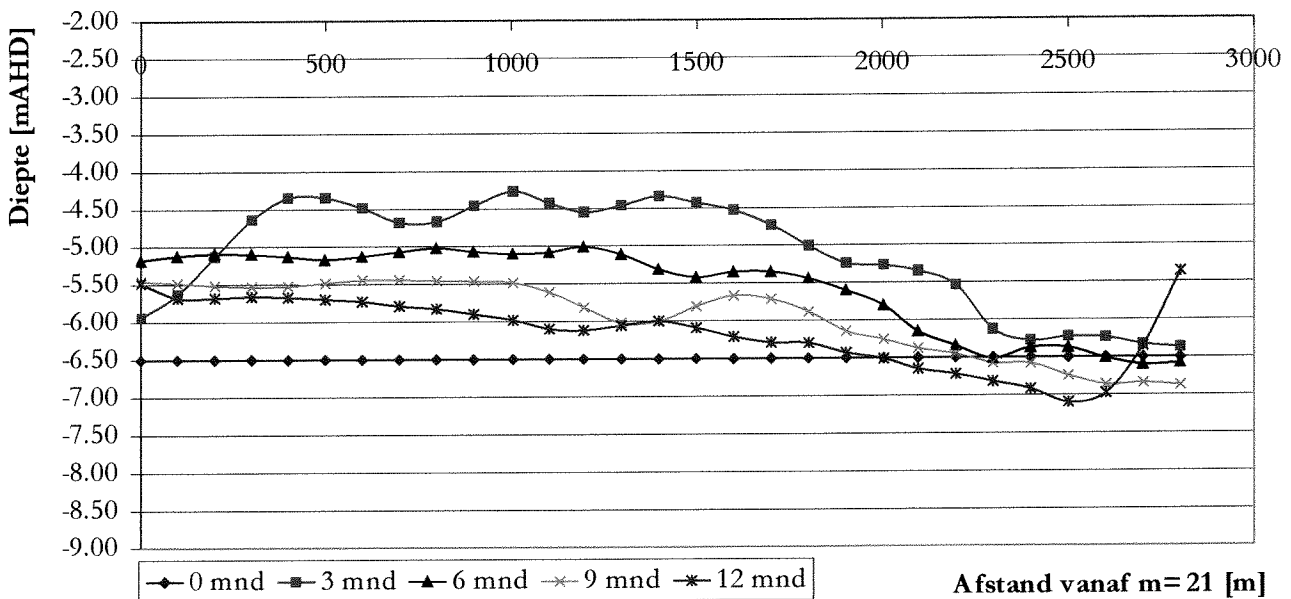
Bijlage E33a, Langsdoorsnede n = 12, H_{sig} = 1.99m, deining

n = 12; H_{sig} = 1.99m; T_p = 10s



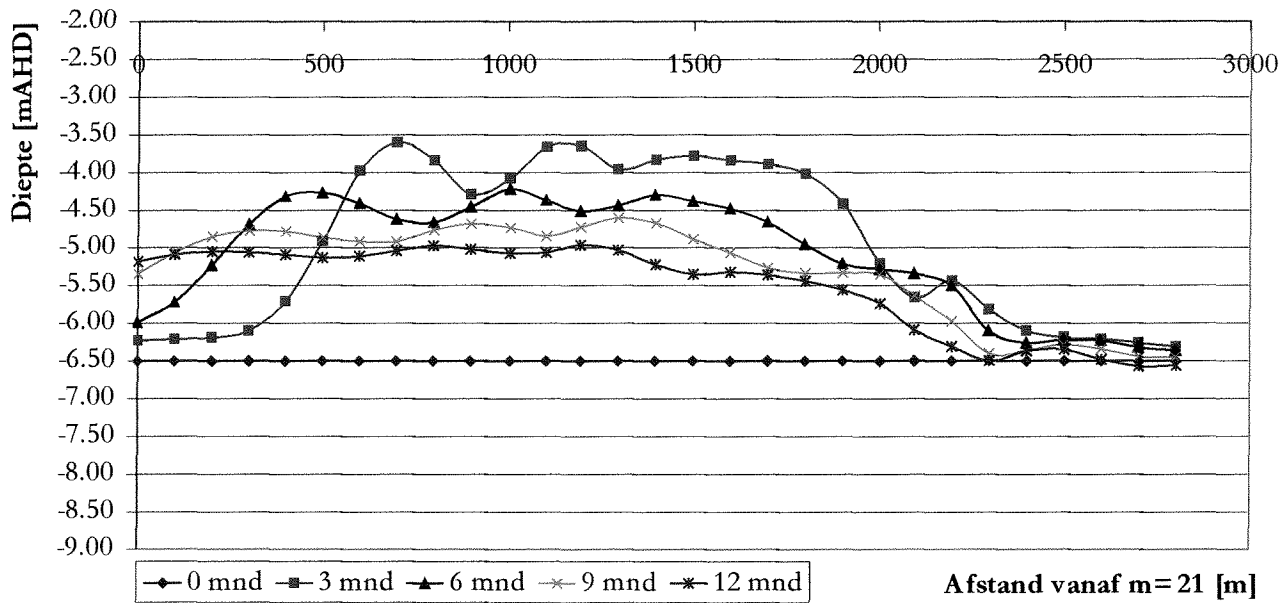
Bijlage E33b, Langsdoorsnede n = 12, H_{sig} = 1.99m windgolven, Energieflux

n = 12; H_{sig} = 1.99m; T_p = 5s



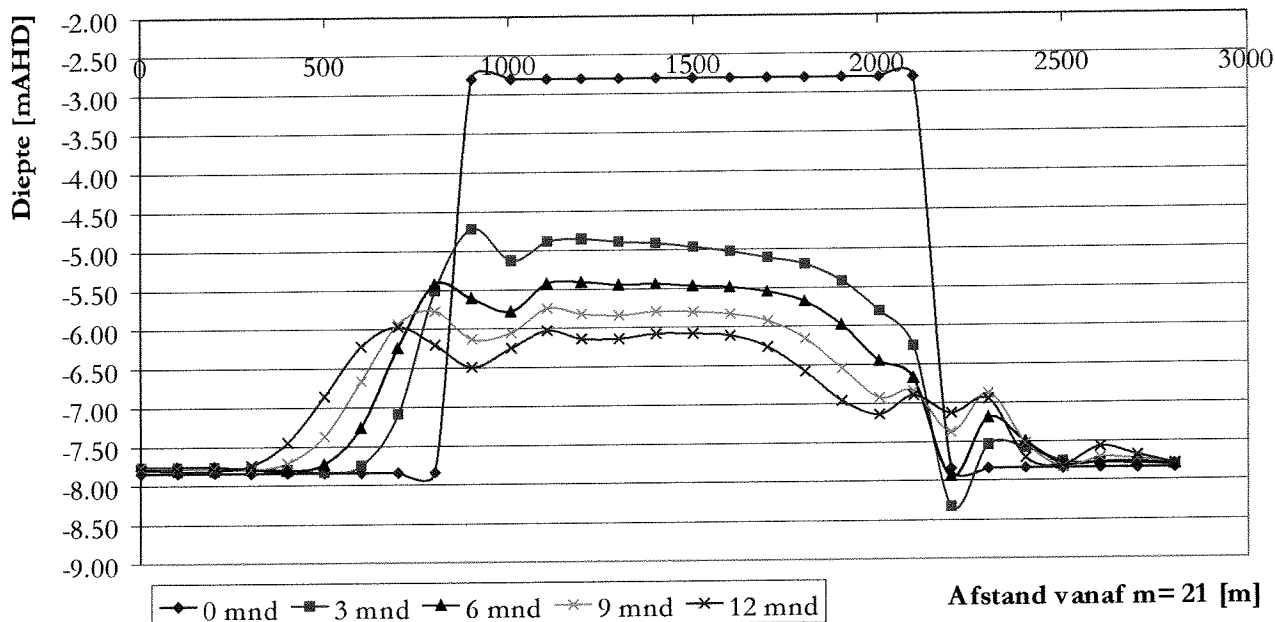
Bijlage E33c, Langsdoorsnede n = 12, $H_{sig} = 1.99m$, windgolven, Tijd

$n = 12$; $H_{sig} = 1.99m$; $T_p = 5s$



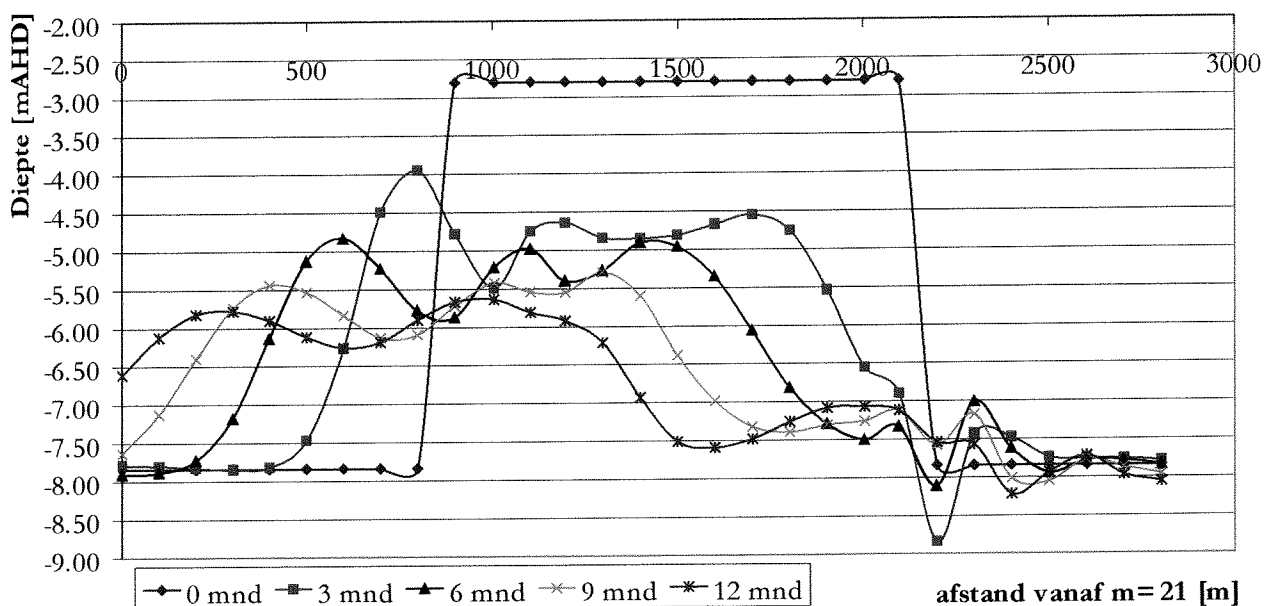
Bijlage E34a, Langsdoorsnede n = 16, $H_{sig} = 1.66m$, deining

n = 16; $H_{sig} = 1.66m$; $T_p = 10s$



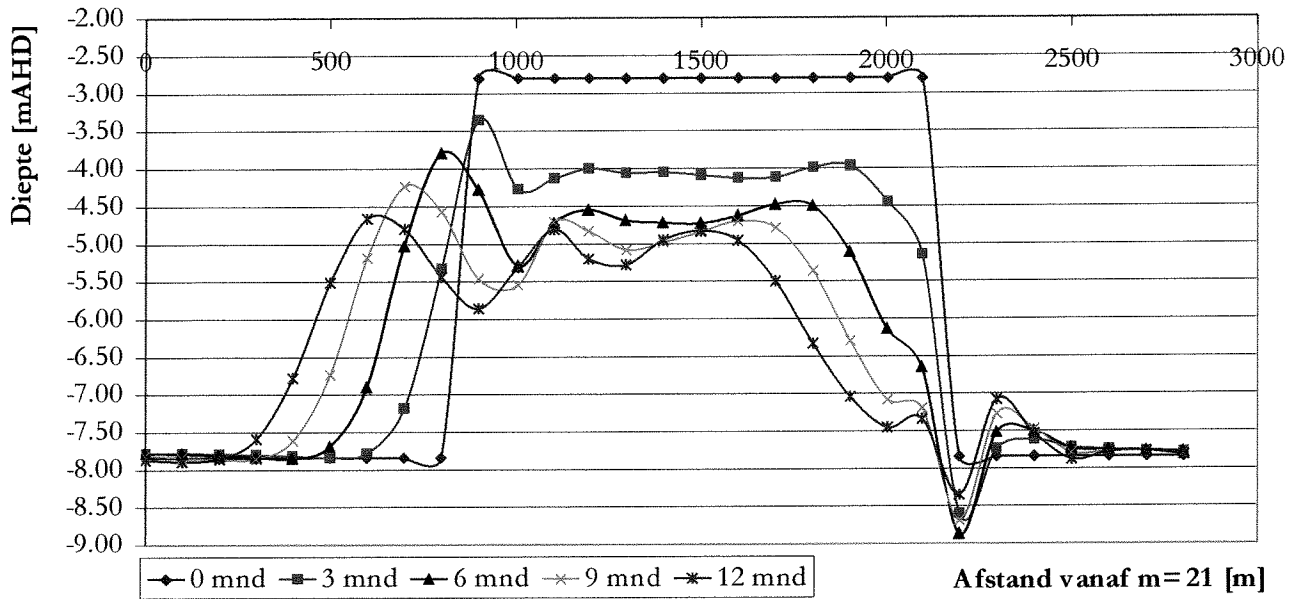
Bijlage E34b, Langsdoorsnede n = 16, $H_{sig} = 1.66m$, windgolven, Energieflux

n = 16; $H_{sig} = 1.66m$; $T_p = 5s$



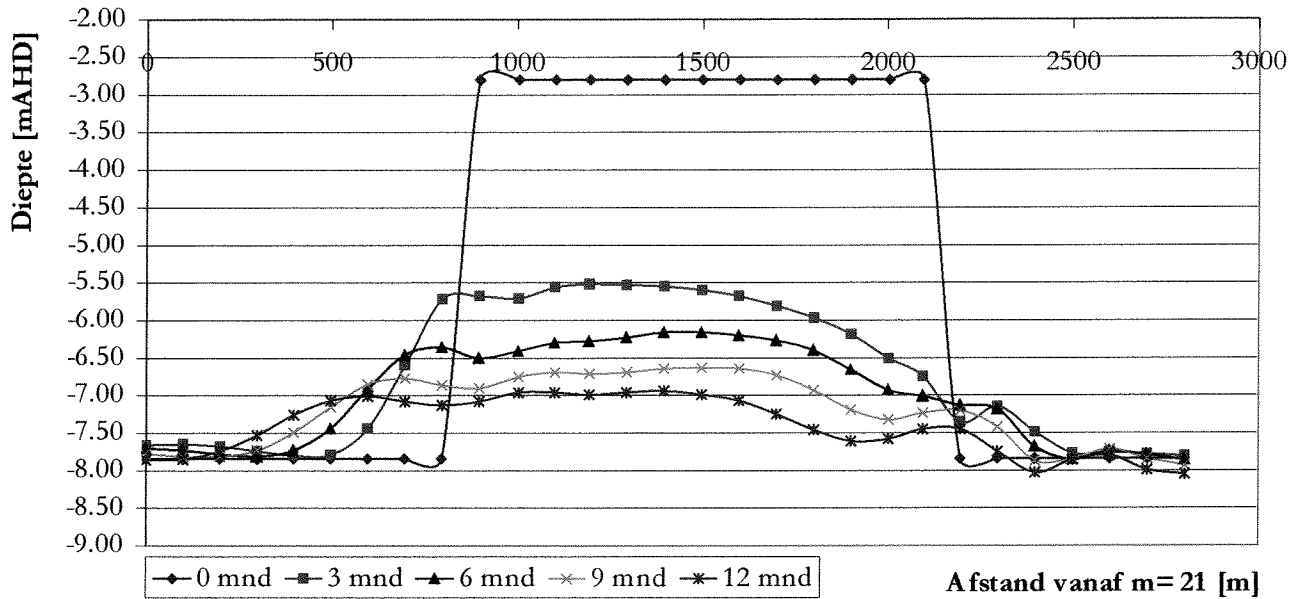
Bijlage E34c, Langsdoorsnede n = 16, $H_{sig} = 1.66m$, windgolven, Tijd

n=16; $H_{sig} = 1.66m$; $T_p = 5$



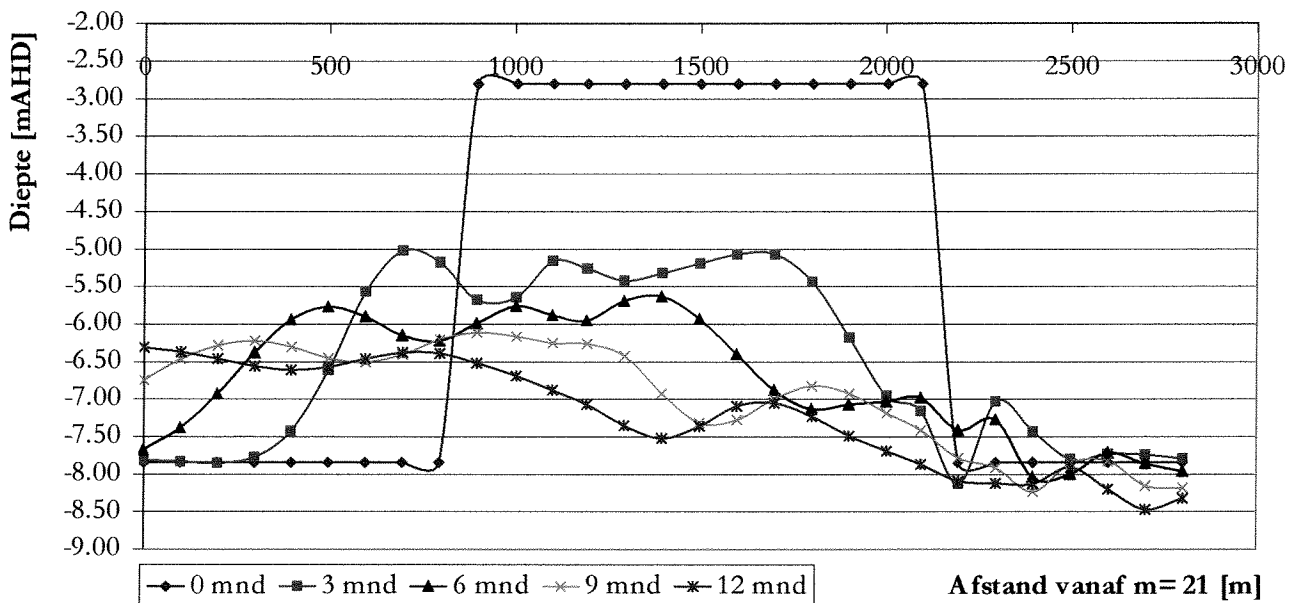
Bijlage E35a, Langsdoorsnede n = 16, H_{sig} = 1.99m, deining

n = 16; H_{sig} = 1.99m; T_p = 10s



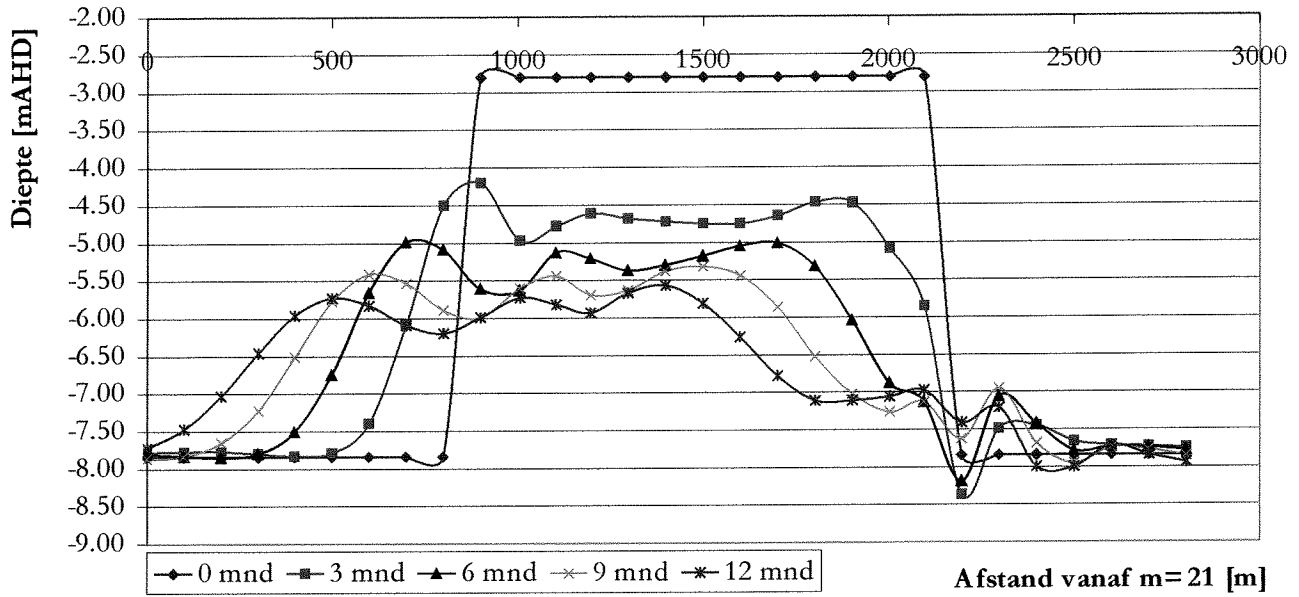
Bijlage E35b, Langsdoorsnede n = 16, H_{sig} = 1.99m windgolven, Energieflux

n = 16; H_{sig} = 1.99m; T_p = 5s



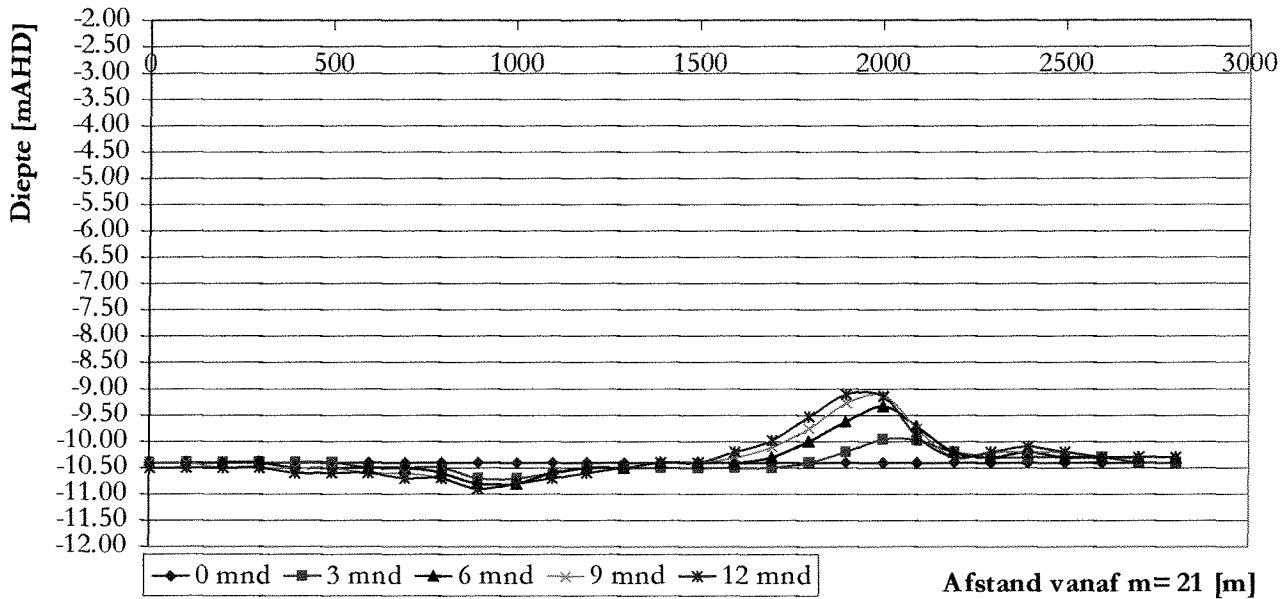
Bijlage E35c, Langsdoorsnede n = 16, $H_{sig} = 1.99m$, windgolven, Tijd

$n = 16$; $H_{sig} = 1.99m$; $T_p = 5s$



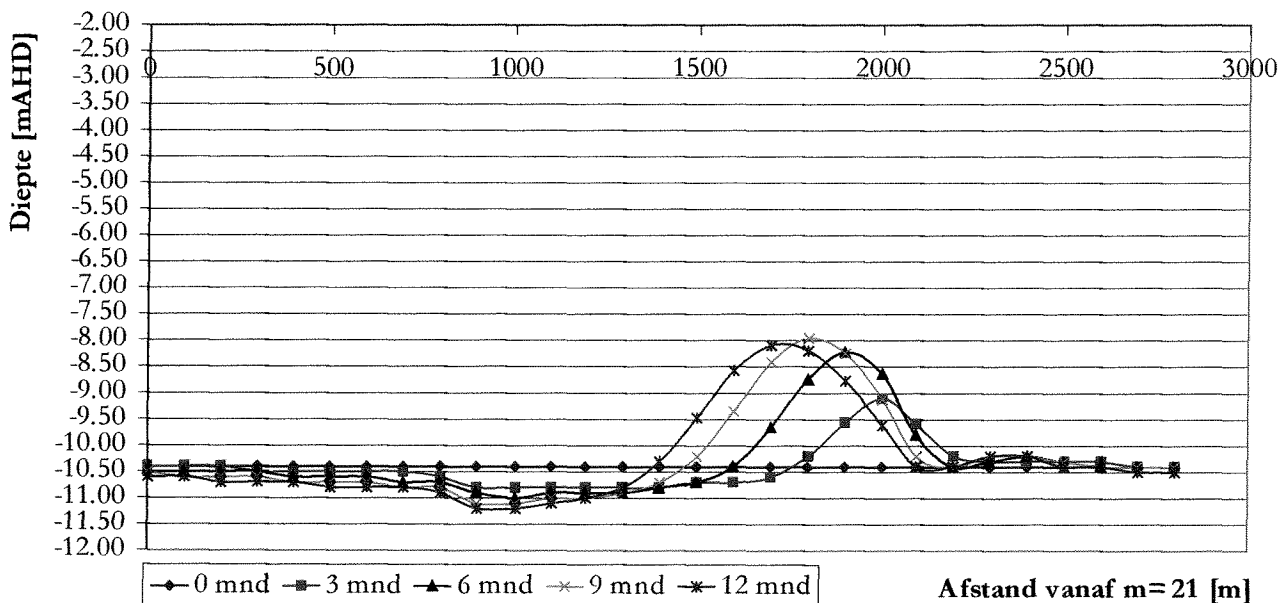
Bijlage E36a, Langsdoorsnede n = 21, $H_{sig} = 1.66m$, deining

$n = 21$; $H_{sig} = 1.66m$; $T_p = 10s$



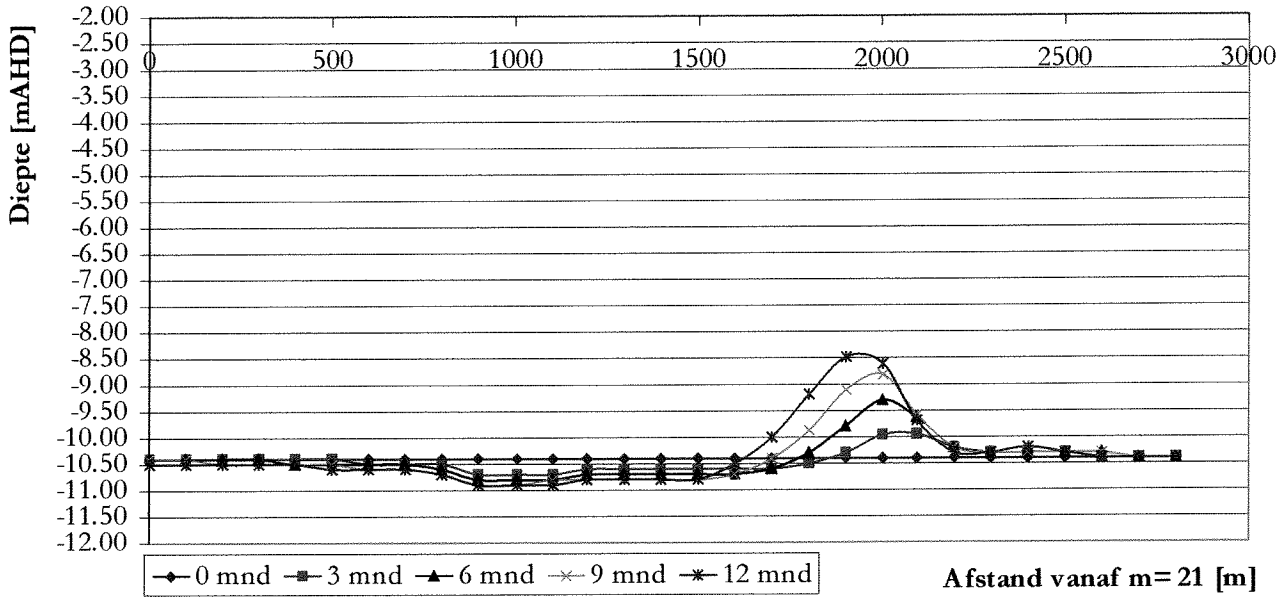
Bijlage E36b, Langsdoorsnede n = 21, $H_{sig} = 1.66m$, windgolven, Energieflux

$n = 21$; $H_{sig} = 1.66m$; $T_p = 5s$



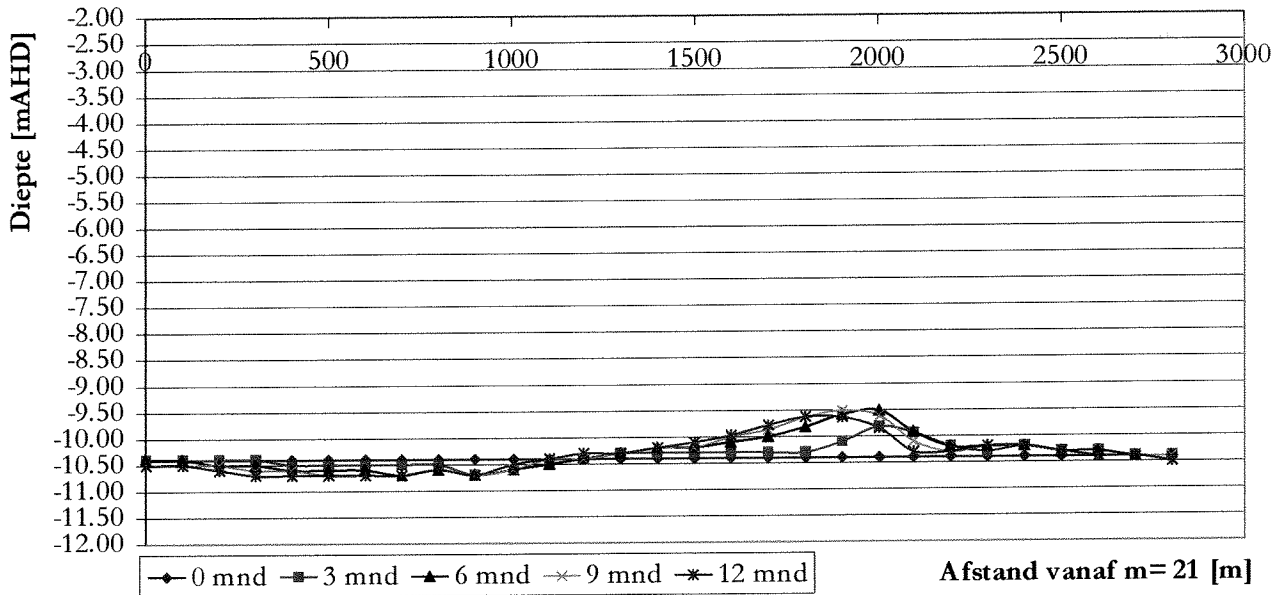
Bijlage E36c, Langsdoorsnede n = 21, $H_{sig} = 1.66m$, windgolven, Tijd

$n = 21$; $H_{sig} = 1.66m$; $T_p = 5s$



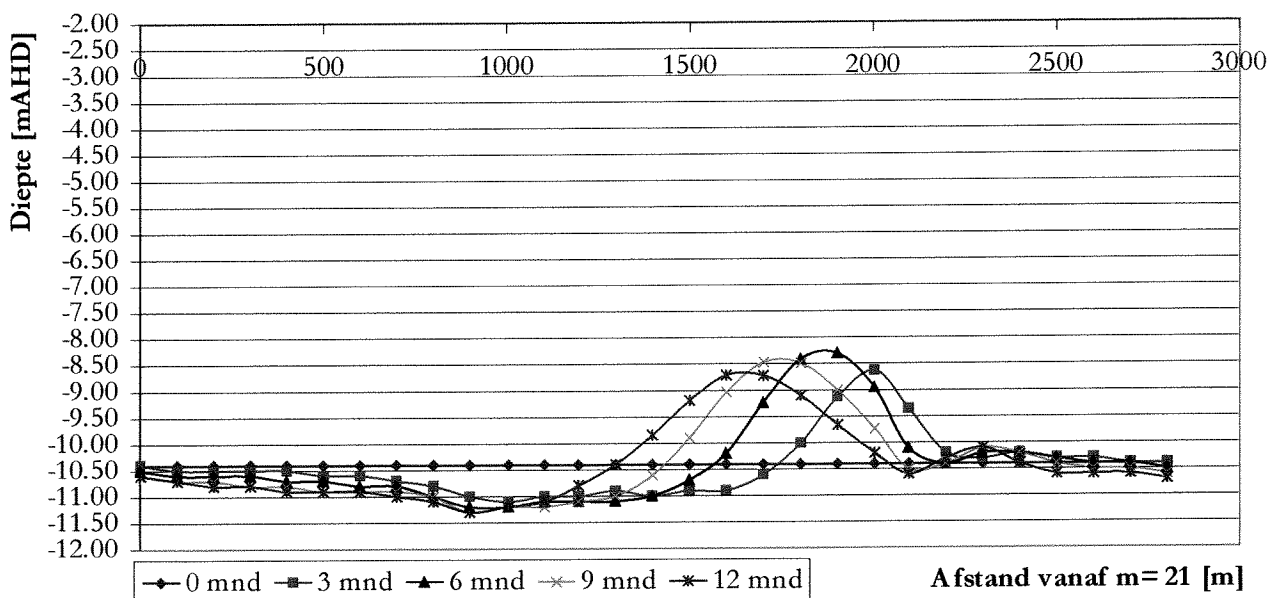
Bijlage E37a, Langsdoorsnede n = 21, $H_{sig} = 1.99m$, deining

$n = 21$; $H_{sig} = 1.99m$; $T_p = 10s$



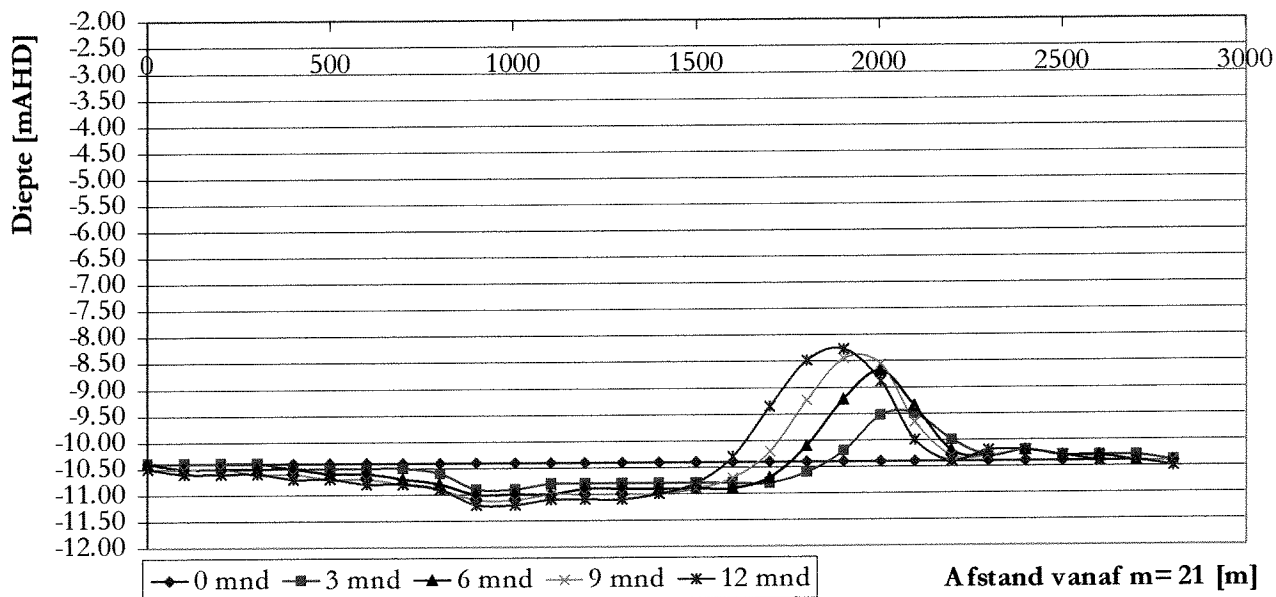
Bijlage E37b, Langsdoorsnede n = 21, $H_{sig} = 1.99m$ windgolven, Energieflux

$n = 21$; $H_{sig} = 1.99m$; $T_p = 5s$



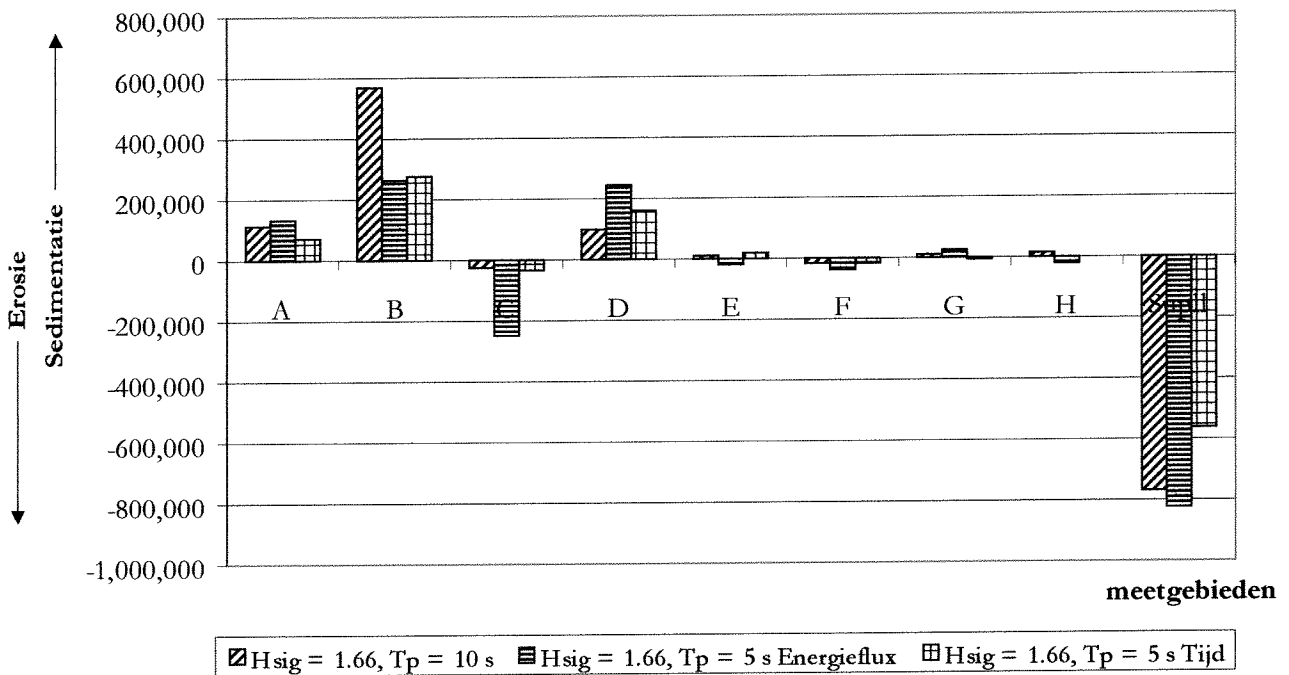
Bijlage E37c, Langsdoorsnede n = 21, $H_{sig} = 1.99m$, windgolven, Tijd

$n = 21$; $H_{sig} = 1.99m$; $T_p = 5s$



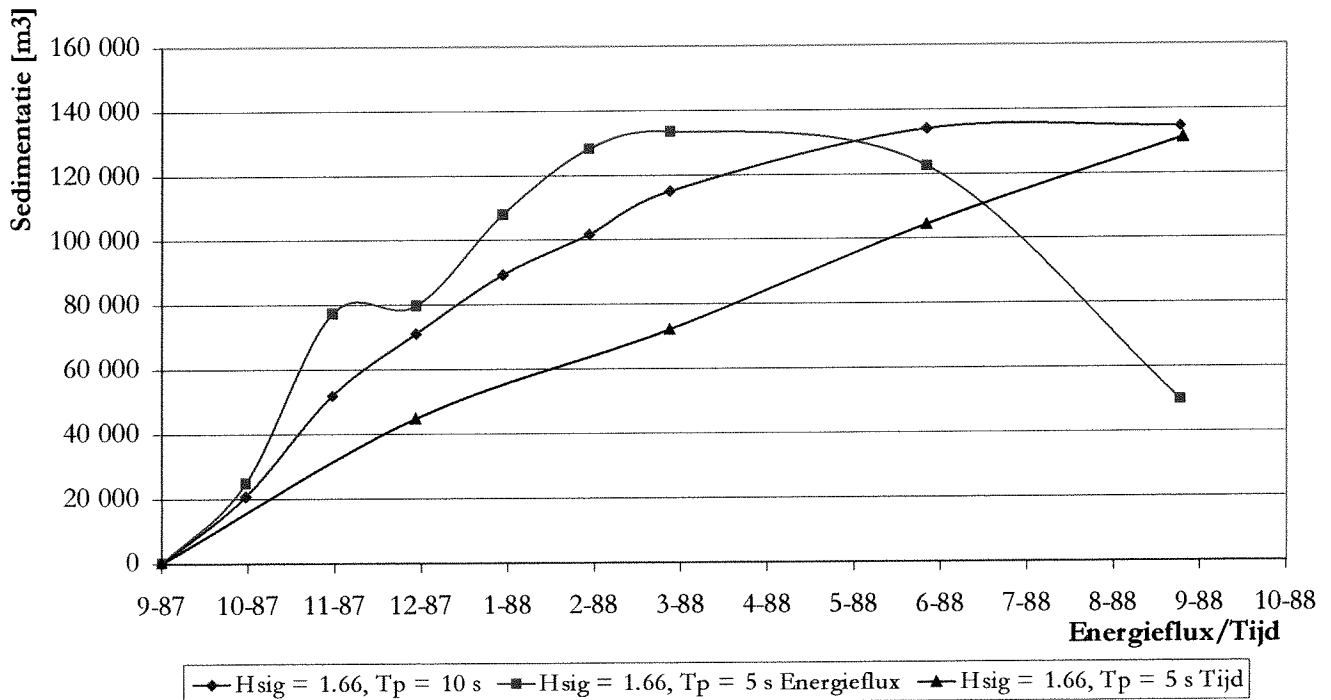
Bijlage E38, Staafdiagram zandvolumes meetgebieden, 1/2 jaar

Sedimentatie/erosie 1/2 jaar



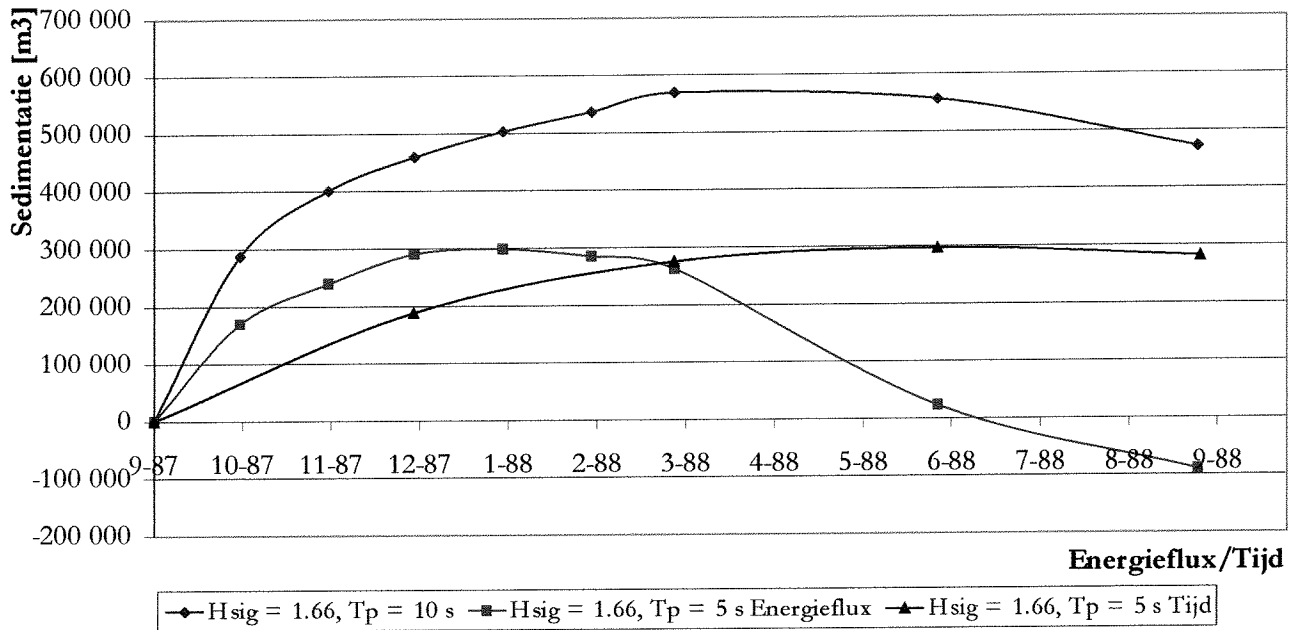
Bijlage E39, Volume toename/afname meetgebied A

Meetgebied A



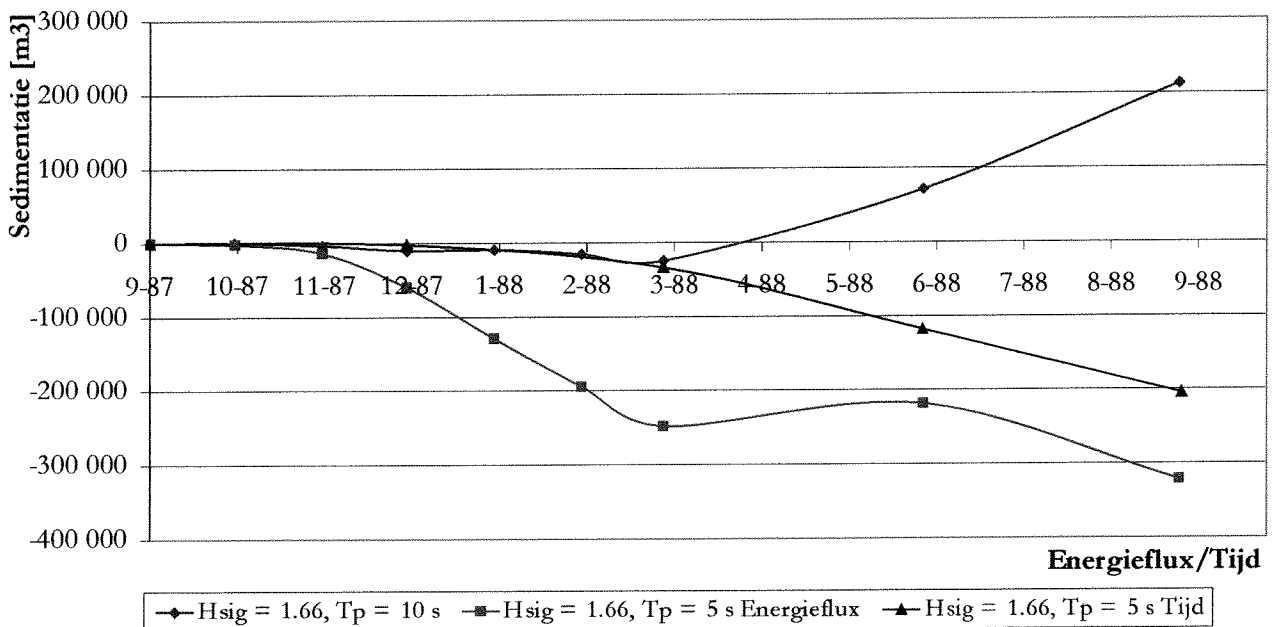
Bijlage E40, Volume toename/afname meetgebied B

Meetgebied B



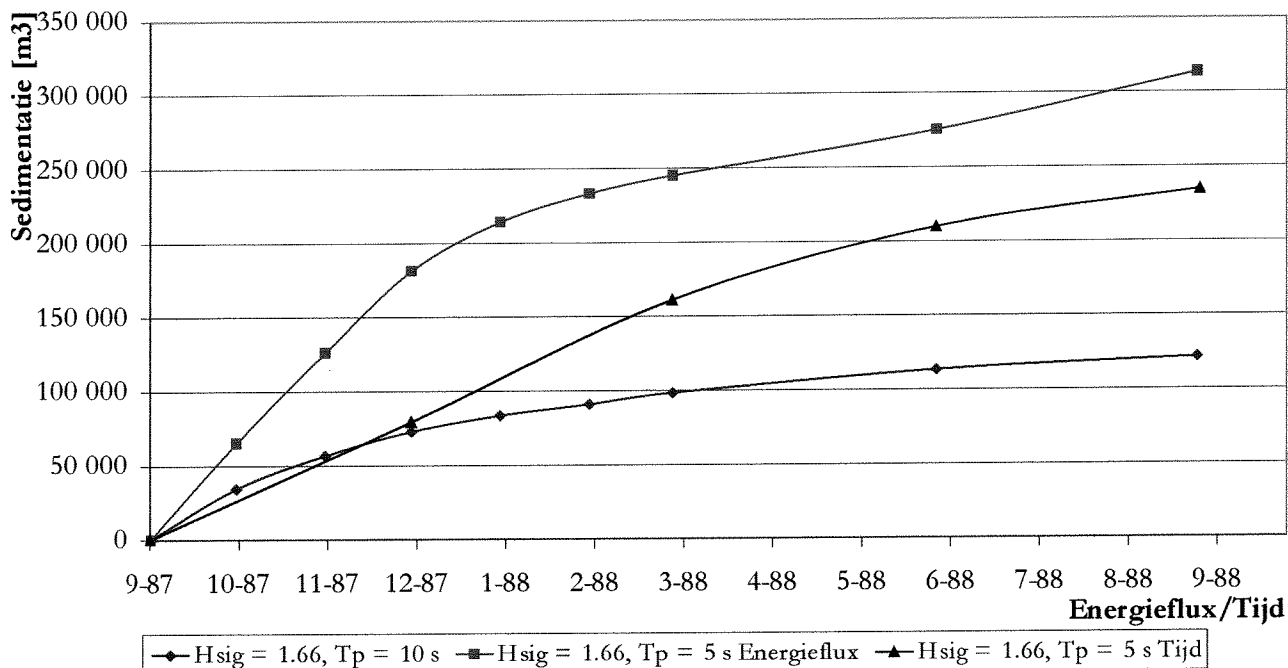
Bijlage E41, Volume toename/afname meetgebied C

Meetgebied C



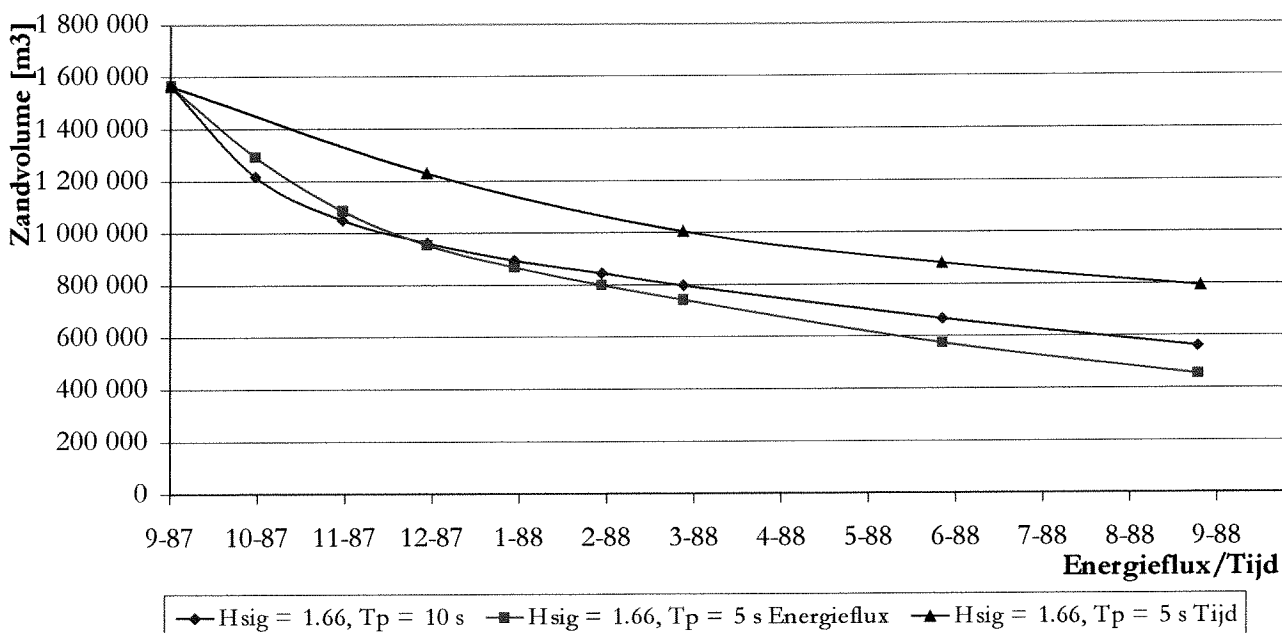
Bijlage E42, Volume toename/afname meetgebied D

Meetgebied D

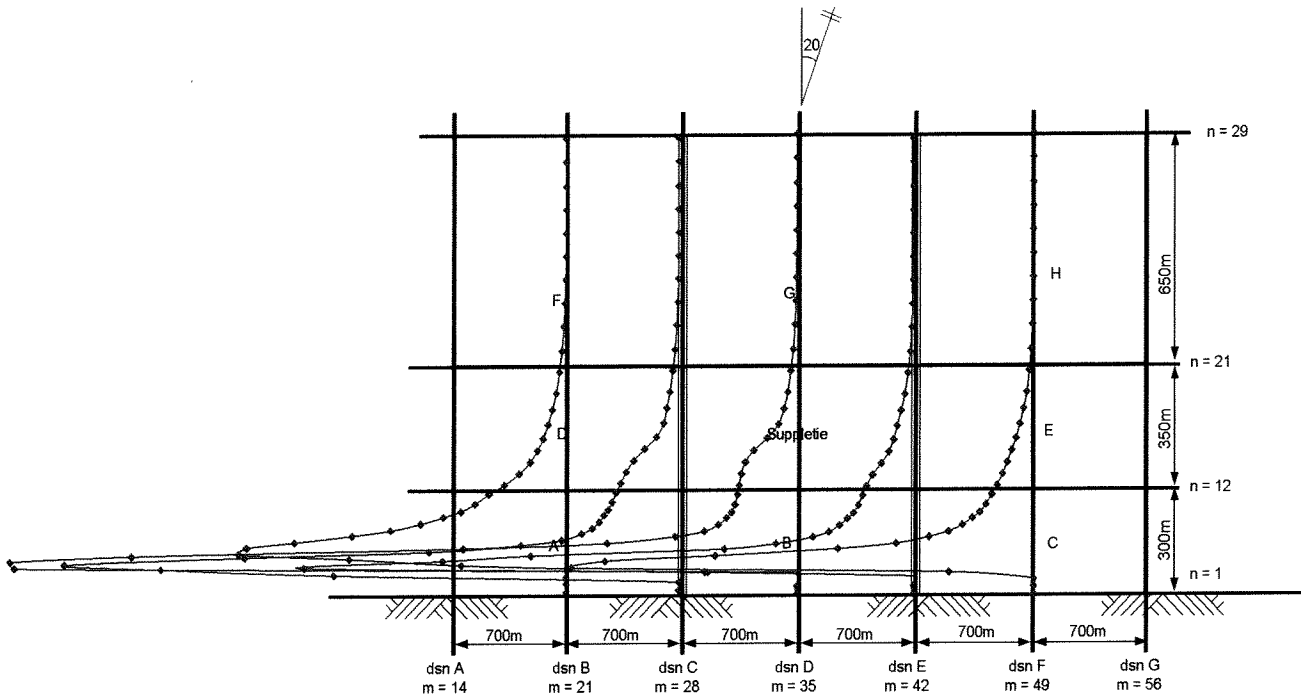


Bijlage E43, Volume toename/afname meetgebied suppletie

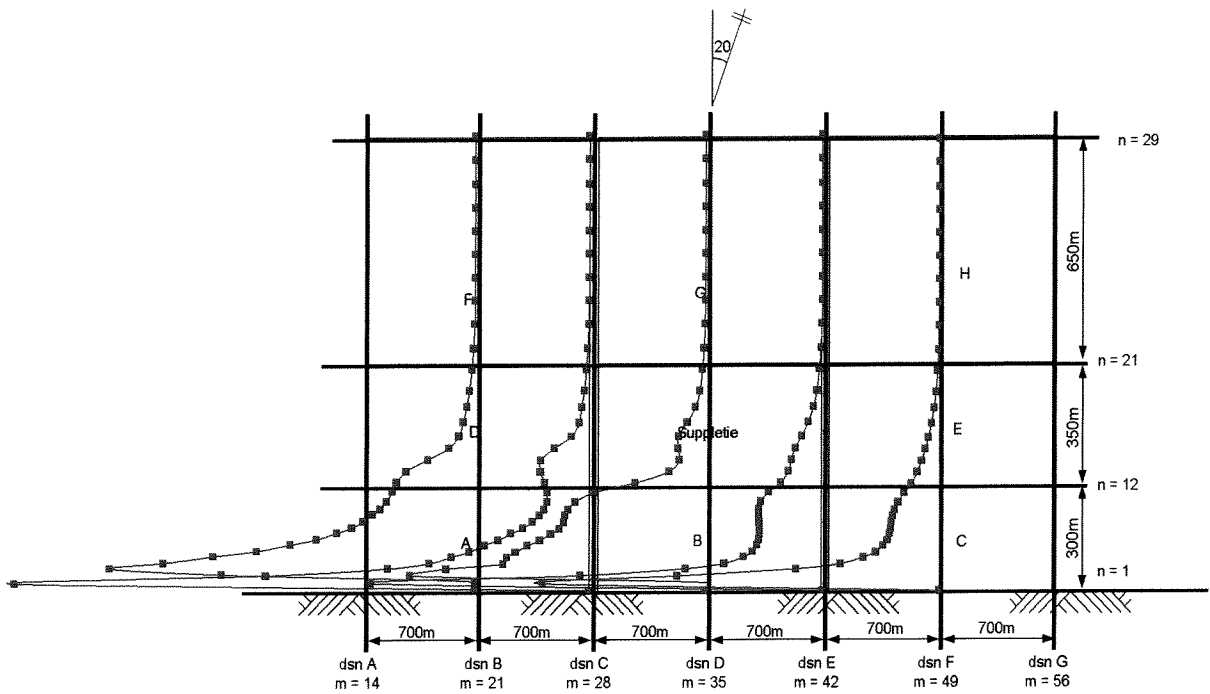
Volume suppletie



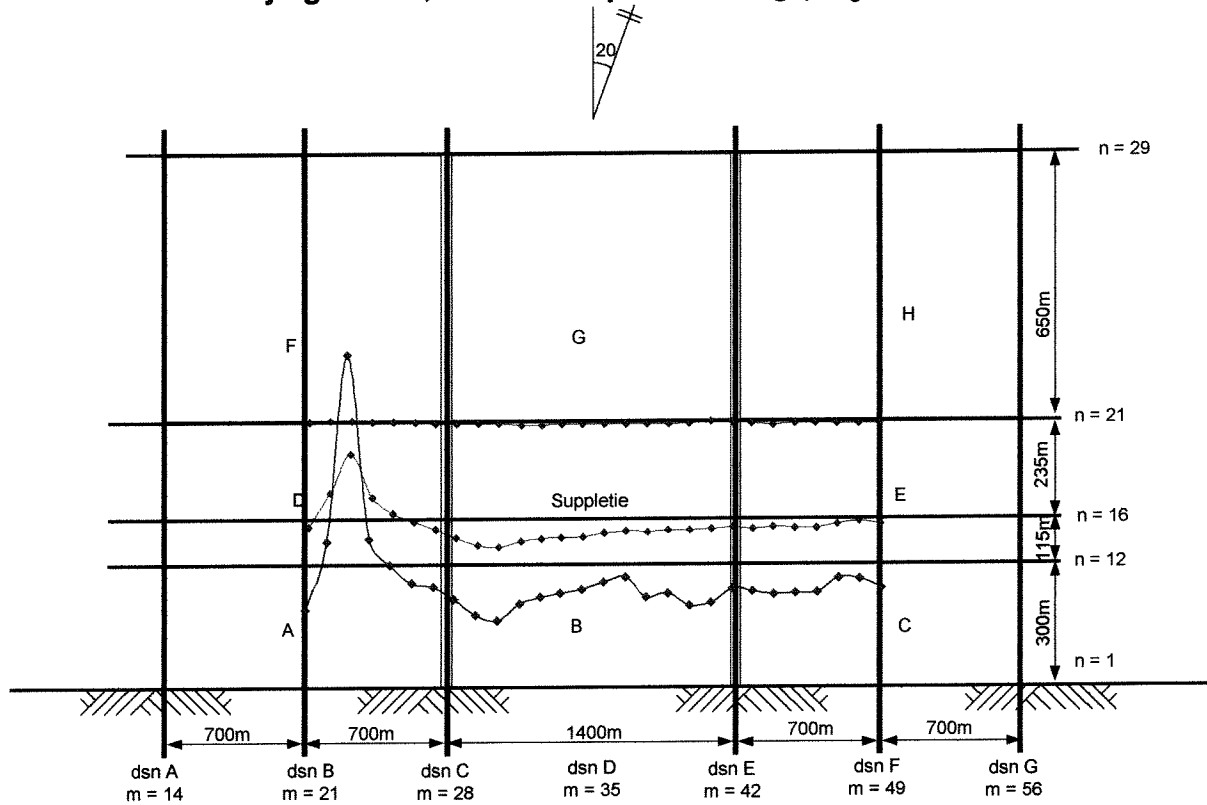
Bijlage E44a, Langtransport deining ($H_{sig} = 1.66m$)



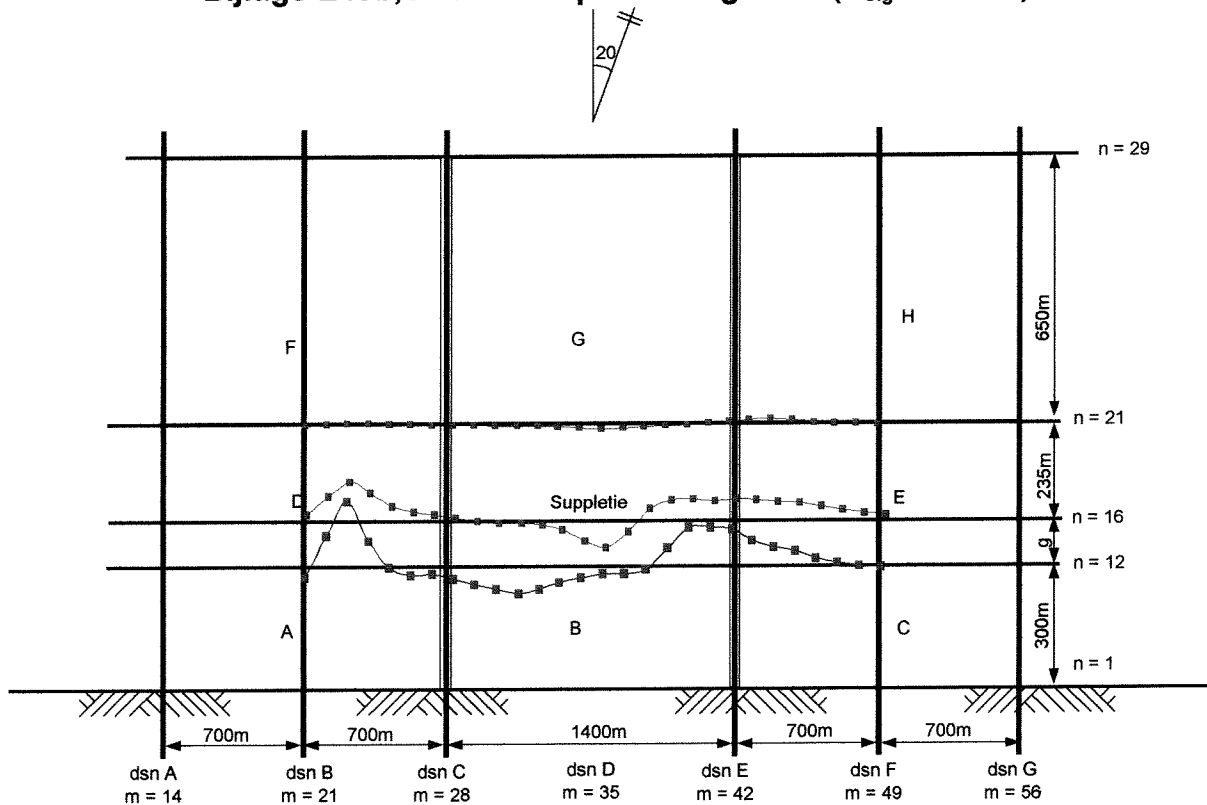
Bijlage E44b, Langtransport windgolven ($H_{sig} = 1.66m$)



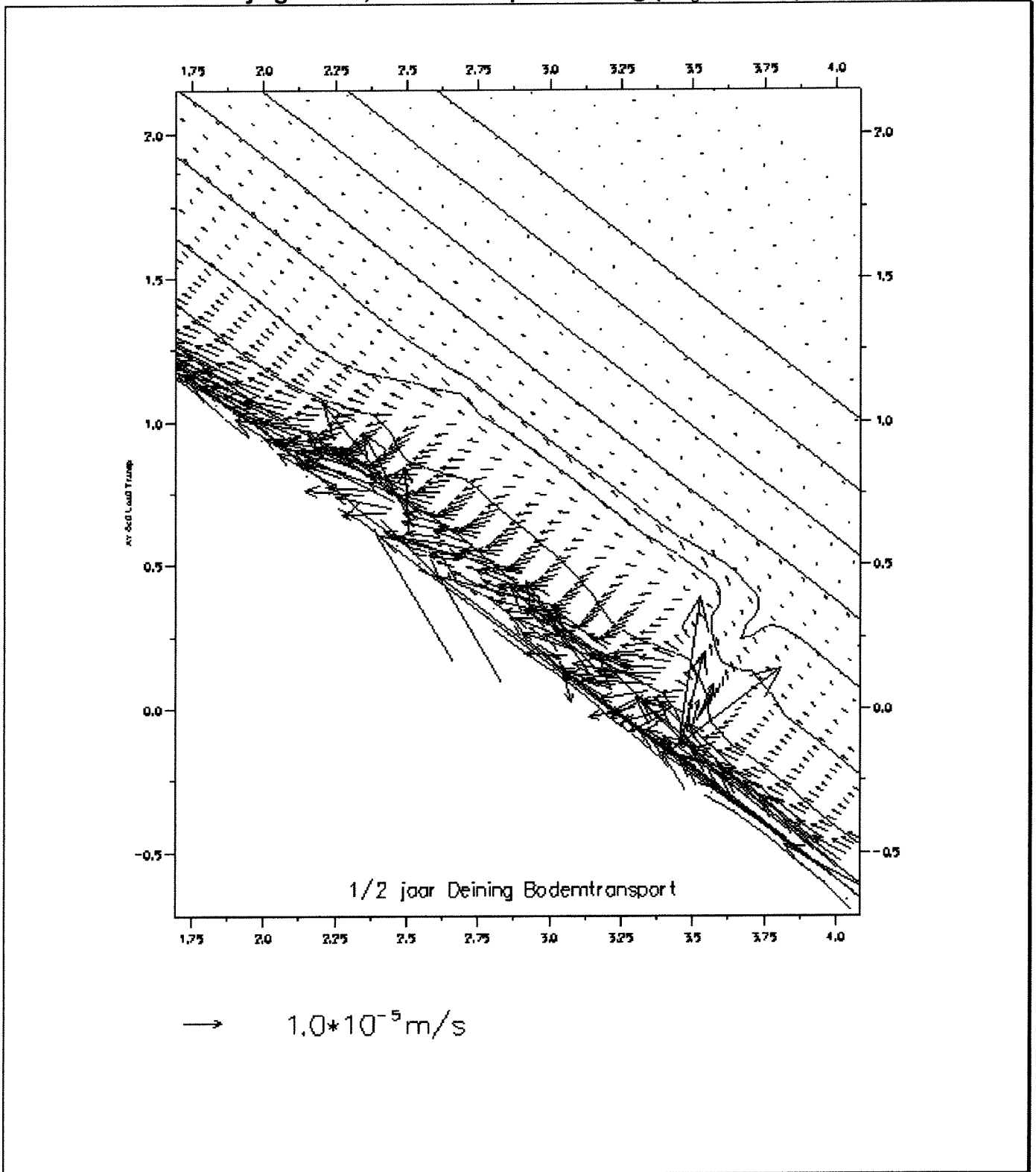
Bijlage E45a, Dwarstransport deining ($H_{sig} = 1.66m$)



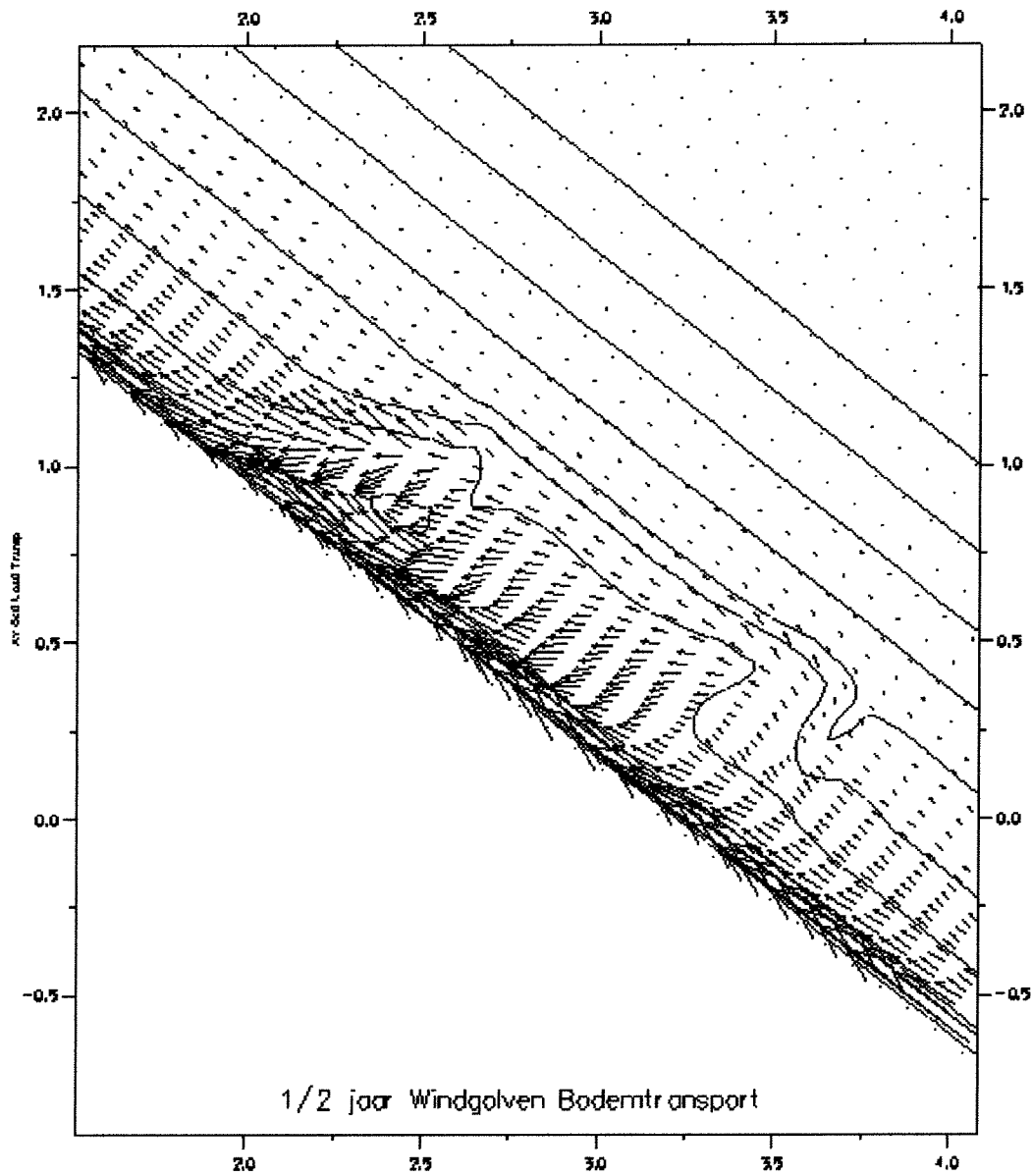
Bijlage E45b, Dwarstransport windgolven ($H_{sig} = 1.66m$)



Bijlage E46a, Bodemtransport deining ($H_{sig} = 1.66m$)

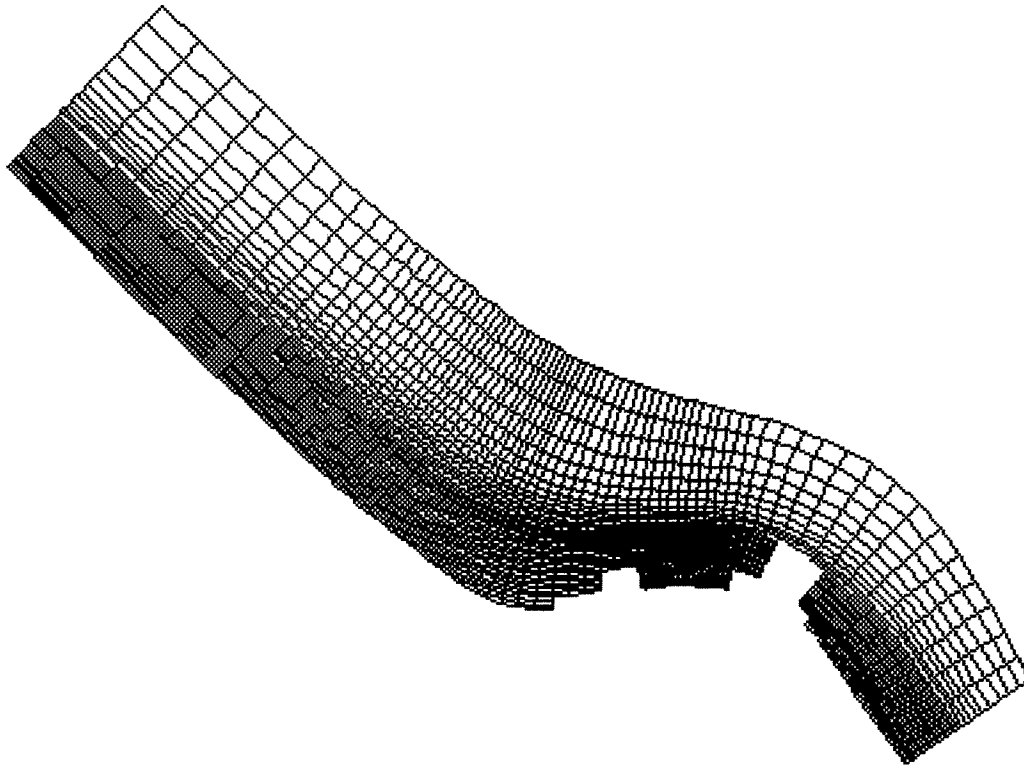


Bijlage E46b, Bodemtransport windgolven ($H_{sig} = 1.66m$)

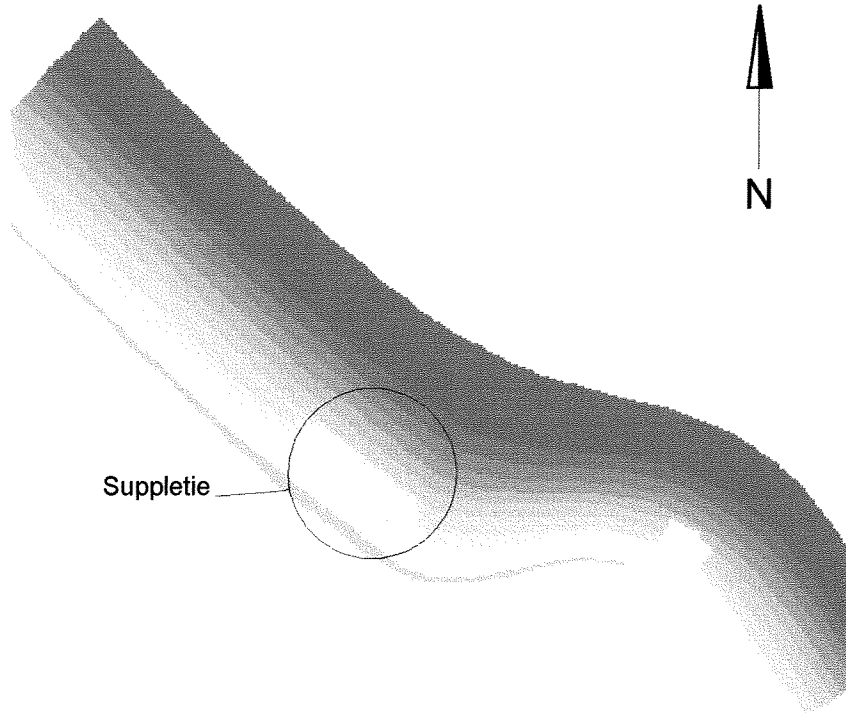


→ $1.0 \cdot 10^{-5} m/s$

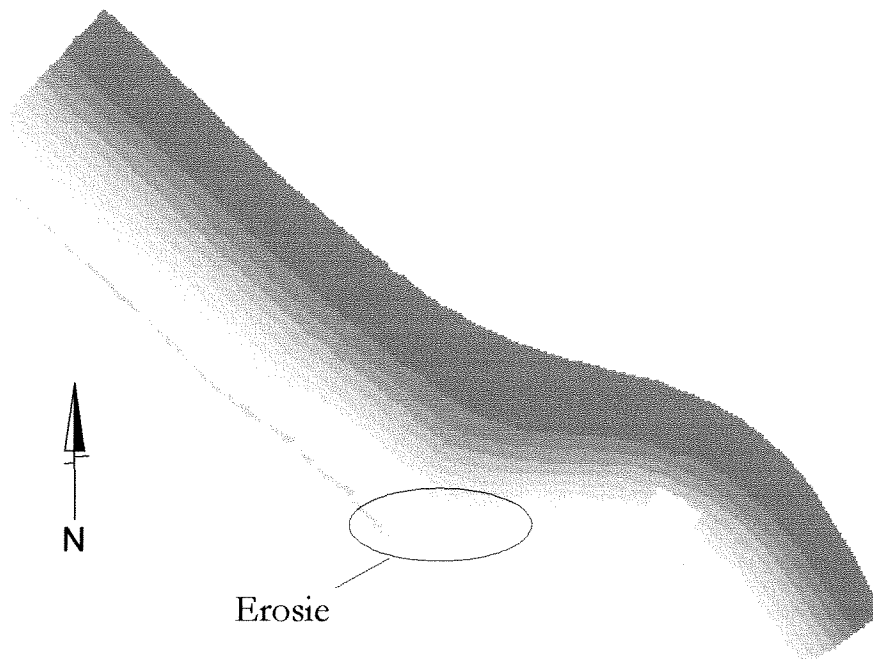
Bijlage F1, Kromlijinig rekengrid



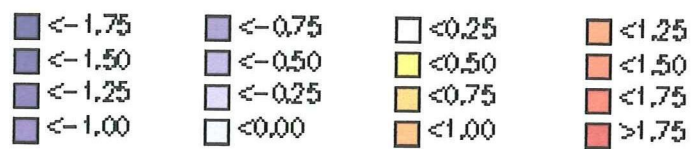
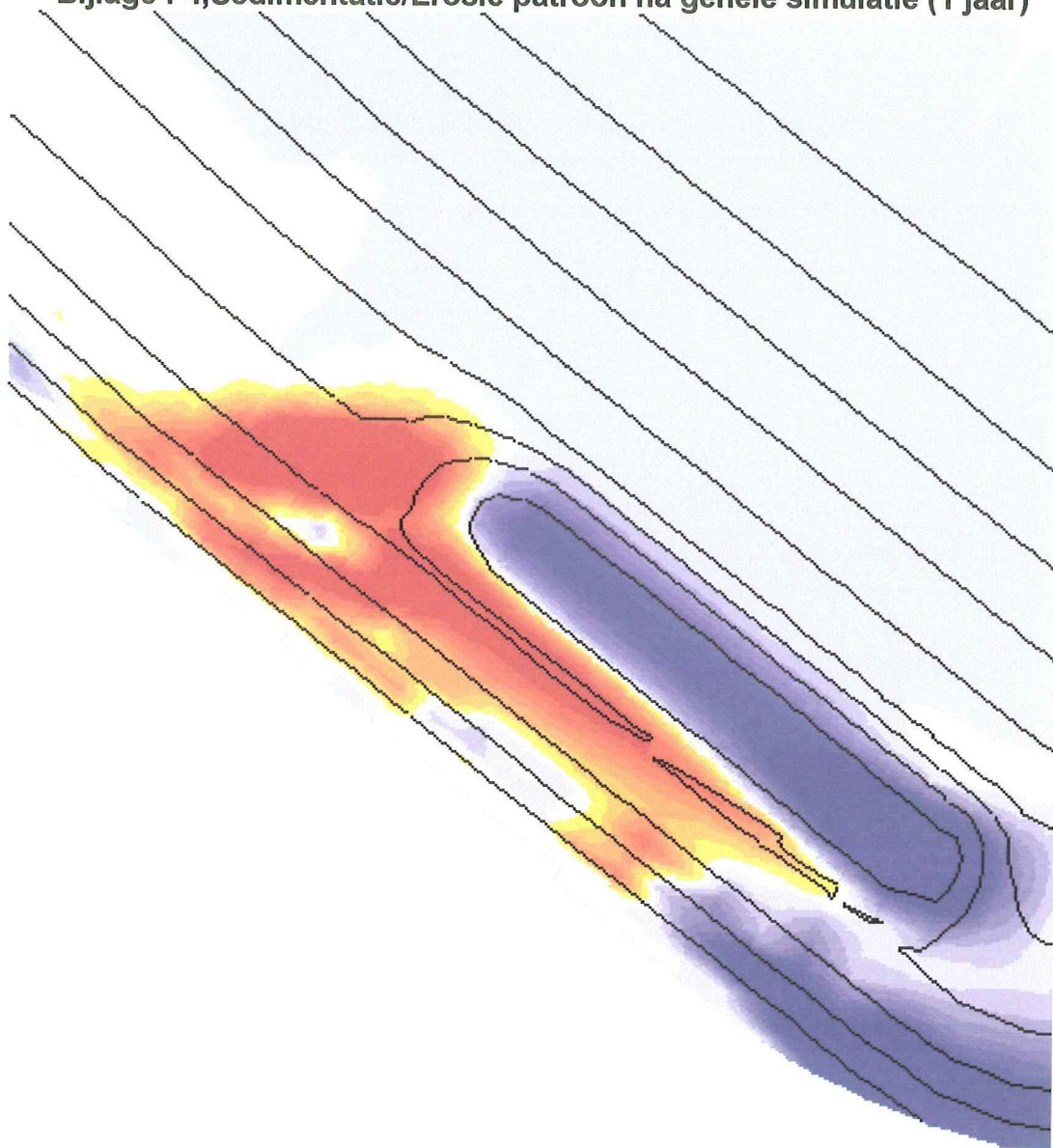
Bijlage F2, Simulatiemodel Gold Coast, initiële diepte



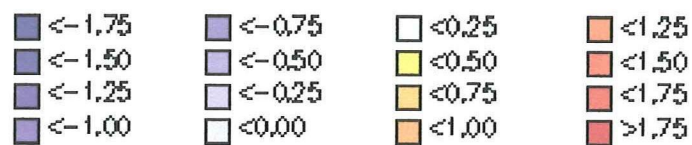
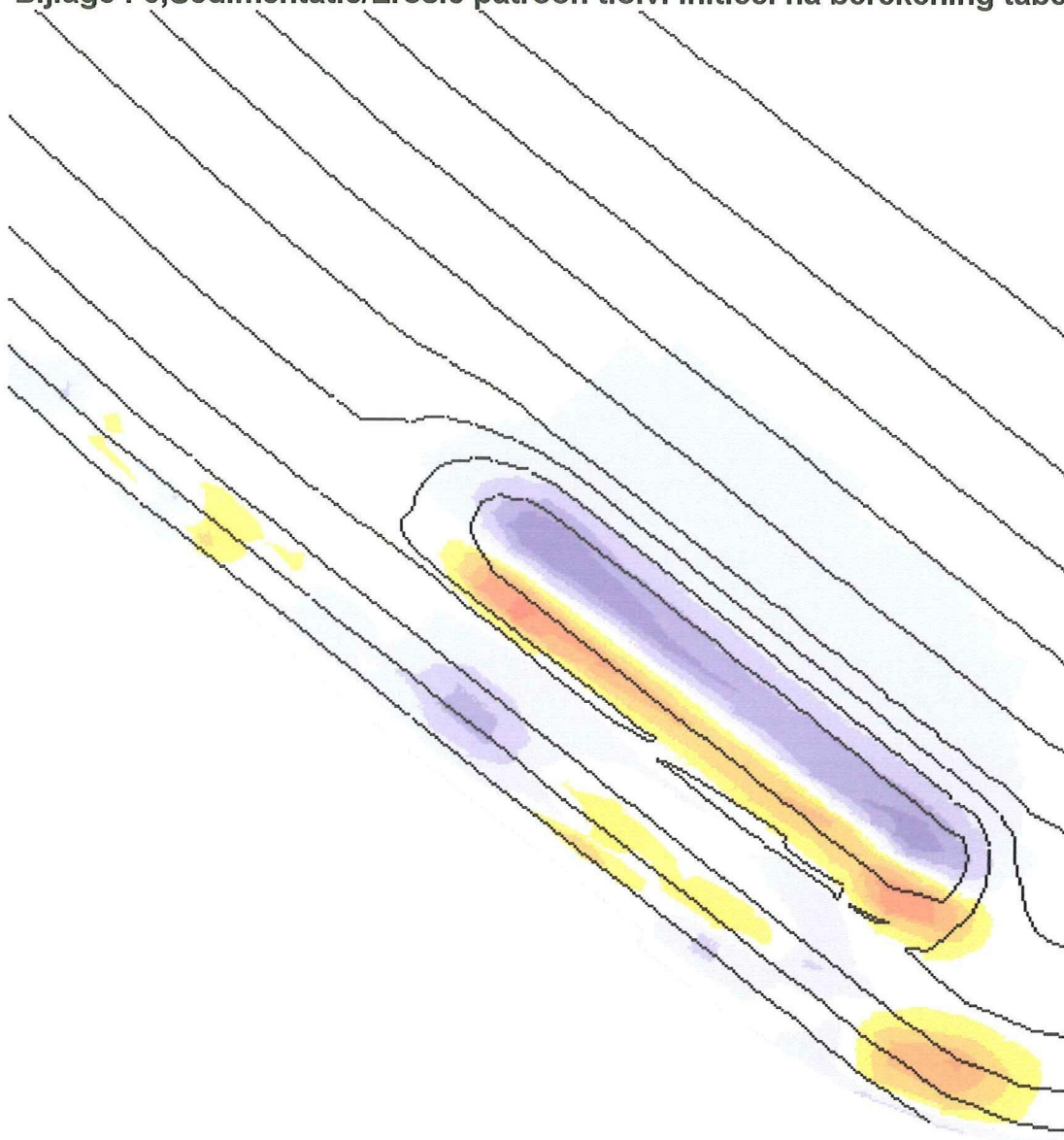
Bijlage F3, Simulatiemodel Gold Coast, diepte na 1 jaar simulatie



Bijlage F4, Sedimentatie/Erosie patroon na gehele simulatie (1 jaar)

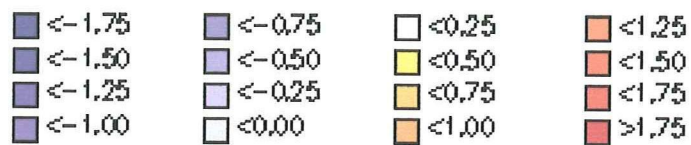
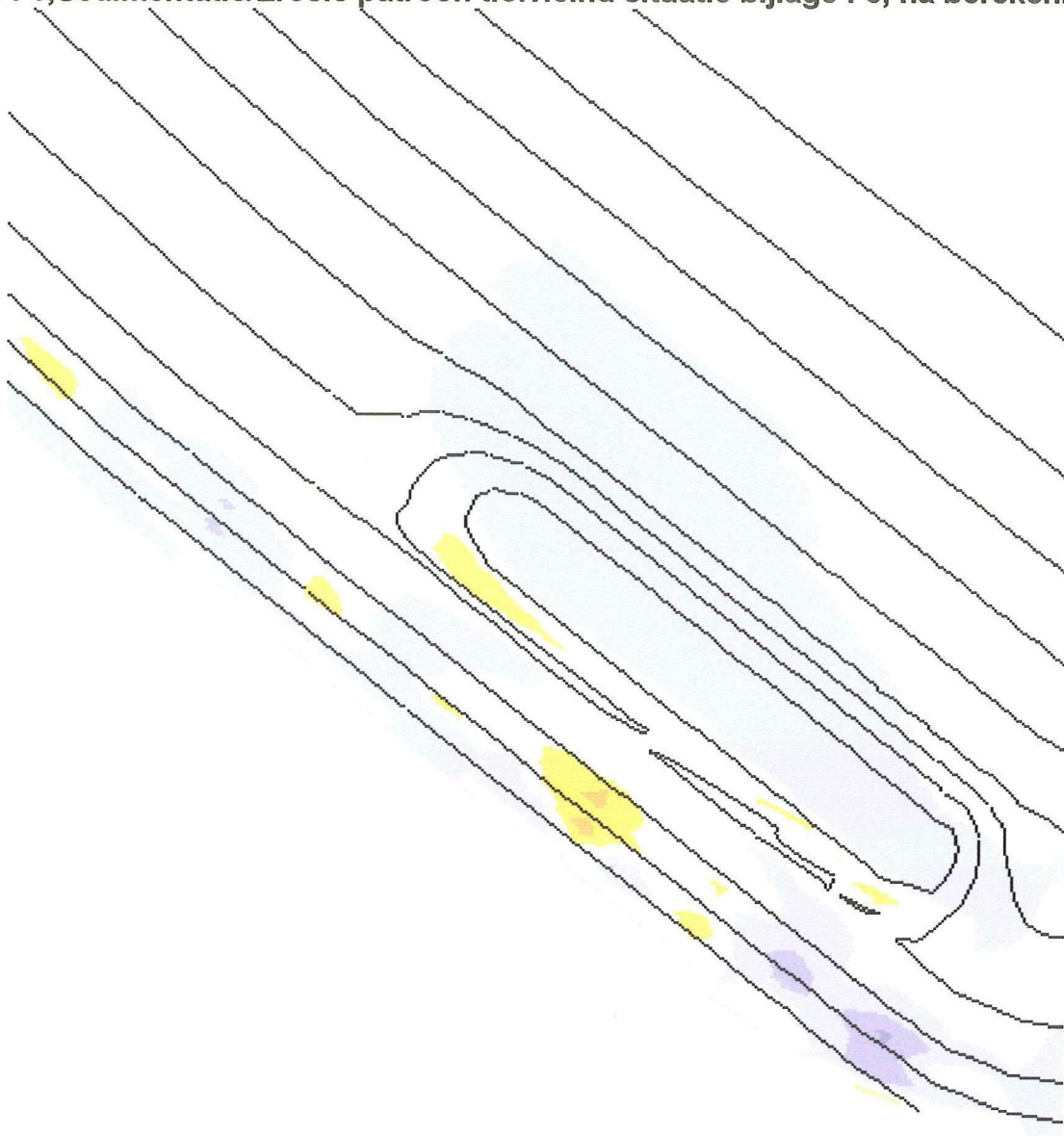


Bijlage F5, Sedimentatie/Erosie patroon t.o.v. initieel na berekening tabel



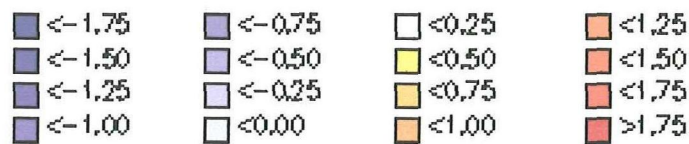
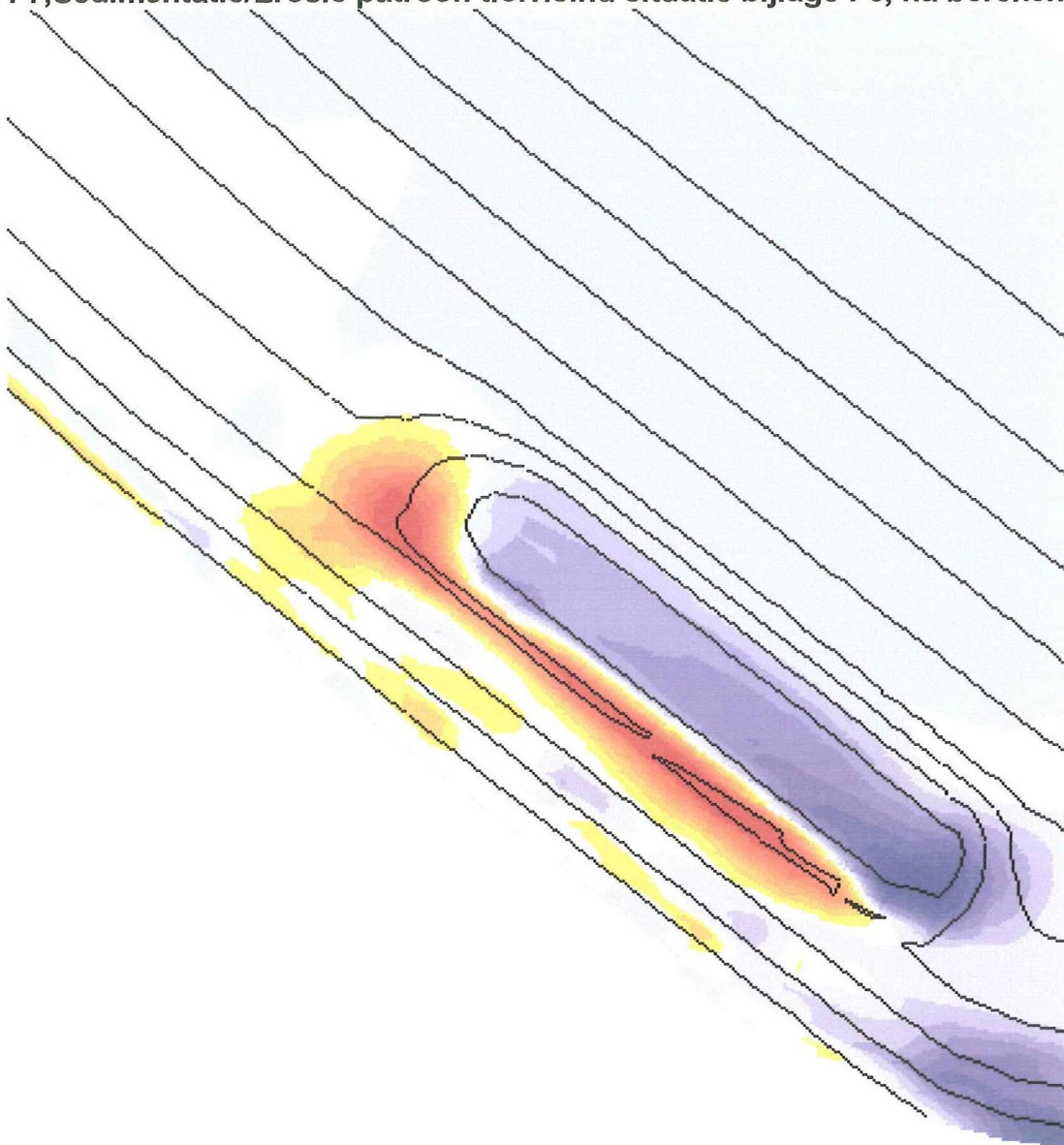
| richting [° N] | H _{sig} [m] | T _p [s] | dagen/jaar | energieflux [J] |
|----------------|----------------------|--------------------|------------|---------------------|
| 17.30 | 1.04 | 6 | 11.32 | 3.7*10 ⁹ |
| 29.18 | 0.98 | 12 | 4.22 | 2.6*10 ⁹ |
| 24.21 | 0.97 | 8 | 17.48 | 7.3*10 ⁹ |
| 25.97 | 0.99 | 10 | 14.04 | 7.7*10 ⁹ |

Bijlage F6, Sedimentatie/Erosie patroon t.o.v. eind situatie bijlage F5, na berekening tabel



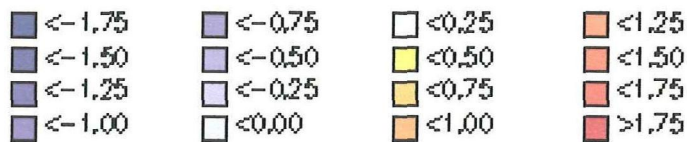
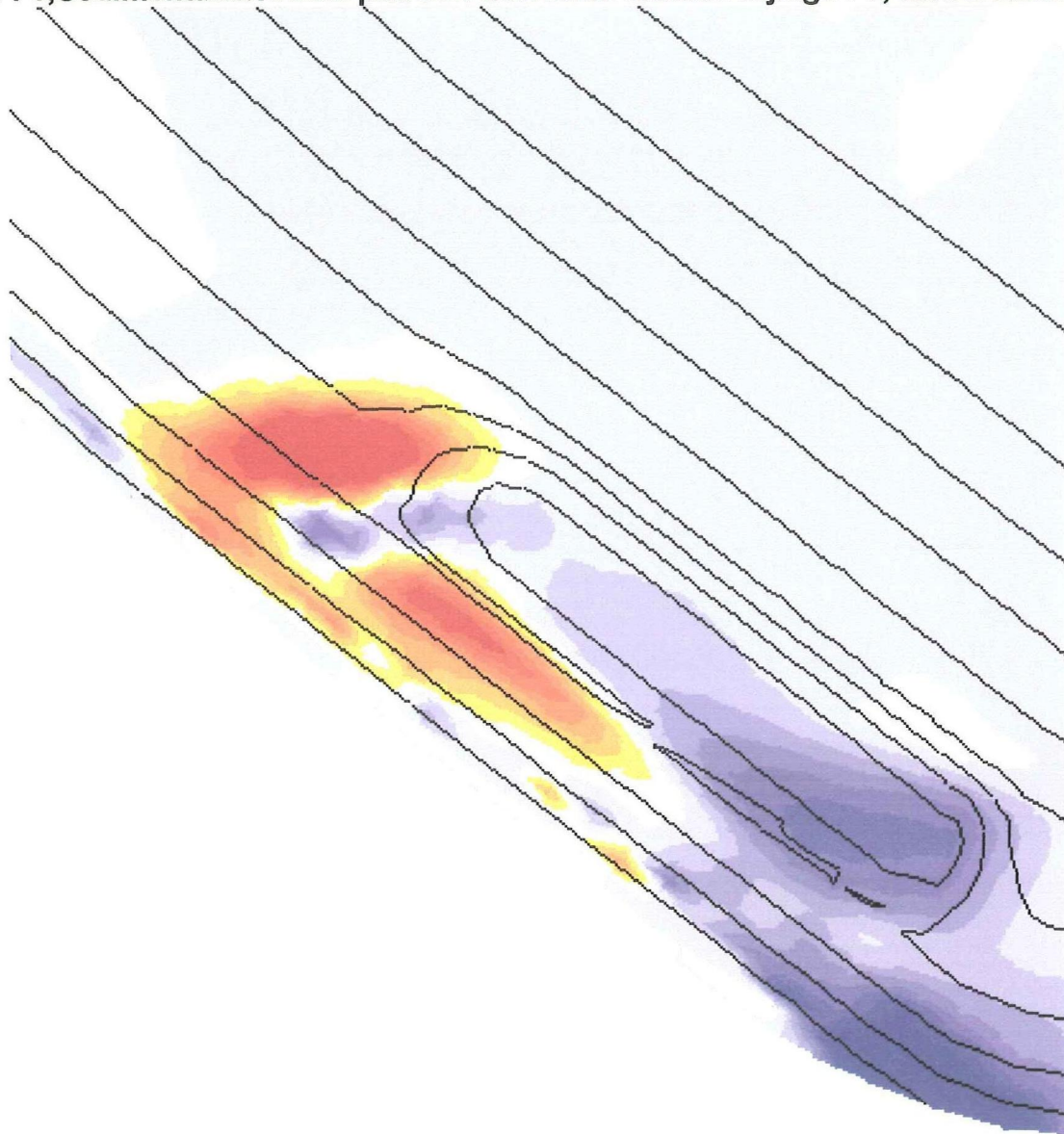
| richting [° N] | H _{sig} [m] | T _p [s] | dagen/jaar | energieflux [J] |
|----------------|----------------------|--------------------|------------|---------------------|
| 45.63 | 1.04 | 6 | 2.11 | 0.7*10 ⁹ |
| 47.39 | 1.05 | 12 | 1.31 | 0.9*10 ⁹ |
| 47.65 | 1.14 | 8 | 8.63 | 5.0*10 ⁹ |
| 47.46 | 1.17 | 10 | 7.91 | 6.0*10 ⁹ |

Bijlage F7, Sedimentatie/Erosie patroon t.o.v. eind situatie bijlage F6, na berekening tabel



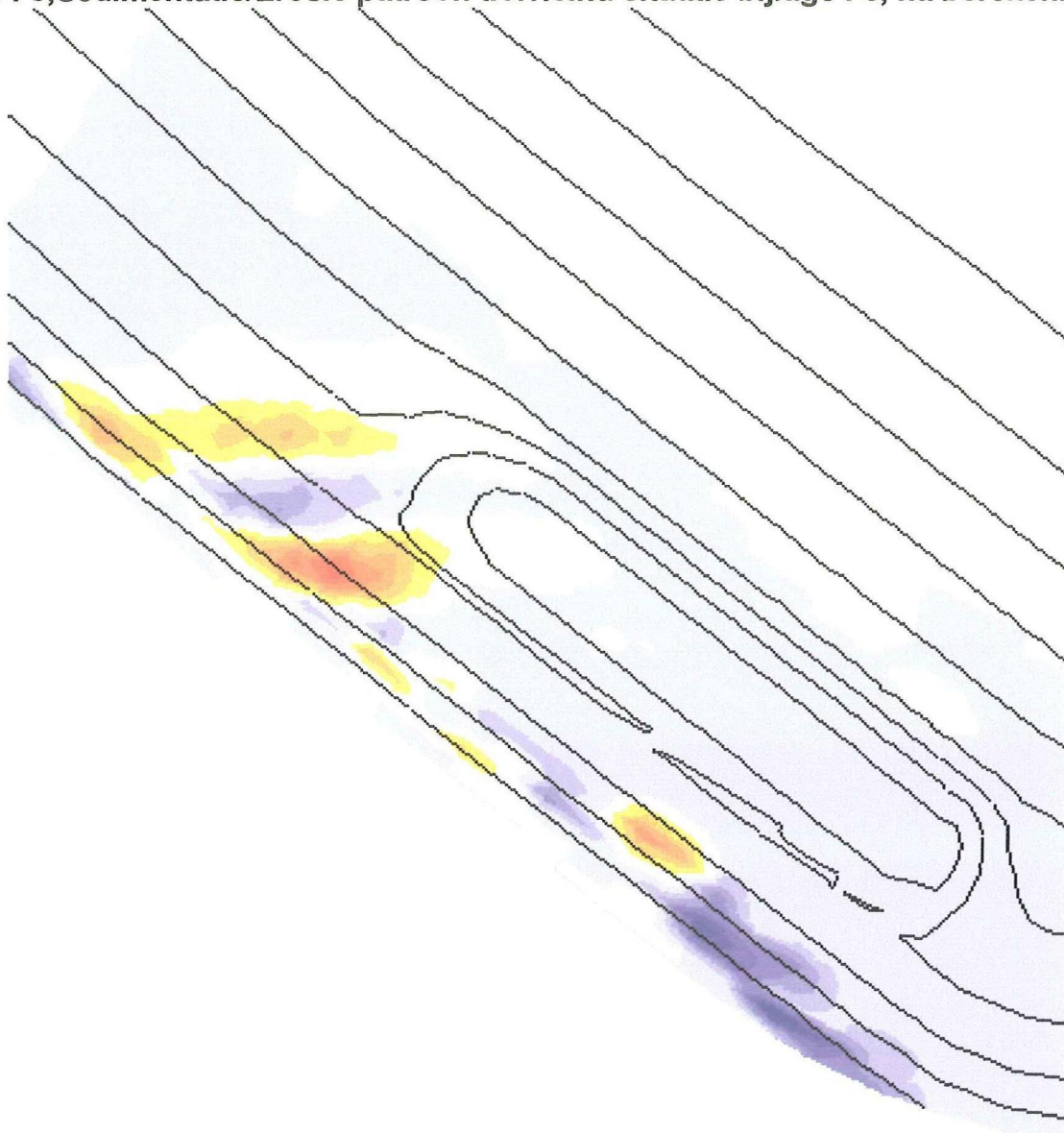
| richting [° N] | H _{sig} [m] | T _p [s] | dagen/jaar | energieflux [J] |
|----------------|----------------------|--------------------|-------------|----------------------------|
| 74.58 | 1.15 | 6 | 2.93 | 1.2*10 ⁹ |
| 66.70 | 1.58 | 12 | 0.58 | 0.9*10 ⁹ |
| 72.59 | 1.32 | 8 | 18.1 | 14.0*10 ⁹ |
| 71.07 | 1.99 | 10 | 9.17 | 20.2*10⁹ |

Bijlage F8, Sedimentatie/Erosie patroon t.o.v.eind situatie bijlage F7, na berekening tabel



| richting [° N] | H _{sig} [m] | T _p [s] | dagen/jaar | energieflux [J] |
|----------------|----------------------|--------------------|--------------|----------------------------|
| 94.46 | 1.36 | 8 | 27.86 | 22.9*10 ⁹ |
| 84.74 | 1.52 | 12 | 7.75 | 11.3*10 ⁹ |
| 87.93 | 1.66 | 10 | 18.34 | 28.1*10⁹ |
| 90.47 | 0.31 | 12 | 11.18 | 0.7*10 ⁹ |
| 91.26 | 0.86 | 12 | 4.97 | 2.3*10 ⁹ |

Bijlage F9, Sedimentatie/Erosie patroon t.o.v.eind situatie bijlage F8, na berekening tabel



| | | | |
|----------|----------|---------|---------|
| ■ <-1.75 | ■ <-0.75 | □ <0.25 | ■ <1.25 |
| ■ <-1.50 | ■ <-0.50 | ■ <0.50 | ■ <1.50 |
| ■ <-1.25 | ■ <-0.25 | ■ <0.75 | ■ <1.75 |
| ■ <-1.00 | □ <0.00 | ■ <1.00 | ■ >1.75 |

| richting [° N] | H _{sig} [m] | T _p [s] | dagen/jaar | energieflux [J] |
|----------------|----------------------|--------------------|------------|---------------------|
| 100.61 | 1.11 | 6 | 5.38 | 2.0*10 ⁹ |
| 96.00 | 0.71 | 10 | 22.14 | 6.2*10 ⁹ |
| 106.85 | 0.22 | 6 | 7.91 | 0.1*10 ⁹ |
| 98.16 | 0.23 | 10 | 50.15 | 1.5*10 ⁹ |
| 101.26 | 0.58 | 8 | 32.65 | 4.9*10 ⁹ |